

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

**Facultad de Ingeniería
Escuela Mecánica Eléctrica**

**“Efectos de la contaminación salina en los componentes de las
Líneas Aéreas de Alta Tensión”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Presentada por:

Oscar Ramiro Sánchez Rodas

Guatemala – C.A.

AÑO 2005

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Ing. Amahàn Sánchez Àvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Ing. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	ng. Marcia Ivonne Vèliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Francisco Gressi López
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIO	Ing. Marcia Ivonne Vèliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN SALINA EN LOS COMPONENTES DE LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN,

tema que me fue asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica el 18 de febrero de 2004.

Oscar Ramiro Sánchez Rodas

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por ser mi creador y darme la salvación.

MIS PADRES

Mario Alfonso Sánchez Mogollón y Julia Argentina Rodas de Sánchez, por el sacrificio que hicieron para que este sueño se hiciera realidad; de ellos es este triunfo.

MIS ABUELOS

Mario Sánchez y Senovia de Sánchez, por su cariño y apoyo.

MIS HERMANOS

Mario, Marvyn y Francisco, por su comprensión, afecto y compañía.

IEEE

Por darme la oportunidad de desarrollarme como profesional, y a todos los directivos que me brindaron una gran amistad.

USAC

Por ser el centro académico donde obtuve los conocimientos técnicos y científicos, de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Y a todas las personas especiales que forman parte de mi vida, y me han demostrado su amistad y cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CONTAMINACIÓN DE LOS ELEMENTOS AISLANTES	1
1.1 Descripción general de la contaminación en aisladores	1
1.2 Efecto de la lluvia sobre los aisladores contaminados	2
1.3 Teorías sobre la ocurrencia de fallas por contaminación	4
2 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN SOBRE CONDUCTORES	9
2.1 Generalidades	9
2.2 Tipos de Conductores para líneas aéreas	10
2.2.1 Cables de aluminio.	13
2.2.2 Cables de acero galvanizado	15
2.3 Características básicas de los conductores para líneas aéreas de alta tensión	16
2.3.1 Límite térmico	17
2.3.2 Límite por efecto corona	22
2.3.3 Resistencia del conductor	27
2.3.4 Límite para tensiones mecánicas	33

2.4	Proceso de corrosión en conductores en áreas de alta contaminación	36
2.5	Hipótesis sobre el proceso de corrosión en conductores de aluminio en áreas de alta contaminación.	38
3	EFFECTO CORROSIVO DE LA ATMÓSFERA CONTAMINADA SOBRE ESTRUCTURAS	41
3.1	Generalidades	41
3.2	Clasificación de las estructuras	41
3.3	Postes metálicos	44
3.3.1	Materiales utilizados en los postes metálicos	45
3.3.2	Tipos generales de postes metálicos	47
3.3.3	Corrosión en postes metálicos	48
3.4	Postes de hormigón	50
3.4.1	Materiales utilizados en los postes de hormigón	51
3.4.2	Tipos generales de postes de hormigón	54
3.4.3	Corrosión en Postes de Hormigón	57
4	CONTAMINACIÓN DE AISLADORES	59
4.1	Generalidades	59
4.2	Características básicas de los aisladores para L/T aéreas	64
4.2.1	Rigidez dieléctrica	64
4.2.2	Constante dieléctrica	65
4.2.3	Factor de pérdidas	67
4.3	Características propias de un aislador	68
4.3.1	Línea de fuga	68
4.3.2	Distancia disruptiva	69
4.3.3	Tensión de corona	70
4.3.4	Tensión disruptiva en seco o a la frecuencia normal	70

