

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**“INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS COMPONENTES  
DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 220 kV”**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

**ISAAC VICENTE FLORES TINOCO**

LIMA – PERÚ

2012

**“INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LOS COMPONENTES  
DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN EN 220 kV”**

## **DEDICATORIA**

A mis queridos Padres Justino y Eugenia por todo el esfuerzo y dedicación que tuvieron en mi educación y la de mis hermanos.

A mis hermanos Moisés, Francisca, Miguel y Antonio, por su constante aliento, y en forma muy especial a Moisés por ser ejemplo de perseverancia y por su orientación en el desarrollo del presente trabajo.

A mamá Panchita quien desde el cielo ilumina el camino de todos nosotros sus hijos.

## RESUMEN

La transmisión de energía en alta tensión en el Perú, se inicia en el año 1972 con la puesta en servicio de Líneas de Transmisión en 220kV que evacúan la energía eléctrica de la Central Hidroeléctrica Mantaro, hoy denominada C.H. “Santiago Antúnez de Mayolo”.

Los sistemas de transmisión de alta tensión no nacen al momento de ser energizados, si no mucho antes, desde el trazado de sus rutas ya se está condicionando su posterior performance y ello está relacionada con la ubicación de los centros de generación eléctrica, como es el caso de la C.T. de Aguaytia ubicada en la selva peruana que suministra 200MW al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, SEIN y el punto de entrega de la energía o centros de consumo.

Las líneas de transmisión en alta tensión (AT), atraviesan grandes distancias desde los centros de generación ubicados en la vertiente oriental hasta los centros de consumo generalmente situados en la costa peruana y están sometidas a condiciones adversas del medio ambiente, condicionantes de los fenómenos de corrosión, que ocasiona el deterioro de sus componentes.

Por tal motivo se realizó el estudio de diagnóstico, y las propuestas para solucionar dicho problema, según el grado de criticidad, que hacían peligrar la confiabilidad de las Líneas de Transmisión 220kV, Aguaytia-Tingo María-Vizcarra-Paramonga y como consecuencia el riesgo de paralizar la C.T. Aguaytia que genera 200MW, no vender dicha potencia al mercado eléctrico peruano ocasionando fuertes daños económicos a la empresa Aguaytia Energy, hoy Termoselva, y que la confiabilidad del SEIN sea afectaba seriamente por la disminución del despacho de potencia que hace diariamente el COES.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>3</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO</b>	
1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Alcances del estudio .....	3
1.3 Descripción de la L.T 220kV Aguaytía – Paramonga.....	4
1.4 Área de influencia .....	4
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Descripción de la corrosión.....	6
2.2 La corrosión como ciencia interdisciplinaria .....	8
2.3 Efectos de la corrosión.....	9
2.4 Tipos de corrosión .....	11
2.5 Factores aceleradores de la velocidad de la corrosión .....	22
2.6 Confiabilidad de un Sistema Transmisión .....	28
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>32</b>
<b>MÉTODOS DE CONTROL DE LA CORROSIÓN</b>	
3.1 Metales de alto grado de pureza .....	32
3.2 Uso de aleantes .....	32
3.3 Tratamientos térmicos.....	33
3.4 Diseño adecuado .....	34
3.5 Inhibidores .....	35
3.6 Revestimientos superficiales.....	36
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>38</b>
<b>DETERMINACION DEL PLAN DE EVALUACION</b>	
4.1 Definición de grados de contaminación y de niveles de corrosión.....	38
4.2 Evaluación de conductores .....	39

4.3	Evaluación de aisladores .....	40
4.4	Evaluación de fundación de torres.....	42
4.5	Elaboración de matriz de riesgo .....	43
<b>CAPITULO V.....</b>		<b>48</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO</b>		
5.1	Metodología y procedimiento .....	48
5.2	Conformación estructural de la fundación .....	50
5.3	Torres con corrosión nivel $\geq 3$ .....	52
5.4	Sectores con posible existencia de corrosión en parrilla .....	52
<b>CAPÍTULO VI .....</b>		<b>54</b>
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>		
6.1	Inspección preliminar.....	54
6.2	Inspección en detalle con excavaciones .....	56
6.3	Acciones correctivas .....	58
6.4	Costos de las medidas correctivas .....	58
6.5	Recomendaciones de inspección en detalle con excavación .....	60
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>61</b>
<b>TABLAS</b>		
Tabla N° 1.1 Línea LT 220 kV Aguaytia-Tingo Maria - Vizcarra –Paramonga.....		4
Tabla N° 2.1 Ejemplo de serie galvánica en agua de mar (medio referencial).....		16
Tabla N° 2.2 Resumen de tipos de corrosión.....		21
Tabla N° 2.3 Velocidad relativa de la corrosión en HCl del Aluminio. con diferentes Grados de pureza.....		27
Tabla N° 3.1 Algunos aleantes que aumentan la resistencia a la corrosión por Picadura de los aceros inoxidable.....		33
Tabla N° 4.1 Niveles de corrosión sistema de clasificación utilizado en el programa de inspección torre.....		39
Tabla N° 4.2 Esperanza de vida de los componentes de la línea de transmisión en años...		44
Tabla N° 4.3 Matriz de Análisis y Evaluación de Riesgos.....		45
Tabla N° 4.4 Matriz de Análisis y Evaluación de Riesgos.....		46
Tabla N° 4.5 Panorama de Riesgos.....		47
Tabla N° 5.1 Torres inspeccionadas .....		49
Tabla N° 5.2 Torres seleccionadas para la excavación.....		50

Tabla N° 5.3 Torres con nivel de corrosión 3.....	52
Tabla N° 5.4 Sectores con posible existencia de corrosión en parrilla 3 .....	52
Tabla N° 6.1 Resumen de niveles de corrosión.....	54
Tabla N° 6.2 Torres intervenidas con excavación hasta la parrilla.....	56
Tabla N° 6.3 Torres intervenidas con excavación hasta la parrilla.....	57
Tabla N° 6.4 Torres intervenidas con excavación hasta la parrilla.....	57
Tabla N° 6.5 Costos de actividades en una pata de la torre.....	58
Tabla N° 6.6 Análisis de costos en la línea L-2251 .....	59
Tabla N° 6.7 Análisis de costos en la línea L-2252.....	59
Tabla N° 6.8 Análisis de costos en la línea L-2253.....	59

## FIGURAS

Figura N° 1.1 Mapa del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).....	5
Figura N°2.1 Elementos del proceso corrosivo (cátodo, Ánodo. Conductor metálico y electrolito).....	8
Figura N° 2.2 Varios comportamientos típicos de la magnitud de la corrosión.....	10
Figura N° 2.3 Comportamiento de la velocidad de la corrosión.....	11
Figura N° 2.4 Proceso electroquímico básico.....	12
Figura N° 2.5 Ejemplo de corrosión atmosférica en una superficie metálica pintada expuesta a la intemperie por largo tiempo (años).....	13
Figura N° 2.6 Vertical corroído por corrosión líquida (mar o lago) y corrosión atmosférica (sobre la línea de flotación).....	14
Figura N° 2.7 Las tuberías instaladas en suelos están propensas a corrosión subterránea...15	
Figura N° 2.8 Ejemplo de corrosión de grietas o hendiduras.....	17
Figura N° 2.9 Ejemplo de corrosión por picaduras.....	18
Figura N°2.10 Esquema de formación de carburo de Cr. morfología del daño por corrosión.....	18
Figura N° 2.11 Ilustración del control por difusión y por activación como resultado de la agitación o velocidad relativa metal-electrolito.....	22
Figura N° 2.12 Efecto de la temperatura en la velocidad de corrosión electroquímica....	24
Figura N° 2.13 Efecto de la concentración del electrolito en la velocidad de corrosión de los metales.....	25
Figura N° 4.1 Corrosión de hebras del conductor.....	40
Figura N° 4.2 Corrosión de la Caperuza (campana) y el Pin.....	41

Figura N° 4.3 Corrosión en estructuras de acero.....	42
Figura N° 5.1 Conformación estructural de la fundación.....	51
Figura N° 6.1 Ilustración gráfica de resultados inspección L-2251.....	55
Figura N° 6.2 Ilustración gráfica de resultados inspección L-2252.....	55
Figura N° 6.3 Ilustración gráfica de resultados inspección L-2253.....	56

## **ANEXOS**

ANEXO N° 1: COMPONENTES DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

ANEXO N° 2: DETALLE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS LUEGO DE LA  
INSPECCIÓN

ANEXO N° 3: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO (Determinación de  
pH del suelo)

ANEXO N° 4: ILUSTRACIÓN FOTOGRÁFICA

## **BIBLIOGRAFÍA**



## **INTRODUCCIÓN**

Las líneas de transmisión en alta tensión en el Perú, transportan grandes bloques de potencia, que son generadas básicamente por centrales hidroeléctricas ubicadas en la vertiente central y oriental de la cordillera a distancias muy largas de los centros de consumo que están a lo largo de la costa peruana, también hay centrales térmicas a gas natural, como el caso de Aguaytía, que se encuentra instalada próximo al recurso gasífero en la provincia de Padre Abad, distrito de Aguaytía, del departamento de Ucayali, los centros de consumo están unidos a estos centros de generación mediante líneas de transmisión en alta tensión generalmente en 220 kV.

La falla de dichas líneas en alta tensión, por diversas causas, cómo: naturales, medio ambiente y terceras personas, repercuten en todo el sistema interconectado nacional ocasionando pérdidas económicas a la producción, a la paz social y daños a la imagen y economía de la empresa concesionaria de transmisión, por lo que se debe determinar las causas que derivan en el colapso de un soporte, el más frecuente, cadena de aislador y, el conductor de tal manera que se pueda evitar ó dar solución en el caso de producirse la falla.

### **OBJETIVO GENERAL**

El objetivo del presente Informe de Competencia Profesional es presentar una metodología de inspección y diagnóstico de la influencia de la corrosión en los componentes de la línea de transmisión y sus efectos en la confiabilidad del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, SEIN.

### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

Identificar que componente de la Línea de Transmisión es la que tiene mayor criticidad por efectos de la corrosión en la confiabilidad de la línea, mediante una inspección rigurosa de dicho componente, para proponer las acciones correctivas y evitar fallas de la línea de transmisión en alta tensión en operación, como es el caso de la I.T 220 kV Aguaytía, Paramonga y plantear recomendaciones técnicas para tomar en cuenta en la etapa de diseño y construcción de futuras líneas de transmisión en alta tensión.

Los alcances del presente estudio, comprende la inspección de los componentes de la línea, los que se han plasmado en las siguientes partes:

Capítulo Primero, se describe el ámbito donde se desarrolla el estudio.

Capitulo Segundo, se revisa el marco teórico que sustenta el desarrollo del estudio.

Capítulo Tercero, se describe la forma de evaluación de los componentes.

Capítulo Cuarto, se analiza los diversos métodos para controlar la corrosión.

Capitulo Quinto, se describe el trabajo y método empleado.

Capitulo Sexto, se muestra los resultados obtenidos.

Finalmente a modo de conclusión y recomendación se presentan los resultados finales a lo que se arriba en el presente Informe.

## **CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO**

### **1.1.- Antecedentes**

ETESELVA es la empresa propietaria de las líneas de transmisión LT-2251, LT-2252 y LT-2253, que comprende Aguaytía-Tingo María, Tingo María-Vizcarra y Vizcarra-Paramonga Nueva respectivamente, cuyo trazo, ejecución de la obra, montaje y puesta en servicio de la línea estuvo a cargo de la empresa ABB.

REP (Red de Energía del Perú), es la empresa encargada de la operación y mantenimiento de las líneas antes indicadas a partir de enero del 2003, entre sus atribuciones contractuales le corresponde proponer a la propietaria, ETESELVA, los mantenimientos correctivos que hay que ejecutar en los componentes de la línea, así como estudios para prever situaciones que comprometan la confiabilidad de las líneas de transmisión LT 220kV Aguaytía-Tingo María-Vizcarra-Paramonga.

REP, dentro del programa de proyectos aprobado por el propietario, consideró la elaboración de un diagnóstico para identificar las torres que presentan problemas de corrosión, contratando los servicios de la empresa C&M Engineering S.A.C. para la elaboración del diagnóstico de corrosión en fundaciones de las torres de las líneas de transmisión mencionadas anteriormente.

### **1.2.- Alcances del estudio**

Los alcances del estudio corresponden la evaluación del estado físico de los componentes y luego la inspección en detalle del componente que está con mayor gravedad sobre todo la estructura metálica, con la finalidad de tomar acciones preventivas para asegurar la confiabilidad de la línea.

Por tal motivo el estudio realizado comprende a:

- Conductores de la línea y el cable de guarda.
- Aisladores o sus accesorios de fijación a la ménsula y de sujeción del conductor.
- Perfiles estructurales de acero de las torres parte visible (exterior) y las fundaciones (stub y parrilla).

### 1.3.- Descripción de la L.T. 220 kV Aguaytia-Paramonga

La LT 220 kV Aguaytia-Tingo Maria, Tingo María-Vizcarra y Vizcarra-Paramonga, fue puesta en servicio en el año 1997 y tiene las siguientes características:

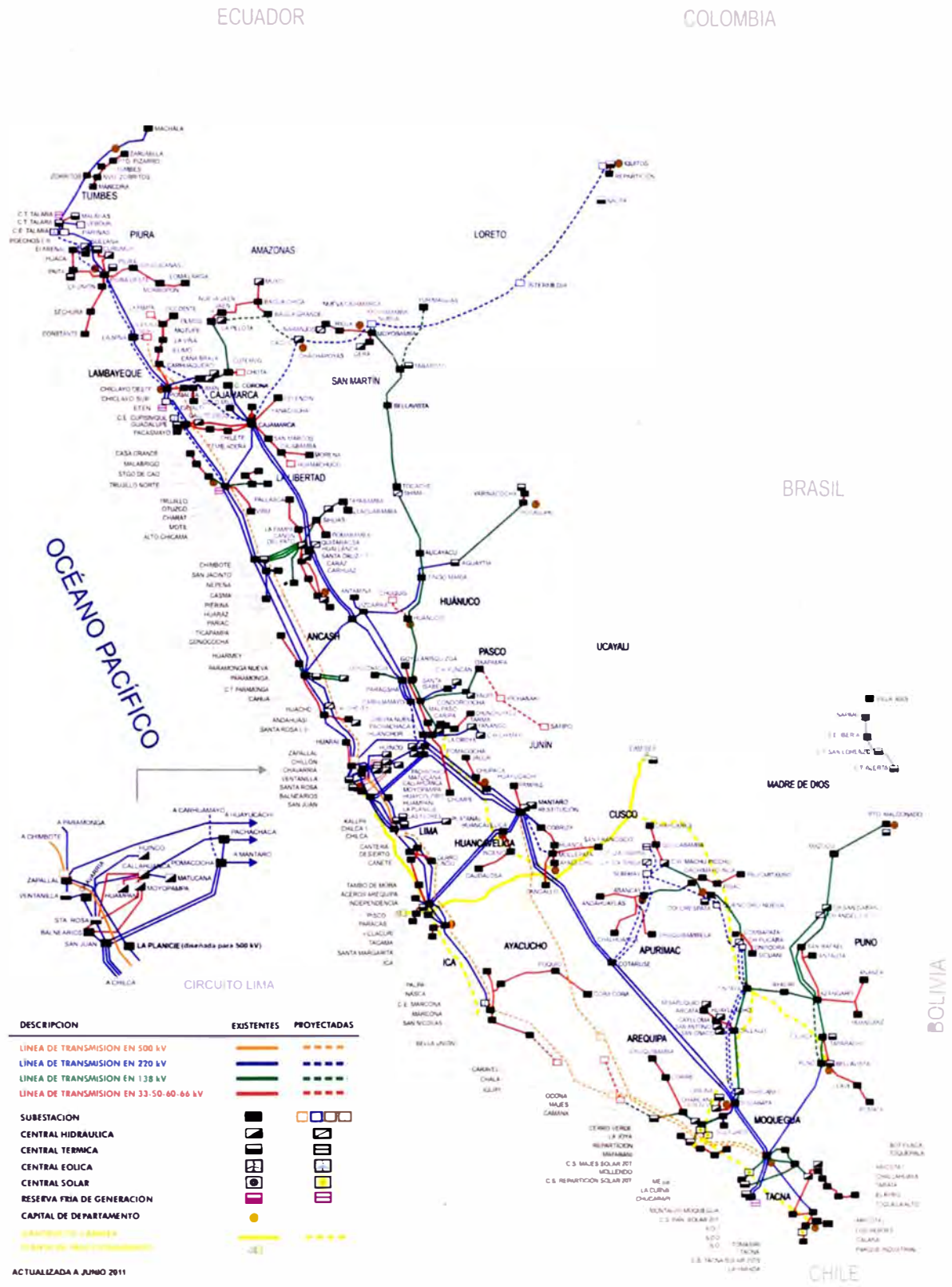
**Tabla N° 1.1.- Línea 220 kV Aguaytia-Tingo Maria-Vizcarra-Paramonga**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>AGUAYTIA TINGO MARIA</b>	<b>TINGO MARIA VIZCARRA</b>	<b>VIZCARRA PARAMONGA</b>
Número de la línea	2251	2252	2253
Año de puesta en servicio	1997	1997	1997
Longitud en Km	73,26	173,47	145,26
Material de la torre	Acero	Acero	Acero
Conductor (ACAR) mm <sup>2</sup>	591,5	591,5	591,5
Material de los aisladores	Vidrio	Vidrio	Vidrio
Total torres	158	336	338
Vano medio (m)	464	516	430

### 1.4.- Área de influencia

Las Líneas de transmisión en estudio comprenden el Departamento de Ucayali, donde se ubica la CT Aguaytía, luego pasa al Departamento de Huánuco a la SE Tingo María, en la que existe una interconexión con el sistema de transmisión 138 kV de Electrocentro SA, de allí continúa hacia el oeste llegando a la SE Vizcarra, ubicada en el Distrito de Huallanca, Provincia de Bolognesi- Departamento de Ancash, en este punto se realiza la interconexión en 220 kV con el Sistema de Transmisión de REP, y, finalmente la línea termina su recorrido en la SE Paramonga (REP) ubicada en el Distrito de Pativilca, Provincia de Barranca- Departamento de Lima.

Cómo podemos apreciar la línea atraviesa las tres regiones geográficas del Perú, costa, sierra y selva, cada cual con sus características y sus problemas específicos en la zona, cómo se puede apreciar en la ilustración siguiente:



Email: [promodge@minem.gob.pe](mailto:promodge@minem.gob.pe)

URL: <http://www.minem.gob.pe>

Figura N° 1.1.- Mapa del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN)

## **CAPÍTULO II MARCO TEORICO**

### **2.1.- Descripción de la corrosión**

Se entiende por corrosión al deterioro de las propiedades, tanto físicas, químicas y mecánicas de un metal o de sus aleaciones, como resultado de su interacción (Química o electroquímica) con el medio que lo rodea. La corrosión se produce dado que, todos los materiales metálicos tienen tendencia a volver a la condición en la cual se encontraban en la naturaleza; es decir, termodinámicamente hablando, a su estado estable (óxidos y sales). En la definición de la corrosión se hará énfasis en los siguientes aspectos:

#### **Destrucción de los metales y aleaciones**

Esta precisión es importante porque algunos investigadores incluyen en el término “corrosión” a la destrucción de otros materiales como el vidrio, cerámica, plásticos, cementos, entre otros, en su interacción con el medio. Ejemplo: El vidrio se destruye paulatinamente al estar en contacto con un álcali.

#### **Interacción del tipo químico o electroquímico**

Con esto se excluyen otros tipos de interacciones como la fricción de los metales, que trae consigo su ulterior desgaste, o la cavitación o erosión, casos que serán tomados en cuenta sólo como factores externos que aceleran el proceso corrosivo.

#### **Fenómeno indeseable**

Esta aclaratoria parece obvia, pero permite establecer algunas limitaciones del vocablo corrosión. Ejemplo: El hierro en contacto con vapor recalentado, se oxida con producción de hidrógeno. Desde el punto de vista de la destrucción de un equipo de hierro o acero al contacto con vapor, debe considerarse como un fenómeno de corrosión; en cambio, desde el punto de vista de producción industrial de hidrógeno, no puede considerarse como tal.

Por otro lado está el caso de las pilas comerciales donde es necesario la “destrucción” de un elemento metálico (Zinc) por reacción electroquímica para la producción de energía eléctrica. Aquí la destrucción es imprescindible para lograr el objetivo de esta fuente de energía.

### **Interacción metal-medio corrosivo**

Los dos primeros términos en la ecuación siguiente (material metálico y medio ambiente) constituyen una unidad indisoluble.



Es indisoluble, dado que:

Desde el punto de vista de la corrosión no tiene sentido caracterizar a los metales o aleaciones independientemente del medio en el cuál se encuentran, a su vez, no se debe caracterizar un medio corrosivo sin tomar en cuenta el material metálico que interactúa con este medio. En virtud de esto, no se dice, “El ácido sulfúrico es una sustancia muy corrosiva” o “El acero inoxidable AISI 304 es una aleación muy resistente a la corrosión”.

Mejor sería:

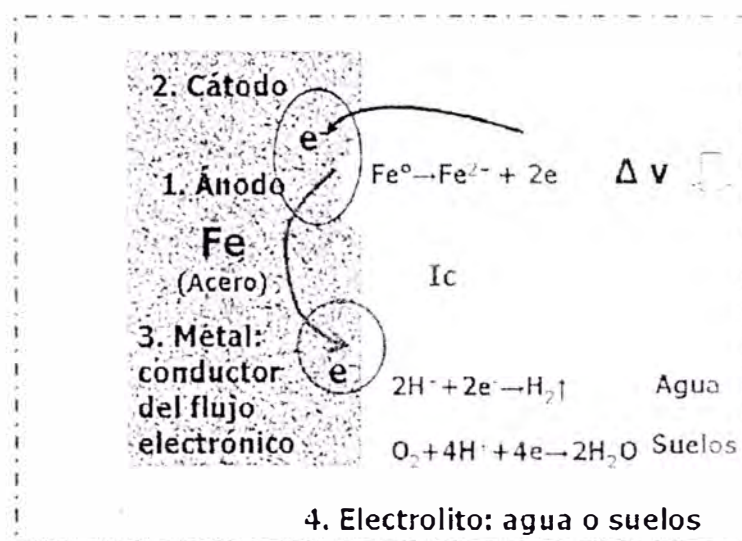
El ácido sulfúrico en concentraciones cercanas al 100% prácticamente no ataca al acero al carbono; en cambio el ácido diluido lo disuelve rápidamente.

El acero inoxidable austenítico AISI 304 (19% Cr-10% Ni) es excelente en medios acuosos y gaseosos oxidantes; pero no es apropiado en agua de mar o soluciones que contengan iones cloruros.

### **Elementos del proceso corrosivo**

El proceso corrosivo no ocurre si no están presentes simultáneamente los cuatro (4) elementos indicados a continuación y mostrados en la figura 2.1

- **Ánodo:** Parte que se corroe o desgasta. En la región anódica se produce la disolución del metal (corrosión).
- **Cátodo:** Parte que no se corroe, es el sitio en el cuál se consumen los electrones producidos en las zonas anódicas, esenciales en un proceso químico.
- **Conductor Metálico:** Medio que permite el paso de electrones desde el ánodo hasta el cátodo. Ejemplo: cables o contacto metálico.
- **Electrolito:** Medio de conducción iónica, el cuál es necesario para que se lleve el proceso, generalmente suele ser agua o tierra (suelos).



**Figura N° 2.1.- Elementos del proceso corrosivo (cátodo, Ánodo, conductor metálico y electrolito)**

## 2.2.- La corrosión como ciencia interdisciplinaria

La tecnología clásica y moderna requiere del conocimiento profundo de los materiales de construcción en su interacción con el medio que los rodea. El ingeniero y el corrosionista necesitan diagnosticar las fallas de los materiales y predecir su comportamiento a largo plazo. Esta imposición ha significado que el estudio de ésta área tenga en la actualidad un carácter científico, dejando el empirismo que lo caracterizaba en los comienzos.

Las interacciones de los materiales metálicos con su alrededor se complican en general por la diversidad de factores que inciden en el proceso. Junto con el proceso y las peculiaridades del estado metálico, hay que tener en cuenta, como un todo, la naturaleza y las peculiaridades del medio corrosivo. Se suma a lo anterior, las sollicitaciones mecánicas a las cuáles se someten y las condiciones de su uso.

Existen innumerables casos de destrucción de materiales metálicos enterrados, en las cuáles, la razón del deterioro se debería a las "Bacterias Sulfato Reductoras (BSR)", tipificada por algunos expertos como "corrosión Bacteriana". En el estudio de este fenómeno debe estar presente la microbiología, para la mejor comprensión y solución del problema.

