

• **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA,
MINERA Y METALURGICA**



**Evaluación de la Corrosión y Protección
de la Infraestructura Eléctrica
del Sistema Interconectado
Centro Norte**

**INFORME DE INGENIERIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

Juan Quiñonez Egusquiza

PROMOCION 83-I

LIMA - PERU

1 9 9 3

I N D I C E

- 1.- OBJETO DEL TRABAJO
- 2.- CARACTERISTICAS DEL SISTEMA
- 3.- QUE COSA ES CORROSION?
- 4.- CUALES SON LOS DAÑOS OCASIONADOS POR LA CORROSION
- 5.- COMO SE EVITA LA CORROSION
- 6.- EVALUACION DEL DETERIORO Y PROTECCION DE LA INFRAESTRUCTURA
ELECTRICA DEL SICN
 - 6.1 INFORMACION TECNICA
 - 6.2 INSPECCION Y MUESTRO DE FALLA
 - 6.3 EXAMENES, PRUEBAS Y ANALISIS DE ESPECIMINES
 - 6.4 EVALUACION DEL DETERIORO-ESTADO, CAUSA Y REPARACION
 - 6.5 DOCUMENTACION FOTOGRAFICA
 - 6.6 AGENTES PROPICIATORIOS DE LA CORROSION DEL SICN
 - 6.7 UBICACION DE LOS AGENTES DE CORROSION DEL SICN
 - 6.8 EVALUACION DE LOS TRABAJOS DE REPARACION
 - 6.9 MANUAL DE MANTENIMIENTO- EJEMPLOS PRACTICOS

ANEXOS

- 1.- CORROSION DE AISLADORES ANTIFOG DE LA L/T LIMA-PISCO
- 2.- ESPECIFICACIONES TECNICAS DE AISLADORES
- 3.- ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONDUCTORES
- 4.- ESPECIFICACIONES TECNICAS DE PERFILES GALVANIZADOS

Título del Trabajo

*· EVALUACION DE LA CORROSION Y PROTECCION DE LA INFRAESTRUCTURA ELECTRICA DEL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRO -
NORTE*

TEMA DEL TRABAJO

El 60 % de la infraestructura del Sistema Interconectado Centro Norte es tipo intertemperie, atraviesa extensas zonas costeras del territorio nacional con diferentes climas, topografía y niveles de contaminación; comprobándose altos índices de corrosión atmosférica en las estructuras metálicas, equipos, de las líneas de transmisión y subestaciones. Siendo objeto de reparaciones frecuentes, con fuertes desembolsos de dinero para evitar la paralización del sistema.

Teniendo en cuenta el deterioro por corrosión atmosférica y las implicancias económicas, el presente trabajo, da una vista panorámica sobre los aspectos que permiten una primera toma de conciencia del propio fenómeno ; luego se describe los puntos más saltantes sobre la evaluación de la corrosión del Sistema Interconectado Centro Norte, así como la apreciación gráfica de los estados finales de sus reacciones. Se mencionan las causas y reparaciones, también los agentes del entorno y su ubicación; posteriormente se hace una evaluación sobre los métodos de mantenimiento, propuestos a corto, mediano y a largo plazo; finalmente se describe el manual para el mantenimiento con una rápida exposición sobre los casos más frecuentes en el deterioro de los componentes.

EVALUACION DE LA CORROSION Y PROTECCION DE LA

INFRAESTRUCTURA ELECTRICA DEL SISTEMA INTERCONECTADO

CENTRO - NORTE

1.- OBJETO DEL TRABAJO

Habiéndose constatado el deterioro de las partes metálicas del Sistema Interconectado Centro Norte debido a la corrosión atmosférica, y que la implementación de la infraestructura eléctrica de alta tensión involucra onerosas inversiones, lo que implica dar un mantenimiento constante.

Teniendo en cuenta las pautas anteriores, el trabajo está orientado fundamentalmente a la evaluación del deterioro, dar alternativas de protección de los equipos, estructuras, ferreterías; atacados por diferentes agentes y mecanismos corrosivos. Los datos obtenidos se emplearán en normar los programas de mantenimiento y en el diseño de los futuros sistemas de transporte de energía y estaciones de transformación, asegurando así la confiabilidad de operación del Sistema.

2.- CARACTERISTICAS DEL SISTEMA

El Sistema Interconectado Centro Norte (SICN) está comprendido por ELECTRO PERU y sus Regionales (Electrolima, Hidrandina, Electro Sur Medio, Electro Centro, Electro Norte) conformando 1379 Kms. de líneas de simple terna y 822 Kms. de doble terna en 220 kV y 1600 Km de líneas en 138 kV entrelazadas por 18 plantas de generación eléctrica mediante unas 36 Sub-Estaciones de Transformación; con una potencia instalada de 2,309 MW lo cual hace un 70 % de la energía generada en el Perú; que asimismo se hacen cargo de la administración y explotación de las instalaciones en las tareas propias de la operación y el mantenimiento. Abarcando 10 Dptos. del territorio nacional, con una superficie cubierta de 297,169 Km² y con una población urbana nacional de 9'763,830 habitantes.

3.- ¿QUE COSA ES CORROSION?

*El término corrosión deriva del latín *corrodere* que significa destruir gradualmente. Actualmente se define a la corrosión como la destrucción del material por la reacción con el medio que le rodea, con la consecuente dis*

minución de sus propiedades físicas, eléctricas y mecánicas.

4.- *¿ CUALES SON LOS DAÑOS OCASIONADOS POR LA CORROSION ?*

Se ha comprobado mediante estudios, hechos en numerosos países industrializados y en vías de desarrollo que los perjuicios causados por la corrosión equivalen del 1,5 al 3,5 % del producto bruto nacional (PBN). Según el ITINTEC en el Perú se encuentra por el 3 % y que el 50 % de pérdidas por corrosión se deben a la corrosión atmosférica, donde el rubro con mayores problemas de este tipo es el área eléctrica que en su mayoría se encuentran expuestos al medio ambiente. Por lo que los costos de mantenimiento anual, de la infraestructura eléctrica se estiman en un 1.5 % de la inversión inicial, para lograr el cumplimiento del criterio de vida útil de las instalaciones.

Ante la magnitud de los datos mencionados se comprende que cualquier ahorro que se consiga, representa una suma considerable de dinero; con un mejor conocimiento de los fenómenos corrosivos podría ahorrarse un 25 % de los costos de corrosión.

5.- *¿ COMO SE EVITA LA CORROSION ?*

Los métodos son múltiples, por lo que se tiene que escoger desde un punto de vista técnico-económico y se basan en:

Disminuir la consecuencia de los daños

Aislar las influencias destructivas del medio ambiente.

6.- *EVALUACION DEL DETERIORO Y PROTECCION DE LA INFRAESTRUCTURA ELECTRICA DEL SICN*

Los hechos y datos mencionados anteriormente determinaron para que la Empresa buscara un medio de frenar este deterioro, para lo cual se tenía que evaluar el deterioro de la infraestructura eléctrica del SICN, cuyas principales actividades comprendió:

Recopilación de información técnica.

Inspección y muestreo de fallas

Exámenes, pruebas y análisis de especímenes.

Evaluación del deterioro, estado, causa y reparación de la infraestructura eléctrica.

Documentación fotográfica

- *Determinación de los agentes corrosivos*
- *Ubicación de los agentes corrosivos*
- *Manual de mantenimiento - ejemplos prácticos.*
- *Evaluación de los trabajos de reparación.*

6.1 Recopilación de la Información Técnica

Se refiere a la captación de información asociada no solamente a los aspectos de corrosión, sino también las especificaciones de los materiales de las líneas de transmisión así como pruebas de laboratorio, normas, instrumental, equipos y consultoría especializada.

6.2 Inspección y Muestreo de Falla

Para esta etapa se contó con el apoyo de un experto alemán del Convenio Peruano Alemán GTZ. Con la disponibilidad de la información mencionada, se elaboró un programa de inspección prioritario en todos los emplazamientos que se tuvieran datos o experiencia de corrosión de las estructuras y equipos; para evaluar el estado de dicha infraestructura previamente al mantenimiento. Donde se definiría el método de protección si es con recubrimiento, cambio de materiales, protección catódica, etc.

La metodología de inspección para una mejor explotación de datos, se basó en los antecedentes y sugerencias de las Jefaturas de los Servicios de acuerdo a las prioridades y a la localización de la infraestructura eléctrica.

6.3 Exámenes, Pruebas y Análisis de Espectmenes

Se llevó a cabo tareas de laboratorio consagradas a la preparación de los especímenes para las pruebas tanto físicas, químicas y mecánicas, asimismo, se procedió a la explotación de los resultados y la evaluación de las conclusiones para su aplicación práctica.

6.4 Evaluación del Deterioro - Estado, Causa y Reparación

Esta fase del trabajo estuvo consagrado a la síntesis ordenada de toda la información recolectada y generada a través de las inspecciones de campo y pruebas de laboratorio.

En donde las principales estructuras, equipos y ferreterías con efec

tos fuertes en corrosión, con un alto grado de destrucción, explicamos en el Cuadro Nº 1,

6.5 Documentación Fotográfica

Al realizarse las inspecciones, pruebas de campo y de laboratorio se tomaron aproximadamente 700 fotos de las cuales se seleccionaron en forma cuidadosa las más representativas para los informes técnicos y charlas de mantenimiento. Para el presente trabajo mostramos las Figuras del 1 al 8.

6.6 Agentes Propiciatorios de la Corrosión del SICN

Como se ha podido apreciar los agentes propiciatorios de la corrosión del SICN son variados y aleatorios, cuyo examen y correlación con los efectos que ocasionan, se hacen en función de su incidencia o identificaciones cualitativas.

Una clasificación de los agentes corrosivos la podemos apreciar en el Cuadro Nº 2.

6.7 Ubicación de los Agentes de Corrosión del SICN

La corrosión de la infraestructura eléctrica varía considerablemente dentro de las diferentes áreas geográficas y con las condiciones atmosféricas locales específicas, por supuestamente la incidencia de los agentes corrosivos dependerán de los tipos de climas, las que podemos clasificarlos en:

- Marinos
- Industriales
- Urbanos
- Rurales

Con combinaciones de:

- Urbana-marina
- Industrial - marina
- Urbana - industrial - marina
- Rural - industrial

Se puede decir que en nuestro caso por estar en una zona tropical-húme

L/T - S.E.	EQUIPO/TORRE	ESTADO	CAUSA	REPARACION
S.E. Paramonga	Cimientos de concreto.	En algunos cimientos aparecieron daños considerables en forma de rajaduras debido al acero corroído.	Han sido originados por cloruros, se determinó por una prueba de conductibilidad, a una muestra de concreto.	Desbaste del concreto dañado, arenado y pintura del acero, luego rellenar con concreto ácido - normalmente aplicar protección catódica al acero - cubierto no corroído.
L.T. Lina-Chimbote	Torres	El galvanizado se descascara en la superficie. Debajo de la capa del zinc hay una capa de corrosión de acero de hasta 1 mm de grosor.	Los perfiles de las torres y las tuercas están compuestos de acero cortem. Evidentemente ha habido una reacción química en el galvanizado entre los compuestos de aleación del acero cortem y el Zinc.	Por el momento no debe protegerse, eliminar la capa de galvanizado y determinar, la velocidad de corrosión en la superficie del acero o si se estabiliza después de iniciada la corrosión, el acero cortem crea su propia capa protectora.
S.E. Trujillo	Transformador tipo Westinghouse	Las superficies del radiador presentan una corrosión inicial en los bordes del lado del viento. La pintura (2 capas) de la superficie presenta burbujas en forma de una gota que chorro.	Los daños indican que la preparación de limpieza y pasivado de la superficie se efectuó por medios químicos, donde los agentes de limpieza reaccionaron con la pintura base en la superficie.	Se requiere eliminar inmediatamente los daños mediante el raspado de las burbujas pulido de la superficie; recubrir con tres capas de pintura alquídica y una capa de acabado.
L.T. Lina-Chimbote	Ferretería, vientos, etc.	Aflojamiento en los postes de madera debido a que los cables galvanizados presentan diferentes corrosiones. La zona de contacto cable/canje/suelo, está fuertemente corroído.	Los postes se encuentran instalados cercanos al mar. El galvanizado es muy delgado y ofrece poca resistencia a la corrosión por el aire húmedo y salino. En la zona del suelo hay adicionalmente una corrosión por contacto y carga por arena con sal y viento.	Los cables deben recubrirse adicionalmente con un material sintético de base de alquitrán. (brea)
S.E. San Nicolás	Superficie de los radiadores de los transformadores	Los radiadores instalados por baterías de paneles en la parte externa del edificio presentan daños considerables pudiendo fallar con pérdidas del aceite refrigerante.	La S.E. San Nicolás se encuentra a orillas del Océano Pacífico, expuesta a un clima bastante húmedo con alta concentración de niebla salina y vientos huracanados predominantes del Sur y Suroeste que en su paso y a una velocidad de 15 m/s arrastran sales y arena silice; de otro lado, la presencia del complejo mineral Hierro Ferri constituye una fuente permanente de contaminación por polvos (hierro, tierra, etc.) y gases (SO_2 , CO_2 , H_2O) que al combinarse con la niebla salina y los vientos marinos generan la corrosión de los radiadores. El equivalente salino medido en la zona es 3.350 mg/cm^2 depositado en 90 días.	Para justificar el alto costo del desmontaje y nuevo montaje debe aplicarse el mejor modelo para la nueva conservación, es decir: Chorro de arena según S.A. 2,5 para eliminar todos los productos de corrosión y pintura. - Galvanizado en caliente de cada parte. Desengrase y limpieza de las superficies galvanizadas. Aplicación de una base de adherencia de pintura epóxica. Aplicación de esmalte epóxico (250 U) protección adicional de los bordes. Aplicación de una capa final de poliuretano brillante (protección contra los rayos U.V.) aprox. 50 U.