4.3.5	Tensión disruptiva bajo la lluvia a la frecuencia normal	71
4.3.6	Tensión disruptiva con ondas de sobre tensión de frente recto	71
4.3.7	Tensión de perforación	72
4.4	Efectos de la contaminación sobre los aisladores	72
4.4.1	Excesiva corriente de fuga	74
4.4.2	Flameo continuo	74
4.4.3	Corrosión	75
4.4.4	Radio interferencia	76
5	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE LOS AISLADORES	77
5.1	Generalidades	77
5.2	Instrumentos necesarios para medir el grado de contaminación del aislador	78
5.3	Alcance de las mediciones	79
5.4	Detalle de las mediciones y procedimiento para el análisis	79
5.4.1	Medición del método de ESDD y NSDD	82
5.4.2	Cálculo del ESDD	85
5.4.3	Medición del NSDD	86
5.4.4	Traslado a la hoja de datos	87
5.4.5	Análisis de los contaminantes	89
6	SISTEMAS Y PROCEDIMIENTOS DE DESCONTAMINACIÓN	91
6.1	Generalidades	91
6.2	Alternativas al problema de contaminación	93
6.2.1	Método de diseño	94

6.2.2	Método de mantenimiento	95
6.3	Soluciones para prevenir el efecto corrosivo de la atmósfera sobre conductores.	96
6.4	Alternativas al problema de contaminación en aisladores	99
6.4.1	Medidas contra la corrosión electrolítica	10
6.4.2	Prevención de contorneamientos en ambientes de alta contaminación	102
7	ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN EN LOS COMPONENTES EN LA LÍNEA AÉREA DE ALTA TENSIÓN 230KV ENRON 107	
7.1	Características de los componentes utilizados en la línea aérea de alta tensión 230KV ENRON	108
7.2	Estado actual de la línea aérea de alta tensión en estudio	113
7.2.1	Componentes de la línea 230KV ENRON afectados por la contaminación salina	116
7.3	Medición del grado de contaminación de los componentes de la línea aérea de alta tensión ENRON 230KV.	120
7.3.1	Toma de muestras	122
7.3.2	Análisis de los contaminantes	127
7.4	Discusión de resultados.	133
	CONCLUSIONES	135
	RECOMENDACIONES	137
	BIBLIOGRAFÍA	139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Distribución de tensiones a través de la superficie en corte de un aislador de suspensión	4
2	Variación de las características mecánicas de un conductor de aluminio por calentamiento	18
3	Comparación del $V_{operación}$ con el V_0	25
4	Resistencia de un conductor metálico como función de la temperatura	29
5	Características mecánicas de conductores de aluminio	33
6	Reacción electroquímica en los postes metálicos	50
7	Influencia en la armadura de una barra de hormigón	54
8	Paso de corriente en un aislador por conductividad de masa	60
9	Paso de corriente en un aislador por conductividad superficial	61
10	Paso de corriente en un aislador por perforación de la masa del aislador	62
11	Paso de la corriente de un aislador por descarga disruptiva a través del aire	63
12	Línea de fuga de un aislador	69
13	Distancia disruptiva de un aislador	70
14	Voltaje de flameo de aisladores contaminados	73
15	Retiro de contaminantes	84
16	Procedimiento para obtener el peso de los contaminantes	87
17	Procedimiento para el análisis de los contaminantes	90
18	Protección del conductor	98

19	Tipos de estructuras utilizadas en la línea 230KV ENRON	110
20	Aislador tipo poste	113
21	Plano de entrada de la línea de alta tensión 230KV a generadoras ENRON	114
22	Plano de entronque a la entrada de la línea de alta tensión 230KV a generadoras ENRON	115
23	Estructura 196	116
24	Estructuras contaminadas	118
25	Aislador Piloto después del período de exposición	123
26	Muestras obtenidas del aislador piloto	124

TABLAS

I	Características técnicas del los cables de acero galvanizado	16
II	Efecto piel	32
III	Tabla de datos	88
IV	División de zonas por tipo de contaminación	93
V	Datos generales de la línea de alta tensión 230KV ENRON	108
VI	Período de exposición del aislador piloto	121
VII	Datos meteorológicos de la zona (Detalle de la costa sur Puerto Quetzal)	122
VIII	Datos obtenidos en el lugar de las pruebas	125
IX	Resultado de los análisis de laboratorio realizadas a las muestras de contaminación salina del aislador piloto	127
X	Tabla de datos	131