Desde hace un buen tiempo, en el área médica se vienen utilizando ciertos materiales metálicos como implantes en el organismo humano. El "Medio corrosivo" en estos casos estaría formado por los tejidos y los humores del cuerpo. Resulta lógico que el correcto



estudio de esta situación implique la participación ineludible de la ciencia biológica y médica.

La física del estado sólido, la termodinámica, la metalurgia, la ciencia química y la electroquímica, la electrónica entre otras, son ramas básicas del conocimiento que deben estar presentes en el estudio de los procesos de corrosión, tal complementación, que parece evidente, no es fácil de lograr.

Lo anteriormente expuesto se debe a que son muy pocos los profesionales que dominan y se desenvuelven con eficacia en más de dos disciplinas. Al mismo tiempo, existen tendencias a que los científicos y profesionales se encierren en sus respectivas especialidades. Se suma a lo anterior las dificultades propias de la intercomunicación y del hábito del trabajo en equipo.

Como conclusión, la corrosión, tanto en su teoría como en la práctica, tiene un carácter eminentemente multidisciplinario. En consecuencia, los mejores logros en su estudio se conseguirán desde un ángulo multifacético y sinérgico.

### **2.3.- Efectos de la corrosión**

El impacto es evidente cuando se tiene en cuenta la diversidad de equipos que pueden ser afectados por la corrosión: tuberías (oleoductos y gaseoductos) tanto sumergidos como enterradas, fondos de tanques en contacto con el suelo, tanque enterredados, unidades flotantes (Barcos, Garrabas, lanchas y embarcaciones en general), pilotes metálicos de plataformas en lagos y mares, fundaciones de torres, entre otros.

En efecto, este fenómeno tiene implicaciones industriales muy importantes: la degradación de los materiales provoca pérdidas de productos, contaminación ambiental, reducción en la eficiencia de los procesos, mantenimientos y sobre diseños costosos.

Se estima que los gastos atribuidos a los daños por corrosión representan entre el 3 y el 5% del producto bruto interno (PBI) de los países industrializados; solamente hablando del acero, de cada 10tn fabricadas por año se pierden 2.50 por corrosión; esto es el 25% de la producción mundial

**La cuantificación de la corrosión no es un problema sencillo.** Su complejidad deriva de los siguientes aspectos:

- El daño que se ocasiona en los materiales metálicos se manifiesta de múltiples formas. Ellos pueden modificar sus dimensiones geométricas y el daño puede localizarse en ciertas áreas preferenciales en forma singular.

- El fenómeno puede manifestarse sin cambios aparentes externos pero que afectan internamente la estructura del metal con cambios en sus propiedades mecánicas. Estas consideraciones inducen a concluir que no puede haber una única manera de evaluar el fenómeno. Toda forma de cuantificación debe estar relacionada con el tipo de ataque.
- Otro aspecto a considerar es que el daño del fenómeno corrosivo, en la gran mayoría de los casos, no es directamente proporcional al tiempo en el cuál los materiales están sometidos a la acción de los ambientes corrosivos. Esta observación tiene un significado práctico de enorme interés debido a que, uno de los objetivos de esta disciplina es predecir en forma científica el comportamiento de los metales en condiciones de uso sin tener que ensayarlos en todo el periodo de funcionamiento. Para obviar estas dificultades, el impacto estará en función de:
  - La magnitud de la corrosión
  - La velocidad de la corrosión
  - Las curvas que representan la magnitud del daño en función del tiempo tienen un carácter ascendente (u horizontal como caso límite), debido a que el fenómeno de corrosión es de naturaleza irreversible. en cambio, las curvas que representa la velocidad del proceso en función del tiempo pueden tener un carácter ascendente o descendente, según los controles aplicados. Ver Figuras 2.2 y 2.3

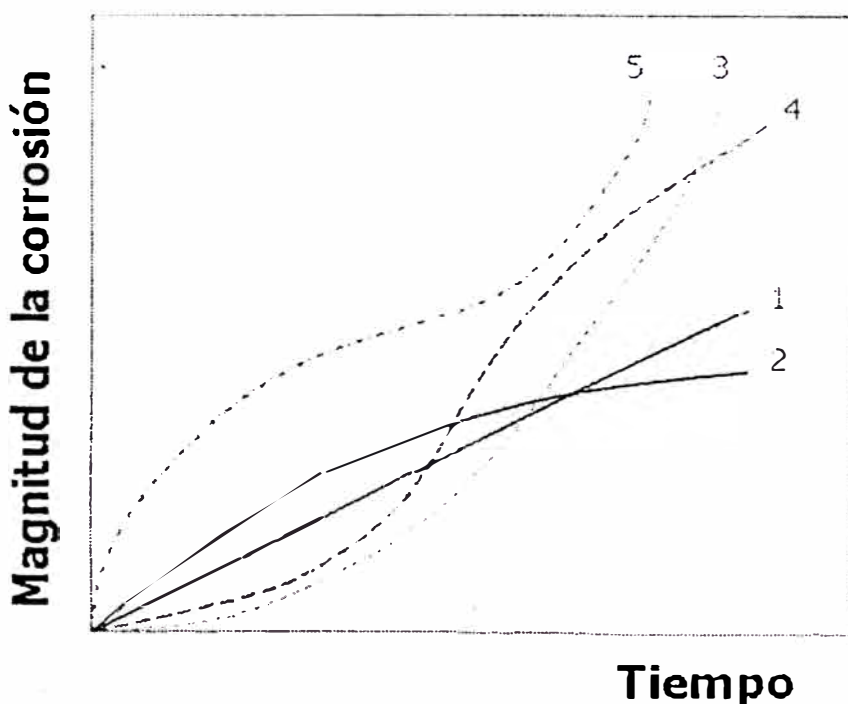


Figura N° 2.2.- Varios comportamientos típicos de la magnitud de la corrosión

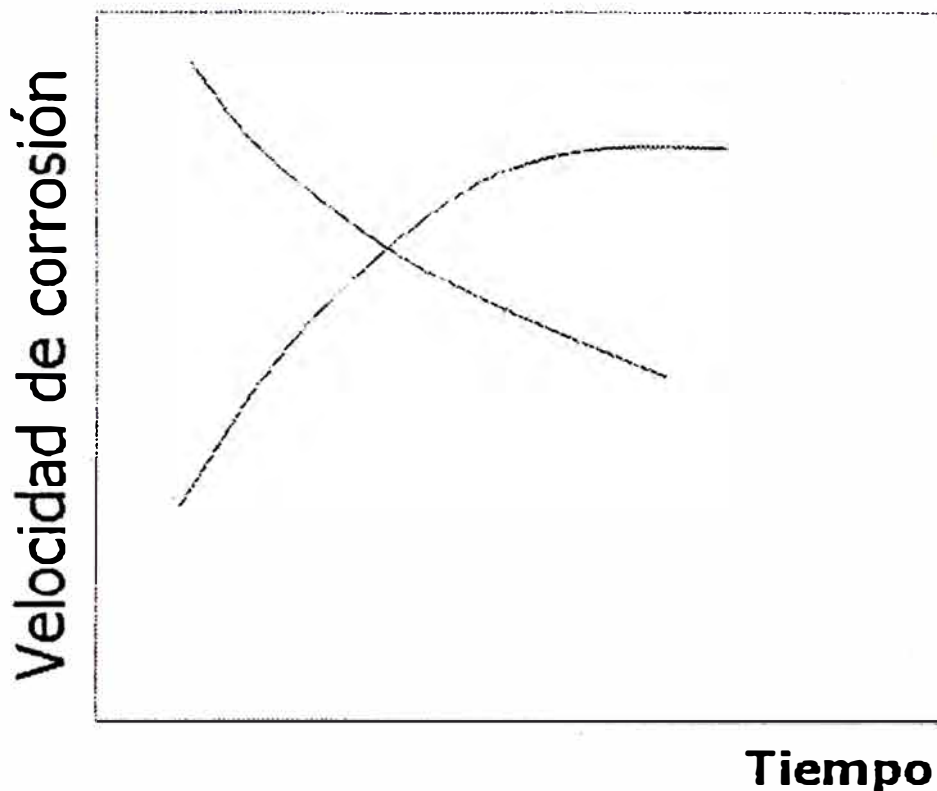


Figura N° 2.3.- Comportamiento de la velocidad de la corrosión

## 2.4.- Tipos de corrosión

### 2.4.1.- Según la Naturaleza de la Interacción

De acuerdo a la naturaleza de la interacción, la corrosión metálica se divide en corrosión química y en corrosión electroquímica.

#### 2.4.1.1.- Corrosión Química

La corrosión química ocurre en ambientes no electrolíticos, en gases secos y vapores a temperaturas que impiden su condensación sobre la superficie metálica o en líquidos no conductores de la corriente eléctrica.

Al respecto, algunos metales expuestos a gases oxidantes en condiciones de muy altas temperaturas, pueden reaccionar directamente con ellos sin la presencia de un electrolito. Generalmente esta clase de corrosión depende directamente de la temperatura. Actúa de la siguiente manera:

Al estar expuesto el metal al gas oxidante, se forma una pequeña capa sobre el metal, producto de la combinación entre el metal y el gas en esas condiciones de temperatura.

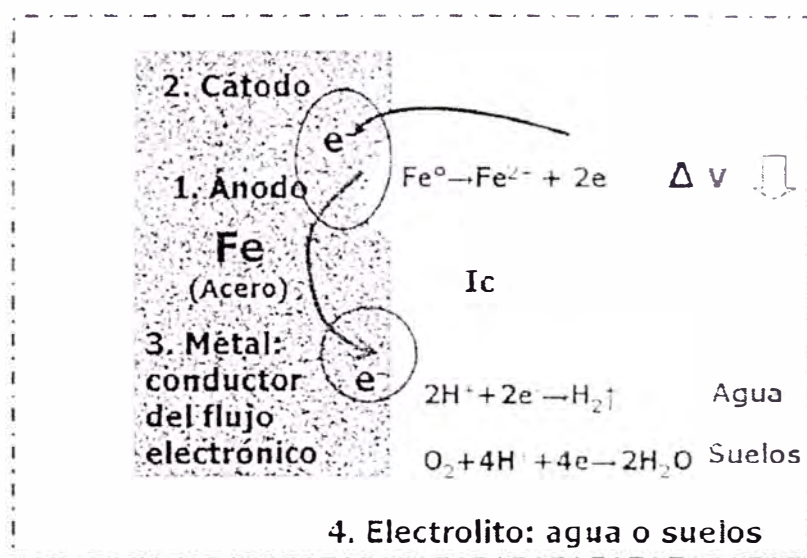
Esta capa o "empañamiento" actúa como un electrolito "sólido", que provoca la corrosión de la pieza metálica mediante el movimiento iónico en la superficie.

### 2.4.1.2.- Corrosión Electroquímica

La corrosión electroquímica ocurre en soluciones líquidas electrolíticas y se acompaña de corriente eléctrica iónica. Es el tipo más difundido y corresponde al deterioro de los metales en aguas naturales, soluciones acuosas y gases en condensación de humedad en su superficie.

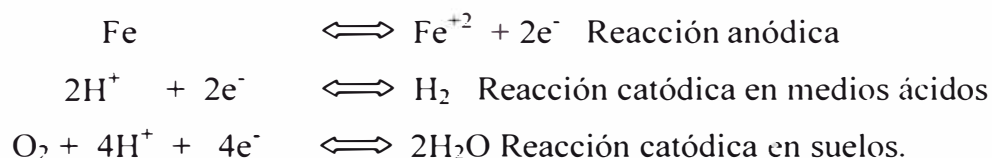
En la corrosión electroquímica se generan zonas anódicas y catódicas, sobre la superficie de estructuras metálicas en contacto con un electrolito (agua o suelo), con el subsiguiente flujo de corriente continua entre estas dos áreas. En sitios anódicos se generan electrones a causa de la disolución del metal.

Estos electrones viajan por el acero de la estructura a las zonas catódicas donde son consumidos por las reacciones de reducción. El circuito eléctrico se completa mediante el flujo iónico en el electrolitos (agua o suelo) entre el sitio catódico y el sitio anódico, la figura 2.4 se ilustra en forma sencilla lo planteado.



**Figura N° 2.4 Proceso electroquímico básico**

Las reacciones principales del proceso corrosivo electroquímico son las siguientes:



### 2.4.2.- Según la Naturaleza del Medio Corrosivo

Según la naturaleza del medio corrosivo, básicamente la corrosión se clasifica en corrosión: (a) gaseosa o seca, (b) atmosférica, (c) líquida y (d) subterránea

#### **2.4.2.1.- Corrosión Gaseosa o Seca**

La corrosión gaseosa se produce sin condensación de humedad en la superficie metálica. Ejemplo: Metales sometidos a temperaturas elevadas. Es un tipo de corrosión química ya mencionada en la clasificación anterior.

#### **2.4.2.2.- Corrosión Atmosférica**

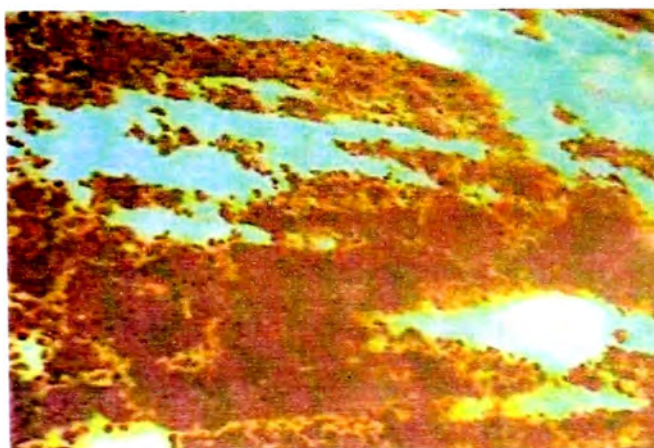
La corrosión atmosférica es la causa más frecuente de la destrucción de los metales y aleaciones. Básicamente, el mecanismo de corrosión es de naturaleza electroquímica. El electrolito es la capa de humedad sobre la superficie del metal cuyo espesor varía desde capas muy delgadas (invisibles) hasta capas que mojan perceptiblemente el metal.

La severidad del proceso corrosivo depende principalmente del tiempo durante el cual la capa de humedad permanece sobre la superficie metálica.

Como el mecanismo de corrosión atmosférica es electroquímico, su característica principal es la presencia de un proceso anódico y otro catódico con un electrolito de resistencia óhmica determinada.

#### **Elementos corrosivos en la atmósfera**

Uno de los factores que determina la intensidad del fenómeno corrosivo en la atmósfera es la composición química de la misma. El  $\text{SO}_2$  y el  $\text{NaCl}$  son los agentes corrosivos más comunes. El  $\text{NaCl}$  se incorpora en la atmósfera desde el mar lejos de este, la contaminación atmosférica depende de la presencia de industrias y núcleos de población, siendo el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), el contaminante principal por su frecuencia de incidencia sobre el proceso corrosivo proveniente del empleo de combustibles sólidos y líquidos que contienen azufre.

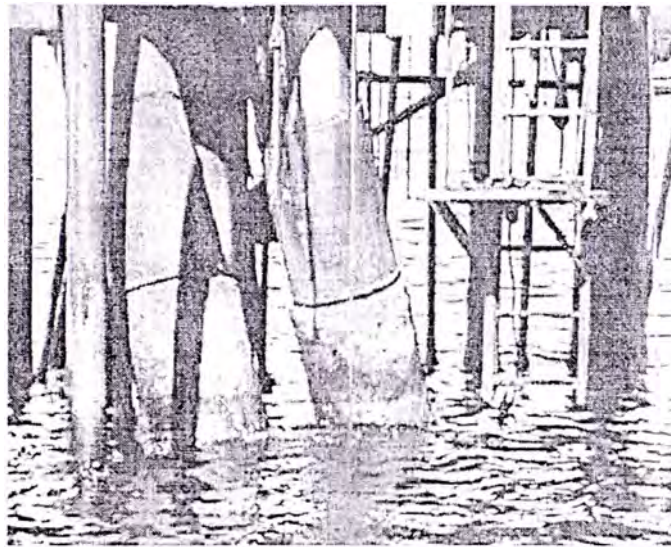


**Figura N° 2.5.- Ejemplo de corrosión atmosférica en una superficie metálica pintada expuesta a la intemperie por largo tiempo (años)**

### 2.4.2.3.- Corrosión Líquida

La corrosión en medios líquidos requiere precisar la naturaleza de este medio. Ejemplo: se habla de corrosión líquida en soluciones ácidas, alcalinas, neutras, salinas, agua de mar, agua de río, sales fundidas, orgánicos entre otros.

Para una mejor descripción este tipo de corrosión se toma en cuenta el grado de inmersión de la superficie metálica en el medio líquido, por cuanto en cada caso se tienen tipos esenciales de corrosión y peculiaridades propias. Además, el líquido puede estar en forma de gotas en la superficie o en movimiento relativo entre el elemento metálico y el medio líquido.



**Figura N° 2.6.- Vertical corroído por corrosión líquida (mar o lago) y corrosión atmosférica (sobre la línea de flotación)**

### 2.4.2.4.- Corrosión Subterránea

Por necesidades mecánicas, económicas y de seguridad, la industria tiene que apoyar sobre el suelo y enterrar numerosas y muy variadas estructuras de acero, las cuales se ven sometidas a un proceso de corrosión que en algunos casos puede ser complicado.

La corrosión subterránea se refiere al tipo de corrosión electroquímica que sucede en estructuras metálicas en contacto con suelos. El terreno o suelo por su contenido variable de humedad, sales y materia orgánica en descomposición es el electrolito más complejo, un suelo natural contiene: arena, arcilla, cal y humus. Estos componentes pueden estar mezclados, con el suelo en diferentes proporciones que darán lugar a distintos grados de agresividad. Los suelos artificiales formados por escorias, basuras, elementos en putrefacción, residuos humanos e industriales, también son agresivos. Por lo general, los

suelos arenosos, margo-arenosos, margo-arenosos, margo-calcareos y calcareos no son agresivos.

Si los suelos son arcillosos, al llover abundantemente o al subir el nivel de la capa freática se inundan los terrenos que bordean la estructura. Un suelo arcilloso con un 5% de humedad puede alcanzar una resistividad de 10 000 ohm-m, en cambio, con un 20% de humedad, la resistividad disminuye hasta 100 ohm-m; es decir, se hace muy conductor y por ende, muy corrosivo.



**Figura N° 2.7.- Tuberías instaladas en suelos están propensas a corrosión subterránea**

### **2.4.3. Según la Morfología del Daño**

Según la morfología del daño la corrosión se clasifica en: Uniforme, galvánica, en grietas o hendiduras (Crevice corrosión), por picadura (pitting), intergranular, selectiva (selective leaching), corrosión erosión, bajo tensión (stress-corrosión-cracking) y otros.

#### **2.4.3.1 Corrosión Uniforme**

Su nombre se debe a que las reacciones que tienen lugar en la interface metal-medio corrosivo se desarrollan en toda el área de contacto. El material metálico disminuye sus dimensiones en forma pareja. Por esta razón, aunque la pérdida de material en términos de masa es importante, desde el punto de vista técnico, no reviste gran problema debido a que es posible calcular la vida útil de las piezas metálicas en cuanto a su geometría, estableciéndose un sobredimensionamiento que tome en cuenta esta situación.

#### **2.4.3.2 Corrosión Galvánica**

Se define con este término a los sistemas formados por la unión de dos o más metales inmersos en un electrolito. Corresponde a un caso típico de corrosión electroquímica. Uno

de los elementos metálicos se destruye a mayor velocidad: mientras que el otro se vuelve más resistente en comparación con su estado no acoplado.

En la corrosión galvánica interactúa un metal activo y un metal pasivo. Para saber si se trata de un metal activo o pasivo, se tiene la serie galvánica siguiente. Tabla N° 2.1

**Tabla N° 2.1.- Ejemplo de serie galvánica en agua de mar (medio referencial)**

METAL	ESTADO
Cobre	Pasivo
Bronce Aluminio	Pasivo
Latón naval	Pasivo
Hierro colorado	Activo
Acero al carbono	Activo
Aluminio	Activo
Zinc	Activo
Magnesio	Activo

Es preciso mencionar que, la serie galvánica está listada de acuerdo con la tendencia que tienen los metales de corroerse en un mismo electrolito, por lo que la secuencia de la lista difiere cuando se utilizan electrolitos diferentes. Además debe tomarse en consideración que la serie galvánica fue establecida en condiciones de laboratorio, de modo que solo sirve como referencia.

De acuerdo con la internacional Unión For Pure and Applied Chemistry (IUPAC), los metales nobles son los que tienen un potencial más positivo y por lo tanto sufren un mínimo de corrosión; mientras que los metales activos son los que tienen un potencial más negativo (en comparación con los metales nobles) y se corroen con más facilidad.

Cabe destacar que, la serie galvánica es útil cuando se desea elegir metales o aleaciones para ser utilizados en un electrolito específico, puesto que se conoce su tendencia a corroerse.

Por otro lado, el metal pasivo posee alguna forma de película protectora sobre su superficie, como es el caso de los aceros inoxidable, el titanio, el cobre, el aluminio y otros metales; mientras que el metal activo es un metal desnudo, sin película protectora o con una película protectora porosa, asociado a un potencial más negativo que el correspondiente a un estado pasivo.

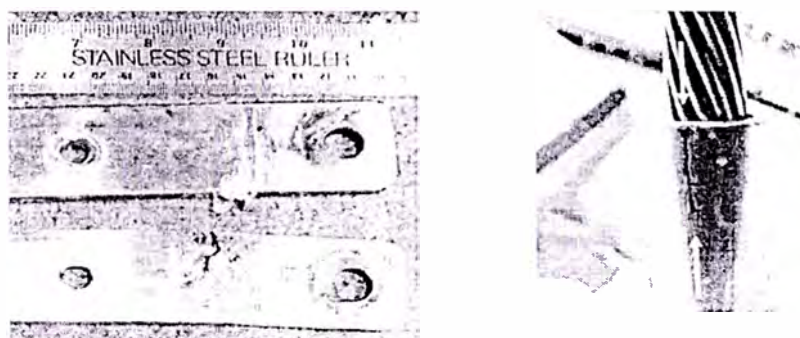


### 2.4.3.3.- Corrosión en Grietas o Hendiduras (Crevice Corrosión)

Corresponde a un ataque localizado en ciertas áreas o espacios confinados. El medio corrosivo permanece en reposo en el interior de la fisura o grieta. Este tipo de ataque localizado tiene un gran interés tecnológico ya que en ingeniería se emplean sistemas para unir piezas que implican necesariamente la formación de ranuras y espacios confinados. Tal es el caso de partes remachados o el uso de flanges en tuberías.

El sistema no se modifica en esencia, si el espacio confinado está formado por una pieza metálica (plástico, cerámico, madera, entre otras). Estos sistemas son aún más vulnerables al ataque localizado cuando el electrolito contiene oxígeno disuelto.

En cuanto al tamaño de la grieta, se requiere que sea lo suficientemente ancha como para permitir el acceso del medio corrosivo y al mismo tiempo, de estrechez delgada como para que no exista renovación del electrolito en su interior. En forma estimada, este tipo de corrosión se genera en ranuras de un espesor comprendido entre 0.02 a 3mm.



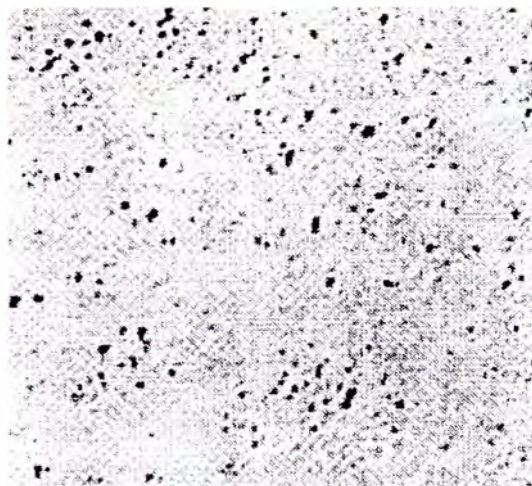
**Figura N° 2.8.- Ejemplo de corrosión de grietas o hendiduras**

### 2.4.3.4.- Corrosión por Picadura (pitting)

Se llama también corrosión localizada, ya que es una forma extremadamente localizada del ataque. Se manifiesta como pequeños huecos, cuyo diámetro es por lo menos a la profundidad del mismo. Su número varía desde alguna picadura esparcida aisladamente en la superficie a grandes densidades de poros que asemejan a una superficie rugosa.

La velocidad de la penetración puede ser de 10 a 100 veces más que la correspondiente a la corrosión general. Las picaduras ocurren en mayor frecuencia en medios estancados. La corrosión por picaduras es típica en aceros inoxidable y galvanizados.