FACTORES	AGENTES	ELEMENTOS	ACCION DE LOS AGENTES CORROSIVOS
INDUSTRIALES	- GASES	Dióxido de Carbono Hidruro Sulfuroso Anhídrido Sulfuroso	Estos gases se combinan con la humedad del ambiente y forman soluciones básicas o ácidos, depositándose en las superficies metálicas expuestas a la intemperie conformando una corrosión electroquímica, estos gases se forman por la combustión de Carbón, aceite, gasolina, refinación de minerales, refinación de harina de pescado. El ataque del acero, recubrimientos protectores, pinturas, galvanizado; se acelera considerablemente cuando la concentración de SO ₂ supera el 0.1 mg/m ³ .
	- PARTICULAS SUSPENDIDAS	Polvo de Metales y no Metales	El polvo de metales, son partículas suspendidas transportadas por las corrientes de aire, y se depositan en las superficies metálicas creando una corrosión galvánica; por la diferencia de potenciales entre el polvo de metal y la superficie metálica. Estas partículas provienen de los desechos de la refinación de minerales (Cu, Pb, Fe, etc.) en plantas de tostación, fusión, peletización. Otros desechos contaminantes son las partículas no metálicas como el sulfato de amonio, hollín, que al depositarse sobre las superficies metálicas actúan como núcleos de condensación de la humedad.
	- VAPORES INDUSTRIALES	Vapor de Agua	Los vapores húmedos de los desechos industriales y partículas de la atmósfera al combinarse con los gases, forma electrolíticos poderosos que aceleran el deterioro de las superficies metálicas mediante una corrosión electroquímica.
METEOROLOGICOS Y CLIMATICOS	- DEFLACION	Viento y Partículas Sólidas	Este fenómeno adquiere importancia cuando el viento como principal vehículo y motor de los sólidos deleznable del suelo, adquiere grandes velocidades (15 m/seg); deteriorando por abrasión y desgaste superficial las capas protectoras de los metales (pinturas, galvanizados, etc.) ácidos superficiales renovando el proceso de corrosión, convirtiéndose en un ciclo repetitivo.
	- TEMPERATURA	Calor	Los gradientes de temperatura influyen en la corrosión electroquímica. Donde la humedad al condensarse se auto-agita durante la evaporación, dándose mayor conductividad de iones, creándose micro pilas de corrosión. Gradientes grandes de temperatura producen corrosión química o de altas temperaturas.
	- METEOROLOGICO	Humedad Relativa y Condensación	Todos los metales a la intemperie tienen una humedad relativa crítica la cual dará origen a la corrosión electroquímica, se manifiesta por la condensación e intensifica con los factores industriales y marinos.
	- INSOLACION	Rayos Ultravioletas	Los materiales expuestos a la intemperie (metálicos, galvanizados, pinturas epóxicas) sufren un rápido envejecimiento y pérdidas de sus características físicas iniciales, debido a la influencia de los rayos ultra violetas del sol.
MARINOS	- PARTICULAS SOLIDAS	Cloruro de Sodio, Polvo, arena.	Estos elementos combinados permiten la formación de electrolitos de una alta conductividad iónica la cual conduce a la formación de pilas galvánicas (dismilencia de materiales) o/y electroquímicas (corrientes erráticas) corroyendo las superficies metálicas. Está demostrado que el Cl ₂ juntamente con el SO ₂ son los principales contaminantes corrosivos de la atmósfera. También: el polvo de tierra se considerará como principal contaminante de muchas atmósferas. Se estima que en las ciudades industriales se deposita alrededor de 30 T ³ de polvo/K ² .
	- HUMEDAD SALINA	Agua, Sal.	
TOPOGRAFICO - GEOLOGICO	- TOPOGRAFICO	Nivel de Altitud. Suelo Cobertura	El perfil topográfico tiene incidencia en la acción de los fenómenos meteorológicos y marinos por el estado superficial del suelo y la cobertura existente, sobre la cual se encuentra una estructura metálica.
	- GEOLOGICO	Minerales, Mat. Inertes, Tenso Activos, Arcillas	También la conformación geológica del suelo actúa sobre el deterioro de los metales con efectos diferentes para el ataque corrosivo; esto depende de la composición química, intemperización y barrido de las partículas por el viento, constituyendo la contaminación natural.
	- ORIENTACION GEOGRAFICA	Orientación de la Estructura metálica	La corrosión también se agudiza con la orientación geográfica de las estructuras metálicas. Se sabe que el lado Este y Sur de una construcción metálica se corroe menos que el lado Oeste-Norte debido a que esos lados expuestos al sol se secan más rápido después de ser mojado por la humedad.

L/T - S.E.	EQUIPO-TORRE	ESTADO	CAUSA	REPARACION
L.T. Marcón-San Nicolás	Postes 34 al 54	El galvanizado de las ferreterías de la suspensión de deterioro por la contaminación artificial y natural del medio ambiente, donde el acero está fuertemente corroído, mostrando picaduras profundas.	La capa de Zinc actúa como ánodo de sacrificio debido al ensuciamiento por el polvo de hierro reduciéndose rápidamente.	Igual que a los radiadores de la S.E. San Nicolás, debería emplearse resina epóxica como capa final. El atizado natural por los R.U.V. impide la adherencia de polvo de mineral.
L.T. Huayucachi-Pomacocha	Corrosión de las torres de Pachacayo-Pomacocha.	Las estructuras galvanizadas se encuentran ensuciadas de una coloración rojiza, seguramente a consecuencia de la contaminación ambiental por la refinería de La Oroya, el ensuciamiento se encuentra en los perfiles que están en dirección de La Oroya.	La refinería Orcya expulsa gases contaminantes como desecho del proceso de refinación de los minerales que en su mayoría son sulfurosos, los que al combinarse con el oxígeno y humedad forman ácidos que se impregnan en las estructuras primero corroyendo el zinc y posteriormente el acero, dando la coloración rojiza.	El estado de las L.T. por el momento no es motivo de inquietud, pero por las razones de estética se podría aplicar una capa de pintura (10 U) a base de resina oloro caucha, protectora contra ácidos.
L.T. Lima - Pisco	Torres de Chilca - Mala	Los perfiles de las torres de esta zona muestran una fuerte corrosión con reducción y perforaciones del material; además presentan una deficiente conservación de la capa de pintura.	En esta zona existe una lata contaminación de la niebla salina por los bancos de sal y humedad y de una fuerte desflexión del viento y arena propia del lugar.	Una reparación en este estado es solamente factible con un gasto considerable; resulta más ventajoso cambiar sucesivamente los perfiles destruidos por nuevos galvanizados y provistos de dos capas de pintura epóxica.
S.E. San Juan	Estructuras y Equipos en General	En recubrimiento de las pinturas y galvanizadas se encuentran deterioradas, a su vez las partes metálicas con picaduras y desgaste del metal.	El deterioro se debe a la mala preparación de su superficies para aplicar las pinturas, a la humedad salina a la corrosión electrolítica, etc.	Arenar las estructuras y equipos corroídos aplicar pintura epóxica con un espesor de 70 micrones.
L.T. Lima - Pisco	Aisladores	En la zona de conexión del Pin acero-cislamiento, aparece una fuerte corrosión. Adegazando al diámetro del pin.	Debido a los contaminantes y a la corriente de fuga polarizada inducen corrosión electrolítica.	Los que soportan las cargas mínimas de diseño se podrán limpiar con ácido, pintar con epóxico y colocar un ánodo de sacrificio para evitar la corrosión del Pin.



Fig. Nº 1.- Desconchado del concreto a causa de acero corroído - corrosión electroquímica del fierro - corrugado de los cimientos de algunas Sub-Estaciones (Marcona, Paramonga) y líneas de transmisión (Lima - Pisco).



Fig. Nº 2.- Fuerte corrosión electrolítica en los componentes de los seccionadores de la Sub-Estación San Juan.



Fig. Nº 3.- Prueba de magnetita ($F_3 O_4$) en arena (Polvo de mineral de hierro) / S.E. San Nicolás - MARCONA



Fig. Nº 4.- Pieza de acoplamiento, corrosión electrolítica por fuga de corriente de los transformadores de tensión.



Fig. Nº 5.- Corrosión galvánica de los radiadores de los transformadores de la S.E. San Nicolás por niebla salina, polvo de mineral, SO₂, etc.



Fig. Nº 6.- Corrosión electrolítica en un equipo de la S.E. San Juan. Canal de tubo de aire a presión - Interruptor 220 kV.



Fig. Nº 7.- Estructura de Acero DIN-17100, St - 52-3 de la alta resistencia galvanizado, muestra un deterioro elevado por corrosión con perforaciones del material debido a la contaminación del ambiente. L.T. Lima - Pisco.

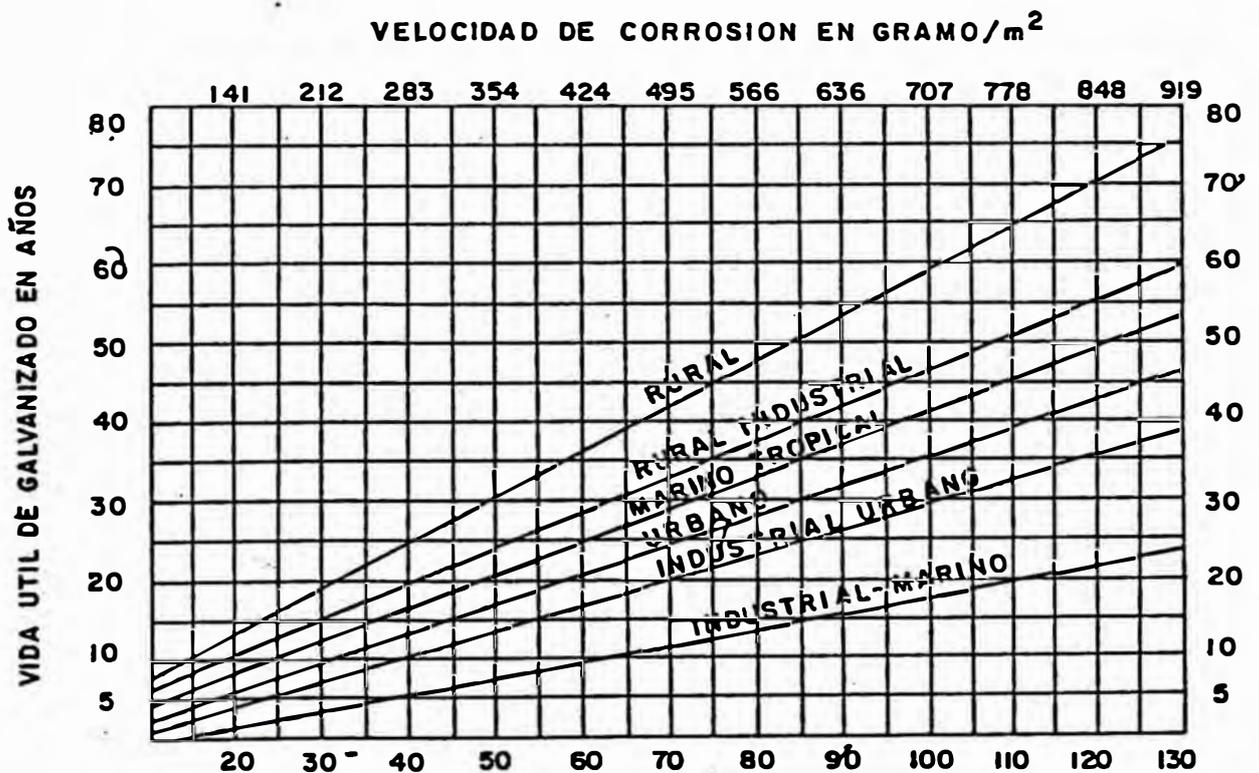


Fig. Nº 8.- Estructura de Acero corten-galvanizado- No hay corrosión de acero digna de mencionarse debajo de la capa de zinc. L.T. Lima - Chimbote.

CLASIFICACION DE LAS ATMOSFERAS	ZONA CORROSIVA	AGENTES CORROSIVOS	
MARINO TROPICAL	Costa Peruana, Longitud Oeste de 70° a 81° Latitud Sur 3° a 16°	% de Niebla Salina % de Deflación	En la Costa Peruana por estar en una zona Tropical-Húmeda, existe mucha niebla salina; debido a la evaporación del agua salada del mar (el tiempo de vida de las estructuras cercanas al mar aproximadamente es de 10 a 15 años) el 60% de nuestras líneas recorren entre 1 a 30 Km de distancia al mar con una antigüedad entre 6 a 15 años. Presentándose en algunas zonas cercanas al mar problemas de corrosión, disminuyendo a medida que la L.T. se aleja del mar.
URBANO-INDUSTRIAL (INDUSTRIAL MODERADO)	Ciudades de la Costa Peruana	% de Monóxido de C. % de Anhídrido Sulfúrico % de Sulfato de Amonio % de Niebla Salina	Otra condición para la corrosión, es que el 70% de nuestra industria Nacional se encuentra en las principales ciudades de la Costa Peruana, cuyos desechos contaminan las atmósferas creándose los microclimas corrosivos, que deterioran fuertemente las estructuras, equipos del Sistema Interconectado Centro Norte.
RURAL	Sierra Peruana	% de Humedad y % de Rayos Ultravioletas	Nuestras LL.TT. también corren las áreas rurales ubicadas entre 3,000 a 4,500 m.s.n.m. de la Cordillera Andina identificándose como la zona menos corrosiva, debido a su baja humedad, altos gradientes de T° y con precipitaciones pluviales durante todo el año. El tiempo de vida de las estructuras galvanizadas se calcula entre 40 y 50 años de vida. (Ver Cuadro No 4).
INDUSTRIAL-MARINO (INDUSTRIAL-PESADO)	CHIMBOTE Longitud Oeste 78° a 79° Latitud Sur 9° a 10° MARCONA Longitud Oeste 78° a 79° Latitud Sur 15° a 12°	% de Niebla Salina % de Anhídrido Sulfúrico % de Polvo de Hierro % Deflación	Estas dos zonas tienen las mismas condiciones de contaminación ambiental. En una existe una Siderúrgica y en la otra una Planta de Peletización de Hierro donde los desechos industriales y contaminantes marinos, afectan a las estructuras metálicas. En la zona de Marcona el viento adquiere velocidades de más de 15 m/seg., originando un fuerte desgaste y erosión de las estructuras metálicas. Se cataloga como las zonas más agresivas, donde el tiempo de vida de las estructuras galvanizadas de las LL.TT. del SICH se calcula entre 8 a 12 años.
RURAL-INDUSTRIAL	LA OROYA Longitud Oeste 75° a 76° Latitud Sur 11° a 12°	% de Anhídrido Sulfúrico % de Hidruro Sulfuroso	Esta zona por estar ubicada entre 3,200 a 3,500 m.s.n.m. y dadas las condiciones del clima natural mencionado anteriormente, debería existir muy poca corrosión, pero el ambiente se contamina por los desechos gaseosos que emanan las plantas de refinación de minerales de la Cia. Minera del Centro del Perú. El radio de acción de estos gases es de unos 30 Km., los agentes corrosivos principales son el anhídrido e hidruro sulfuroso (SO_2 y H_2S) los que al ser atrapados por las nubes forman ácido sulfúrico y precipitan en la llamada lluvia ácida. Al depositarse sobre las superficies de estructuras galvanizadas las corroen, formando una película de óxido ferroso muy fina e impermeable; dicha capa disminuye la velocidad de corrosión. El tiempo de vida de estas estructuras se calcula entre los 30 a 40 años.

do; la peor combinación es la Industrial-Marino-Urbana; donde los agentes corrosivos actuarán con una mayor concentración. Aparte de lo mencionado pueden ocurrir diferentes condiciones atmosféricas denominado Micro-Climas, el cual dependerá específicamente de la zona y del agente corrosivo predominante.

En el Cuadro No 3 mencionamos la ubicación de los agentes corrosivos del SICN, de acuerdo a las diferentes atmósferas por la que atraviesan las LL.TT y en el Cuadro No 4 hacemos una comparación aproximada de la velocidad de corrosión de una estructura galvanizada vs. tiempo de las L.T. para diferentes atmósferas.



Cuadro No 4

6.8 Evaluación de los Trabajos de Reparación

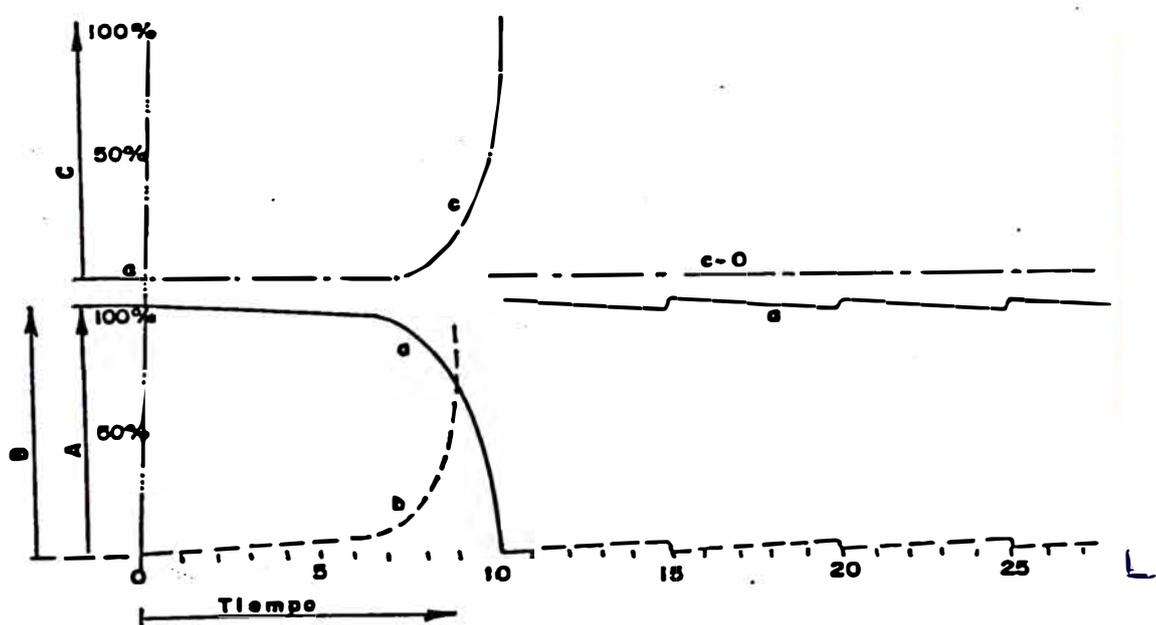
Se puede decir, que los trabajos de mantenimiento para la protección contra la corrosión deben iniciarse inmediatamente después de la fa-

bricación y puesta en práctica de las medidas de construcción, ya que la corrosión, es decir el ataque del ambiente corrosivo se inicia inmediatamente.

En el esquema, que aparece a continuación, se indica en forma esquemática las relaciones, entre los intervalos de tiempo y los gastos que se ocasionan para el cuidado y mantenimiento de las instalaciones.

Diagrama Esquemático de las Relaciones

Entre los Intervalos de Mantenimiento y los Costos



a.A Eficacia de Protección

b.B Costos de mantenimiento para el restablecimiento del 100 % de eficacia de protección.

c.C Costos adicionales para la reparación o recambio de partes dañadas

La parte de la izquierda muestra, que los gastos para la renovación de la protección anticorrosiva en un determinado punto desciende de un salto. Adicionalmente aparecen los gastos para la reparación o cambio de partes de la instalación fuertemente corroidas.

En la parte derecha del diagrama se aprecia claramente, que una renovación a tiempo de la protección anticorrosiva está ligada a costos relativamente bajos.

Renovación a Corto Plazo y Reparación

- a). Radiadores de los transformadores en San Nicolás.
- b). Prever los nuevos tramos de torres Chiclayo - Piura con Sistema Duplo.
- c). Revisar los radiadores de los transformadores en las otras Sub-Estaciones y mejorar la pintura.

Se ha escogido este orden, ya que por un lado los radiadores de los transformadores en San Nicolás están fuertemente oxidados. El estado - corresponde al intervalo de tiempo 8 - 9 del diagrama.

Con la aplicación de pintura de los nuevos tramos de los postes durante la fase de construcción se consigue un gasto menor y un significativo alargamiento del estado, y con ello disminuyen los costos para el mantenimiento de las instalaciones en el futuro.

Los radiadores de los transformadores "tipo Westinghouse" en las otras estaciones se encuentran en el estado 6 del diagrama. Debido a las chapas delgadas de los radiadores y a posibles orificios de corrosión, se debe contar la aparición de daños en los radiadores y habría que dar también primacía a la reparación.

Trabajos de Renovación a Mediano Plazo

La mayor parte de las instalaciones visitadas se encuentran en un estado, que corresponde al intervalo 4 - 6 del diagrama.

Ya que la duración de la protección anticorrosiva de los postes galvanizados es mayor a la protección por medio de la pintura, se debe por lo pronto renovar las partes pintadas de las instalaciones en las subestaciones y cada una de las zonas especialmente en peligro de las líneas de transmisión y al mismo tiempo las uniones de los tornillos de los postes.

Trabajos de Renovación a Largo Plazo

Aquí se comprenden los postes de las líneas de transmisión.

Ya que también el zinc se oxida y reduce en cualquier instante, se logra un momento en que la superficie de acero comienza a oxidarse. En este punto (Aproxi. estado 7 - 8 del diagrama), la corrosión solamente

puede ser eliminada con un fuerte desembolso. La siguiente capa que debe ser aplicada en el sitio, bajo condiciones desfavorables, no logra la calidad de un galvanizado. A consecuencia de ello, los intervalos de renovación son más cortos.

Una aplicación de pintura a tiempo de las áreas galvanizadas, da origen por la limpieza de las áreas, a costos más elevados, que en superficies nuevamente galvanizadas, pero prolonga la duración, es decir - los intervalos de renovación en una medida considerable.

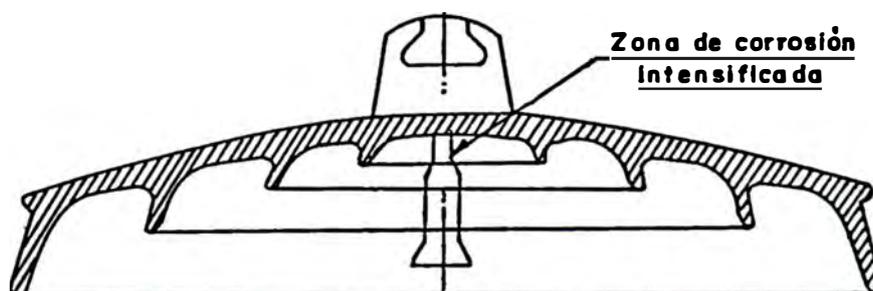
6.9 El Manual de Mantenimiento - Ejemplos Prácticos

La elaboración del manual tiene como objetivo principal servir de ayuda al personal encargado del cuidado y mantenimiento de las instalaciones y se relaciona fundamentalmente con las circunstancias que se presentan en las instalaciones y los tramos de las líneas de transmisión, primero, reconociendo los procesos de corrosión y luego tomando las medidas de prevención necesarias. A continuación se detallan ejemplos prácticos que se presentan en dicho manual, de los casos más frecuentes de deterioro de los componentes de la infraestructura eléctrica.

EJEMPLO PRACTICO Nº 1.- CORROSION DE LAS PARTES METALICAS DE AISLADORES ANTIFOG DE LA NGK

Problema:

Los aisladores NGK-Antifog de la línea de transmisión Lima-Pisco, en el transcurso de los años ha venido desarrollando una seria degradación de las partes metálicas (Pin y Caperuza); siendo lo más peligroso el adelgazamiento del pin (en la zona Acero/Cerámica), debido a que pierde su capacidad mecánica con respecto al tiro de los conductores; lo cual puede originar la caída de las cadenas de aisladores con la respectiva salida de servicio del sistema.