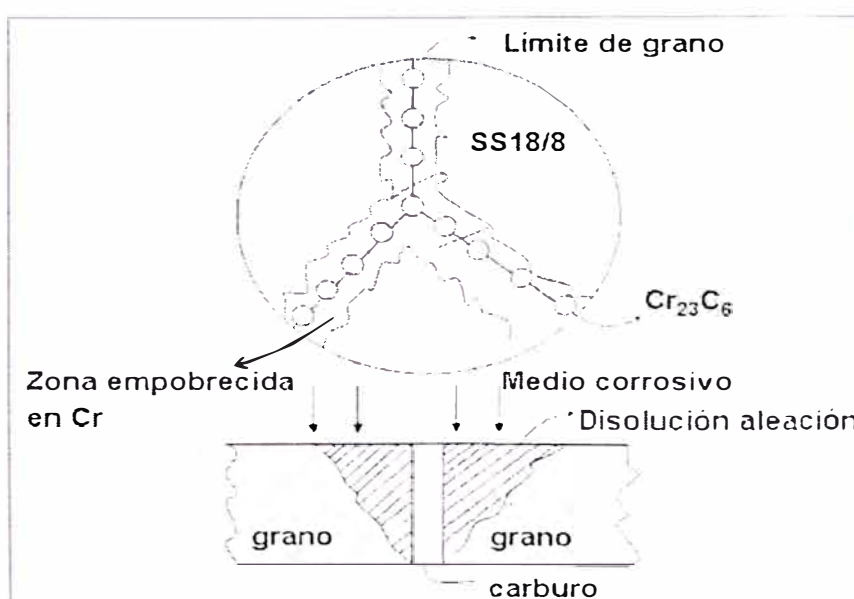
Generalmente, su carácter especialmente perjudicial radica en la no detección a tiempo, ya que los poros, de diferentes profundidades, están enmascarados por los productos de la corrosión dificultando su examen visual directo. Hay que tener en cuenta que bastaría una picadura lo suficientemente profunda, para inutilizar un equipo.



**Figura N° 2.9.- Ejemplo de corrosión por picaduras**

### 2.4.3.5.- Corrosión Intergranular

Se refiere a un ataque localizado en los límites de grano de una matriz metálica. Los límites de grano son sitios singulares en donde pueden ocurrir fenómenos que modifican grandemente la reactividad superficial. Por ejemplo, pueden ser centros de acumulación de impurezas o inclusiones, formación de compuestos como los carburos, que en algunos casos conducen a un empobrecimiento o enriquecimiento de un determinado elemento de la aleación. Cuando esto sucede, el cuadro cambia por completo, la reactividad diferencial entre el grano y el límite de grano se acentúa, permitiendo el ataque del medio corrosivo en la zona preferencial. En efecto, los aceros austeníticos inoxidable, cuando se enfrían a través de un intervalo de temperatura desde unos 900 hasta 1400 F (482 a 761 C), precipitan carburos de cromo en las fronteras de grano, precipitación que agota el cromo en las fronteras, haciéndolas susceptibles a corrosión intergranular.



**Figura N° 2.10.- Esquema de formación de carburo de Cr, morfología del daño por corrosión**

Este tipo de daño, al igual que la corrosión por picadura, resulta extremadamente nocivo por su difícil detección y porque conduce a una desintegración de la aleación con la consiguiente pérdida de sus propiedades mecánicas.

Este tipo de corrosión recibe nombres específicos en algunos casos. Así por ejemplo se denomina “corrosión por soldadura” (welding decay) a la corrosión intergranular que sucede en los aceros inoxidable austeníticos “sensibilizados” que conduce a un empobrecimiento del Cromo en los límites de grano por formación de los carburos de cromo.

Un fenómeno similar se tiene en algunas aleaciones de Al-Cu (duraluminio) con precipitación del compuesto  $\text{CuAl}_2$  en los límites de grano. Ciertas aleaciones de Zn que contienen aluminio presentan también este fenómeno en vapor y en atmósferas marinas.

Un ejemplo clásico lo constituye la corrosión intergranular del acero inoxidable 18Cr-8Ni que ocurre en ambientes en los cuáles exhibir un excelente comportamiento a la corrosión. Cuando estos aceros son calentados en el intervalo de temperatura 510-788 C, se vuelven “sensibilizados” o susceptibles a corrosión intergranular.

La explicación de este hecho se debe a que en este intervalo de temperatura precipita el carburo de cromo ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ) que por su elevado contenido metálico empobrece en este elemento al grano contiguo al carburo, disminuyendo así su concentración de 18%.

El carburo de cromo es catódico con relación a la zona empobrecida en cromo por lo que en un medio corrosivo funciona como una pila de corrosión. El acero corriente es más resistente al ataque por picadura que el acero inoxidable en tubos de intercambiadores de calor que transportan condensados o emplean agua de mar. Aunque la corrosión es mayor en el acero corriente, no ocurre una perforación rápida como en el acero inoxidable.

#### **2.4.3.6.- Corrosión Selectiva (Selective Leaching)**

Se trata de un tipo de corrosión mediante el cual se elimina paulatinamente uno de los elementos de una aleación. Recibe también nombres específicos de acuerdo al elemento que se remueve. Ejemplo: la disolución del Zn en los latones (aleación de Cu-Zn) se conoce como “dezincificación”. En forma similar se habla de “desaluminización”, “Decobaltización”, entre otros. La dezincificación se produce cuando el Zinc (15% o más), se separa del cobre del latón y estimulando la aparición de picaduras. El zinc es el elemento más reactivo en la aleación de acuerdo a la serie galvánica. La “dezincificación” se evidencia por la presencia de polvo de óxido de zinc que se observa a simple vista sobre la aleación.

#### **2.4.3.7.- Corrosión-Erosión**

Con este nombre se describe al proceso combinado de corrosión y desgaste mecánico; por lo tanto, se debe considerar que el fenómeno es de naturaleza "sinérgica". Ambos factores, el corrosivo y el mecánico, intervienen simultáneamente y el efecto producido es superior a la suma que se logra si estas causas actuaran por separado.

Esto último se produce por rápidos movimientos relativos entre el material metálico y el medio corrosivo. El medio corrosivo lo puede constituir las propias partículas sólidas eventualmente presentes en el fluido o los productos de corrosión sólidos que puedan formarse. En ciertos casos, el elemento abrasivo lo constituyen burbujas de gas que chocan o se desprenden de la superficie metálica (cavitación).

Este tipo de daño ocurre con cierta frecuencia en turbinas hidráulicas, propelas de barcos, propulsores de bombas y otros sistemas en los cuales se tienen elevadas velocidades de flujo y cambios de presión. Como tipo particular de corrosión-erosión se considera el fenómeno de "corrosión con desgaste" (fretting corrosión) que en la terminología sajona recibe varias denominaciones: Fricción-oxidación (friction oxidation); oxidación-desgaste (wear oxidation); escoriación (chafing) entre otros.

#### **2.4.3.8.-Corrosión Baja Tensión (Stress-Corrosión Cracking, SCC)**

Se refiere al agrietamiento de una pieza metálica por la acción conjunta de esfuerzos mecánicos en un medio corrosivo específico. Aunque la morfología del daño pudiera ser semejante al producido por el hidrógeno (hydrogen embrittlement), este último no debería agruparse como corrosión bajo tensión. Esta observación es válida si se tiene en cuenta que los tratamientos para enfrentar ambos fenómenos son distintos. A modo de ejemplo, se puede señalar que la protección catódica es un método válido para enfrentar los problemas de corrosión bajo tensión; en cambio resulta perjudicial para solucionar el hydrogen embrittlement, ya que la protección catódica se podría producir más hidrógeno.

Dos ejemplos clásicos de corrosión bajo tensión lo constituyen el "agrietamiento longitudinal" (season cracking) que ocurre en los broncees en determinadas circunstancias y la "fragilización cáustica" (caustic embrittlement) que se presenta en los orificios y partes remachadas de las calderas de vapor. Sin embargo, esta terminología se considera obsoleta y corresponde a un tipo único que puede englobarse en el término de corrosión bajo tensión.

**Tabla N° 2.2.- Resumen de tipos de corrosión**

<b>Según la Interacción Metal – Medio Corrosivo</b>				
QUÍMICA	Gaseosa			
	Según el medio corrosivo			
ELECTROQUÍMICA	<b>Subdivisión primaria</b>	<b>Subdivisión secundaria</b>	<b>Subdivisión terciaria</b>	<b>Según la morfología del daño o tipo de ataque</b>
	Líquida	Electrolitos Ácidos Neutros Alcalinos Agua de mar Aguas naturales Sales fundidas	Parcialmente sumergidas Totalmente sumergidas Condensación en películas delgadas Condensación en gotas Flujo laminar Flujo turbulento	Uniforme Galvánica En grietas (crevice corrosión) Por picadura (pitting) Intergranular Selectiva (selective leaching) Corrosión-erosión
	Atmosférica	Rural Marina Urbana Industrial Tropical Mixta		Corrosión bajo tensión
	Subterránea	Calcárea Arcillosa Bacteriana		

## 2.5.- Factores aceleradores de la velocidad de corrosión

Desde el punto de vista de la ingeniería es de mayor interés la cinética o la velocidad de corrosión. Un metal o aleación puede tener una significativa tendencia a la corrosión, pero la velocidad con que este proceso ocurre, puede ser tan lenta que su uso sea adecuado al establecerse un sobredimensionamiento de la pieza.

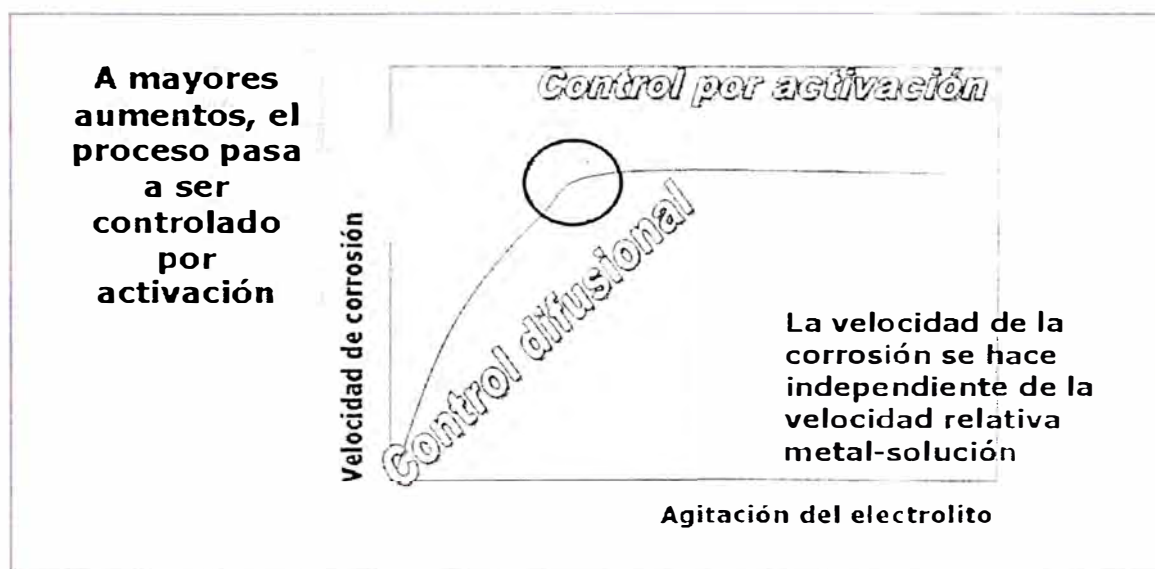
Principalmente los factores aceleradores de la corrosión, están basados en: Factores del entorno o medio corrosivo y factores relacionados con el metal.

### 2.5.1.- Factores del Entorno o Medio Corrosivo

#### 2.5.1.1.- Velocidad de Corrosión Relativa Metal - Electrolito

Se observa que conforme la velocidad relativa aumenta, la velocidad de corrosión aumenta continuamente cuando la reacción de reducción está bajo control difusional de las especies reaccionantes.

A mayores aumentos de la velocidad, el proceso de reducción pasa a ser controlado por activación. En consecuencia, la velocidad de corrosión se hace independiente de la velocidad relativa metal-solución, tal como se muestra en la figura 2.11.



**Figura N° 2.11.- Ilustración del control por difusión y por activación como resultado de la agitación o velocidad relativa metal-electrolito**

Del análisis de lo anterior se pueden extraer tres (3) conclusiones de gran interés práctico.

- La velocidad relativa metal-solución (grado de agitación) afecta a los procesos corrosivos bajo control difusional. La velocidad relativa no afecta a la velocidad de corrosión en sistema bajo control por activación

- En sistemas bajo control difusional, a velocidades relativas (metal-solución) elevadas, la velocidad de corrosión pasa a ser independiente.

En este último caso, es necesario que no se presenten fenómenos extraños al mecanismo de corrosión, como sería la erosión, la habitación o cualquier otro daño de tipo mecánico en los productos de corrosión o en el metal desnudo, ya que estos activarían el proceso corrosivo.

Se observa que el aumento de la velocidad relativa metal-solución puede resultar beneficioso para la protección del metal. Este fenómeno es típico para metales activo-pasivo que se corroen bajo control difusional. La fig. 2.11 ilustró lo explicado.

#### **2.5.1.2.- pH de la solución**

Se ha examinado el efecto del pH en la corrosión utilizando los diagramas de Pourbaix. Generalmente, a valores de pH ácidos la velocidad de corrosión aumenta para los metales y aleaciones comunes.

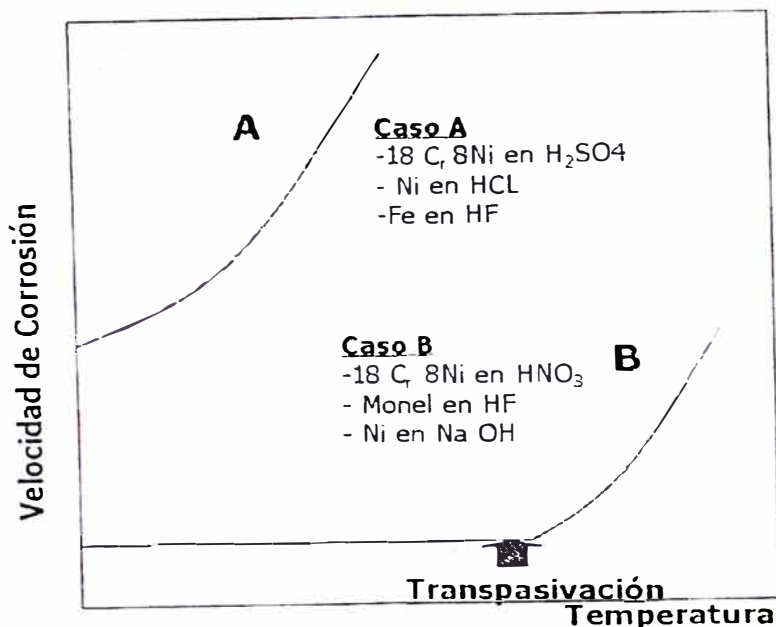
El pH también puede actuar en forma directa sobre la solubilidad de los productos de la corrosión, cambiando así la naturaleza protectora de éstos y por ende, la velocidad de corrosión.

Conviene recordar que, pH muy alcalino (13 a 14), puede dar origen a velocidades de corrosión muy elevadas por disolución del hierro con formación del ión ferrito, lo que se observa claramente en el diagrama de Pourbaix (corrosión cáustica)

#### **2.5.1.3.- Temperatura**

En general, la temperatura aumenta la velocidad de corrosión a la forma exponencial debido al aumento de las velocidades de las reacciones electrónicas. En estos casos, las curvas tienen la forma A del gráfico de la figura N° 2.12.

El caso de la curva B representa aquellas situaciones en las cuáles el metal manifiesta un comportamiento pasivo. A temperaturas no muy elevadas, el metal puede continuar en la forma pasiva y presentar un aumento casi despreciable o nulo de su velocidad de corrosión. Sin embargo cuando alcanza la zona de transpasivación, el metal se disuelve a una velocidad superior, nuevamente con una ley exponencial. En el gráfico de la fig. 15, se señalan algunos ejemplos que ilustran estos comportamientos típicos.



**Figura N° 2.12.- Efecto de la temperatura en la velocidad de corrosión electroquímica**

Asimismo, la temperatura puede afectar directamente la velocidad de corrosión. Si bien es cierto que aumenta la velocidad de las reacciones; por otro lado, provoca la variación de la solubilidad y naturaleza de los productos de corrosión.

Se debe hacer notar que, los cambios de temperatura pueden dar origen a pilas diferenciales de temperatura y dañar las películas protectoras que podrían formarse en el metal. Por último se pueden tener situaciones especiales como el fenómeno de "inversión de potenciales". En efecto, a temperatura ambiente el Fe, es cátodo y el Zn es ánodo; en cambio a temperaturas mayores a 60 °C esta situación se invierte, dado que el Zn es anfótero.

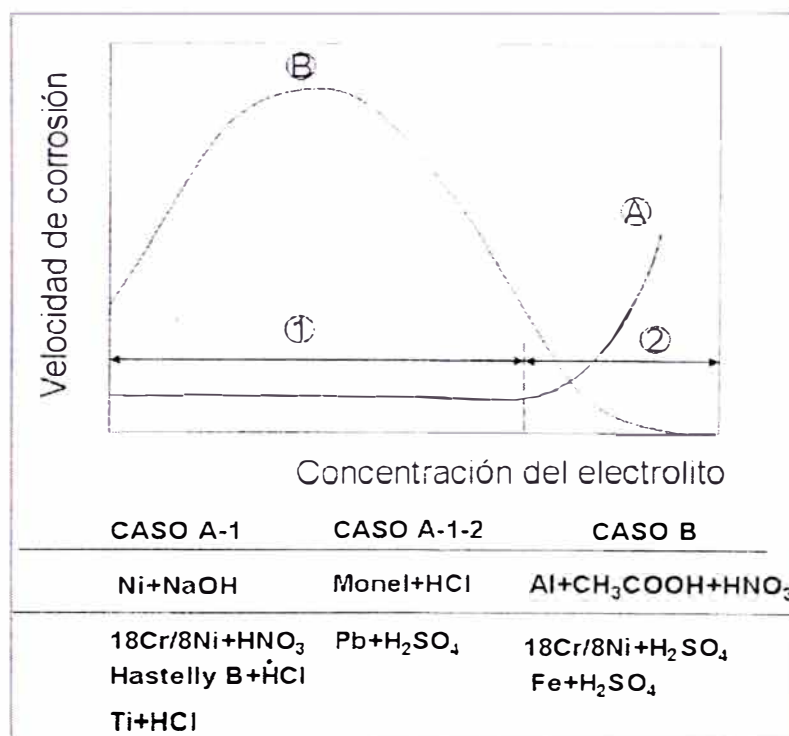
#### **2.5.1.4.- Concentración del agente corrosivo**

En este punto se tratará el efecto de la concentración del agente corrosivo principal, ya que muchos metales no manifiestan cambios sustanciales dentro de una gran variación de la concentración del agente corrosivo principal. Otros para concentraciones muy elevadas tienen aumentos considerables en la velocidad del ataque. Estos ejemplos pueden visualizarse en la figura N° 2.13.

La curva A presenta el caso de un metal que se pasiva (zona 1) y cuya velocidad de corrosión es independiente de la concentración del electrolito y de un metal cuya película de pasivación se destruye a concentraciones elevadas (zona 2). El comportamiento del Pb. En H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> es típico de este último ejemplo.



Por otra parte, los ácidos que se disuelven en agua en cualquier proporción, atacan ciertos metales siguiendo una ley como la señalada en la curva B. Inicialmente se tiene un aumento de la velocidad de corrosión debido principalmente al aumento de las especies activas ( $H^+$ ), luego la velocidad alcanza un máximo para decrecer a valores muy bajos.



**Figura N° 2.13.- Efecto de la concentración del electrolito en la velocidad de corrosión de los metales**

Según algunos autores, siendo la velocidad de corrosión muy elevada en la superficie contigua al metal, se sobrepasaría la solubilidad de alguna sal del metal, formando una capa salina delgada que aislaría al metal del medio corrosivo (pasivación por cristalización). Debido a este fenómeno, muchos ácidos como el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y el HF a ciertas concentraciones y temperaturas resultan inocuos para muchos metales.

### 2.5.2.- Factores Relacionados con el Metal

Los principales factores aceleradores de la corrosión relacionados con el metal, son los siguientes:

#### 2.5.2.1.- Límites de grano

Cuando un metal se solidifica a partir de una masa fundida, los átomos del metal ubicados al azar en el estado líquido se ordenan en un sistema cristalino. Sin embargo, este ordenamiento comienza en muchos puntos del líquido y luego los cristales crecen en distintas orientaciones formando un "grano". Llega un momento en el cuál estos granos se

tocan, interrumpiendo su crecimiento cristalino en sentidos preferenciales, formándose una interface entre granos vecinos llamada “límite de grano”

Los límites de granos son áreas de gran energía y muy activas químicamente. Justamente esta propiedad es la que se toma en cuenta para observar al microscopio la estructura granular o metalografía de un metal el cuál ha sido atacado químicamente con reactivos especiales, permitiendo así un ataque preferencial en los límites de granos.

#### **2.5.2.2.- Estructura metalúrgica**

La estructura metalúrgica tiene gran efecto en la corrosión. Ésta depende, entre otras cosas del tratamiento térmico al cual ha sido sometido el material metálico. Ejemplo: Al soldar los extremos de dos perfiles de acero se produce un gradiente de temperatura que es causa de variaciones en la estructura metalúrgica de éstas. Durante la exposición de de la estructura en servicio, esta delgada zona se corroe preferencialmente. lo que en la práctica se conoce como corrosión anular.

Este tipo de ataque puede ser eliminado con un tratamiento térmico adecuado (recocido), los tratamientos térmicos ayudan al grano a obtener una estructura uniforme.

#### **2.5.2.3 Tipos de aleaciones**

Las aleaciones son mezclas o soluciones sólidas de dos o más metales o elementos. Existen dos (2) tipos de aleaciones: Homogéneas y heterogéneas. Las primeras son soluciones sólidas; es decir, los componentes se han solubilizado completamente entre sí y por lo tanto, el material metálico está compuesto por una sola fase.

El acero inoxidable 18/8 es un ejemplo de solución sólida compuesto de Fe, C, Cr y Ni, solubilizados completamente en una composición uniforme.

Por otra parte, las aleaciones heterogéneas son mezclas compuestas de dos o más fases separadas. Los componentes de tales aleaciones no son completamente solubles entre sí . Desde el punto de vista de la corrosión como regla general, las aleaciones homogéneas son más resistentes a la corrosión que las heterogéneas, ya que los efectos galvánicos no estarían presentes.

#### **2.5.2.4 Impurezas**

Las aleaciones son similares a las soluciones acuosas; es decir, pueden disolver parcial o totalmente a otras sustancias o bien estas pueden ser insolubles en la aleación. La solubilidad es función de la temperatura. Así, el carburo de Fe es completamente soluble en Fe a altas temperaturas. E esta situación se tiene una solución homogénea.

Sin embargo, cuando el acero se enfría puede ocurrir la precipitación de los carburos en los límites de granos. Igualmente ocurre en otras sustancias que actúan como impurezas del metal o aleación.

En general, mientras más puro es un metal, mayor será su resistencia a la corrosión debido a la no presencia de efectos galvánicos. Ejemplo: Efecto de la pureza en el aluminio en contacto con el HCl, lo cual se ilustra en la tabla.

**Tabla N° 2.3.- Velocidad relativa de la corrosión en HCl del Aluminio, con diferentes grados de pureza**

<b>% Aluminio</b>	<b>Velocidad relativa de corrosión</b>
<b>99.998</b>	1
<b>99.97</b>	1000
<b>99.20</b>	30000

#### **2.5.2.5.- Elementos aleantes**

A pesar de sus aleantes, la práctica ha demostrado que los aceros inoxidable son más susceptibles a la corrosión por picadura en medios con cloro (Cl) o agua de mar, que cualquier otro metal o aleación que no pasiva. Los estudios realizados revelan que ciertos elementos aleantes disminuyen la resistencia del acero inoxidable a la corrosión por picadura. Algunos de estos aleantes perjudiciales son el silicio, el azufre y el carbón.

#### **2.5.2.6.- Pilas Galvánicas**

Por consideraciones económicas y de ingeniería, las diversas estructuras en la industria y en la vida diaria, están compuestas de diferentes materiales metálicos. los cuáles han tenido que acoplarse entre sí, las pilas galvánicas formadas pueden estudiarse mediante la teoría de los potenciales mixtos, que permiten obtener una serie de conclusiones de tipo práctico.

- Acoplamiento metal noble-metal activo: Se considerará el caso de una pila galvánica formada por un metal activo acoplado a un metal noble. Ejemplo: un trozo de platino se acopla a uno de Zinc y se sumerge a una solución ácida desairada, se observa una vigorosa formación de hidrógeno en el platino al mismo tiempo que la evolución de hidrógeno en el Zinc decrece notablemente. Si se analiza la solución corrosiva, se puede

concluir que la velocidad de corrosión del Zinc ha aumentado con relación al zinc no acoplado

- Acoplamiento de dos metales activos: Se examinará el caso de dos (2) metales activos de igual superficie acoplados entre sí. Sean M y N estos metales. El metal m tiene un potencial más noble que N y se disuelve en el medio corrosivo a una velocidad menor. La velocidad de corrosión del metal más noble decrece; mientras que la de N (menos noble) aumenta.