CAUSA:

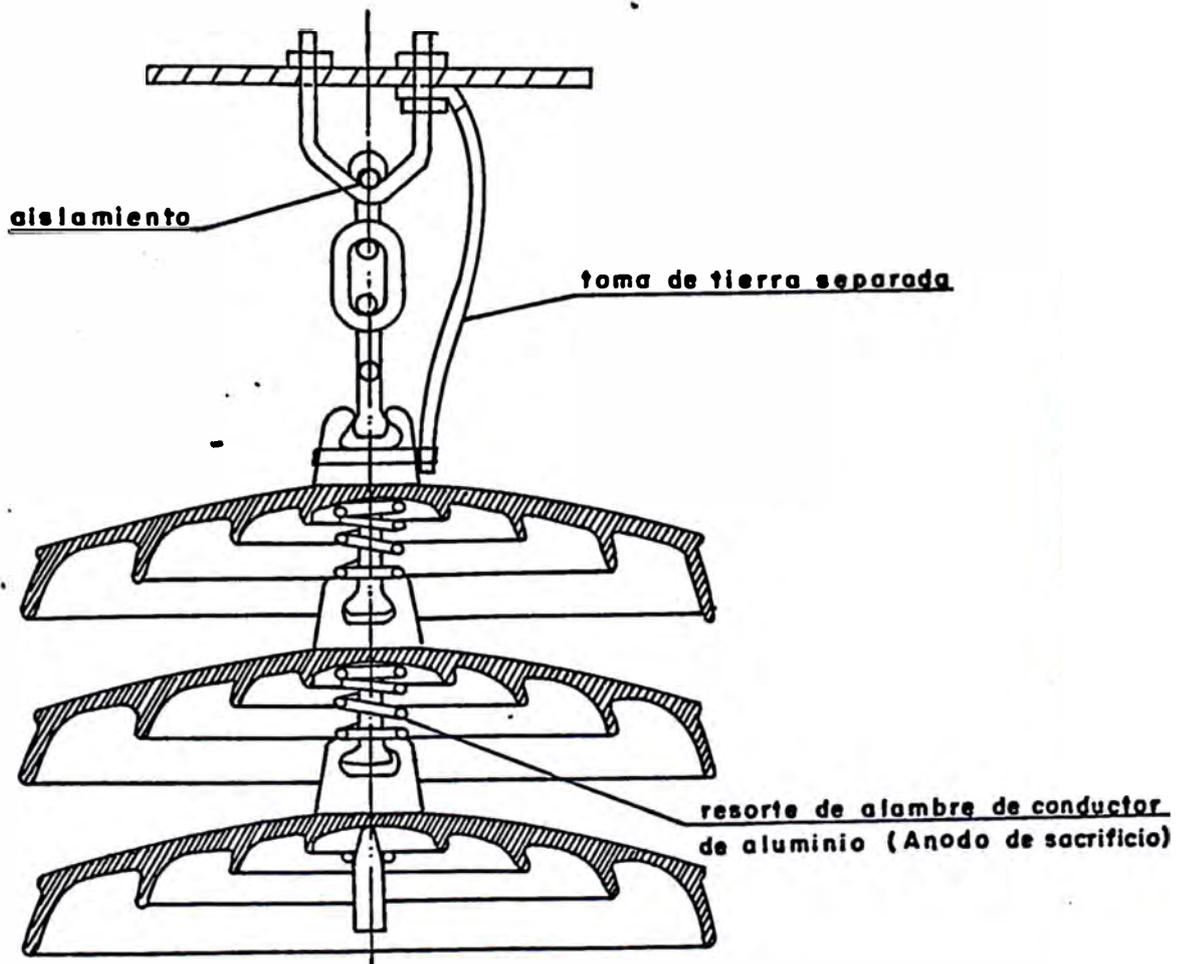
Los aisladores actúan como un condensador debido al ensuciamiento de la superficie aislante con agentes contaminantes como el polvo cristalinos de sal, óxidos de acero y humedad. Donde la corriente eléctrica alterna de fuga se polariza (corriente de fuga polarizada), es conducida y recolectada del lado de tensión a través de la superficie hasta los elementos de unión del aislante donde descarga en forma de chispas.

A una mayor contaminación y humedad la descarga eléctrica aumenta produciéndose una corrosión electrolítica de las partes del metal. Los factores, como oxidación por ozono, oxidación por aereación diferencial; forman parte del mecanismo de corrosión del pin.

Las reacciones forman herrumbre (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4) del tipo corteza de árbol.

Propuesta para la Reparación

Según un estudio japonés sobre este problema, debe colocarse un ánodo



Cadena de Aisladores con ánodo de sacrificio (resorte).

de sacrificio, que impida la corrosión electrolítica en los elementos nuevos en esta zona.

En el presente caso, adicionalmente a la protección anticorrosiva de las partes del metal, practicada por medio de fosfatización y pintura de resinas epóxicas; se puede cambiar la descarga a sectores inofensivos tal como se muestra en la figura anterior.

Además se puede pensar en colocar una bocina sobre los pernos de sujeción y verter en los orificios zinc líquido.

EJEMPLO PRACTICO Nº 2.- CORROSION DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO GALVANIZADO

Problema:

Los perfiles galvanizados en caliente presenta sobre su superficie el almacenamiento de productos de corrosión de zinc, arena y cristales - de sal.

La capa de protección de zinc metálico todavía tiene suficiente espesor, para seguir protegiendo.

Los elementos de unión en el montaje mecánico, presentan una ligera corrosión del acero.

CAUSA:

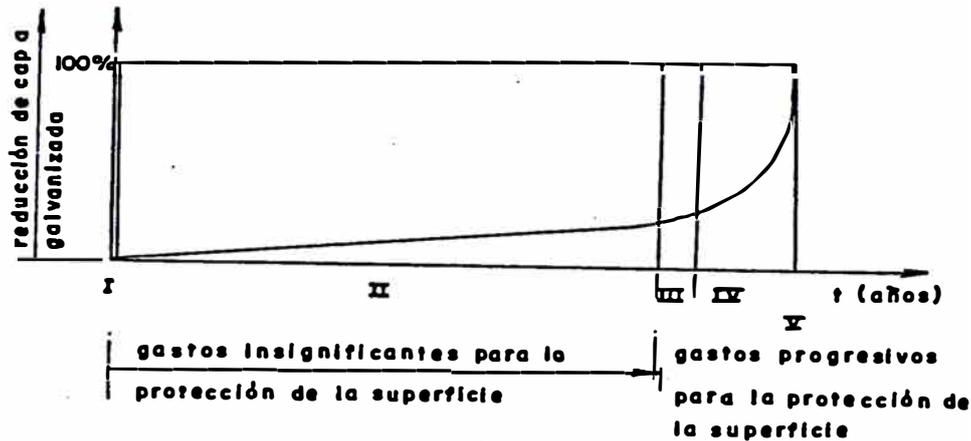
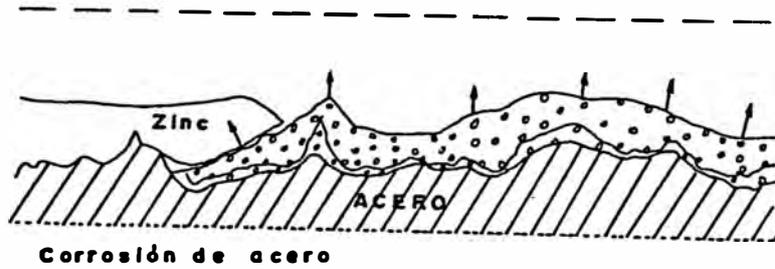
El zinc se oxida como cualquier otro metal. En comparación al acero el proceso es considerablemente más lento.

Parte del galvanizado en caliente de los tornillos y tuercas de las uniones, se dañan fácilmente al ser montadas. Peor aún cuando el galvanizado es electrolítico.

Propuesta de Solución:

Debido a las condiciones climáticas en la zona de la costa, es muy recomendable la capa de protección del galvanizado.

Los dibujos a continuación, indican en principio, la construcción de una capa de zinc y el mecanismo de corrosión.

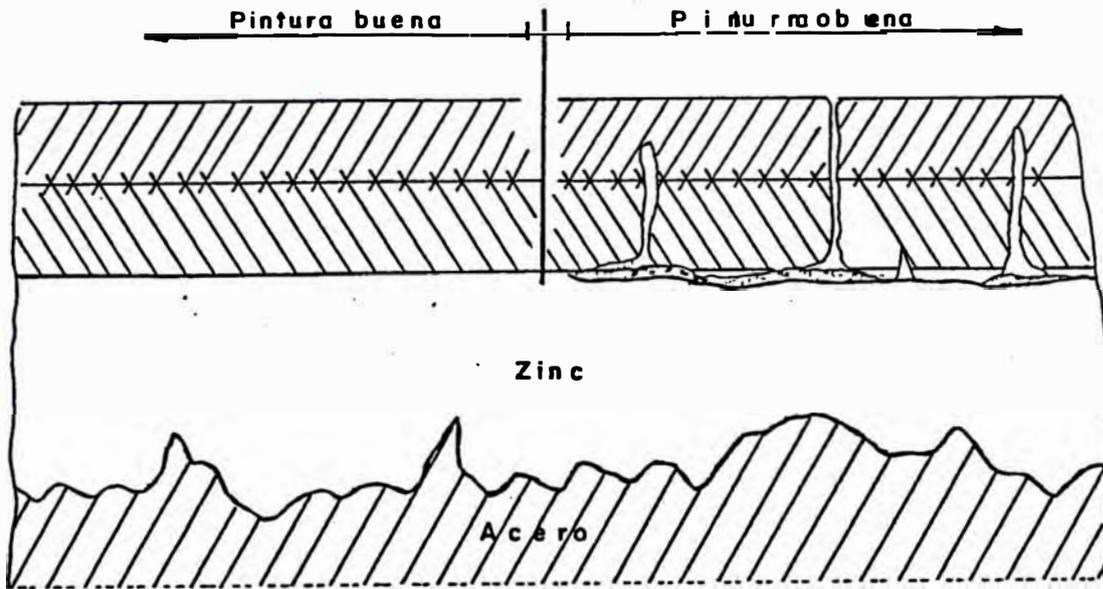


El estado Crítico III se logra después de 15 - 20 años. Después de ello el mantenimiento y cuidado de las instalaciones estarán sujetos a fuertes desembolsos. Se recomienda, limpiar siempre todas las estructuras de acero galvanizado y preverlas con dos capas de acrílico PVC o resina epóxica.

La reducción de las capas de pintura a base de zinc se desarrolla en forma similar como en la corrosión de l galvanizado en caliente, sin embargo, el mecanismo de corrosión, en la superficie límite pintura/zinc transcurre más lentamente que en la superficie pintura/acero y zinc/acero.

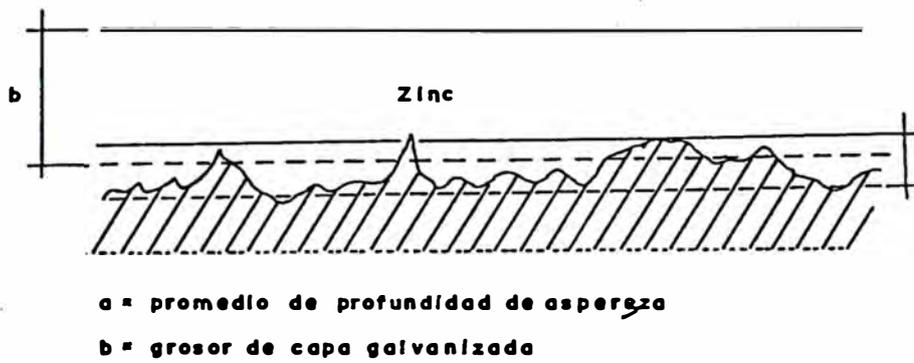
El efecto de protección de este Sistema Duplo, es mayor que el efecto de protección del sistema de galvanizado. Condición para ello es naturalmente una capa con una buena adherencia y libre de porosidades sobre una superficie limpia.

SISTEMA " DUPLO "

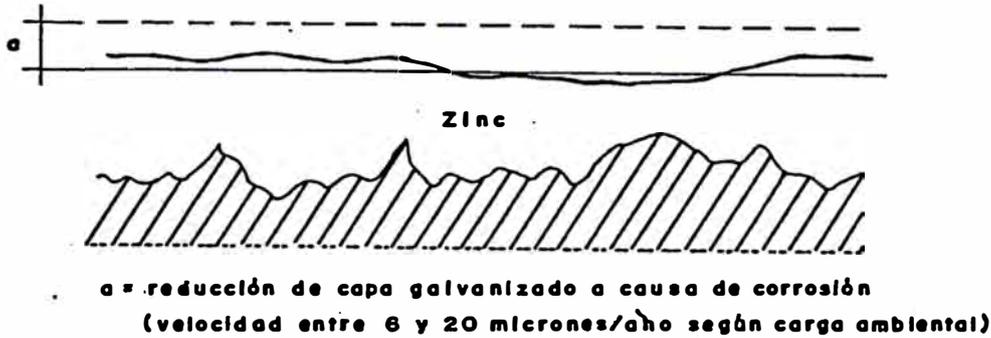


CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

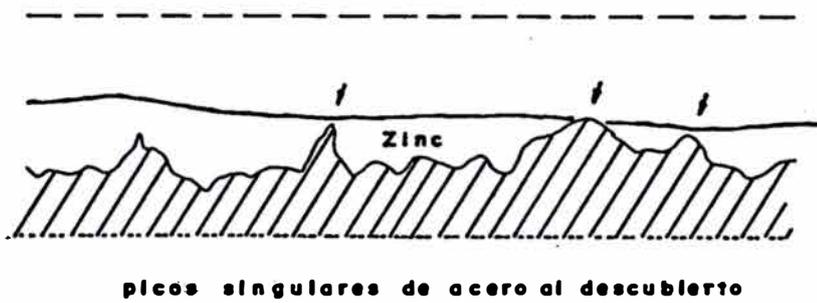
- a). *Se comprobaron fuertes corrosiones con altos índices de destrucción de las construcciones metálicas y de concreto, en determinadas zonas especialmente en los radiadores de la S.E. San Nicolás y en las torres de la L.T. Lima - Pisco. Aquí, se requiere la reparación inmediata de las partes de la instalación, a fin de evitar la paralización total y gastos innecesarios.*
- b). *La infraestructura restante puede ser cuidada con tranquilidad mediante un plan de mantenimiento especialmente elaborado.*
- c). *Las nuevas líneas proyectadas deben ser previstas con una buena base de protección anticorrosiva, adicional al galvanizado en caliente (Sistema duplex), mientras el gasto de limpieza y recubrimiento sea bajo.*
- d). *En general para la conservación de la infraestructura del sistema, deberán cumplirse con las siguientes actividades:*
 - *Observación y control constante de las instalaciones*
 - *Eliminar de las superficies la suciedad, depósitos de sal y pequeñas corrosiones.*
 - *Elección y aplicación de los métodos de protección en forma correcta.*



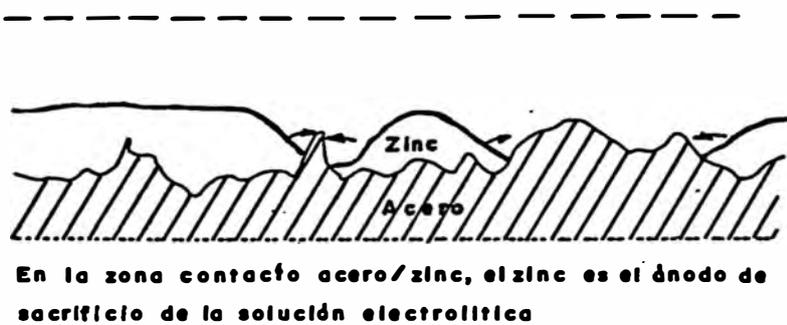
II Reducción de la Capa de Zinc por Corrosión



III Estado Crítico



IV. Reducción acelerada de Zinc y Corrosión



A N E X O

1.- OBJETO DEL TRABAJO

Los accesorios metálicos (pin y caperuza) de los aisladores son afectados por la corrosión, en la medida en que sean sometidos a condiciones ambientales severas. Particularmente la corrosión en el pin de los aisladores resulta ser un serio problema debido a la pérdida de su capacidad mecánica. Se ha experimentado este tipo de corrosión en las líneas costeras cercanas al mar y las zonas industriales.

De las inspecciones de campo, la información técnica consultada y algunos tests de laboratorio llevados a cabo se ha logrado explicar el mecanismo de corrosión de los pines; siendo la corrosión electrolítica debida a corrientes de fuga polarizadas la causa principal del deterioro de estos elementos.

Se han analizado las cargas que soportan los aisladores, en ensambles de suspensión y anclaje, con diversos grados de corrosión de pin; al comparar los resultados obtenidos de estas pruebas mecánicas con los valores mínimos requeridos en las especificaciones técnicas de la L.T. Lima-Pisco 220 kV, se observa que es posible recuperar los aisladores siempre y cuando el diámetro de pin - en la parte corroída supere los 12 mm.

La recuperación de los aisladores se basa en aislar la superficie del pin sometido a corrientes de fuga, mediante la aplicación de pinturas epóxicas; alternativamente, se está estudiando la colocación de un electrodo (ánodo) de sacrificio en esa zona.

2.- CARACTERISTICAS DEL SISTEMA

La infraestructura eléctrica nacional de las líneas de transmisión se encuentra conformada en un 95% de metales expuestos a la intemperie, recorriendo un gran porcentaje de extensas zonas costeras del territorio nacional con diferentes climas y topografías.

En el caso de la línea de transmisión a 220 kV Lima - Pisco, instalada por

ELECTROPERU en 1973 (veáse sus características técnicas en Cuadro I), fueron montados aisladores de porcelana antineblina NGK, CA-807 MD de 25,000 Lb. con pines de \varnothing 16.5 sin el respectivo manguito de zinc. En el transcurso de los años se ha venido desarrollando una seria degradación de los materiales metálicos de estas instalaciones, con diferentes grados de corrosión, siendo lo más peligroso el adelgazamiento del pin; esto ha resultado en la caída de 3 cadenas de aisladores por no soportar el tiro de los conductores, con el consiguiente corte del fluido eléctrico; fallas que pudieron ocasionar la pérdida de vidas humanas.

Se programaron las inspecciones respectivas, encontrándose que se han cambiado aproximadamente unos 6,000 aisladores, que multiplicados por un costo unitario de US\$ 35.00 resulta un desembolso de US\$ 210,000 aproximadamente, monto relativamente considerable.

De las inspecciones hechas se pudo establecer lo siguiente:

La corrosión de los pines en una cadena de aisladores no es igual en todos los aisladores siendo mayor en la unidad extrema de la cadena, cercana al conductor.

Los contaminantes principales en los lugares críticos son la sal, polvo de tierra, desechos industriales (gases, polvo de cemento, etc.) que mezclados con la humedad formarían electrolíticos poderosos.

A medida que se incrementan los contaminantes sobre los aisladores se incrementan las descargas (efluvios) a través de toda la cadena de aisladores.

La corrosión en la caperuza es uniforme y la del pin es localizada.

El adelgazamiento del pin se produce cerca al límite cemento aire, formando un producto de corrosión tipo corteza de árbol.

Estos hechos han llevado a la empresa a buscar un medio de frenar este deterioro iniciándose un estudio preliminar de recupero y conservación de aisladores con los pines afectados por la corrosión, de manera de reinstalarlos en la misma línea o en líneas de 60 kV con menores solicitaciones mecánicas.

Tabla Nº 1 Características L.T. 207 Lima-Pisco (220 kV)

Longitud	: 214.748 Km.
Nº de Torres	: 502
Aisladores/cadena	: 17 suspensión 18 anclaje
Tipo aisladores	: NGK, CA-807 MD, Antineblina, porcelana.
Vías de acceso	: 85% con acceso 15 % sin acceso
Naturaleza del terreno	: 20 % arenal 8 % tierra de cultivo 15 % rocoso con tierra árida 47 % tierra árida 10 % tierra aluvional
Humedad	: La humedad media máxima es de 91 % Hr. y la temperatura media máxima 15°C, en esta línea de transmisión se produce un humedecimiento general moderado.
Contaminación	: Presenta contaminación persistente por estrecho acercamiento al mar y por na- turaleza polvorienta del terreno (en determinadas zonas).
Tipo de conductor	: ACAR Ø 27.36 mm

1). MECANISMOS DE CORROSION DEL PIN EN LOS AISLADORES

La figura 1 muestra un ejemplo de aislador corroído en líneas AC



Fig. 1. Ejemplo de Pin Corroído en un Aisladora de la Línea Lima-Pisco.

La corrosión del pin, se estima que obedece a varias causas, entre ellas:

- a). Formación de la pila de concentración de oxígeno.
- b). Oxidación debido al ozono
- c). Corrosión electrolítica
- d). Otros factores.

1.1 Formación de la Pila de Concentración de Oxígeno

El pin se une al aislador mediante un cemento portland como se muestra en la figura 2.

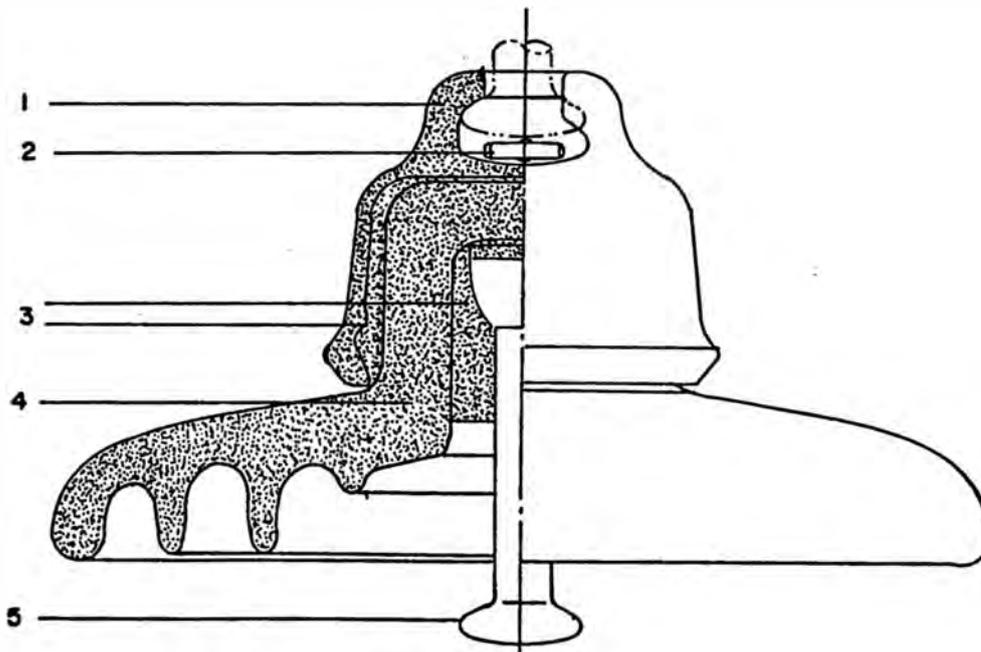


Fig. 2.- 1 Caperuza, 2 Pasador, 3 Cemento Portland, 4 Porcelana, 5 Pin.

El cemento por ser poroso absorbe humedad, por lo que en el límite aire cemento la concentración de oxígeno es mayor en la parte expuesta al aire que en la del cemento, formando una pila de concentración por aereación diferencial tal como se muestra en la figura 3, hecho que genera corrosión.

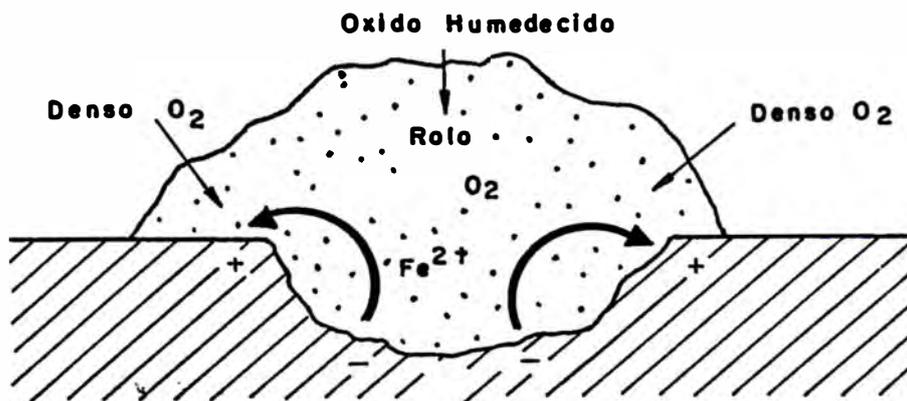


Fig. 3.- Pila de Concentración de Oxígeno en Óxido.

Según lo expuesto el pin debería corroerse dentro del cemento, pero de acuerdo a las inspecciones hechas se observa lo contrario, la parte del pin expuesto al aire se corroe con mayor frecuencia, perdiendo área de la sección transversal tal como se muestra en las figuras 1 y 4 por lo que este mecanismo no puede considerarse como la causa principal de la corrosión.