Relación área catódica/anódica: Un aspecto muy importante en la corrosión electroquímica de metales acoplados tiene que ver con la relación entre las áreas catódicas y anódicas del sistema electroquímico. Hasta el momento se ha hecho el razonamiento suponiendo que las superficies de los metales acoplados son iguales, por consiguiente resultan también iguales las densidades de corrientes anódicas y catódicas. Analizando el caso del Zinc acoplado con platino (Pt), se tiene lo siguiente:

Si un trozo de Zinc de  $1 \text{ cm}^2$  de superficie se expone a una solución ácida se corroerá a una velocidad  $i_a$ . Dado que se ha tomado  $1 \text{ cm}^2$  de área, la corriente  $I$  y la correspondiente densidad de corriente (velocidad de corrosión) son iguales. Si al zinc se le acopla  $1 \text{ cm}^2$  de platino, se corroerá a una velocidad  $i_b$ . Una vez más, ambas densidades de corrientes coinciden con la correspondiente corriente. Sin embargo, si se considera un electrodo de platino con un área de  $10 \text{ cm}^2$  a este electrodo le corresponde una corriente de intercambio que es 10 veces mayor que la correspondiente a un electrodo de  $1 \text{ cm}^2$ . Se puede concluir entonces que aumentando el área de la superficie del platino (cátodo) la velocidad de la corrosión del zinc (ánodo) aumenta.

De los ejemplos señalados se pueden extraer dos (2) conclusiones generales válidas para toda pila galvánica.

Si dos metales acoplan, las velocidades de corrosión del metal con un potencial más activo aumenta y la del menos activo (más noble) disminuye.

- La velocidad de corrosión en una pila galvánica está determinada por el área relativa de los metales.

## **2.6.- Confiabilidad de un sistema de transmisión**

La confiabilidad de un sistema o equipo se relaciona con la idea de que la probabilidad que dicho equipo o sistema permanezca en funcionamiento por un número de horas (años) sin fallas sea alta. La Norma Británica BS 4778 (1991), la define como la característica de un ítem (o sea de un elemento de un equipo, de un equipo completo o de un sistema).

expresada por la probabilidad de que efectúe una función requerida (es decir, que no falle), bajo ciertas condiciones (o sea en condiciones nominales de operación), en un período de tiempo establecido. Matemáticamente, en base a lo explicado en los párrafos anteriores, es posible expresar esta definición mediante la ecuación:

$$\text{Confiabilidad} = R(t) = P(X > t) = 1 - P(X < t)$$

Al diseñar un sistema de suministro de electricidad se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos relacionados con su confiabilidad:

1. Elevada confiabilidad de cada elemento del sistema. La confiabilidad del sistema está vinculada con la confiabilidad de cada elemento del sistema.
2. Resilencia. En lo posible, la falla de un elemento no debiera dejar todo el sistema sin funcionar.
3. Mantenibilidad. Una adecuada mantención de los sistemas eléctricos al menos mantiene su confiabilidad en los valores de diseño de la instalación. Por el contrario una mantención no realizada o realizada en mala forma disminuye la confiabilidad del sistema.
4. Capacidad del sistema. El sistema debe estar diseñado para los consumos que abastecerá con una capacidad de sobrecarga transitoria.
5. Flexibilidad. El sistema debe ser flexible y prever que existirán aumentos del consumo, o un cambio en la ubicación de éstos, o que existirán cambios tecnológicos que requerirán de un sistema distinto del que fue proyectado inicialmente. En este escenario las modificaciones del sistema deben ser relativamente fáciles de realizar, sin que el sistema pierda confiabilidad.
6. Interfaz adecuado con la infraestructura existente.

### **2.6.1.- Esquemas y opciones que mejoran la confiabilidad de un sistema**

Dentro de los diversos esquemas que mejoran la confiabilidad se incluyen los siguientes:

- a) El uso de varios esquemas modulares en lugar de un solo gran esquema central.
- b) El empleo de equipos de reserva y de reemplazo para la alimentación de cargas críticas.
- c) El diseño de sistemas de distribución de electricidad en paralelo (esquemas de doble circuito) con interruptores automáticos de transferencia.
- d) El empleo de unidades de generación de electricidad de emergencia y de unidades de electricidad ininterrumpibles.

### **2.6.2 Problemas de confiabilidad vinculados con la calidad de la red**

Los principales problemas de calidad de la red eléctrica son los siguientes:

- a) Interrupción del suministro de energía eléctrica. Estas interrupciones, causadas por fallas en las plantas generadoras, en cortes en las líneas de distribución o desconexión de la carga debido a sobrecarga del sistema, se caracterizan por la pérdida total del suministro por más de un minuto.
- b) Interrupción transitoria del suministro de energía eléctrica. Estas interrupciones, causadas generalmente por la apertura y cierre de interruptores, se caracterizan por la interrupción del servicio durante menos de un minuto.
- c) Transitorios. Se caracteriza por un voltaje impulsivo de alto valor, pero de corta duración, ocasionado en general por la conexión de condensadores o la desconexión de cargas inductivas, tales como motores de inducción, soldadoras de arco, etc.
- d) Mala regulación de voltaje. Se caracteriza por bajas o subidas de voltaje de duración superior a un minuto.

Se debe, en general, a un mal ajuste de los transformadores de alimentación del sistema, particularmente su voltaje y a un diseño del sistema no apropiado a la demanda de los usuarios. Una demanda alta de los usuarios ocasiona una baja del voltaje y, por el contrario, una demanda baja hace subir el voltaje por sobre lo permitido.

- e) Desbalance de voltaje. Se caracteriza por la existencia de asimetría en una de las tres fases de un sistema trifásico. Se debe, en general, a que el consumo está conectado fundamentalmente a una sola de las fases del sistema.
- f) Flicker o parpadeo de la iluminación. Se caracteriza por una fluctuación del voltaje que ocasiona el centelleo de la iluminación, visible por el ojo humano. Se debe, fundamentalmente, a la conexión y desconexión de consumos relevantes, tales como el refrigerador o la calefacción intradomiciliaria, conexión de hornos y soldadoras de arco, etc.
- g) Distorsión armónica. Se caracteriza por una distorsión del voltaje de alimentación de los equipos, el que deja de ser perfectamente sinusoidal. Se debe, fundamentalmente a la conexión de cargas no lineales en el sistema, tales como equipos electrónicos industriales o domiciliarios: variadores de velocidad de motores, televisores, computadores, etc. El fenómeno puede acentuarse hasta el punto de ocasionar daños irreparables, caso en el que recibe el nombre de resonancia armónica, la que se debe fundamentalmente a la interacción entre los condensadores de compensación de factor de potencia y las reactancias de los transformadores de alimentación del sistema.

h) Elevación de los voltaje de neutro y tierra. Se caracteriza por una diferencia de voltaje entre el neutro y la tierra del sistema. Se debe, fundamentalmente a que circulan corrientes elevadas por el conductor de neutro y/o por el conductor a tierra, o bien porque su dimensionamiento es inadecuado.

## **CAPÍTULO III MÉTODOS DE CONTROL DE LA CORROSIÓN**

Muchos métodos se emplean industrialmente para mitigar la corrosión, básicamente mediante la selección de la aleación o por medio de la protección de la superficie del metal. En ese sentido, los métodos más importantes son:

- Metales de alto grado de pureza
- Uso de aleantes
- Tratamientos térmicos
- Diseño adecuado
- Inhibidores
- Revestimientos superficiales
- Protección catódica

### **3.1. Metales de alto grado de pureza**

En la mayoría de los casos, la utilización de metales de alto grado de pureza tiende a reducir la corrosión por picaduras en la superficie (pitting) y minimizan las heterogeneidades que originarán una corrosión del tipo galvánico, con lo cual se mejora la resistencia a la corrosión.

### **3.2. Uso de aleantes**

Los aleantes pueden reducir la corrosión mediante diversos métodos: por ejemplo minimizan la corrosión ínter granular en aceros austeníticos inoxidables. En efecto, este tipo de corrosión puede evitarse, ya sea reduciendo el contenido de carbono a un valor bajo (inferior a 0.03%) o convirtiendo el carburo a una forma más estable. Este método se utiliza ampliamente e incluye la adición de aleantes de Titanio o Columbio. Estos elementos tienen gran afinidad por el carbono, generando carburos muy estables que no son solubles en austenita a alta temperatura. Esto deja muy poco carbono disponible para combinarlo con el cromo y da como resultado lo que se conoce como acero inoxidable estabilizado.



Por otra parte, algunas adiciones de aleantes mejoran la resistencia a la corrosión formando películas de óxido superficial no porosas y adherentes o ayudando a su formación. Esto es particularmente cierto mediante adiciones de manganeso y molibdeno a aceros inoxidable. Al respecto, los aleantes usuales de los aceros inoxidable son los mostrados en la Tabla 3.1.

**Tabla N° 3.1.- Algunos aleantes que aumentan la resistencia a la corrosión por picadura de los aceros inoxidable.**

<b>Elemento</b>	<b>Efecto en la resistencia a las picaduras</b>
Cromo	Aumenta
Níquel	Aumenta
Molibdeno	Aumenta
Manganeso	Aumenta

### **3.3.- Tratamientos térmicos**

La definición de tratamiento térmico dada en el Metals Handbook, es “una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, en tiempos determinados y aplicadas a un metal o aleación en el estado sólido en una forma tal que producirán propiedades deseadas”. Todos los procesos básicos de tratamientos térmicos para aceros incluyen la transformación o descomposición de la austenita. La naturaleza y la apariencia de estos productos de transformación determinan las propiedades físicas y mecánicas de cualquier acero.

#### Características de los Tratamientos Térmicos

Consiste en calentar el material a alguna temperatura en o por encima del intervalo crítico para formar austenita.

Controlar la rapidez de calentamiento a la temperatura deseada (es uno de los factores más importantes en el ciclo de tratamiento térmico)

Los materiales altamente esforzados producidos por trabajo en frío deben calentarse más lentamente que los que están libres de esfuerzos.

Los tratamientos para suprimir las tensiones ocasionadas por el trabajo en frío se aplican para mejorar la resistencia a la corrosión por esfuerzo.

La resistencia a la corrosión se incremento mediante el tratamiento térmico porque origina la homogenización de soluciones sólidas, especialmente en aleaciones fundidas.

Además, los tratamientos térmicos ayudan al grano a obtener una estructura uniforme.

El calentamiento en las áreas más delgadas de una pieza deben ser más lento, para minimizar el esfuerzo térmico y la distorsión.

Por lo general, se hará más daño al acero al utilizar una rapidez de calentamiento tan lenta como sea práctico.

Las operaciones comunes de tratamiento son recocidos, templados, normalizados y revenidos.

### **3.4.- Diseño adecuado**

El diseño adecuado debe permitir el mínimo contacto posible con el agente de corrosión y debe estar constituido por uniones diseñadas adecuadamente para reducir la tendencia a que los líquidos entren y sean retenidos.

Las grietas son una fuente potencial de corrosión electroquímica. en la cual la fuerza electromotriz se debe a una diferencia de concentraciones de electrolito en el ánodo y en el cátodo. Frecuentemente, se encuentran en secciones como placas que se atornillan conjuntamente con una solución corrosiva.

No importa cuanta fuerza de torsión se aplique al tornillo. es prácticamente imposible eliminar las grietas dentro de las cuáles la solución penetra gradualmente y se llega a estancar. Eventualmente, las grietas pueden evitarse utilizando soldaduras en vez de sujetadores mecánicas o empleando empaquetaduras aislantes entre las superficies.

La otra parte del diseño para evitar el contacto entre materiales muy separados en la serie electromotriz. De no ser posible, se aislarán utilizando materiales no conductores, reduciendo la posibilidad de corrosión galvánica.

### **3.5.- Inhibidores**

Una práctica comúnmente utilizada para el control del deterioro de instalaciones industriales, equipos, maquinarias y estructuras de diversas índoles es el uso de inhibidores de corrosión, que al ser añadidos en pequeñas cantidades en un ambiente determinado (líquido o gaseoso), reduce la acción nociva que ejerce el medio sobre el material. En la mayoría de los casos, el inhibidor forma una capa protectora sobre la superficie del metal.

Es de hacer notar que, si bien se han estudiado innumerables compuestos que pueden actuar como inhibidores de corrosión en medios acuosos, la gran mayoría no cumple con los requisitos que plantean las nuevas normativas de toxicidad y protección del medio ambiente. Los compuestos de cromo, de comprobada actividad carcinogénica, juegan un papel fundamental en las formulaciones de los inhibidores sobre todo en superficies que deban recibir un tratamiento posterior (pintado, barnizado y otros), sirviendo de anclaje.

En ese sentido, el desarrollo de inhibidores de corrosión no tóxicos y compatibles con el medio ambiente es un área de gran importancia en el campo de la corrosión. Los desarrollos no tóxicos apuntan al empleo de ácidos grasos como inhibidores de corrosión en medios ácidos y neutros.

Un ejemplo de esta propuesta serían los ácidos carboxílicos alifáticos los cuáles cumplen con los principales requisitos: buenas características de inhibición, bajo costo, baja toxicidad y biodegradabilidad, presentando parámetros de calidad similares a los inhibidores de corrosión a base de cromatos y a los inhibidores inorgánicos más utilizados. Este tipo de inhibidores, con menor carga ambiental, se están empleando actualmente para la protección de superficies que componen los sistemas de refrigeración automotriz para la protección de los operadores de circuitos de enfriamiento industriales y de transporte de agua de servicio.

### **Clasificación de los Inhibidores**

Existen varias formas de clasificar inhibidores de corrosión, de las cuáles la más aceptada es en función de su mecanismo de acción, esta clasificación comprende:

**Inhibidores de corrosión tipo filmiço:** Compuesto químico orgánico que al dosificarse al interior de los ductos forma una película entre la pared metálica y el medio corrosivo disminuyendo la velocidad de corrosión interior.

**Inhibidores de corrosión volátiles (o de fase vapor):** Sustancias químicas vaporizables que combaten la corrosión mediante la formación de barreras iónicas sobre las superficies metálicas. Estas barreras impiden que la humedad y los agentes corrosivos disueltos en ella, reaccionen con los átomos metálicos e inicien la corrosión.

**Inhibidor de corrosión (Fase líquida):** Compuesto químico o formulación, ya sea orgánico o inorgánico, que se adiciona al fluido transportado en concentraciones adecuadas para controlar o reducir la corrosión.

Estos tres grupos son los más numerosos y corresponden a compuestos que pueden formar barreras entre el metal y el medio agresivo, mientras que los **Secuestradores y Neutralizadores actúan sobre el medio**, eliminando agentes agresivos, tales como el ión hidrógeno o el oxígeno disuelto, entre otros.

De acuerdo con otras formas de clasificación, pueden clasificarse en: anódicos, catódicos o mixtos. También están los biocidas, los cuáles disminuyen la población bacteriana y por ende, la corrosión ocasionada por la presencia de estos microorganismos.

### 3.6.- Revestimientos superficiales

Los revestimientos superficiales abarcan pinturas, películas de óxidos, de sal y revestimientos metálicos. A continuación se describen cada una de éstas.

Pinturas:

Las pinturas y Otros revestimientos orgánicos se utilizan principalmente para mejorar la apariencia de las superficies metálicas. El empleo de pintura para proteger de la corrosión es secundario. La pintura proporciona una película protectora para el metal y es efectiva sólo, durante el tiempo en el cuál se conserve intacta, ya que ésta se deteriora por la acción ambiental.

Películas de sal y óxidos:

Se obtienen haciendo reaccionar al metal con una solución que produce la película deseada. Ejemplos: en el cromado, un baño de ácido de cromato protege al magnesio formando una película de cromato de magnesio; el parkerizado para aleaciones ferrosas protege mediante la formación de una película de fosfato; el anodizado, en el aluminio y el magnesio forma una película compacta de óxido y la pasivación de los aceros inoxidable también forma una película compacta y pasivante.

Revestimientos metálicos:

Pueden obtenerse mediante una variedad de métodos, tales como electrodeposición, metalizado, inmersión, difusión y enlazamiento, los cuáles se explican a continuación:

- 1.- Electrodeposición: Una corriente fluye durante un tiempo prolongado, con agitación, para asegurar que el proceso sea completo. Los revestimientos electrodepositados se usan básicamente con fines decorativos, pero, para aplicaciones industriales la función más importante es proteger de la corrosión. Además de la apariencia y el aumento a la resistencia a la corrosión, los revestimientos electrodepositados se aplican para obtener otras propiedades, como resistencia al desgaste, alta conductividad eléctrica, buena capacidad de soldado y alta o baja capacidad de reflexión a la luz.
- 2.- Metalizado: Consiste en aplicar, en forma de rocío una capa de metal puro, básicamente de Zn o Al. Estos metales se emplean para evitar la corrosión del hierro, ya que este es catódico frente a ellos y por lo tanto, se protege electroquímicamente a pesar de cualquier porosidad o huecos menores en el revestimiento.

El metalizado es opuesto a otros métodos donde se aplican capas metálicas por inmersión en caliente como galvanizados y cromados. El rociado metálico se ha

convertido en un proceso importante, tanto en la fabricación de partes nuevas como en la reparación de partes existentes.

- 3.- Inmersión: El revestimiento metálico por inmersión en un baño se utiliza principalmente para aplicarle al acero, un revestimiento de Zinc, Estaño, Cadmio, Aluminio o Plomo. El revestimiento aplicado debe competir con una frágil capa de compuestos intermetálicos aparecidos por difusión en la interfaz. Esto puede causar una adhesión incompleta y una tendencia a escarapelarse al haber doblamiento, a menos que el espesor de la capa de difusión esté controlado adecuadamente. El aluminizado es un revestimiento del acero con aluminio por inmersión en caliente tiene aplicaciones cuando se requiere una combinación de resistencia a la corrosión y al calor, como silenciadores y tubos de escape de automóviles.

## **CAPÍTULO IV DETERMINACIÓN DEL PLAN DE EVALUACIÓN**

Con la finalidad de determinar un Plan de Evaluación de los componentes de la línea de transmisión, plantaremos los conceptos bajo los cuales se realizarán dicha evaluación empleando la metodología empleada en otros estudios realizados en el Sistema de Transmisión costero del Perú, que constituye un ejemplo real y concreto de las condiciones ambientales más severas que afectan una línea de transmisión en 220 kV, metodología que es válida por cuanto dichos estudios se realizaron con la participación de una consultora internacional de probada solvencia como es DESSAU INC, con el soporte de instituciones de prestigio como IREQ, Universidad San Juan (Argentina), contratado por la empresa de Transmisión Centro Norte (ETECEN SA), responsable de la gestión empresarial de las líneas de transmisión en 220 kV comprendidas en el eje costero, estos estudios fueron:

- Estudio para la Reducción de Pérdidas y Efectos Salinos en el Sistema de Transmisión Costero de ETECEN SA en 220kV, año 1996.
- Proyecto de Rehabilitación de las líneas costeras de ETECEN SA en 220kV, año 1997
- Pruebas de Laboratorio de Pérdidas Corona de líneas de transmisión con elevada contaminación, año 1999
- Estudio de Pruebas de Materiales alternativos para zonas de alta contaminación, año 1999.

### **4.1.- Definición de grados de contaminación y niveles de corrosión**

Dependiendo de lo que deseamos representar o expresar emplearemos grados de contaminación o niveles de corrosión, es decir, una manera de correlacionar el nivel del deterioro físico de los componentes que se cuantifiquen mediante mediciones para que una vez definidos estos niveles de desgaste o deterioro se puedan asociar con las características físicas que son visuales: éstos niveles de corrosión guardan relación con la contaminación o agresividad del medio que en éste caso lo hemos determinado Grado de Contaminación. Por lo tanto, existe una estrecha relación del grado de contaminación y los niveles de

corrosión (ver tabla N° 4.1), en obras electromecánicas tienen influencia directa en el funcionamiento y la calidad del servicio de transmisión de la energía eléctrica. reflejado en la confiabilidad del sistema eléctrico nacional.

**Tabla N° 4.1.- Niveles de corrosión, sistema de clasificación utilizado en el programa de inspección torre (\*)**

Nivel de Corrosión	Aprox. Pérdida de espesor de Zinc	Descripción	Recomendaciones de Pintado	GRADO CONTM
1	0-1 mics	- Buena condición - Sin signos visibles de corrosión	Se puede fácilmente pintar con limpieza simple	I
2	1-2 mics	- Ligera corrosión - Ligeras manchas amarillentas visibles en partes de la superficie	Fácilmente se puede pintar con cepillado ligero	I
3	2-3 mics	- Media de la corrosión - Áreas de corrosión y de color marrón amarillento en lamayoría de acero - Todavía galvanizado continuo	Requiere un energético cepillado y raspado severo	II
4	3-5 mics	- Corrosión severa - Casi pérdida completa del galvanizado - Corrosión generalizada	Requiere fuertes raspado y cepillado (o chorro de arena)	III
5	5 + mics	- Corrosión muy severa - Pérdida completa del galvanizado - Amplia pérdida de metal	Muy difícil. limpiar y preparar la superficie para el pintado	III
<p><b>NOTA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El nivel de corrosión es sólo un indicador de la gravedad</li> <li>- La velocidad de corrosión, como deducirá de la cantidad de tiempo que se tardó en llegar al nivel actual de la corrosión es el segundo factor en la evaluación de la gravedad de los daños pro corrosión.</li> <li>- La descripción anterior, son las condiciones típicas y media. una buena dosis de juicio sigue siendo necesaria para clasificarse un número. dependiendo de su condición dominante.</li> </ul> <p>(*) Basado en el estudio para Reducción de Pérdidas y Efectos Salinos, en el Sistema de Transmisión Costero de ETECEN en 220 kV año 1996</p>				

Nota: En anexo 4 se muestra fotos con diferentes niveles de corrosión.

## 4.2 Evaluación de conductores

La corrosión en los metales es la tendencia que tienen a volver al mismo estado en que se encontraban en la naturaleza. En el caso del acero o del hierro la corrosión pone de manifiesto con la conocida "herrumbre". Ver figura N° 4.1



**Figura N° 4.1.- Corrosión de hebras del conductor**

### **Causas de la corrosión de los conductores**

El deterioro de los conductores puede deberse a tres causas.

La primera causa es el tipo de contaminación presente y la frecuencia y duración de los períodos de humedad.

La segunda causa es el patrón de tiempo que prevalece en el área de interés. La contaminación industrial transportada por el viento puede llegar a varios km “vientos abajo” de la “fuente”. El humo de las chimeneas altas se dispersa más lejos que el de las chimeneas bajas.

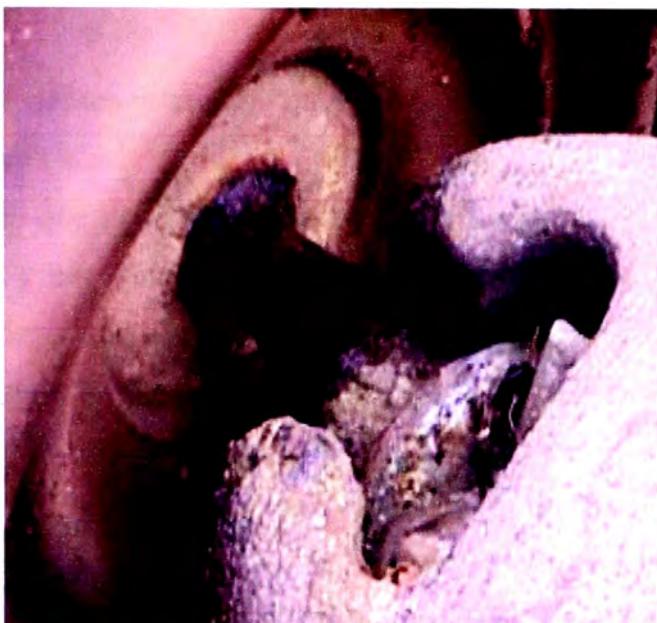
El tercer aspecto es que la corrosión de herrajes y empalmes no es representativa de la correspondiente a los conductores. Los efluentes corrosivos se concentran en las discontinuidades.

## **4.3 Evaluación de aisladores**

### **4.3.1 Evaluación de cadena de aisladores**

Es conocido que la porcelana y el vidrio utilizados en el diseño de los aisladores de alta tensión tienen una alta resistencia a la corrosión atmosférica; no obstante, existen partes metálicas que pueden sufrir graves ataques de corrosión y limitar la vida del aislador durante su explotación.