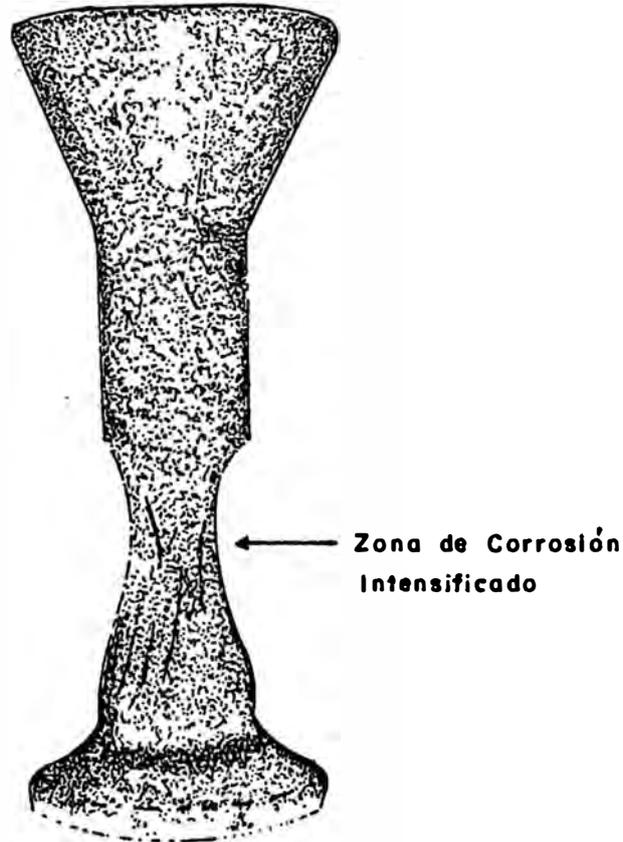


Fig. 4 Ejemplo de un Pin Desgastado

1.2 Oxidación por Ozono

Como los aisladores trabajan sometidos a tensiones eléctricas (220 kV), se producen descargas parciales (chisporroteos) alrededor del perno. Estas descargas parciales ionizan el oxígeno y forman ozono, el cual puede ser muy corrosivo dependiendo del nivel de intensidad en que se forme. Dichos niveles intensos de ozono pueden también conducir a la formación de ácido nítrico que aceleraría la corrosión siempre y cuando exista humedad (1). Según un estudio japonés, para determinar la fuerza oxidante del ozono se hicieron pruebas utilizando el equipo que se muestra en la figura 5

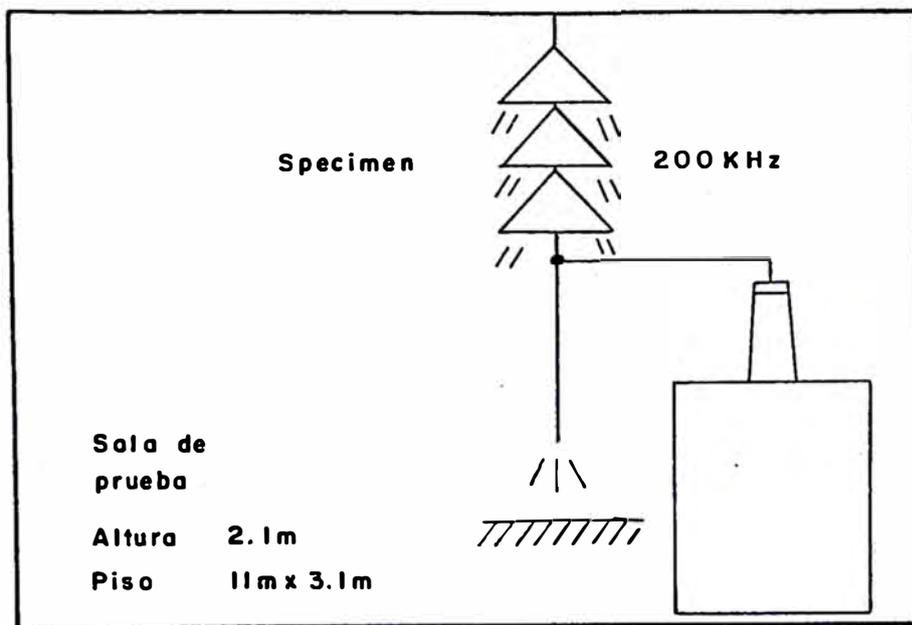


Fig. 5.- Prueba de Oxidación por Ozono.

En esta prueba se utilizaron cadenas compuestas de tres aisladores sujetos a intensas descargas parciales durante un año, al cabo del cual no mostraba una corrosión significativa del pin; de manera que no puede considerarse que dicha degradación haya sido causado solamente por los niveles del ozono, según se muestra en las figuras 1 y 4.

Cabe mencionar que dichas pruebas se realizaron 100 kV (1).

1.3 Corrosión Electrolítica

Las líneas de transmisión aérea a menudo atraviesan ambientes contaminados con sal, polvo de tierra, polución industrial (partículas/gases, etc.), las que al combinarse con la humedad forman electrolitos poderosos y si existe corriente en una sola dirección, se formaría una pila electrolítica tal como se muestra en la figura 6.

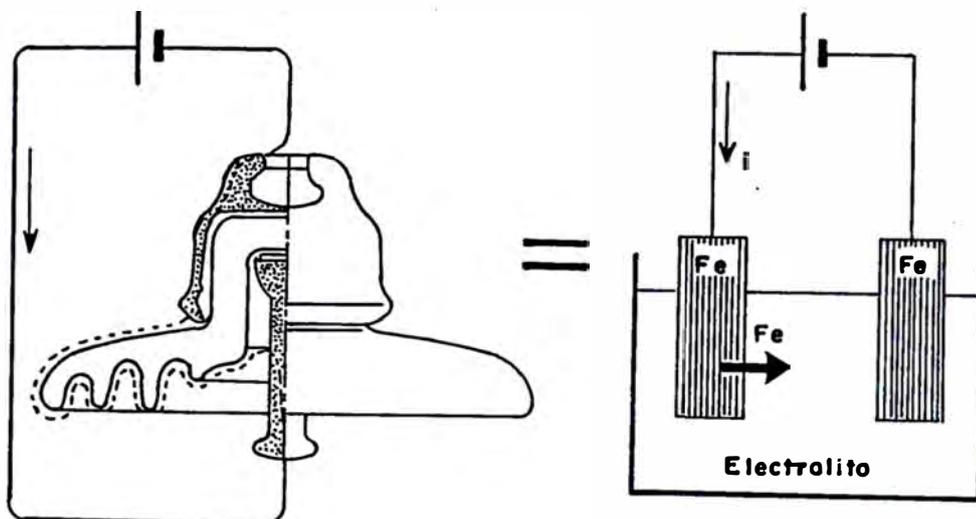


Fig. 6.- Principio de la Corrosión Electrolítica.

Como quiera que los sistemas eléctricos mayormente utilizados son de corriente alterna evidentemente no se podrían formar pilas electrolíticas, debido precisamente a la dirección alterna de la corriente de fuga.

Pero se sabe que las pruebas de contaminación artificial (2) realizadas en aisladores activados por un voltaje AC, la corriente de fuga no necesariamente es simétrica en un semiciclo positivo y negativo. A partir de estas pruebas, la corrosión electrolítica en los aisladores es confirmada por los japoneses (1) al colocar un pin en un electrolítico con cloruro de sodio, como muestra la figura 7.

Fuente de Corriente

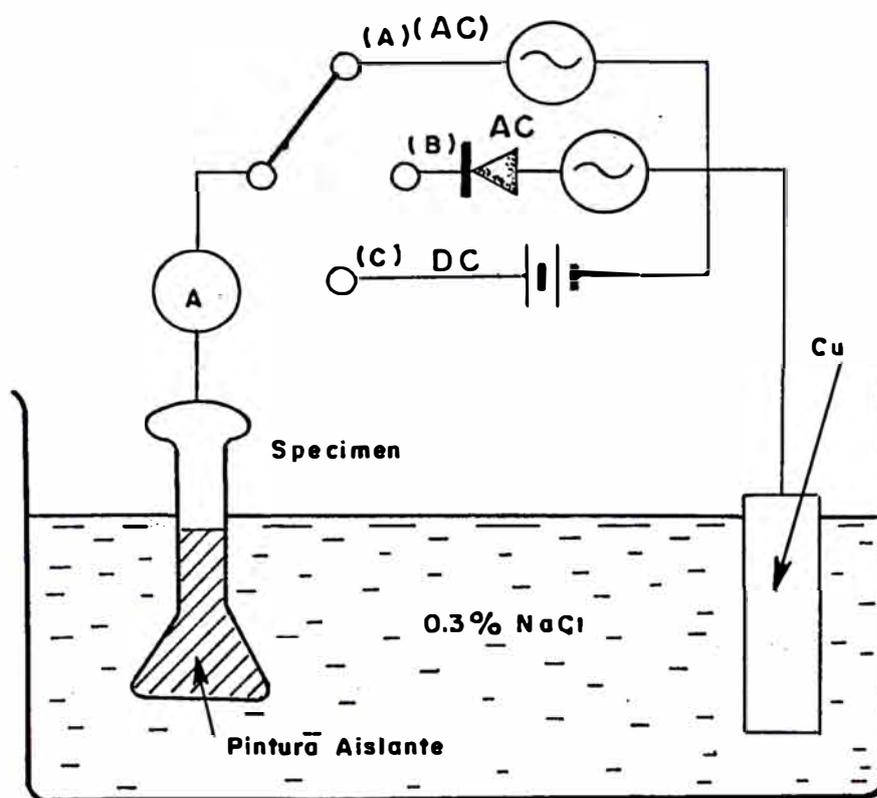


Fig. 7 Prueba de la Corrosión Electrolítica de un Pin.

Se emplearon tres clases de fuentes de corriente: AC, DC y AC de onda media rectificada. Los resultados de la prueba mostraron claramente que la DC y la AC de onda media rectificada corroían al pin, mientras que el perno que era activado mediante AC no se corroía del todo.

Estos resultados, dan por sentado que si una corriente tiene un compuesto de semiciclo positivo mayor que un compuesto negativo que fluye por la su

perficie del aislador, el perno sufrirá una corrosión electrolítica bajo la aplicación de un voltaje de AC.

1.4 Otros Factores

En las descargas parciales se producen chisporroteos constantes que elevan la T° , la cual hace más conductiva el electrolito aumentando la velocidad de corrosión (4).

Los materiales típicos del casquete aislante y del pin son hierro fundido y acero forjado, maleables/dúctiles respectivamente siendo ambos ferrosos, pero de diferente potencial. La reducción del área transversal del pin puede ser calculada a través de las leyes de electrólisis de Faraday.

$$W = I.T.Z.$$

$$W = \text{Peso del material que se disuelve}$$

$$I = \text{Corriente de fuga polarizada}$$

$$T = \text{Duración del flujo de corriente}$$

$$Z = \text{Equivalente electroquímico.}$$

La corrosión de la caperuza también es electrolítica pero no tan notoria, como en el caso del pin, esto, probablemente se deba a la diferencia de diámetro, diferencia resultante de la densidad de corriente aplicada, diferencia de materiales, etc.

En base a estas observaciones se estima que la corrosión electrolítica es la causa principal de la corrosión del pin, en aisladores activados mediante un voltaje de C.A. Asimismo, los factores tales como la oxidación del ozono y la formación de una pila de aereación local, aceleran la corrosión, formando productos de corrosión (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4) tipo corteza de árbol.

2.-CALCULO DEL DIAMETRO DEL PIN PERMISIBLE A LOS ESFUERZOS MECANICOS

2.1 Generalidades

Empleando el concepto de esfuerzos unitarios para el pin

$$\sigma = \frac{R}{A} \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$$

$$A = \frac{R}{\sigma} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Aplicando un factor de seguridad (F.S.) apropiado:

$$A = \frac{R}{\sqrt{\quad}} \text{ F.S.} - (a); \text{ tambien } A = \frac{\pi d^2}{4} - (b)$$

A = área del pin

igualando a y b se obtiene la fórmula:

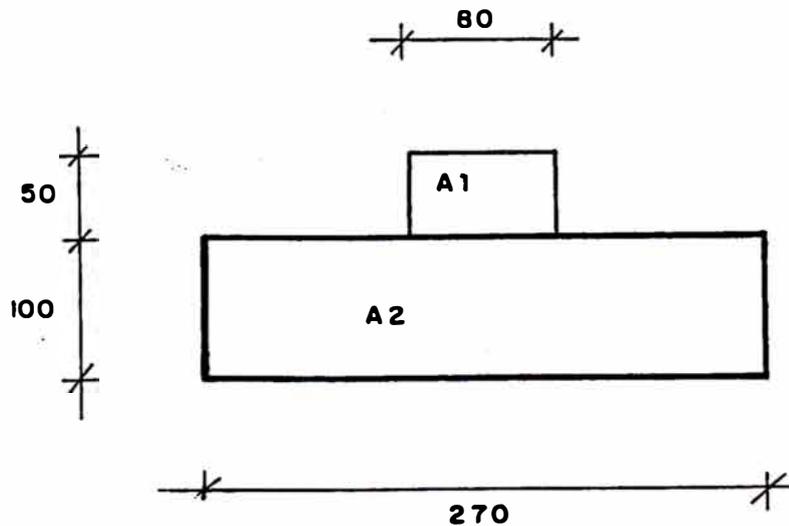
$$d = \sqrt{\frac{4R \times (F.S.)}{\pi \times \sqrt{\quad}}} \text{ --- (1)}$$

donde d , es el diámetro del pin y está en función de la resultante de fuerzas que actúan en una cadena de aisladores.