**Figura N° 4.2.- Corrosión de la Caperuza (campana) y el Pin**

La exposición de los aisladores a la intemperie implica que sobre ellos actúen todas aquellas condiciones que influyen en el proceso de corrosión. Si bien el polvo sedimentado y la humedad son factores que inciden en el desarrollo del proceso corrosivo, no puede dejarse de tener en cuenta que otro de los factores de más importancia en este proceso es el oxígeno, presente en el proceso de descargas parciales o totales en el aislamiento debido a la contaminación con la producción de ozono, elemento que acelera la corrosión.

La principal causa de falla de los aisladores de porcelana es la corrosión de las caperuzas y de badajos (u horquillas).

Otro problema causado por la corrosión es la expansión volumétrica

#### **4.3.2 Consideraciones técnicas del diseño de cadenas de aisladores**

En áreas en donde la contaminación está presente, la reacción de las cadenas de aisladores de porcelana o de vidrio a los voltajes de frecuencia industrial se vuelve importante y en situaciones críticas determina el diseño del aislamiento externo. Para fines de normalización, la publicación 815 de la IEC especifica las distancias mínimas de fluencia en mm por KV nominal del sistema para los 4 niveles cualitativos de contaminación siguientes:

a. Liviano – 16 mm/kV

Zonas lejanas de un océano con pocas fuentes de contaminación y lluvia frecuente.

b. Mediano – 20 mm/kV

Zonas a unos kilómetros del océano pero con viento o lluvia frecuente.

c. Fuerte – 25 mm/kV

Zonas expuestas a vientos relativamente fuertes del océano o cercanas al océano.

d. Muy fuerte – 31 mm/Kv

Zonas industriales que producen contaminantes conductores, zonas muy cercanas a la costa del océano y expuestas a la aspersion de agua salina y viento muy fuertes del océano, y zonas desérticas sin lluvia durante largo período y expuestas a vientos fuertes que transportan arena y sal y con condiciones de condensación frecuentes.

Todas las líneas examinadas en el proyecto de las líneas costeras tienen distancias de fuga específicas que superan la categoría “Muy fuerte” de la norma IEC 815. Sin embargo, hay que notar que los diferentes tipos de aisladores, y aún aisladores de un mismo tipo orientados de diferentes maneras, puedan acumular los contaminantes a ritmos diferentes bajo las mismas condiciones.

Además, teniendo el mismo grado de contaminación, diferentes tipos de aisladores presentan características de descarga eléctrica diferentes.

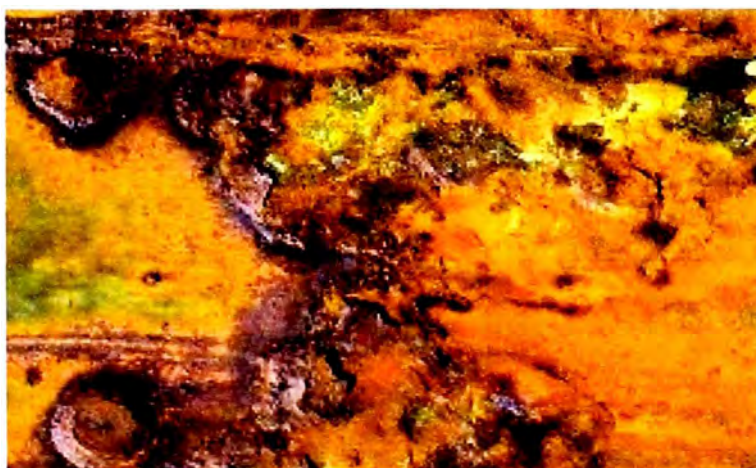
(\*) Según Norma IEEE

Hay factores relacionados con los niveles de contaminación, sea industrial o por salinidad en las cercanías del mar.

#### 4.4.- Evaluación de soportes de torres

##### 4.4.1.- Corrosión en estructuras de acero

Hay factores relacionados con el ambiente, tales como condiciones climáticas adversas, altura de las torres afectada por la contaminación y el tiempo húmedo, fertilizantes, aserrín.



**Figura N° 4.3.- Corrosión en estructuras de acero**

#### **4.4.2.- Corrosión y fallas en las retenidas**

Las riendas están sometidas a elongaciones bajo tensión. Las elongaciones provocan fatiga mecánica, los alambres se comienzan a separar, la rienda se afloja y se alarga y ello reduce su efectividad como elemento que soporta los esfuerzos de tracción a que está sometida, por lo que la estructura queda más solicitado.

Las riendas pueden corroerse en presencia de agentes agresivos

Las riendas se anclan a tierra. Las varillas de anclaje pueden sufrir de corrosión por humedad y oxígeno.

#### **4.4.3.- Corrosión en partes de las fundaciones**

Puede presentarse corrosión en el stub en presencia de humedad y oxígeno. Puede haber corrosión en la transición hormigón/acero si durante la construcción el stub perdió la protección que brinda el galvanizado.

##### Tipos de suelo:

- Con alto contenido de elementos agresivos al hormigón o al acero, muy húmedos.
- Elevado contenido de agua.

##### Técnicas de inspección más frecuentes son:

- Visual, por encima del nivel del suelo.
- Por debajo del nivel del suelo: radar, por eco acústico, obteniendo probetas

#### **4.5.- Elaboración de la matriz de riesgo**

Para la elaboración de la Matriz de Riesgo se tendrá en cuenta la expectativa de vida de los componentes tomando como base los resultados hallados para una línea costera, mostrado en la tabla N° 4.2:

Tabla N° 4.2 Esperanza de vida de los componentes de la línea de transmisión en años \*

COMPONENTES DE LÍNEA	LINEA DE TRANSMISIÓN 220 KV			COMENTARIOS
	I	II	III	
<u>CONDUCTORES</u>	>50	>50	30-35	Se encuentra probablemente secciones débiles en la zona C y en donde faltan los amortiguadores.
<u>AMORTIGUADORES</u>	>20	10-15	>10	Se encuentra encuentran amortiguadores dañados también fuera de las zonas de corrosión crítica.
<u>AISLADORES</u>				
– Vidrio	>10	10-15	>5	Extrapolado a partir de alrededor de 5 años de experiencia. En operación.
– Porcelana	...	...	...	
– EPDM	...	...	>5	La experiencia con este tipo de aislador indica un envejecimiento severo después de solo dos años en servicio.
<u>FERRETERÍA</u>				
– Acero galvanizado	>20	10-15	5-10	En las zonas críticas, se recomienda reemplazar estas piezas por materiales de calidad superior.
– Aluminio	>25	15-20	10-15	En las zonas críticas, se recomienda reemplazo con materiales de calidad superior. Grapas de suspensión de aluminio con propiedades que reducen el efecto corona.
<u>TORRES</u>				
(Acero en celosía)	>13	>7	4-6	La durabilidad de las torres depende de cómo se implementa el programa de pintado preventivo.
<u>CIMENTACIONES</u>	No se observó ningún deterioro visible de las cimentaciones en la inspección de la superficie.			

**Notas:**

- 1) Grado Contaminación I: Nivel de corrosión insignificante o ligero (1 y 2)  
Grado Contaminación II: Nivel de corrosión mediano (3)  
Grado Contaminación III: Nivel de corrosión severo y muy severo (4 y 5 )
- 2) Hay que ajustar la clasificación (I, II, III) para tener en cuenta los "ritmos" de corrosión.
- 3) Los estimados son aproximativos y es posible que sea todavía necesario ajustar los niveles. Las pautas reales que se aplican al programa de pintado de torres también tienen que ser refinadas.

(\*) Basado en el Estudio para la Reducción de Pérdidas y Efectos Salinos, en el sistema de Transmisión Costero de ETECEN SA, en 220 KV, año 1996

Tabla N° 4.3 Matriz de Análisis y Evaluación de Riesgos

**MATRIZ DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS**

ESCALA DE CALIFICACIÓN		CRITERIOS PARA CALIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				
		BIENES	MEDIO AMBIENTE	PERSONAS	REPUTACION	
<b>CONSECUENCIAS</b>	<b>5</b>	CATASTRÓFICO	DAÑO GENERALIZADO	EFECTO MASIVO	FATALIDAD MULTIPLE	IMPACTO INTERNACIONAL
	<b>4</b>	MAYOR	DAÑO MAYOR / LOCALIZADO	EFECTO MAYOR/ MASIVO	FATALIDAD INDIVIDUAL / FATALIDAD MULTIPLE	IMPACTO NACIONAL / INTERNACIONAL
	<b>3</b>	MEDIO	DAÑO LOCALIZADO	EFECTO LOCALIZADO	EFECTO MAYOR A LA SALUD / LESIÓN MAYOR	IMPACTO CONSIDERABLE
	<b>2</b>	MENOR	DAÑO MENOR	EFECTO MENOR	EFECTO MENOR A LA SALUD / LESIÓN MENOR	IMPACTO LIMITADO
	<b>1</b>	INSIGNIFICANTE	DAÑO LEVE	EFECTO LEVE	EFECTO LEVE A LA SALUD / LESIÓN LEVE	IMPACTO LEVE

NIVELES DE RIESGO				
5-BAJO	10 -MODERADO	15- ALTO	20-ALTO	25-MUY ALTO
4-BAJO	8 -MODERADO	12- ALTO	16-ALTO	20-MUY ALTO
3- MUY BAJO	6-MODERADO	9-ALTO	12-ALTO	15-ALTO
2- MUY BAJO	4-BAJO	6-MODERADO	8-ALTO	10-ALTO
1-MUY BAJO	2-MUY BAJO	3-MUY BAJO	4-MODERADO	5-MODERADO

PUEDA OCURRIR SOLO EN CASOS MUY ESPECIALES	NO SE ESPERA QUE OCURRA	PUEDA OCURRIR ALGUNAS VECES	OCURRIRÁ LA MAYORÍA DE VECES	SE ESPERA QUE OCURRA EN TODAS LAS CIRCUNSTANCIAS
<b>EXCEPCIONALMENTE</b>	<b>OCASIONALMENTE</b>	<b>REGULARMENTE</b>	<b>GENERALMENTE</b>	<b>SIEMPRE</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>PROBABILIDAD (POSIBILIDAD)</b>				

Tabla N° 4.4 Matriz de Análisis y Evaluación de Riesgos

IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO				ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO ABSOLUTO							
ACTIVIDADES	ID RIESGO	RIESGO (Que puede ocurrir?)	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	CAUSA RAÍZ (Cual es la fuente del riesgo?)	CLASIFICACIÓN DE LA CAUSA RAÍZ	CONSECUENCIAS (Que pérdidas se pueden generar si se presenta el evento relacionado con los riesgos?)	Antecedentes históricos (Se han presentado eventos anteriormente?)	EVALUACIÓN DEL RIESGO ABSOLUTO			
								CALIFICACIÓN POSIBILIDAD	CALIFICACIÓN CONSECUENCIAS	NIVEL DE RIESGO ABSOLUTO	PRIORIDAD DEL RIESGO ABSOLUTO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Estructura)	R1	Rotura de perfiles enterrados (fundación)	OPERACIONAL	Corrosión severa, agentes corrosivos del suelo: ph, sulfatos, etc	AMBIENTE DE TRABAJO	BIENES	SI	5	5	25	MUY ALTO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Estructura)	R2	Rotura de perfiles expuestos al medio ambiente	OPERACIONAL	Corrosión salina	AMBIENTE DE TRABAJO	BIENES	SI	3	5	15	ALTO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Cadena Aisladores)	R3	Rotura del pin de la cadena de aisladores	OPERACIONAL	Corrosión salina (niebla salina proveniente del mar)	AMBIENTE DE TRABAJO	BIENES	SI	3	3	9	MODERADO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Cadena Aisladores)	R4	Rotura de accesorios de la cadena de aisladores (grapas de suspensión, anclaje, grilete)	OPERACIONAL	Corrosión salina (niebla salina proveniente del mar)	AMBIENTE DE TRABAJO	BIENES	SI	2	4	8	MODERADO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Conductor)	R5	Rotura de conductor	OPERACIONAL	- Corrosión salina (niebla salina proveniente del mar). - Sobre esfuerzo (carga rotura).	AMBIENTE DE TRABAJO	BIENES	SI	2	2	4	MUY BAJO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Conductor)	R6	Rotura del empalme del conductor	OPERACIONAL	- Corrosión salina (niebla salina proveniente del mar). - Montaje de empalme inadecuado.	AMBIENTE DE TRABAJO	BIENES	SI	2	3	6	BAJO
								RIESGO ABSOLUTO	67		

Tabla N° 4.5 Panorama de Riesgos

IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO				ANÁLISIS DE CONTROLES APLICADOS								EVALUACIÓN DEL RIESGO RESIDUAL			
ACTIVIDADES	ID RIESGO	RIESGO (Que puede ocurrir?)	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	CONTROLES QUE SE ESTÁN APLICANDO	EVALUACIÓN DEL CONTROL ACTUAL				NIVEL DE RIESGO RESIDUAL		FECHA:				
					IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL	EFICACIA DEL CONTROL	VALORACIÓN DE LA SOLIDEZ DEL CONTROL	DESCRIPCIÓN DE SOLIDEZ DEL CONTROL	FACTOR DE SOLIDEZ DEL CONTROL	FACTOR DE RIESGO RESIDUAL	REFERENTE DEL RIESGO RESIDUAL	CALIFICACIÓN POSIBILIDAD	CALIFICACIÓN CONSECUENCIAS	NIVEL DE RIESGO RESIDUAL	PRIORIDAD DEL RIESGO RESIDUAL
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Estructura)	R1	Rotura de perfiles enterrados (fundación)	OPERACIONAL	Mantenimiento Preventivo y Correctivo	3	3	9	FUERTE	1	26	MODERADO	3	3	9	MODERADO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Estructura)	R2	Rotura de perfiles expuestos al medio ambiente	OPERACIONAL	Mantenimiento Preventivo y Correctivo	3	3	9	FUERTE	1	16	BAJO	2	3	6	BAJO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Cadena Aisladores)	R3	Rotura del pin de la cadena de aisladores	OPERACIONAL	Mantenimiento Preventivo y Correctivo	3	3	9	FUERTE	1	9	BAJO	2	3	6	BAJO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Cadena Aisladores)	R4	Rotura de accesorios de la cadena de aisladores (grapas de suspensión, anclaje, grillete)	OPERACIONAL	Mantenimiento Preventivo y Correctivo	3	3	9	FUERTE	1	8	MUY BAJO	2	3	6	BAJO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Conductor)	R5	Rotura de conductor	OPERACIONAL	Mantenimiento Preventivo y Correctivo	3	2	6	FUERTE	1	4	MUY BAJO	2	3	6	BAJO
LINEAS DE TRANSMISION (componente: Conductor)	R6	Rotura del empalme del conductor	OPERACIONAL	Mantenimiento Preventivo y Correctivo	2	3	6	FUERTE	1	6	MUY BAJO	2	3	6	BAJO
												RIESGO CONTROLADO	39		
												% REDUCCIÓN	42%		

## **CAPÍTULO V DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO**

### **5.1 Metodología y procedimiento**

Básicamente la metodología empleada se basó en el análisis visual y el análisis de laboratorio de nivel de PH del suelo. La inspección y excavación se realizó durante los meses de Setiembre y Octubre, época de sequía en la zona.

**Inspecciones.-** La metodología empleada para efectuar las inspecciones en todas las torres de las líneas 2251, 2252 y 2253 cuyas fundaciones son del tipo parrilla se basó en el análisis visual determinando el nivel de corrosión que se muestra en el ítem 5.3 y además de observar otras imperfecciones o daños que suelen ocurrir en la fundación o pata durante la ejecución de las obras de montaje de la torre.

Para la inspección de la pata de la torre se realizó lo siguiente:

- Elegir una pata entre las 4 de la torre, la que aparente tener corrosión, para ello se efectuó una pequeña excavación de aproximadamente 60 cm. hasta llegar a descubrir la unión del castillo (parte superior) con la montante de la torre.
- Se revisó los pernos de ajuste en dicha unión, estado físico y ajuste del mismo.
- Toma fotográfica de la posición de la torre respecto al terreno (base de la torre).
- Toma fotográfica de la parte excavada y otras tomas de importancia.

La cantidad de torres a inspeccionar se aprecia en la tabla N° 5.1. cabe mencionar que en algunas de ellas se encontró que la base de la fundación es tipo Stub (base de concreto) y se indica en el reporte de inspecciones:



## Tabla N° 5.1.- Torres inspeccionadas

### CANTIDAD DE TORRES INSPECCIONADAS

#### L-2251 AGUAYTÍA- TINGO MARÍA

TRAMOS	NÚMERO DE TORRE	CANTIDAD
1	3, 4, 11, 13, 14, 15, 16, 48, 49, 54	10
2	57, 59, 60, 62, 63, 65, 67, 68, 69, 70	10
3	71, 72, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82	10
4	83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 91, 93, 94	10
5	95, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105	10
6	106, 107, 108, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 119	10
7	120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 131	11
8	134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145	11
9	148, 149, 190, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 158	10
SUBTOTAL		<b>92</b>

#### L-2252 TINGO MARÍA - MZCARRA

TRAMOS	NÚMERO DE TORRE	CANTIDAD
1	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25	23
2	26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 48, 49	21
3	56, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83	26
4	88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 104, 105, 106, 108, 110	18
5	111, 113, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 135, 136, 137	23
6	141, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 166	23
7	166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 179, 180, 181, 184, 185, 186, 189, 190, 191, 193	22
8	196, 197, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 220, 221, 222, 223	25
9	225, 226, 232, 236, 236, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 250, 252, 253, 254	17
10	257, 258, 259, 260, 263, 264, 265, 266, 267, 272, 273, 276, 280, 281, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293	25
11	294, 295, 296, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 324	26
12	325, 326, 327, 329, 330, 334, 335, 336, 337, 339, 339, 340, 341, 343, 349, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 363, 364, 364A, 364B	28
SUBTOTAL		<b>277</b>

#### L-2253 MZCARRA - PARAMONGA NUEVA

TRAMOS	NÚMERO DE TORRE	CANTIDAD
1	540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570	31
<b>TOTAL TORRES INSPECCIONADAS</b>		<b>400</b>

**Excavación y determinación del nivel de corrosión en fundaciones.-** Luego de haber inspeccionado las torres se procede a determinar o elegir una torre característica a la cual se debe someter al monitoreo y diagnóstico de corrosión en la fundación, para lo cual nos basamos en los indicios de nivel de corrosión hallado en la etapa de inspección, por lo general cuando determinamos nivel de corrosión 3 decidimos que esa torre debería ser excavada, una vez detectadas estas torres que según nuestro planteamiento debería ser 36 torres, se procede a efectuar las excavaciones en una de sus patas y determinar visualmente el nivel de corrosión en la parte superior de la fundación (castillo) y en la parrilla, además observar otras imperfecciones o daños ocurridos en la fundación de la torre.

Para la excavación de la pata de la torre se realizó lo siguiente:

- Seleccionar una pata entre las 4 de la torre, viendo que ésta no comprometa la estabilidad de la torre al momento de descubrir la fundación, es decir la menos crítica, en ella se efectuó una excavación de aproximadamente 2.4 m. hasta llegar a descubrir completamente la fundación para poder apreciar el castillo y la parrilla.
- Se determina nivel de corrosión de la parte superior de la fundación (castillo).
- Se determina nivel de corrosión de la parrilla.
- Toma fotográfica del castillo y perfiles del mismo.
- Toma fotográfica de la parrilla y perfiles de la misma, otras tomas de importancia.

- Una vez concluida la determinación de nivel de corrosión en ambos elementos (parrilla y castillo), se procede a rellenar y compactar la excavación.

Cabe mencionar que en algunos puntos se tuvo que utilizar una apisonadora manual, esto debido al difícil acceso a la torre siendo dificultoso el traslado de una compactadora, además en la compactación de algunas torres se tuvo que agregar material de préstamo para asegurar una buena compactación mejorando a la que se encontró durante la excavación ya que tenían deficiencias de compactación como consecuencia de una mala supervisión durante la ejecución de la obra.

La cantidad y número de de torres a ser intervenidas para la excavación en una de sus patas se aprecia en la siguiente tabla:

**Tabla N° 5.2 Torres seleccionadas para la excavación**

**CANTIDAD Y NUMERACIÓN DE TORRES SELECCIONADAS PARA LA EXCAVACIÓN EN UNA DE SUS PATAS**

**L-2251 AGUAYTÍA- TINGO MARÍA**

TRAMOS	N° DE TORRE SELECCIONADA	CANTIDAD
1	4 y 14	2
2	67	1
3	74	1
4	84	1
5	97	1
6	112	1
7	121	1
8	145	1
SUB TOTAL		9

**L-2252 TINGO MARÍA - VIZCARRA**

TRAMOS	N° DE TORRE SELECCIONADA	CANTIDAD
1	21	1
2	42	1
3	77	1
4	88	1
5	116	1
6	151, 152, 155	3
7	171	1
10	286	1
11	294	1
12	334	1
SUB TOTAL		12

**L-2253 VIZCARRA - PARAMONGA NUEVA**

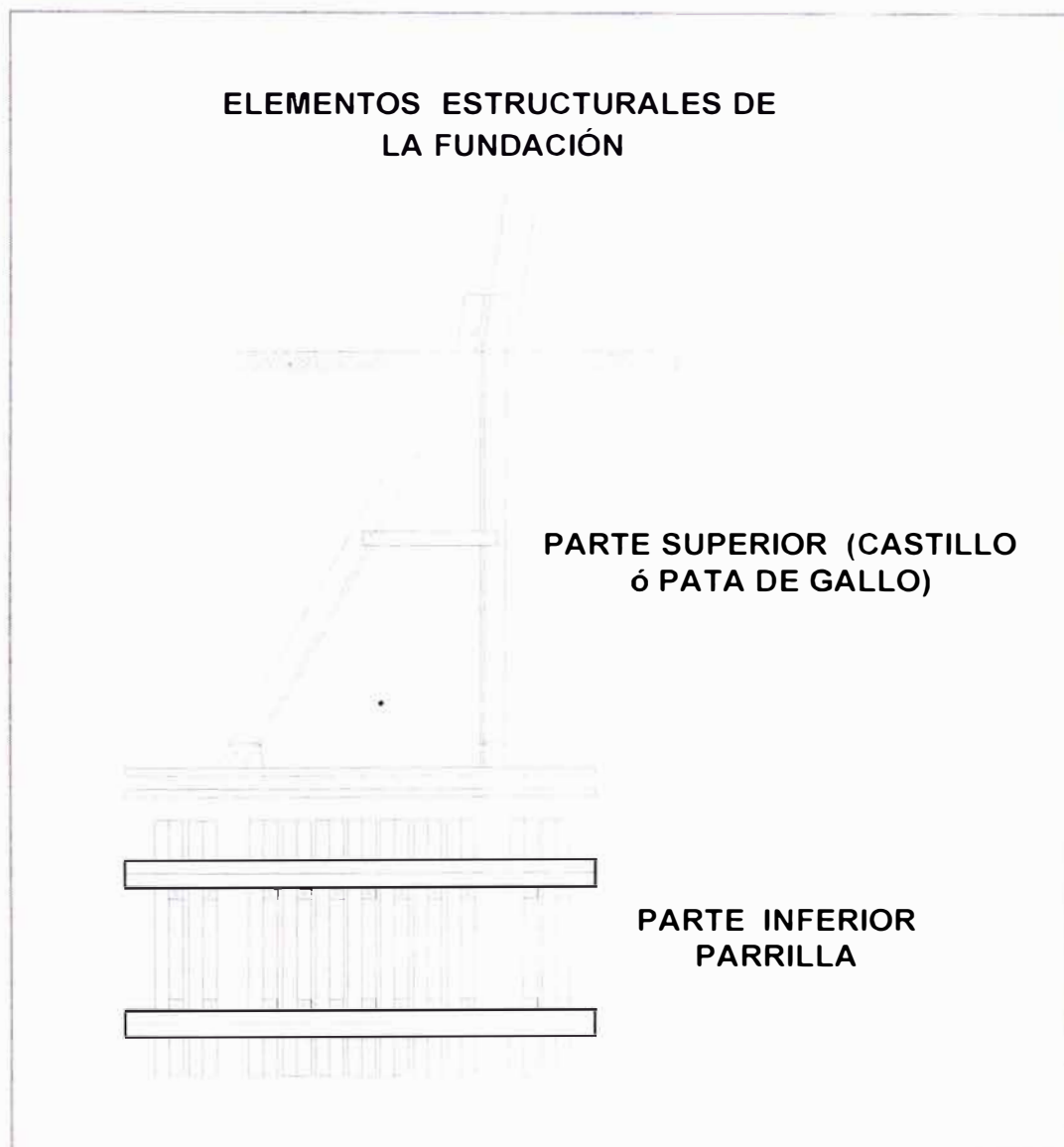
TRAMOS	N° DE TORRE SELECCIONADA	CANTIDAD
1	541, 542, 543, 545, 547, 548, 549, 550, 551, 557, 558, 559, 560, 561, 562.	15

<b>TOTAL PATAS DE TORRES EXCAVADAS</b>		<b>36</b>
--	--	-----------

**Análisis de Laboratorio de Suelos Nivel de ph.-** Se realizó el análisis de PH en un total de 44 muestras tomadas en diferentes puntos de la excavación (a la altura del castillo y en la parrilla), estas muestras fueron examinadas en Laboratorios de la Universidad Agraria, mediante el equipo ph-metro y cuyos resultados de ph se muestran en anexo 3

**5.2. Conformación estructural de la fundación**

Los elementos estructurales de la fundación (pata) de la torre se compone de dos partes: la superior (castillo) y inferior (parrilla), tal como se aprecia en la figura 5.1.



**Figura N° 5.1.- Conformación estructural de la fundación**

### 5.3. Torres con corrosión nivel $\geq 3$

En la tabla 5.3, se muestra las torres que totalizan 76, en cuyas patas se han detectado corrosión visible **Nivel 3** durante la fase de inspección y de mayores niveles en la etapa de excavación.

**Tabla N° 5.3, Torres con nivel de corrosión 3**

L-2251 AGUAYTÍA- TINGO MARÍA																		
TRAMOS	NÚMERO DE TORRE																CANTIDAD	
1	3	4	11	13	14	16	49	54										8
2	67	68	69	70														4
3	71	72	74	81	82													5
4	84	87																2
5	97	100	103	104														4
6	106	112																2
7	121																	1
8	145																	1
SUB TOTAL																	27	
L-2252 TINGO MARÍA - VIZCARRA																		
TRAMOS	NÚMERO DE TORRE																CANTIDAD	
1	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	20	21	22	23	24	25	17
2	42	43																2
3	63	77																2
4	88	89	90															3
5	116	127	137															3
6	144	145	148	149	150	151	152	155	156	158	159							11
7	167	170	171	179														4
12	334																	1
SUB TOTAL																	43	
L-2253 VIZCARRA - PARAMONGA NUEVA																		
TRAMOS	NÚMERO DE TORRE																CANTIDAD	
1	542	543	550	557	559	560												6
TOTAL TORRES																	76	

25 Torres que se han intervenido (excavación de la fundación hasta la parrilla)

### 5.4. Sectores con posible existencia de corrosión en parrilla

Una vez determinada la detección de torres con niveles de corrosión  $\geq 3$ , se procede a elaborar o identificar sectores en donde se debe efectuar el análisis integral de la torre, desarrollado en el presente diagnóstico, con la finalidad de tomar acción correctiva en aquellas donde se determine corrosión severa. A continuación se muestra los sectores:

**TABLA N° 5.4.- Sectores con posible existencia de corrosión en parrilla**

L-2251 AGUAYTIA-TINGO MARIA		L-2252 TINGO MARIA-VIZCARRA		L-2253 VIZCARRA-PARAMONGA	
Ítem	Sectores	Ítem	Sectores	Ítem	Sectores
1	3 y 4 (2)	1	7 a 25 (19)	1	542 a 560 (19)
2	11 a 16 (6)	2	42 a 43 (2)	Sub Total	<b>19</b>
3	49 a 54 (6)	3	63 a 90 (28)		
4	67 a 87 (21)	4	116 a 159 (44)		
5	97 a 106 (10)	5	167 a 179 (13)		
6	112 a 145 (34)	6	334 (1)		
Sub Total	<b>79</b>	Sub Total	<b>107</b>	<b>TOTAL 205 TORRES</b>	

Notas:

En la L-2252, Torre N° 334, se encontró corrosión nivel 3 en parrilla y castillo debido al empozamiento de agua en las patas, como consecuencia de una mala compactación.

En resumen: Las fundaciones con nivel de corrosión mayor o igual que 3, totalizan 205 estructuras.

## CAPÍTULO VI RESULTADOS OBTENIDOS

Con los datos preliminares obtenidos en las inspecciones de líneas a cargo del área de mantenimiento que fueron proporcionados por la empresa propietaria de las líneas L-2251, L-2252 y L-2253, fueron 387 a inspeccionar de un total de 832, estructuras que conforman las 3 Líneas de Transmisión en 220 kV mencionadas, la inspección de las patas de las torres, según el grado de criticidad distribuidos, tal como se aprecia en la siguiente tabla.

**Tabla N° 6.1 Resumen de niveles de corrosión**

NIVELES DE CORROSION	CANTIDAD DE PATAS/TORRES			TOTAL
	L-2251	L-2252	L-2253	
Nivel 2	60	230	28	318
Nivel 3	27	38	0	65
Nivel 4	0	4	0	4
<b>TOTAL</b>	<b>87</b>	<b>272</b>	<b>28</b>	<b>387</b>

En anexo 4 se muestra algunas fotos con diferentes grados de corrosión.

La inspección se realizó en dos etapas:

1. Inspección Preliminar:

Cuyo objetivo era determinar las torres con patas que tenían un nivel de corrosión 2 y 3 a partir de una inspección visual excavando la pata de la torre hasta la unión castillo – stub.

2. Inspección o detalle para determinar las torres con niveles de corrosión 3 y 4:

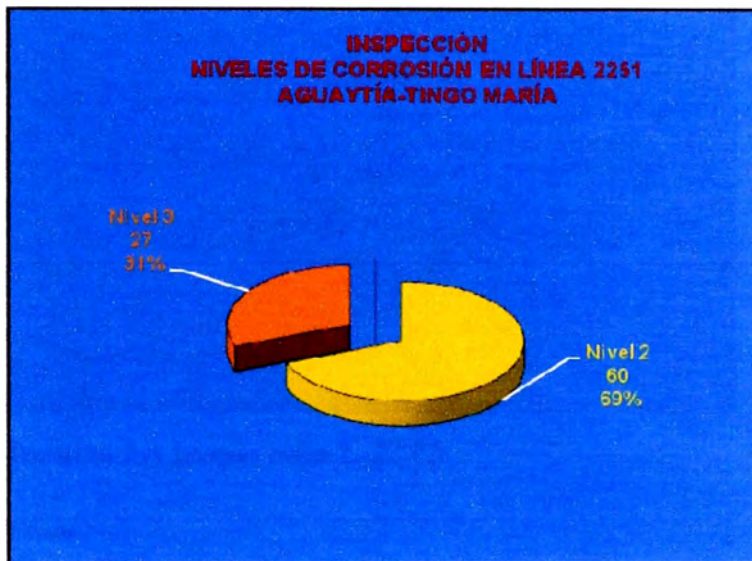
A partir de una excavación de la pata hasta descubrir la parrilla (parte inferior de la fundación) interviniéndose un total de 25 torres.

### 6.1.- Inspección preliminar

En anexo 2, podemos observar los resultados obtenidos en ésta fase, por cada línea de transmisión (L-2251, L-2252 y L-2253). De estos cuadros podemos obtener los siguientes gráficos.

**LINEA DE AGUAYTIA – TINGO MARIA, L-2251**

<b>LINEA 2251</b>	
<b>NIVELES DE CORROSIÓN</b>	<b>CANTIDAD DE PATAS/TORRES</b>
Nivel 2	60
Nivel 3	27
Nivel 4	0
<b>TOTAL</b>	<b>87</b>

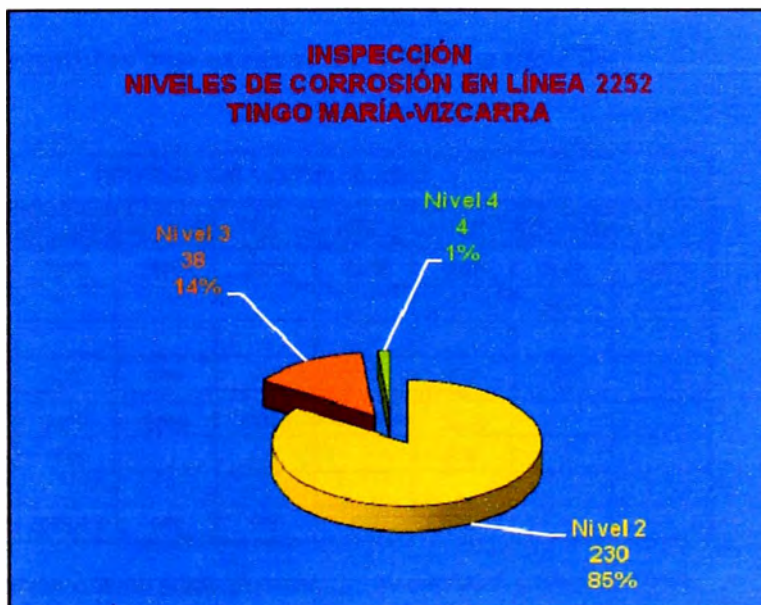


Nivel 2: 69%  
 Nivel 3: 31%

**Figura N° 6.1.- Ilustración gráfica de resultados inspección L-2251**

**LINEA TINGO MARIA – VIZCARRA, L-2252**

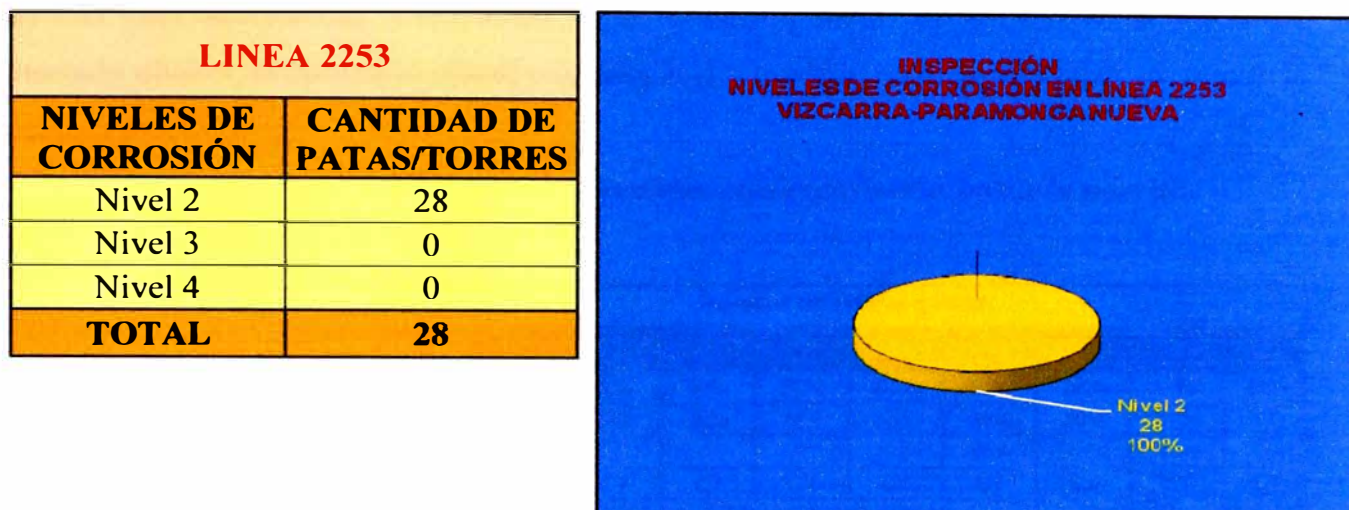
<b>LINEA 2252</b>	
<b>NIVELES DE CORROSIÓN</b>	<b>CANTIDAD DE PATAS/TORRES</b>
Nivel 2	230
Nivel 3	38
Nivel 4	4
<b>TOTAL</b>	<b>272</b>



Nivel 2: 85%  
 Nivel 3: 14%  
 Nivel 4: 1%

**Figura N° 6.2.- Ilustración gráfica de resultados inspección L-2252**

**LÍNEA VIZCARRA – PARAMONGA, L-2253**



**Figura N° 6.3.-Ilustración gráfica de resultados inspección L-2253**

**6.2.- Inspección de detalle con excavaciones**

Culminado con la inspección preliminar descrito en el ítem 6.1, se realizó la inspección con excavación de toda la fundación para apreciar el estado de conservación de la parrilla y el castillo, la parte piramidal de la fundación de la pata.

**6.2.1 Línea Aguaytía-Tingo María L-2251:** En la siguiente tabla, se muestra las torres que han sido intervenidas (excavación de la fundación hasta la parrilla) en donde se ha detectado niveles de corrosión mayor o igual a 3. Así también en la misma tabla se sugiere la acción correctiva.

**Tabla N° 6.2.- Torres intervenidas con excavación hasta la parrilla**

		TORRES DE LÍNEA: L-2251								
ELEMENTO FUNDACIÓN	NIVELES CORROSIÓN	4	14	67	74	84	97	112	121	145
CASTILLO	Nivel 3	65%	30%	70%	30%	20%	20%	30%	65%	20%
	Nivel 4	15%							5%	
	Nivel 5									
Acción Correctiva		CT	PT	CT	PT	PT	PT	PT	CT	PT
PARRILLA	Nivel 3	30%	20%	22%	10%	10%	40%	30%		
	Nivel 4	5%	5%	3%				5%		
	Nivel 5									
Acción Correctiva		CP/PT	CP/PT	CP/PT	PT	PT	PT	CP/PT		

- Intervención a corto plazo (3 meses) (Nivel 4<20% y Nivel 3>50%)
- Intervención a mediano plazo (6 meses) (Nivel 3<50%)
- CT Cambio total de perfiles (Nivel 4>0 y Nivel 3>50%)
- PT Pintado total de perfiles (Nivel 3<50%)
- CP Cambio parcial de perfiles (Nivel 4<20% y Nivel 3<50%)



**6.2.2.- Línea Tingo María-Vizcarra L-2252:** En la siguiente tabla, se muestra las torres que han sido intervenidas (excavación de la fundación hasta la parrilla) en donde se ha detectado niveles de corrosión mayor o igual a 3. Así también en la misma tabla se sugiere la acción correctiva.

**Tabla N° 6.3 Torres intervenidas con excavación hasta la parrilla**

		TORRES DE LÍNEA: L-2252									
ELEMENTO FUNDACIÓN	NIVELES CORROSIÓN	21	42	77	88	116	151	152	155	171	334
CASTILLO	Nivel 3	25%	40%	60%	60%	60%	60%	60%	70%	70%	80%
	Nivel 4		5%	15%	10%	15%	30%	30%	20%	20%	
	Nivel 5							10%		10%	
Acción Correctiva		PT	CP/PT	CT	CT	CT	CT	CT	CT	CT	CT
PARRILLA	Nivel 3	10%	5%	20%	25%	30%	30%	10%	30%	25%	70%
	Nivel 4			5%	5%				10%	5%	
	Nivel 5										
Acción Correctiva		PT	PT	CP/PT	CP/PT	PT	PT	PT	CP/PT	CP/PT	CT

- Intervención inmediata (Nivel 4>20% y Nivel 3>50%) en 4 torres
- Intervención a corto plazo (3 meses) (Nivel 4<20% y Nivel 3>50%) en 5 torres
- Intervención a mediano plazo (6 meses) (Nivel 3<50%)
- CT Cambio total de perfiles (Nivel 4>0 y Nivel 3>50%)
- PT Pintado total de perfiles (Nivel 3<50%)
- CP Cambio parcial de perfiles (Nivel 4<20% y Nivel 3<50%)

**6.2.3 Línea Vizcarra-Paramonga Nueva L-2253:** En la siguiente tabla, se muestra las torres que han sido intervenidas (excavación de la fundación hasta la parrilla) en donde se ha detectado niveles de corrosión mayor o igual a 3. Así también en la misma tabla se sugiere la acción correctiva.

**Tabla N° 6.4 Torres intervenidas con excavación hasta la parrilla**

		TORRES DE LÍNEA: L-2253					
ELEMENTO FUNDACIÓN	NIVELES CORROSIÓN	542	543	550	557	559	661
CASTILLO	Nivel 3	10%			20%	10%	
	Nivel 4						
	Nivel 5						
Acción Correctiva		PT			PT	PT	
PARRILLA	Nivel 3	30%	30%	30%	30%	10%	80%
	Nivel 4						
	Nivel 5						
Acción Correctiva		PT	PT	PT	PT	PT	CT

- Intervención a corto plazo (3 meses) (Nivel 4<20% y Nivel 3>50%)
- Intervención a mediano plazo (6 meses) (Nivel 3<50%)
- CT Cambio total de perfiles (Nivel 4>0 y Nivel 3>50%)
- PT Pintado total de perfiles (Nivel 3<50%)

### 6.3.- Acciones correctivas

A continuación se presenta un resumen de los 3 cuadros que se mencionaron anteriormente, en el ítem 6.2, en este se indica la cantidad de torres a ser intervenidas de manera inmediata, a corto plazo y mediano plazo.

- Intervención inmediata en 4 torres
- Intervención a corto plazo (3 meses) en 9 torres
- Intervención a mediano plazo (6 meses) en 12 torres

En este punto cabe mencionar que las torres intervenidas para efectos de diagnóstico del presente estudio fueron 36, pero de acuerdo al resumen anterior la cantidad de torres a ser intervenidas suman 25, lo que significa que en 11 torres donde se efectuó la excavación hasta la parrilla se encontró nivel de corrosión menor a 3 y no se mencionan en los cuadros descritos líneas arriba, puesto que el nivel de corrosión 2 consideramos no representa peligro que comprometa la estabilidad de las torres.

- En cada cuadro descrito anteriormente se sugiere las acciones correctivas tales como cambio total de perfiles CT, pintado total de perfiles PT y cambio parcial de perfiles CP, estas se determinaron en función al porcentaje detectado de corrosión tal como se indica en cada uno de ellos, para el caso de pintado total de perfiles se deberá limpiar con escobillas las partes afectadas de corrosión, luego aplicar una capa de pintura base a todo el elemento, segundo se aplicará dos capas de pintura bituminosa final, esta última pintura contiene un porcentaje de alquitrán, luego de este proceso de pintado especial se logra impermeabilizar los perfiles y dar mayor protección ante los agentes corrosivos del suelo.
- Una vez planteada las intervenciones y plazos de acciones correctivas, procedemos a elaborar tablas de costos aproximados (Inversiones) que demandará cada actividad.

### 6.4.- Costos de las medidas correctivas

En la siguiente tabla, se muestra el costo estimado de la acción correctiva en una pata de la torre.

**Tabla N° 6.5 Costos de actividades en una pata de la torre**

ELEMENTO DE FUNDACION	ACCION CORRECTIVA	COSTO EN UNA PATA (US \$)
CASTILLO	CT	480
	PT	230
	CP	192
PARRILLA	CT	500
	PT	220
	CP	200

CT : Cambio total de perfiles  
 PT : Pintado total de perfiles  
 CP : Cambio parcial de perfiles

En las siguientes tablas mostraremos el análisis de costos por cada línea de transmisión:

**Tabla N° 6.6.- Análisis de costos en la línea L-2251**

TORRES DE LÍNEA: L-2251									
ELEMENTO FUNDACIÓN	4	14	67	74	84	97	112	121	145
Castillo	CT	PT	CT	PT	PT	PT	PT	CT	PT
Parrilla	CP/PT	CP/PT	CP/PT	PT	PT	PT	CP/PT		
Costo US\$ por pata	900	650	900	450	450	450	650	480	230
Costo US\$ por torre (*)	3600	2600	3600	1800	1800	1800	2600	1920	920
<b>Costo por L.T. US \$</b>	<b>20640</b>								

**Tabla N° 6.7.- Análisis de costos en la línea L-2252**

TORRES DE LÍNEA: L-2252										
ELEMENTO FUNDACIÓN	21	42	77	88	116	151	152	155	171	334
Castillo	PT	CP/PT	CT	CT	CT	CT	CT	CT	CT	CT
Parrilla	PT	PT	CP/PT	CP/PT	PT	PT	PT	CP/PT	CP/PT	CT
Costo US\$ por pata	450	642	900	900	700	700	700	900	900	980
Costo US\$ por torre (*)	1800	2568	3600	3600	2800	2800	2800	3600	3600	3920
<b>Costo por L.T. US \$</b>	<b>31088</b>									

**Tabla N° 6.8.- Análisis de costos en la línea L-2253**

TORRES DE LÍNEA: L-2253						
ELEMENTO FUNDACIÓN	542	543	550	557	559	560
Castillo	PT			PT	PT	
Parrilla	PT	PT	PT	PT	PT	CT
Costo US\$ por pata	450	220	220	450	450	500
Costo US\$ por torre (*)	1800	880	880	1800	1800	2000
<b>Costo por L.T. US \$</b>	<b>9160</b>					

(\*) Asumiendo que las otras 3 patas de la torre se encuentran en similares condiciones que la pata intervenida.

- Luego del análisis de costos por L.T. podemos determinar el costo total de reparación (costo directo) en las 3 líneas, resultando US \$ 60 888; este monto correspondería a la solución correctiva en las 25 torres donde se intervino (excavación hasta la parrilla) y se detectó nivel de corrosión mayor o igual a 3.
- En los análisis de costos se pensó también en el cambio de fundación de parrilla por fundación de concreto, pero el costo por torre en la segunda opción asciende alrededor de US \$ 7 000, lo cual resulta muy costoso y desde el punto de vista de la seguridad en el momento de sostener la torre resultaría muy arriesgado.

### 6.5.- Recomendación de inspección de detalle con excavación

De acuerdo a lo indicado en el ítem 5.4 (Sectores con posible corrosión en parrilla de niveles mayor o igual a 3), se contabilizan 205 torres con posible nivel de corrosión 3, de las cuales 25 han sido intervenidas, por lo tanto, quedan por inspeccionar a detalle la cantidad de 180 torres, tal como se detalla a continuación:

**L-2251  
AGUAYTÍA- TINGO MARÍA**

Item	Sectores o Tramos	Torres Inspeccionadas	Cantidad de Torres a Inspeccionar
1	3 y 4	4	1
2	11 a 16	14	5
3	49 a 54	0	6
4	67 a 87	67, 74, 84	18
5	97 a 106	97	9
6	112 a 145	112, 121, 145	31
Cantidad Total de Torres a Inspeccionar			<b>70</b>

**L-2252  
TINGO MARÍA - VIZCARRA**

Item	Sectores o Tramos	Torres Inspeccionadas	Cantidad de Torres a Inspeccionar
1	7 a 25	21	18
2	42 a 43	42	1
3	63 a 90	77, 88	26
4	116 a 159	116,151,152,155	40
5	167 a 179	171	12
6	334	1	0
Cantidad Total de Torres a Inspeccionar			<b>97</b>

**L-2253  
VIZCARRA - PARAMONGA**

Item	Sectores o Tramos	Torres Inspeccionadas	Cantidad de Torres a Inspeccionar
1	542 a 560	542, 543, 550, 557, 559, 560	<b>13</b>

- Como se mencionó anteriormente se requiere de inspección minuciosa en 180 torres, asumiendo que se encuentre condiciones desfavorables de corrosión en la parrilla (niveles mayores a 3) y considerando que el costo promedio de acciones correctivas por torre (determinado de los cuadros de análisis de costos por L.T.) es de US \$ 2400, podemos proyectarnos en una cifra aproximada total de US \$ 432 000.
- Finalmente en los cuadros anteriores y en el cuadro del ítem 5.4. se muestran sectores o tramos de torres donde se ha detectado niveles de corrosión igual a 3 durante la fase de inspección y que posiblemente se encuentre mayores niveles de corrosión en la parrilla al momento de inspeccionar de manera minuciosa (con excavación hasta la parrilla), pero en estos sectores hemos incluido también torres con nivel de corrosión igual a 2, hallados en la inspección, esto debido al terreno donde está ubicada la torre que presenta bastante humedad

## CONCLUSIONES

1. Las Líneas de Transmisión en 220 kV de ETESELVA, aproximadamente a 10 años de su instalación se han detectado niveles de corrosión elevados, como los mostrados en el presente estudio, teniendo en consideración que las líneas de transmisión son diseñados para 30 años de servicio.
2. El método de inspección empleado en el presente estudio ha permitido determinar que las estructuras de soporte de las líneas de transmisión son las críticas por efectos de la corrosión y dentro de ella los que tienen alto grado de criticidad, son las fundaciones.
3. La mala compactación de las fundaciones realizado durante la etapa de construcción, originó vacíos dentro del castillo (bolsas de oxígeno) y humedad que originan la corrosión en zonas donde el galvanizado ha sido removido por efectos mecánicos (se encontró en mucho de los casos rellenos de rocas).
4. Se recomienda hacer el monitoreo del estado físico de los elementos de la línea de transmisión, de tal manera de prevenir que se afecte la confiabilidad del sistema eléctrico.
5. Se recomienda realizar una adecuada supervisión en obra durante la fase de compactación para evitar la ocurrencia de condiciones que originen la corrosión.