R es la carga que soporta los aisladores en una torre.

Para saber la carga resultante que soportan los aisladores se necesita hacer un análisis de esfuerzos (3) para lo cual se tendrá en cuenta los siguientes datos:

- Dimensiones de un aislador NGK (aproximado)



$$\text{Area transversal (A)} = A_1 + A_2$$

$$A = 310 \text{ mm}^2$$

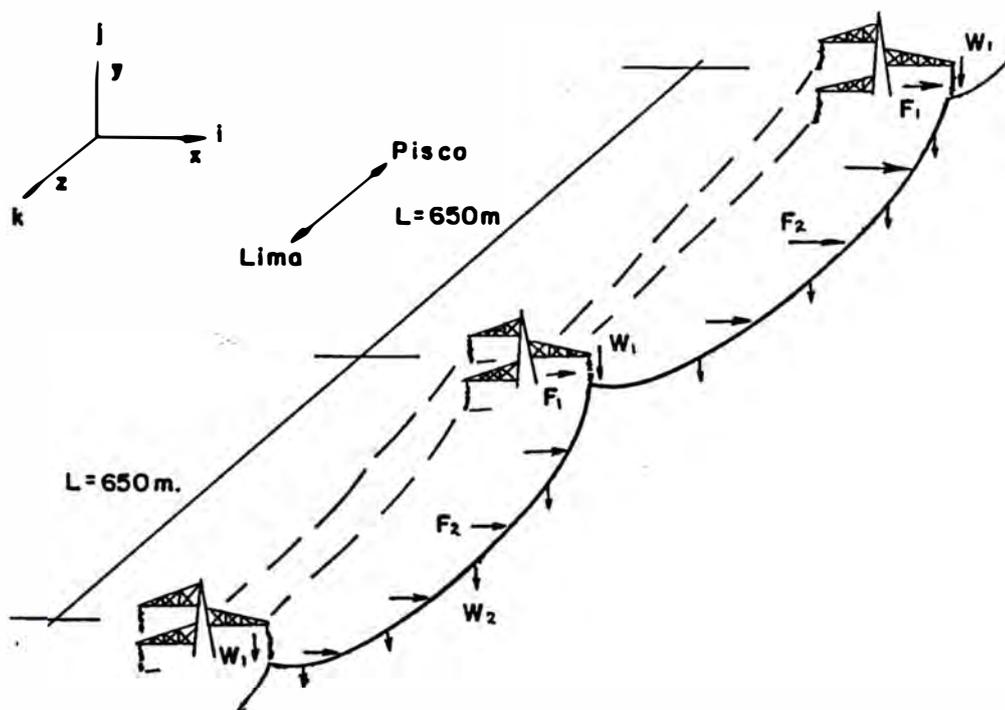
- Número de aisladores (n)

$n = 17$ para una cadena de suspensión

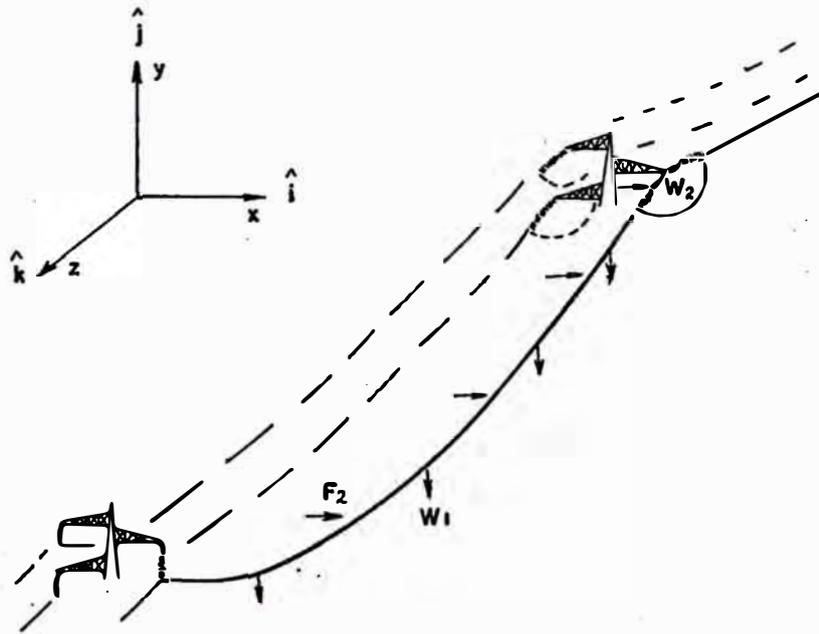
$n = 18$ para una cadena de anclaje

- Dimensiones del pin
 Longitud = 250 mm
 Diámetro (d) 16.5 mm
- Conductor ACAR
 Peso por unidad de longitud (w) = 1.24 kg. -f/m
 Diámetro del conductor (ϕ) = 2.736 cm.
- Esfuerzos en el pin de acero
 Límite de fluencia (σ) = 52 kg -f/mm²
- Presión del viento P = 6.3 gr/cm³ (para 120 Km/hr)

2.2 Análisis de Esfuerzo en una Cadena de Suspensión



- Donde :
- L = Vano promedio
 - F₁ = Fuerza del viento en un aislador
 - F₂ = Fuerza del viento sobre el conductor
 - W₁ = Peso del vano
 - W₂ = Peso de la cadena de aisladores



Donde : $T =$ tiro del conductor

2.3 Cálculo de la Fuerza Resultante

Para una cadena de suspensión:

$$R^2 = F_x^2 + F_y^2$$

$$\text{Donde : } F_x = F_1 + F_2$$

$$F_y = W_1 + W_2$$

$$R^2 = (F_1 + F_2)^2 + (W_1 + W_2)^2$$

$$F_1 = n PA$$

$$F_2 = PL\theta$$

$$W_1 = wL$$

$$W_2 = 158 \text{ kg -f}$$

$$R^2 = p^2 (nA + L\theta)^2 + (wL + 158)^2$$

Reemplazando valores

$$R_1 = 1500 \text{ kg -f}$$

Donde la carga máxima que soporta un aislador de suspensión es de 1500 kg -f.

Para una cadena de anclaje:

$$R^2 = F_x^2 + F_y^2 + F_z^2 ; \quad W_1 = \frac{wL}{2}$$

$$F_x = F_1 + F_2$$

$$F_y = W_1 + W_2$$

$$F_z = T$$

$$R^2 = (F_1 + F_2)^2 + T^2 + (W_1 + W_2)^2$$

$$\text{Donde : } T = \frac{w L^2}{8f}$$

$$R^2 = p^2 (nA + 1 \phi)^2 + \left(\frac{wL}{2} + 158\right)^2 + \left(\frac{L^2 w}{8f}\right)^2$$

Reemplazando valores:

$$R^2 = 2,380 \text{ kg} - f$$

Donde un aislador de anclaje soporta 2,380 kg -f

2.4 Cálculo del Diámetro Permisible

Con las fuerzas resultantes y aplicando la fórmula (1) se obtiene el gráfico d vs F.S.

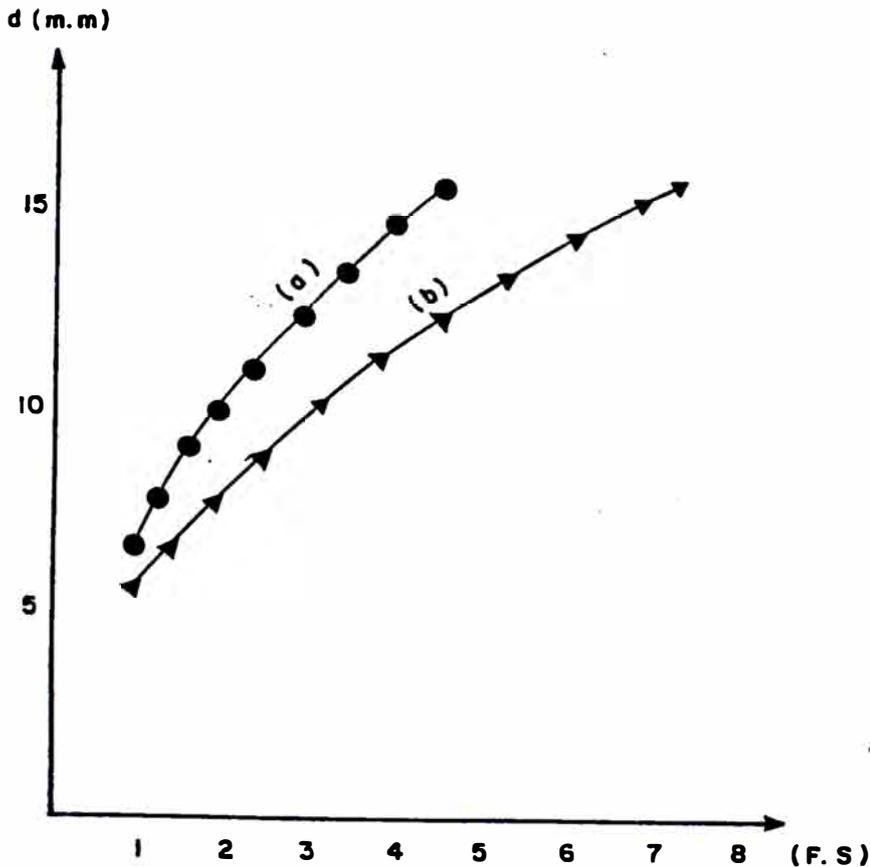


Gráfico 1. Resultado de los Cálculos
a- Suspensión, B- Anclaje

Donde, para us F.S. de 2.5 (especificado en los proyectos), un aislador en una cadena de suspensión puede llegar a tener un diámetro permisible de 9.5 mm y para una cadena de anclaje su diámetro permisible será de 12 mm.

3.- PRUEBAS DE LABORATORIO

Para determinar la fuerza máxima permisible real que puede soportar el aislador, se realizaron 20 ensayos de tracción, clasificados de la siguiente manera (*):

- a). 12 pruebas de tracción solamente al pin; para verificar la fuerza permisible que soporta este tipo de acero de alta resistencia.
- b). 4 pruebas de tracción al conjunto pin-caperuza, para verificar la fuerza permisible que soporta el conjunto con el resultado que la rotura se presenta en la zona corroída del pin.
- c). 4 pruebas de tracción, para el aislador recuperado.

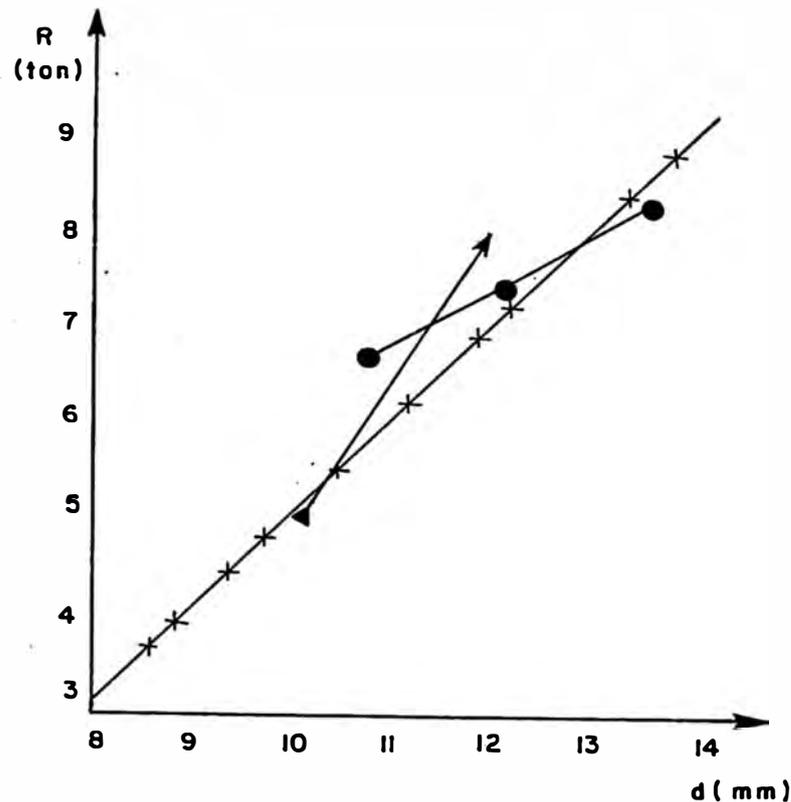
Los aisladores para las pruebas de tracción fueron seleccionados aleatoriamente de un lote de 2,500 aisladores corroídos. Los diámetros de los pines variaron entre 8.5 a 14.3 mm (ver foto), probetas de pines ensayados) (5).