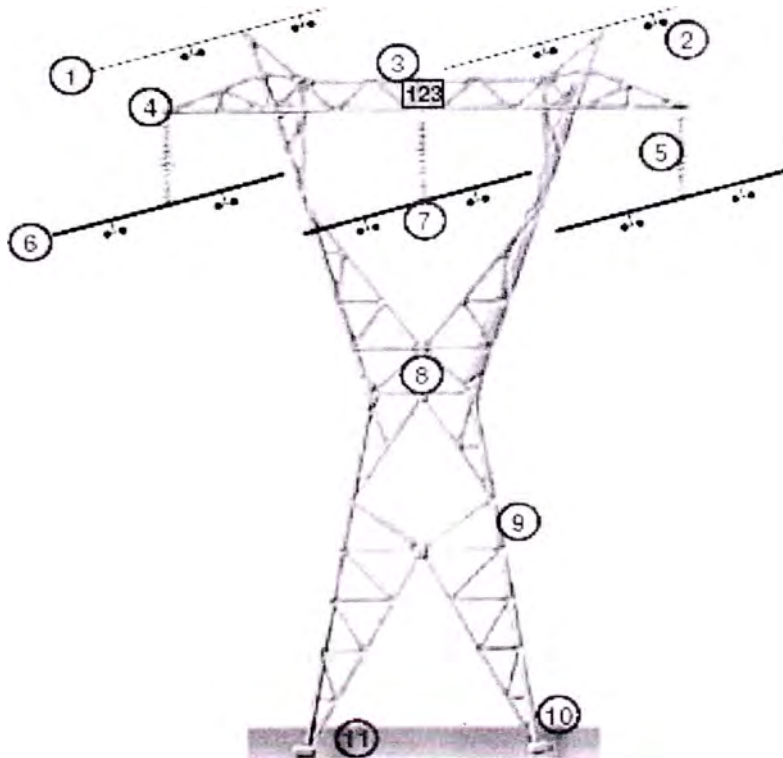
## **ANEXOS**

**. ANEXO N° 1**

**COMPONENTES DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN**

## COMPONENTES DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

1. Cables de Guarda
2. Amortiguadores
3. Placas de Identificación
4. Herrajes
5. Aisladores
6. Cables Conductores
7. Grapas
8. Estructura
9. Pernos de Escalera y Tornillería
10. Interfase
11. Fundación y Puesta a Tierra





· **ANEXO N° 2**

**DETALLE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS  
LUEGO DE LA INSPECCIÓN**

**RESULTADOS EN LINEA 220 kV L-2251 AGUAYTIA – TINGO MARIA:**

<b>Línea L-2251 AGUAYTIA - TINGO MARIA 220 kV</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Línea</b>	<b>Tramo</b>	<b>Torre</b>	<b>Pata</b>	<b>Observaciones</b>
1	2251	01	3	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
2	2251	01	4	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3 - Corrosión en cable de PT Nivel 4 (parte excavada)
3	2251	01	11	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3 - Corrosión en cable de PT Nivel 4 (parte excavada)
4	2251	01	13	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3 - Corrosión en cable de PT Nivel 4 (parte excavada)
5	2251	01	14	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3 - Corrosión en cable de PT Nivel 3 (parte excavada)
6	2251	01	15	2	- Corrosión Nivel 2
7	2251	01	16	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
8	2251	01	48	3	- Corrosión Nivel 2
9	2251	01	49	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
10	2251	01	54	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
11	2251	02	57	2	- Corrosión Nivel 2
12	2251	02	59	2	- Corrosión Nivel 2
13	2251	02	60	3	- Corrosión Nivel 2
14	2251	02	62	3	- Corrosión Nivel 2
15	2251	02	63	3	- Corrosión Nivel 2
16	2251	02	65	3	- Corrosión Nivel 2
17	2251	02	67	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
18	2251	02	68	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
19	2251	02	69	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3 - Poda de árbol cerca ala base de la pata 04
20	2251	02	70	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
21	2251	03	71	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
22	2251	03	72	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
23	2251	03	74	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3

					- Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
24	2251	03	76	1	- Corrosión Nivel 2
25	2251	03	77	2	- Corrosión Nivel 2
26	2251	03	78	2	- Corrosión Nivel 2 - Las 3 cadena de aisladores forma un ángulo de 40° hacia la torre 77
27	2251	03	79	2	- Corrosión Nivel 2
28	2251	03	80	2	- Corrosión Nivel 2
29	2251	03	81	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
30	2251	03	82	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
31	2251	04	83	2	- Corrosión Nivel 2 - Corrosión en cable de PT Nivel 3 (parte excavada)
32	2251	04	84	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
33	2251	04	85	4	- Corrosión Nivel 2
34	2251	04	86	4	- Corrosión Nivel 2
35	2251	04	87	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
36	2251	04	88	-	- Presenta Stub
37	2251	04	89	-	- Presenta Stub
38	2251	04	91	-	- Presenta Stub - La torre 90 no existe
39	2251	04	93	1	- Corrosión Nivel 2
40	2251	04	94	1	- Corrosión Nivel 2 - Filtración de agua a 30 cm de la base
41	2251	05	95	3	- Corrosión Nivel 2
42	2251	05	96	4	- Corrosión Nivel 2 - Falta cartel de identificación
43	2251	05	97	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
44	2251	05	99	-	- Presenta Stub
45	2251	05	100	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
46	2251	05	101	2	- Corrosión Nivel 2
47	2251	05	102	2	- Corrosión Nivel 2
48	2251	05	103	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
49	2251	05	104	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
50	2251	05	105	2	- Corrosión Nivel 2
51	2251	06	106	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
52	2251	06	107	4	- Corrosión Nivel 2
53	2251	06	108	3	- Corrosión Nivel 2
54	2251	06	112	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
55	2251	06	113	3	- Corrosión Nivel 2

56	2251	06	115	2	- Corrosión Nivel 2
57	2251	06	116	4	- Corrosión Nivel 2
58	2251	06	117	4	- Corrosión Nivel 2
59	2251	06	118	4	- Corrosión Nivel 2 - Corrosión de PT Nivel 3
60	2251	06	119	2	- Corrosión Nivel 2 - Corrosión de PT Nivel 3
61	2251	07	120	1	- Corrosión Nivel 2
62	2251	07	121	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3 - Corrosión de PT Nivel 3
63	2251	07	122	2	- Corrosión Nivel 2 - Corrosión de PT Nivel 3
64	2251	07	123	2	- Corrosión Nivel 2
65	2251	07	124	2	- Corrosión Nivel 2
66	2251	07	125	4	- Corrosión Nivel 2
67	2251	07	126	2	- Corrosión Nivel 2
68	2251	07	127	3	- Corrosión Nivel 2
69	2251	07	128	3	- Corrosión Nivel 2
70	2251	07	129	-	- Presenta Stub - Base de la torre empozado de agua
71	2251	07	131	1	- Corrosión Nivel 2
72	2251	08	134	1	- Corrosión Nivel 2
73	2251	08	135	2	- Corrosión Nivel 2
74	2251	08	136	3	- Corrosión Nivel 2
75	2251	08	138	3	- Corrosión Nivel 2
76	2251	08	139	4	- Corrosión Nivel 2
77	2251	08	140	4	- Corrosión Nivel 2
78	2251	08	141	1	- Corrosión Nivel 2
79	2251	08	142	1	- Corrosión Nivel 2
80	2251	08	143	4	- Corrosión Nivel 2
81	2251	08	144	2	- Corrosión Nivel 2
82	2251	08	145	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3 - Corrosión en pernos y tuercas Nivel 3
83	2251	09	148	1	- Corrosión Nivel 2
84	2251	09	149	4	- Corrosión Nivel 2
85	2251	09	150	4	- Corrosión Nivel 2
86	2251	09	151	3	- Corrosión Nivel 2
87	2251	09	152	2	- Corrosión Nivel 2
88	2251	09	153	2	- Corrosión Nivel 2
89	2251	09	154	3	- Corrosión Nivel 2
90	2251	09	155	4	- Corrosión Nivel 2
91	2251	09	156	1	- Corrosión Nivel 2
92	2251	09	158	3	- Corrosión Nivel 2

**RESULTADOS EN LINEA 220 kV L-2252 TINGO MARIA - VIZCARRA:**

<b>Línea L-2252 TINGO MARIA – VIZCARRA 220 kV</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Línea</b>	<b>Tramo</b>	<b>Torre</b>	<b>Pata</b>	<b>Observaciones</b>
1	2252	01	2	2	- Corrosión Nivel 2
2	2252	01	3	3	- Corrosión Nivel 2
3	2252	01	4	1	- Corrosión Nivel 2
4	2252	01	5	1	- Corrosión Nivel 2
5	2252	01	7	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
6	2252	01	8	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
7	2252	01	9	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
8	2252	01	10	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
9	2252	01	11	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
10	2252	01	12	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
11	2252	01	13	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
12	2252	01	14	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
13	2252	01	15	3	- Corrosión Nivel 2
14	2252	01	16	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
15	2252	01	17	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
16	2252	01	18	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
17	2252	01	19	1	- Corrosión Nivel 2
18	2252	01	20	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
19	2252	01	21	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
20	2252	01	22	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
21	2252	01	23	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
22	2252	01	24	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
23	2252	01	25	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
24	2252	02	26	3	- Corrosión Nivel 2
25	2252	02	27	4	- Corrosión Nivel 2
26	2252	02	29	2	- Corrosión Nivel 2
27	2252	02	30	1	- Corrosión Nivel 2
28	2252	02	31	3	- Corrosión Nivel 2
29	2252	02	32	2	- Corrosión Nivel 2
30	2252	02	33	2	- Corrosión Nivel 2
31	2252	02	34	3	- Corrosión Nivel 2
32	2252	02	35	3	- Corrosión Nivel 2
33	2252	02	36	4	- Corrosión Nivel 2
34	2252	02	37	1	- Corrosión Nivel 2
35	2252	02	38	2	- Corrosión Nivel 2
36	2252	02	39	3	- Corrosión Nivel 2
37	2252	02	40	4	- Corrosión Nivel 2
38	2252	02	41	3	- Corrosión Nivel 2
39	2252	02	42	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
40	2252	02	43	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
41	2252	02	44	3	- Corrosión Nivel 2
42	2252	02	47	4	- Corrosión Nivel 2
43	2252	02	48	4	- Corrosión Nivel 2
44	2252	02	49	4	- Corrosión Nivel 2
45	2252	03	55	2	- Corrosión Nivel 2
46	2252	03	56	2	- Corrosión Nivel 2

47	2252	03	57	4	- Corrosión Nivel 2
48	2252	03	58	3	- Presenta Stub
49	2252	03	59	2	- Corrosión Nivel 2
50	2252	03	60	2	- Corrosión Nivel 2
51	2252	03	61	3	- Corrosión Nivel 2
52	2252	03	63	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
53	2252	03	64	4	- Corrosión Nivel 2
54	2252	03	65	2	- Corrosión Nivel 2
55	2252	03	67	2	- Corrosión Nivel 2
56	2252	03	68	4	- Corrosión Nivel 2
57	2252	03	69	2	- Corrosión Nivel 2
58	2252	03	70	1	- Corrosión Nivel 2
59	2252	03	72	2	- Corrosión Nivel 2
60	2252	03	73	1	- Corrosión Nivel 2
61	2252	03	74	2	- Corrosión Nivel 2
62	2252	03	75	4	- Corrosión Nivel 2
63	2252	03	76	4	- Corrosión Nivel 2
64	2252	03	77	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
65	2252	03	78	3	- Corrosión Nivel 2
66	2252	03	79	2	- Corrosión Nivel 2
67	2252	03	80	2	- Corrosión Nivel 2
68	2252	03	81	3	- Corrosión Nivel 2
69	2252	03	82	2	- Corrosión Nivel 2
70	2252	03	83	2	- Corrosión Nivel 2
71	2252	04	88	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 4 - Presenta retenidas las 4 patas
72	2252	04	89	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
73	2252	04	90	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
74	2252	04	92	2	- Corrosión Nivel 2
75	2252	04	93	4	- Corrosión Nivel 2
76	2252	04	94	1	- Corrosión Nivel 2
77	2252	04	95	3	- Corrosión Nivel 2
78	2252	04	96	3	- Corrosión Nivel 2
79	2252	04	97	1	- Corrosión Nivel 2
80	2252	04	98	4	- Corrosión Nivel 2
81	2252	04	99	3	- Corrosión Nivel 2
82	2252	04	100	4	- Corrosión Nivel 2
83	2252	04	102	1	- Corrosión Nivel 2
84	2252	04	104	2	- Corrosión Nivel 2
85	2252	04	105	2	- Corrosión Nivel 2
86	2252	04	106	4	- Corrosión Nivel 2
87	2252	04	108	2	- Corrosión Nivel 2
88	2252	04	110	4	- Corrosión Nivel 2
89	2252	05	111	-	- Corrosión Nivel 2
90	2252	05	113	1	- Corrosión Nivel 2
91	2252	05	115	4	- Corrosión Nivel 2
92	2252	05	116	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
93	2252	05	117	1	- Corrosión Nivel 2
94	2252	05	118	2	- Corrosión Nivel 2
95	2252	05	119	3	- Corrosión Nivel 2

96	2252	05	120	4	- Corrosión Nivel 2
97	2252	05	122	4	- Corrosión Nivel 2
98	2252	05	123	2	- Corrosión Nivel 2
99	2252	05	124	2	- Corrosión Nivel 2
100	2252	05	125	3	- Corrosión Nivel 2
101	2252	05	126	2	- Corrosión Nivel 2
102	2252	05	127	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
103	2252	05	128	4	- Corrosión Nivel 2
104	2252	05	129	2	- Corrosión Nivel 2
105	2252	05	130	1	- Corrosión Nivel 2
106	2252	05	131	2	- Corrosión Nivel 2
107	2252	05	132	2	- Corrosión Nivel 2
108	2252	05	133	2	- Corrosión Nivel 2
109	2252	05	135	1	- Corrosión Nivel 2
110	2252	05	136	-	- Presenta Stub
111	2252	05	137	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
112	2252	06	141	2	- Corrosión Nivel 2
113	2252	06	142	-	- Presenta Stub
114	2252	06	144	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
115	2252	06	145	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
116	2252	06	146	3	- Corrosión Nivel 2
117	2252	06	147	2	- Corrosión Nivel 2
118	2252	06	148	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
119	2252	06	149	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
120	2252	06	150	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
121	2252	06	151	1	- Corrosión Nivel 4
122	2252	06	152	2	- Corrosión Nivel 4
123	2252	06	153	1	- Corrosión Nivel 2
124	2252	06	155	4	- Corrosión Nivel 4
125	2252	06	156	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
126	2252	06	157	2	- Corrosión Nivel 2
127	2252	06	158	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
128	2252	06	159	1	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
129	2252	06	160	4	- Corrosión Nivel 2
130	2252	06	161	1	- Corrosión Nivel 2
131	2252	06	162	2	- Corrosión Nivel 2
132	2252	06	163	4	- Corrosión Nivel 2
133	2252	06	164	3	- Corrosión Nivel 2
134	2252	06	165	4	- Corrosión Nivel 2
135	2252	07	166	1	- Corrosión Nivel 2
136	2252	07	167	3	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
137	2252	07	168	1	- Corrosión Nivel 2
138	2252	07	169	3	- Corrosión Nivel 2
139	2252	07	170	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
140	2252	07	171	4	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
141	2252	07	172	1	- Corrosión Nivel 2
142	2252	07	173	2	- Corrosión Nivel 2
143	2252	07	174	2	- Corrosión Nivel 2
144	2252	07	175	2	- Corrosión Nivel 2
145	2252	07	176	3	- Corrosión Nivel 2

146	2252	07	177	2	- Corrosión Nivel 2
147	2252	07	179	2	- Corrosión en perfiles del castillo Nivel 3
148	2252	07	180	1	- Corrosión Nivel 2
149	2252	07	181	4	- Corrosión Nivel 2
150	2252	07	184	4	- Corrosión Nivel 2
151	2252	07	185	3	- Corrosión Nivel 2
152	2252	07	186	4	- Corrosión Nivel 2
153	2252	07	189	2	- Corrosión Nivel 2
154	2252	07	190	2	- Corrosión Nivel 2
155	2252	07	191	2	- Corrosión Nivel 2
156	2252	07	193	1	- Corrosión Nivel 2
157	2252	08	196	3	- Corrosión Nivel 2
158	2252	08	197	1	- Corrosión Nivel 2
159	2252	08	199	1	- Corrosión Nivel 2
160	2252	08	200	2	- Corrosión Nivel 2
161	2252	08	201	2	- Corrosión Nivel 2
162	2252	08	202	1	- Corrosión Nivel 2
163	2252	08	203	1	- Corrosión Nivel 2
164	2252	08	204	3	- Corrosión Nivel 2
165	2252	08	205	2	- Corrosión Nivel 2
166	2252	08	207	2	- Corrosión Nivel 2
167	2252	08	208	2	- Corrosión Nivel 2
168	2252	08	209	1	- Corrosión Nivel 2
169	2252	08	210	2	- Corrosión Nivel 2
170	2252	08	211	4	- Corrosión Nivel 2
171	2252	08	212	3	- Corrosión Nivel 2
172	2252	08	213	2	- Corrosión Nivel 2
173	2252	08	214	3	- Corrosión Nivel 2
174	2252	08	215	3	- Corrosión Nivel 2
175	2252	08	216	4	- Corrosión Nivel 2
176	2252	08	217	4	- Corrosión Nivel 2
177	2252	08	218	4	- Corrosión Nivel 2
178	2252	08	220	4	- Corrosión Nivel 2
179	2252	08	221	4	- Corrosión Nivel 2
180	2252	08	222	1	- Corrosión Nivel 2
181	2252	08	223	1	- Corrosión Nivel 2
182	2252	09	225	4	- Corrosión Nivel 2
183	2252	09	226	4	- Corrosión Nivel 2
184	2252	09	232	1	- Corrosión Nivel 2
185	2252	09	235	3	- Corrosión Nivel 2
186	2252	09	236	4	- Corrosión Nivel 2
187	2252	09	238	2	- Corrosión Nivel 2
188	2252	09	239	3	- Corrosión Nivel 2
189	2252	09	240	3	- Corrosión Nivel 2
190	2252	09	241	4	- Corrosión Nivel 2
191	2252	09	242	3	- Corrosión Nivel 2
192	2252	09	243	4	- Corrosión Nivel 2
193	2252	09	244	4	- Corrosión Nivel 2
194	2252	09	245	1	- Corrosión Nivel 2
195	2252	09	250	2	- Corrosión Nivel 2



196	2252	09	252	1	- Corrosión Nivel 2
197	2252	09	253	4	- Corrosión Nivel 2
198	2252	09	254	3	- Corrosión Nivel 2
199	2252	10	257	1	- Corrosión Nivel 2
200	2252	10	258	4	- Corrosión Nivel 2
201	2252	10	259	3	- Corrosión Nivel 2
202	2252	10	260	2	- Corrosión Nivel 2
203	2252	10	263	3	- Corrosión Nivel 2
204	2252	10	264	1	- Corrosión Nivel 2
205	2252	10	265	4	- Corrosión Nivel 2
206	2252	10	266	2	- Corrosión Nivel 2
207	2252	10	267	4	- Corrosión Nivel 2
208	2252	10	272	4	- Corrosión Nivel 2
209	2252	10	273	3	- Corrosión Nivel 2
210	2252	10	276	2	- Corrosión Nivel 2
211	2252	10	280	3	- Corrosión Nivel 2
212	2252	10	281	4	- Corrosión Nivel 2
213	2252	10	283	1	- Corrosión Nivel 2
214	2252	10	284	4	- Corrosión Nivel 2
215	2252	10	285	1	- Corrosión Nivel 2
216	2252	10	286	3	- Corrosión Nivel 2
217	2252	10	287	3	- Corrosión Nivel 2
218	2252	10	288	2	- Corrosión Nivel 2
219	2252	10	289	4	- Corrosión Nivel 2
220	2252	10	290	3	- Corrosión Nivel 2
221	2252	10	291	2	- Corrosión Nivel 2
222	2252	10	292	1	- Corrosión Nivel 2
223	2252	10	293	3	- Corrosión Nivel 2
224	2252	11	294	4	- Corrosión Nivel 2
225	2252	11	295	3	- Corrosión Nivel 2
226	2252	11	296	2	- Corrosión Nivel 2
227	2252	11	299	3	- Corrosión Nivel 2
228	2252	11	300	1	- Corrosión Nivel 2
229	2252	11	301	2	- Corrosión Nivel 2
230	2252	11	302	2	- Corrosión Nivel 2
231	2252	11	303	3	- Corrosión Nivel 2
232	2252	11	304	3	- Corrosión Nivel 2
233	2252	11	305	2	- Corrosión Nivel 2
234	2252	11	307	3	- Corrosión Nivel 2
235	2252	11	308	2	- Corrosión Nivel 2
236	2252	11	309	3	- Corrosión Nivel 2
237	2252	11	310	4	- Corrosión Nivel 2
238	2252	11	311	2	- Corrosión Nivel 2
239	2252	11	312	4	- Corrosión Nivel 2
240	2252	11	313	4	- Corrosión Nivel 2
241	2252	11	314	1	- Corrosión Nivel 2
242	2252	11	316	2	- Corrosión Nivel 2
243	2252	11	317	2	- Corrosión Nivel 2
244	2252	11	318	2	- Corrosión Nivel 2
245	2252	11	319	1	- Corrosión Nivel 2

246	2252	11	320	3	- Corrosión Nivel 2
247	2252	11	321	2	- Corrosión Nivel 2
248	2252	11	322	3	- Corrosión Nivel 2
249	2252	11	324	3	- Corrosión Nivel 2
250	2252	12	325	4	- Corrosión Nivel 2
251	2252	12	326	2	- Corrosión Nivel 2
252	2252	12	327	1	- Corrosión Nivel 2
253	2252	12	329	1	- Corrosión Nivel 2
254	2252	12	330	1	- Corrosión Nivel 2
255	2252	12	334	4	- Corrosión Nivel 2
256	2252	12	335	3	- Corrosión Nivel 2
257	2252	12	336	2	- Corrosión Nivel 2
258	2252	12	337	2	- Corrosión Nivel 2
259	2252	12	338	4	- Corrosión Nivel 2
260	2252	12	339	2	- Corrosión Nivel 2
261	2252	12	340	1	- Corrosión Nivel 2
262	2252	12	341	3	- Corrosión Nivel 2
263	2252	12	343	2	- Corrosión Nivel 2
264	2252	12	349	4	- Corrosión Nivel 2
265	2252	12	352	2	- Corrosión Nivel 2
266	2252	12	353	1	- Corrosión Nivel 2
267	2252	12	354	2	- Corrosión Nivel 2
268	2252	12	355	1	- Corrosión Nivel 2
269	2252	12	356	1	- Corrosión Nivel 2
270	2252	12	357	1	- Corrosión Nivel 2
271	2252	12	358	1	- Corrosión Nivel 2
272	2252	12	359	4	- Corrosión Nivel 2
273	2252	12	360	1	- Corrosión Nivel 2
274	2252	12	363	1	- Corrosión Nivel 2
275	2252	12	364	-	- Presenta Stub

**RESULTADOS EN LINEA 220 kV L-2253 VIZCARRA - PARAMONGA:**

<b>Línea L- 2253 VIZCARRA - PARAMONGA NUEVA 220 kV</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Línea</b>	<b>Tramo</b>	<b>Torre</b>	<b>Pata</b>	<b>Observaciones</b>
1	2253	01	540	-	- Presenta Stub
2	2253	01	541	4	- Corrosión Nivel 2
3	2253	01	542	1	- Corrosión Nivel 2
4	2253	01	543	2	- Corrosión Nivel 2
5	2253	01	544	-	- Presenta Stub
6	2253	01	545	4	- Corrosión Nivel 2
7	2253	01	546	1	- Corrosión Nivel 2
8	2253	01	547	2	- Corrosión Nivel 2
9	2253	01	548	2	- Corrosión Nivel 2
10	2253	01	549	3	- Corrosión Nivel 2
11	2253	01	550	4	- Corrosión Nivel 2
12	2253	01	551	2	- Corrosión Nivel 2
13	2253	01	552	4	- Corrosión Nivel 2
14	2253	01	553	4	- Corrosión Nivel 2
15	2253	01	554	3	- Corrosión Nivel 2
16	2253	01	555	1	- Corrosión Nivel 2
17	2253	01	556	1	- Corrosión Nivel 2
18	2253	01	557	2	- Corrosión Nivel 2
19	2253	01	558	1	- Corrosión Nivel 2
20	2253	01	559	1	- Corrosión Nivel 2
21	2253	01	560	3	- Corrosión Nivel 2
22	2253	01	561	3	- Corrosión Nivel 2
23	2253	01	562	1	- Corrosión Nivel 2
24	2253	01	563	1	- Corrosión Nivel 2
25	2253	01	564	1	- Corrosión Nivel 2
26	2253	01	565	-	- Presenta Stub
27	2253	01	566	2	- Corrosión Nivel 2
28	2253	01	567	3	- Corrosión Nivel 2
29	2253	01	568	1	- Corrosión Nivel 2
30	2253	01	569	2	- Corrosión Nivel 2
31	2253	01	570	1	- Corrosión Nivel 2