(*) Pruebas Laboratorio Mecánica - Pontificia Universidad Católica del Perú.



Foto 1.- Probetas de Pines Ensayados

Los resultados de las pruebas se muestran en el gráfico siguiente:



Fráfico 2. Resultado de las Pruebas a- Pin, b- Pin Caperuza, c- Aislador Recuperado

De donde:

Curva a.- Los pines con diámetro de 9.5 mm y 12 mm soportan aproximadamente 4,600 kg -f y 7,100 kg -f respectivamente, valores que están por encima de la carga resultante en una cadena de suspensión y anclaje.

Curva b El conjunto pin caperuza al igual que los aisladores recuperados y c.- soportan cargas con valores por encima de la carga resultante en una cadena de suspensión.

4.- MEDIDAS PARA COMBATIR LA CORROSION ELECTROLITICA

Para contrarrestar la corrosión electrolítica podemos enumerar, entre otras las siguientes medidas (4):

4.1 Disminución de la Corriente de Fuga en los Aisladores.-

Se puede reducir la corriente de fuga; pero, de acuerdo al diseño de L/T no es posible ya que variarían las distancias de aislamiento, segu

ridad, etc.

4.2 Utilización de un Material Resistente a la Corrosión.-

El acero inoxidable puede ser considerado como un material resistente a la corrosión y apropiado para un pin de aislador. Esta medida es aplicable en lugares de alto índice de corrosión, pues los costos son muy elevados.

4.3 Revestimiento Anticorrosivo.-

La corrosión del pin puede ser prevenida si se reviste a éste con una sustancia no metálica, de manera que la corriente de fuga fluya sobre el revestimiento no metálico. Esta medida es la más adecuada para nuestro caso, se ha probado dos tipos de pinturas, la epóxica y zinc inorgánico; previa fosfatización de la superficie del pin.

De acuerdo a las características técnicas y a la experiencia obtenida podemos decir lo siguiente:

La pintura inorgánica a base de alkil silicato con pigmentos de zinc podría ser una buena solución pues soporta temperaturas hasta 400 °C pero, por el momento es difícil de aplicarla en los aisladores debido a que se necesita arenar al metal blanco, lo cual es dificultoso en los aisladores.

La pintura a base de resinas epóxicas y poliamidas con pigmentos de zinc es fácil de aplicarla y la T° de trabajo está por los 300 °C; por el momento es la mejor solución para aislar el pin de la corriente de fuga.

Cabe aquí mencionar que es preferible aplicar una pintura no muy cara, y dar una buena aplicación, que una pintura cara y una mala aplicación.

4.4 Utilización de un Electrodo de Sacrificio.-

El pin puede ser protegido también contra la corrosión electrolítica colocando un electrodo de sacrificio alrededor del pin. Este electrodo debe estar hecho de un material galvanicamente positivo y presentar una diferencia de potencial mayor que la del hierro, gracias a ello puede proteger al pin de la corrosión mientras éste se sacrifica. En nuestro caso, pensamos colocar un resorte de aluminio entre los aisladores tal como se muestra en la figura 8, donde se lograría que la corriente de fuga fluya alrededor del electrodo de sacrificio.

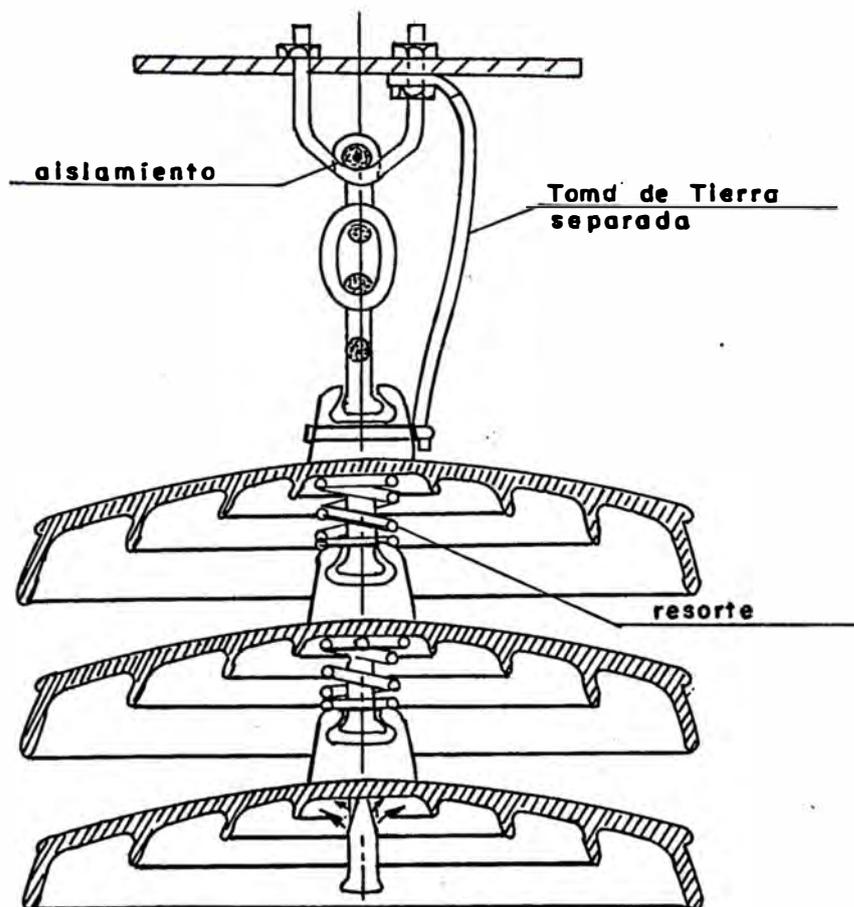


Fig. 8.- Cadena de Aisladores con Electrodo de Sacrificio (Resorte)

Además, se puede pensar en colocar una bocina de zinc sobre los pines y en los espacios que queden, vaciar zinc líquido.

De las cuatro medidas mencionadas se emplea la protección anticorrosiva de las partes del metal (pin y caperuza), practicada por medio de una fosfatización y pintura de resina epóxica; adicionalmente se piensa cambiar la descarga a sectores inofensivos (ánodo de sacrificio).

5.- RECUPERO DE AISLADORES

Después de la elección de la medida contra la corrosión los pasos a seguir para el recupero en los aisladores son los siguientes (4):

5.1 Selección de Aisladores a Recuperarse.-

De acuerdo con las pruebas mecánicas, previa remoción mecánica de la herrumbre se seleccionan los aisladores con diámetros de pin corroídos mayores a 12 mm (Foto 2)

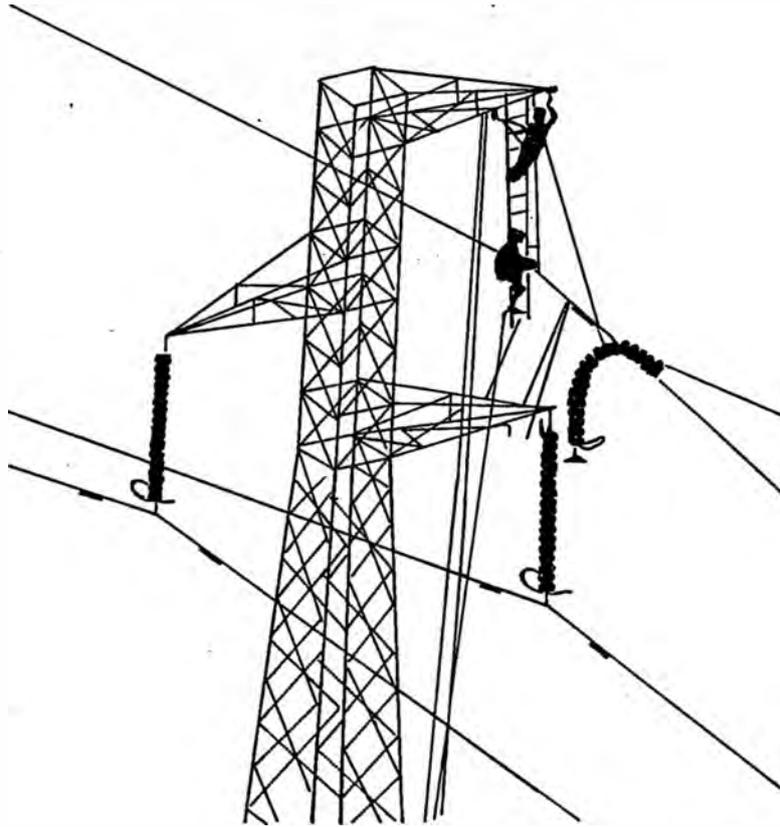


Foto 2.- Desmontaje Cadena de Aisladores

5.2 Preparación de Superficies Metálicas

Para eliminar la herrumbre del pin y la caperuza se empleó removedor de óxido a base de ácido fosfórico que entre otras funciones, pasiva la superficie metálica (fosfatización) y crea una superficie rugosa que sirve como anclaje a la pintura anticorrosiva (Fotos 3 y 4). Enjuagar con abundante agua (chorro).

5.3 Pintado del Pin y Caperuza

Una vez secas las partes metálicas (pin y caperuza) de los aisladores, se procede a aplicar la pintura epóxica con soplete y/o brocha hasta lograr un espesor de 6 Mils.



Foto 3.- Fosfatizado de un Aislador



Foto 4.- Aisladores (1) Corroído (2) Fosfatizado

CONCLUSIONES

La corrosión del pin es causada principalmente por la corrosión electrolítica debida a las corrientes de fuga polarizadas que se presenta en los aislamientos de sistemas eléctricos de C.A. Los aisladores son recuperables cuando el diámetro del pin sea superior a 12 mm.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- *"Pin Corrosion of Suspension Insulators", NGK Review Nº 4, Año 1980*
- 2.- *" Estudio de la Reducción del Aislamiento en la Infraestructura Costera del Sistema Mantaro a 220 kV".
ELECTROPERU-INIE - Ing. Justo Yanque M.*
- 3.- *" Diseño de Líneas de Transmisión Aérea a Altas Tensiones", AEP - Ing. Herman Untiveros A., Año 1983*
- 4.- *"Aisladores Corroídos tipo ANTIFOG L/T 207 ? 209 - 211", ELECTROPERU - Ing. Juan Quiñonez E., Año 1985*
- 5.- *"Análisis en Aisladores NGK ANTIFOG Corroídos L/T 207", ELECTROPERU - Ing. Alex Salazar M., Año 1985*

REFERENCIAS

- 1.- Este trabajo se inicia con el programa de "Diagnóstico de Corrosión Ferrosa y No Ferrosa en la Infraestructura Eléctrica en Alta Tensión de ELECTROPERU"; elaborada por el Ing. Justo Yanque, en el año 1983, a partir del cual se fueron desarrollando las actividades que se plantean en este trabajo.
- 2.- Posteriormente se tuvo la visita del experto alemán en corrosión Wolfgang Bohunke con quien se elaboró los siguientes trabajos:
 - a). Evaluación de la corrosión en las diferentes partes de las instalaciones y líneas de transmisión.
 - b). Manual Preliminar de Mantenimiento.
- 3.- También se hicieron una serie de pruebas de los materiales de la infraestructura eléctrica en la U.N.I. y la U. Católica para determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los perfiles, conductores, aisladores, etc.
- 4.- La Bibliografía técnica de materiales se obtuvo de:
 - 1º Manuales de especificaciones técnicas de los diferentes Líneas de Transmisión y Sub-Estaciones.
 - 2º Catálogos de la NGK, Chance, Marubeni, etc.
- 5.- La Bibliografía adicional que se tomó para el presente trabajo es el siguiente:
 - 1º Planeamiento y Estudio de la Corrosión en la Infraestructura Eléctrica . Alta Tensión Ing. Juan Quiñonez E.
 - 2º Los Problemas de Corrosión en la Infraestructura Eléctrica de Alta Tensión - Ing. Justo Yanque.
 - 3º Estudios Preliminares del Recupero de Aisladores Afectados por la Corrosión - Ings. J. Quiñonez y A. Salazar.
 - 4º Diversos datos sacados de la documentación de las áreas de generación, distribución y transmisión de Electroperú.