**REPORTE DE EXCAVACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE CORROSIÓN EN 36 PATAS DE TORRES SELECCIONADAS:**

**Línea L-2251 AGUAYTIA - TINGO MARIA 220 kV**

Ítem	Línea	Tramo	Torre	Pata seleccionada	Perfiles del castillo	Parrilla	Observaciones
1	2251	01	004	03	- Valor de PH : 6,1 - Corrosión Nivel 4, 15% - Corrosión Nivel 3, 65% - Corrosión Nivel 2, 20% - El embreado permanece 10%	- Valor de PH : 6,0 - Corrosión Nivel 4, 5% - Corrosión Nivel 3, 30% - Corrosión Nivel 2, 65%	- Puesta a tierra presenta daños - Profundidad de excavación 2.40mts. - Suelo ligeramente ácido
2	2251	01	014	01	- Corrosión Nivel 3, 30% - Corrosión Nivel 2, 70% - El embreado permanece 5%	- Valor de PH : 6,2 - Corrosión Nivel 4, 5% - Corrosión Nivel 3, 20% - Corrosión Nivel 2, 75%	- El cable de puesta a tierra presenta sulfatación - Profundidad de excavación 2.45mts - Suelo ligeramente ácido
3	2251	02	067	04	- Valor de PH : 4,8 - Corrosión Nivel 3, 70% - Corrosión Nivel 2, 30%	- Valor de PH : 5,3 - Corrosión Nivel 4, 3% - Corrosión Nivel 3, 22% - Corrosión Nivel 2, 75%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.80mts. - Suelo fuertemente ácido
4	2251	03	074	02	- Corrosión Nivel 3, 30% - Corrosión Nivel 2, 70% - El embreado se perdió en su totalidad	- Valor de PH : 4,9 - Corrosión Nivel 3, 10% - Corrosión Nivel 2, 90%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.70mts. - Suelo fuertemente ácido
5	2251	04	084	04	- Corrosión Nivel 3, 20% - Corrosión Nivel 2, 80% - El embreado permanece 30%	- Valor de PH : 5,1 - Corrosión Nivel 3, 10% - Corrosión Nivel 2, 90%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.40mts. - Suelo fuertemente ácido
6	2251	05	097	02	- Corrosión Nivel 3, 20%	- Valor de PH : 5,1	- El cable de puesta a tierra

					- Corrosión Nivel 2, 80% - El embreado se perdió en su totalidad	- Corrosión Nivel 3, 40% - Corrosión Nivel 2, 60%	presenta daños - Profundidad de excavación 2.70mts. - Suelo fuertemente ácido
7	2251	06	112	01	- Valor de PH : 6,0 - Corrosión Nivel 3, 30% - Corrosión Nivel 2, 70% - El embreado se perdió en su totalidad	- Valor de PH : 6,0 - Corrosión Nivel 4, 5% - Corrosión Nivel 3, 30% - Corrosión Nivel 2, 65%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.40mts. - Suelo moderadamente ácido
8	2251	07	121	01	- Valor de PH : 6,2 - Corrosión Nivel 4, 5% - Corrosión Nivel 3, 65% - Corrosión Nivel 2, 30% - El embreado se perdió en su totalidad	- Valor de PH : 5,8 - Base de parrillas de concreto	- Puesta a tierra presenta daños (2 hebras rotas) - Profundidad de excavación 2.40mts. - Suelo ligeramente ácido
9	2251	08	145	03	- Corrosión Nivel 3, 20% - Corrosión Nivel 2, 80% - El embreado se perdió en su totalidad	- Valor de PH : 7,6 - Corrosión Nivel 2, 100%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.40mts. - Suelo ligeramente alcalino

**Línea L- 2252 TINGO MARIA - VIZCARRA 220 Kv**

Ítem	Línea	Tramo N°	Torre N°	Pata elegida	Perfiles del castillo	Parrilla	Observaciones
1	2252	01	021	03	- Corrosión Nivel 3, 25% - Corrosión Nivel 2, 75% - El embreado se perdió en su totalidad	- Valor de PH : 6,0 - Corrosión Nivel 3, 10% - Corrosión Nivel 2, 90%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.70mts. - Suelo moderadamente ácido
2	2252	02	042	01	- Corrosión Nivel 4, 5% - Corrosión Nivel 3, 40% - Corrosión Nivel 2, 55% - El embreado se perdió en su totalidad	- Valor de PH : 7,3 - Corrosión Nivel 3, 5% - Corrosión Nivel 2, 95%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.40mts. - Suelo ligeramente alcalino, corrosión por mala compactación
3	2252	03	077	03	- Valor de PH : 5,5 - Corrosión Nivel 4, 15% - Corrosión Nivel 3, 60% - Corrosión Nivel 2, 25% - El embreado se perdió en su totalidad	- Valor de PH : 6,3 - Corrosión Nivel 4, 5% - Corrosión Nivel 3, 20% - Corrosión Nivel 2, 75%	- El cable de puesta a tierra presenta sulfatación. - Profundidad de excavación 2.40mts. - Suelo fuertemente ácido en perfil del castillo y ligeramente ácido en la parrilla.
4	2252	04	088	01	- Valor de PH : 6,1 - Corrosión Nivel 4, 10% - Corrosión Nivel 3, 60% - Corrosión Nivel 2, 30% - El embreado se perdió en su totalidad	- Valor de PH : 6,1 - Corrosión Nivel 4, 5% - Corrosión Nivel 3, 25% - Corrosión Nivel 2, 70%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.80mts. - Suelo ligeramente ácido
5	2252	05	116	01	- Corrosión Nivel 4, 15% - Corrosión Nivel 3, 60%	- Valor de PH : 6,1 - Corrosión Nivel 3, 30%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación

					<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosión Nivel 2, 25%</li> <li>- El embreado se perdió en su totalidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosión Nivel 2, 70%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.40mts</li> <li>- Suelo ligeramente ácido, corrosión por mala compactación</li> </ul>
6	2252	06	151	01	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosión Nivel 4, 30%</li> <li>- Corrosión Nivel 3, 60%</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 10%</li> <li>- El embreado se perdió en su totalidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 8,4</li> <li>- Corrosión Nivel 3, 30%</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 70%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe puesta a tierra</li> <li>- Profundidad de excavación 2.40mts</li> <li>- Suelo moderadamente alcalino, corrosión por mala compactación</li> </ul>
7	2252	06	152	02	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 8,4</li> <li>- Corrosión Nivel 5, 10%</li> <li>- Corrosión Nivel 4, 30%</li> <li>- Corrosión Nivel 3, 60%</li> <li>- El embreado se perdió en su totalidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosión Nivel 3, 10%</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 90%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe puesta a tierra</li> <li>- Profundidad de excavación 2.40mts</li> <li>- Suelo moderadamente alcalino, corrosión por mala compactación</li> </ul>
8	2252	06	155	01	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 7,9</li> <li>- Corrosión Nivel 4, 20%</li> <li>- Corrosión Nivel 3, 70%</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 10%</li> <li>- El embreado se perdió en su totalidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 8,5</li> <li>- Corrosión Nivel 4, 10%</li> <li>- Corrosión Nivel 3, 30%</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 60%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe puesta a tierra</li> <li>- Profundidad de excavación 2.40mts.</li> <li>- Suelo moderadamente alcalino, corrosión por mala compactación</li> </ul>
9	2252	07	171	04	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 8,4</li> <li>- Corrosión Nivel 5, 10%</li> <li>- Corrosión Nivel 4, 20%</li> <li>- Corrosión Nivel 3, 70%</li> <li>- El embreado se perdió en su totalidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 8,5</li> <li>- Corrosión Nivel 4, 5%</li> <li>- Corrosión Nivel 3, 25%</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 70%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe puesta a tierra</li> <li>- Profundidad de excavación 2.40mts</li> <li>- Suelo moderadamente alcalino, corrosión por mala compactación</li> </ul>
10	2252	10	286	04	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosión Nivel 2, 100%</li> <li>- El embreado se perdió en su totalidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 8,2</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 100%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puesta a tierra en buen estado</li> <li>- Profundidad de excavación 2.40mts</li> <li>- Suelo moderadamente</li> </ul>

							alcalino
11	2252	11	294	04	- Corrosión Nivel 2, 100% - El embreado se perdió en su totalidad	- Valor de PH : 5.3 - Corrosión Nivel 2, 100%	- No existe Puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.40mts. - Suelo fuertemente ácido
12	2252	12	334	04	- Corrosión Nivel 3, 80% - Corrosión Nivel 2, 20% - El embreado permanece 70%	- Valor de PH : 5,7 - Corrosión Nivel 3, 70% - Corrosión Nivel 2, 30%	- No existe Puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.40mts - Suelo moderadamente ácido



**Línea L-2253 VIZCARRA – PARAMONGA NUEVA 220 kV**

<b>Ítem</b>	<b>Línea</b>	<b>Tramo N°</b>	<b>Torre N°</b>	<b>Pata elegida</b>	<b>Perfiles del castillo</b>	<b>Parrilla</b>	<b>Observaciones</b>
01	2253	01	541	02	- Corrosión Nivel 2, 100% - El embreado permanece 80%	- Valor de PH : 7,1 - Corrosión Nivel 2, 100%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.45mts - Suelo ligeramente alcalino
02	2253	01	542	01	- Corrosión Nivel 3, 10% - Corrosión Nivel 2, 90% - El embreado permanece 50%	- Valor de PH : 7,5 - Corrosión Nivel 3, 30% - Corrosión Nivel 2, 70%	- Puesta a tierra en buen estado - Profundidad de excavación 2.45mts - Suelo ligeramente alcalino, corrosión debido a golpes de piedras.
03	2253	01	543	02	- Corrosión Nivel 2, 100% - El embreado permanece 70%	- Valor de PH : 7,2 - Corrosión Nivel 3, 30% - Corrosión Nivel 2, 70%	- No existe puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.40mts. - Suelo ligeramente alcalino
04	2253	01	545	02	- Corrosión Nivel 2, 100% - El embreado permanece 80%	- Valor de PH : 7,9 - Corrosión Nivel 2, 100%	- Puesta a tierra en buen estado - Profundidad de excavación 2.40mts. - Suelo moderadamente alcalino
05	2253	01	547	01	- Corrosión Nivel 2, 100% - El embreado permanece 80%	- Valor de PH : 6,7 - Corrosión Nivel 2, 100%	- Puesta a tierra en buen estado - Profundidad de excavación 2.40mts

							- Suelo considerado neutro (entre alcalino y ácido)
06	2253	01	548	02	- Corrosión Nivel 2, 100% - El embreado permanece 80%	- Valor de PH : 7,3 - Corrosión Nivel 2, 100%	- Puesta a tierra en buen estado - Profundidad de excavación 2.40mts - Suelo ligeramente alcalino
07	2253	01	549	01	- Corrosión Nivel 2, 100% - El embreado permanece 80%	- Valor de PH : 7,0 - Corrosión Nivel 2, 100%	-No existe Puesta a tierra - Profundidad de excavación 2.40mts - Suelo considerado neutro (entre alcalino y ácido)
08	2253	01	550	02	- Corrosión Nivel 2, 100% - El embreado permanece 80%	- Valor de PH : 8,2 - Corrosión Nivel 3, 30% - Corrosión Nivel 2, 70%	- Puesta a tierra en buen estado - Profundidad de excavación 2.40mts - Suelo moderadamente alcalino - Al parecer perfil dañados antes del montaje.
09	2253	01	551	01	- Corrosión Nivel 2, 100% - El embreado permanece 80%	- Valor de PH : 8,2 - Corrosión Nivel 2, 100%	- Puesta a tierra en buen estado - Profundidad de excavación 2.40mts - Suelo moderadamente alcalino
10	2253	01	557	01	- Corrosión Nivel 3, 20% - Corrosión Nivel 2, 80% - El embreado permanece 80%	- Valor de PH : 7,6 - Corrosión Nivel 3, 30% - Corrosión Nivel 2, 70%	- Puesta a tierra en buen estado - Profundidad de excavación 2.40mts - Suelo ligeramente alcalino

11	2253	01	558	01	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosión Nivel 2, 100%</li> <li>- El embreado permanece 80%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 7,7</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 100%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tuerca de unión del soporte de la pata no ajustada</li> <li>- Puesta a tierra en buen estado</li> <li>- Profundidad de excavación 2.40mts</li> <li>- Suelo moderadamente alcalino</li> </ul>
12	2253	01	559	02	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosión Nivel 3, 10%</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 90%</li> <li>- El embreado permanece 80%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 7,8</li> <li>- Corrosión Nivel 3, 10%</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 90%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puesta a tierra en buen estado</li> <li>- Profundidad de excavación 2.40mts</li> <li>- Suelo moderadamente alcalino</li> <li>- Al parecer perfil dañados antes del montaje.</li> </ul>
13	2253	01	560	01	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosión Nivel 2, 100%</li> <li>- El embreado permanece 80%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 7,6</li> <li>- Corrosión Nivel 3, 80%</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 20%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puesta a tierra en buen estado</li> <li>- Profundidad de excavación 2.40mts</li> <li>- Suelo moderadamente alcalino</li> <li>- Al parecer perfil dañados antes del montaje.</li> </ul>
14	2253	01	561	02	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosión Nivel 2, 100%</li> <li>- El embreado permanece 80%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor de PH : 7.5</li> <li>- Corrosión Nivel 2, 100%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puesta a tierra en buen estado</li> <li>- Profundidad de excavación 2.40mts</li> <li>- Suelo moderadamente alcalino</li> </ul>

15	2253	01	562	02	- Corrosión Nivel 2, 100% - El embreado permanece 80%	- Valor de PH : 7,7 - Corrosión Nivel 2, 100%	- Puesta a tierra en buen estado - Profundidad de excavación 2.40mts - Suelo moderadamente alcalino
----	------	----	-----	----	--	--	---

**ANEXO N° 3**  
**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO**  
**(Determinación de pH del suelo)**



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : C & M ENGINEERING S A C  
PROCEDENCIA : VARIOS  
MUESTRA DE : SUELO  
REFERENCIA : H R 7104  
FACT : 7853  
FECHA : 09/11/04

Numero Muestra		pH (1:1)
Lab	CLAVE	
2218	L-2252-T-21 Parrilla	6.0
2219	T-42 Parrilla	7.3
2220	T-77 Pata de Gallo	5.5
2221	T-77 Parrilla	6.3
2222	T-88 Pata de Gallo	6.1
2223	T-88 Parrilla	6.1
2224	T-116 Parrilla	6.1
2225	T-151 Parrilla	8.4
2226	T-152 Pata de Gallo	8.4
2227	T-155 Pata de Gallo	7.9
2228	T-155 Parrilla	8.5
2229	T-171 Pata de Gallo	8.4
2230	T-171 Parrilla	8.5
2231	T-286 Parrilla	8.2
2232	T-294 Parrilla	5.3
2233	T-334 Parrilla	5.7
2234	L-2251-T-04 Pata de Gallo	6.1
2235	T-04 Parrilla	6.0
2236	T-14 Parrilla	6.2
2237	T-67 Pata de Gallo	4.8



*Inga Rubén Bazán Tapia*  
Jefe del Laboratorio

ndf



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE C & M ENGINEERING S A C  
PROCEDENCIA VARIOS  
MUESTRA DE SUELO  
REFERENCIA H.R. 7104  
FACT. 7853  
FECHA 09/11/04

Número Muestra		pH (1:1)
Lab	CLAVE	
2238	T-67 Parrilla	5.3
2239	T-74 Parrilla	4.9
2240	T-84 Parrilla	5.1
2241	T-97 Parrilla	5.1
2242	T-111 Pata de Gallo	6.0
2243	T-112 Parrilla	6.0
2244	T-121 Pata de Gallo	6.2
2245	T-121 Parrilla	5.8
2246	T-145 Parrilla	7.6
2247	L-2253-T-541 Parrilla	7.1
2248	T-542 Parrilla	7.5
2249	T-543 Parrilla	7.2
2250	T-545 Parrilla	7.9
2251	T-547 Parrilla	6.7
2252	T-548 Parrilla	7.3
2253	T-549 Parrilla	7.0
2254	T-550 Parrilla	8.2
2255	T-551 Parrilla	8.2
2256	T-557 Parrilla	7.6
2257	T-558 Parrilla	7.7

  
Ing. Rubén Bazán Tapia  
Jefe del Laboratorio



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : C & M ENGINEERING S A C  
PROCEDENCIA : VARIOS  
MUESTRA DE : SUELO  
REFERENCIA : H R. 7104  
FACT : 7853  
FECHA : 09/11/04

Numero Muestra		pH (1.1)
Lab	CLAVE	
2258	T-559 Parrilla	7.8
2259	T-560 Parrilla	7.6
2260	T-561 Parrilla	7.5
2261	T-562 Parrilla	7.7

  
Ing. Rubén Bazán Tapia  
Jefe del Laboratorio

/ndf



## TABLA DE INTERPRETACION

<b>Salinidad</b>		<b>Reacción o pH</b>	
<b>Clasificación del Suelo</b>	<b>CE(es)</b>	<b>Clasificación del Suelo</b>	<b>pH</b>
*muy ligeramente salino	<2	*Fuertemente ácido	<5.5
*ligeramente salino	2 - 4	*Moderadamente ácido	5.6 - 6.0
*moderadamente salino	4 - 8	*Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
*fuertemente salino	>8	*Neutro	7.0
		*Ligeramente alcalino	7.1 - 7.8
		*Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
		*Fuertemente alcalino	>8.5

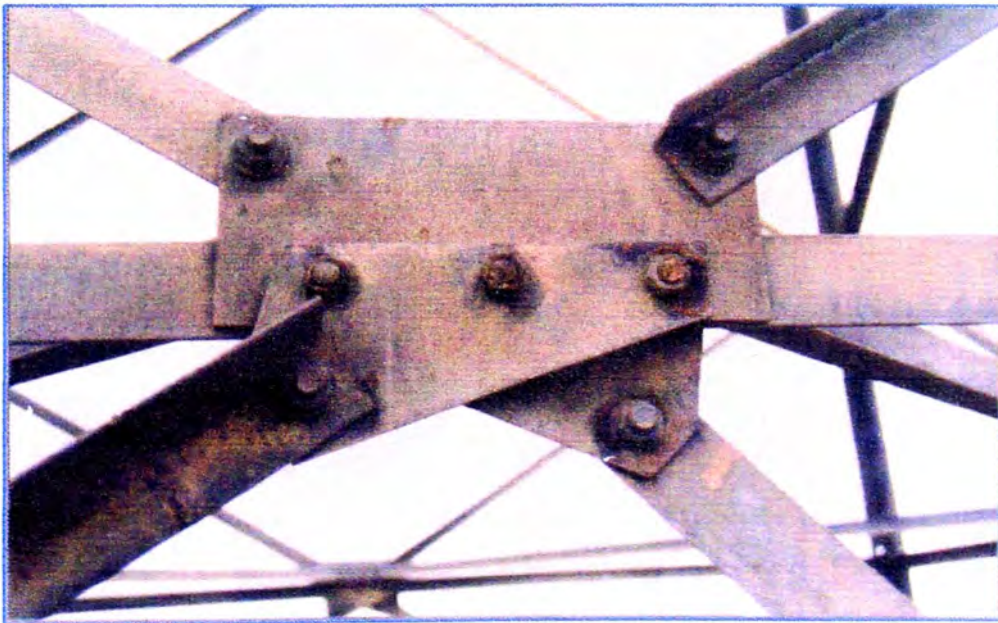
	<b>Materia Orgánica</b>	<b>Fósforo disponible</b>	<b>Potasio disponible</b>
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>%</b>	<b>ppm P</b>	<b>ppm K</b>
*bajo	<2.0	<7.0	<100
*medio	2 - 4	7.0 - 14.0	100 - 240
*alto	>4.0	>14.0	>240

<b>Relaciones Catiónicas</b>			<b>Distribución de Cationes %</b>		
<b>Clasificación</b>	<b>K/Mg</b>	<b>ca/Mg</b>	<b>Ca<sup>+2</sup></b>	<b>=</b>	<b>60 - 75</b>
*Normal	0.2-0.3	5	<b>Mg<sup>+2</sup></b>	<b>=</b>	<b>15 - 20</b>
*defc. Mg	>0.5		<b>K<sup>+</sup></b>	<b>=</b>	<b>3 - 7</b>
*defc. K	<0.2		<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>=</b>	<b>&lt;15</b>
*defc. Mg		>10			

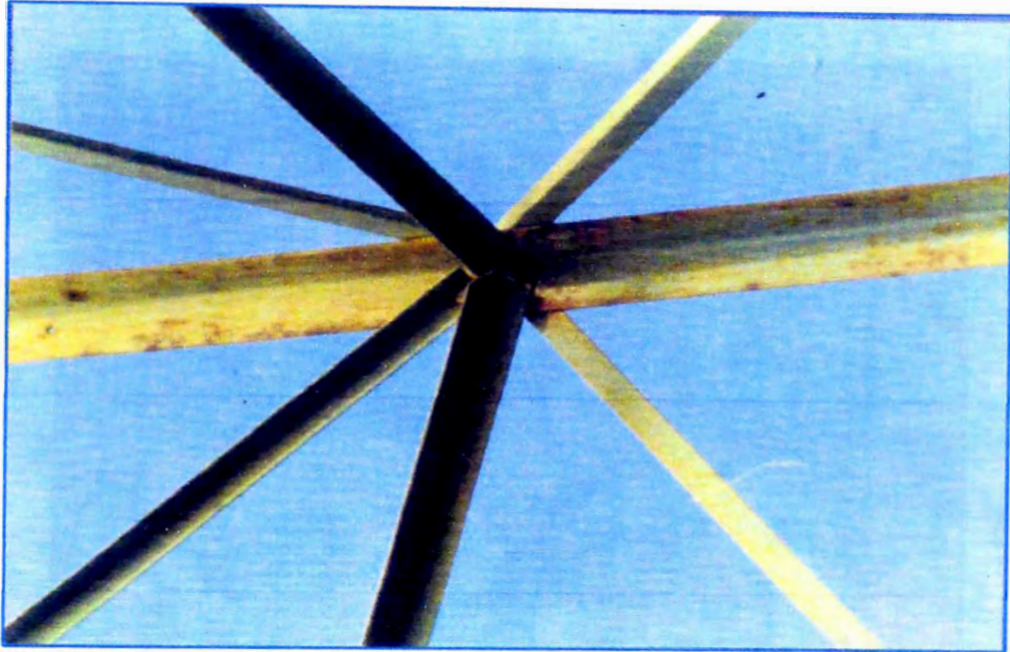
**ANEXO N° 4**  
**ILUSTRACIÓN FOTOGRÁFICA**



**Nivel de Corrosión 1**



**Nivel de Corrosión 2**



**Nivel de Corrosión 3**



**Nivel de Corrosión 4**



**Nivel de Corrosión 5**

### Fase Preliminar



Excavación hasta la unión del castillo y stub



Línea 2251 / Torre N° 117 / Pata N° 04 / Corrosión Nivel 2



Línea 2252 / Torre N° 012/ Pata N° 04 / Corrosión Nivel 3



Línea 2252 / Torre N° 152 / Pata N° 02 / Corrosión Nivel 4

## Fase de excavación de fundaciones



Línea 2251 / Torre N° 014, / Pata seleccionada N° 01  
Elemento: Perfiles del castillo  
Corrosión Nivel 3 (30%), Nivel 2 (70%),



Línea 2251 / Torre N° 014 /  
Elemento: Perfiles del castillo  
Embudo permanece en 5 %





Línea 2252 / Torre N° 171, Pata seleccionada N° 04  
Elemento: Perfiles del castillo  
Corrosión Nivel 5 (10%) Nivel 4 (20%) Nivel 3 (70%)



Línea 2252 Torre N° 171  
Elemento: Perfiles del castillo  
Embudo perdido totalmente

## BIBLIOGRAFÍA

- /1/ Estudio de para la Reducción de Pérdidas y Efectos Salinos, en el Sistema de Transmisión Costero de ETECEN en 220 kV, año 1996.
- /2/ Proyecto de Rehabilitación de las líneas costeras de ETECEN en 220kV, año 1997.
- /3/ Pruebas de Laboratorio de Pérdidas Corona de líneas de transmisión en 220 kV (ETECEN) con elevada contaminación, año 1999.
- /4/ Estudio de Pruebas de Materiales alternativos para zonas de alta contaminación, año 1999 (ETECEN)..
- /5/ METALES RESISTENTES A LA CORROSIÓN Molera Solá, Pedro, (aut.), Marcombo, S.A., 1. Ed. (11/1989)
- /6/ CORROSIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS METALES EN LA ATMÓSFERA, Feliu, S.; Morcillo, M., (aut.), Edición Bellaterra, S.A., 1. Ed. (03/1982).
- /7/ CORROSIÓN: PRINCIPIOS DE DIAGNÓSTICO Y PREVENCIÓN, Mariela Medina Ramos, (06/2007).