LISTA DE SÍMBOLOS

AAAC	Todos los conductores de aleación de aluminio
AR2-1	Anclaje reforzado para zona dos con un hilo de guarda
cc	Centímetros cúbicos
°C	Grados Celsius
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.
ESDD	Densidad de los depósitos de sales
Fig.	Figura
H/G	Hilo de guarda
Hp	Caballo de fuerza
°K	Grados kelvin
Kg	Kilogramos
Km	Kilómetros
KV	Kilovoltios
L/T	Línea de Transmisión
m²	Metros cuadrados
mm	Milímetros
N	Newton
NSDD	Densidad de los depósitos de los materiales no-solubles
Psi	Libras por pulgada cuadrada
Pulg	Pulgada
S/E	Subestación
W/cm²	Weber por centímetro cuadrado
δ	Densidad relativa del aire
ε	Constante dieléctrica relativa

ϵ_0 Constante dieléctrica en el vacío

Ω Ohm

GLOSARIO

Carga de rotura	Fuerza aplicada a un cuerpo, que sobrepasa en magnitud a la del límite elástico del cuerpo.
Contorneamiento	Energía eléctrica que perfila o que da vueltas alrededor de un elemento.
Corriente de fuga	Corriente circulante entre los elementos conductores de un aislador.
Corrosión galvánica	Descomposición paulatina de los cuerpos metálicos debido a la electricidad producida por reacción química.
Descarga disruptiva	Arco formado a través del aire, entre el conductor y su elemento de sujeción, debido a que la rigidez dieléctrica del aire no basta para evitar la descarga.
Flameo	Llamas visibles, que son despedidas por los cuerpos metálicos al emanar corriente eléctrica a su superficie.

- Inhibidor de oxidación** Impedir o reprimir el efecto de descomposición de elementos metálicos a raíz de la corrosión.
- Intersticios** Hendidura o espacio, por lo común pequeño, que media entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo
- Puntos calientes** Lugar donde se encuentra la mayor probabilidad de que ocurra un evento, eléctrico o mecánico.

RESUMEN

El presente trabajo trata de la contaminación que se presenta en las líneas aéreas de alta tensión cercanas a la costa, para lo que se realiza el estudio de los componentes necesarios en la construcción y características de las mismas. En éste se describe cómo la contaminación salina afecta los diferentes elementos de una línea aérea de alta tensión y sus consecuencias.

Una vez hecho el estudio se aplicará a la línea ENRON 230KV, se describe el estado actual de la línea, se procede a determinar el grado de contaminación existente para lo cual se emplea el método de ESDD y NSDD. Además, con análisis químicos se determinan cuáles son los elementos que se depositan sobre los aisladores, para que con el grado de contaminación encontrado, proceder a decir la clase de contaminación existente, con el fin de aplicar medidas preventivas y métodos de descontaminación que ayuden a mantener en buen estado las líneas aéreas de alta tensión y así brindar una mejor calidad de servicio eléctrico, y no tener que lamentar disparos en las líneas debido a la contaminación.

OBJETIVOS

General

Efectuar un estudio de los efectos de la contaminación salina, en los componentes normalizados de las líneas aéreas de alta tensión cercanas a la costa .

Específicos

1. Investigar los diferentes componentes de una línea aérea de alta tensión, sus funciones y características.
2. Estudiar las características de la contaminación de los elementos aislantes.
3. Determinar los efectos por contaminación salina en los componentes de una línea aérea de alta tensión.
4. Investigar sobre los instrumentos y procedimientos necesarios para medir el grado de contaminación salina en los aisladores.
5. Con los estudios realizados sobre los niveles de contaminación salina, dar recomendaciones y lineamientos para evitar la contaminación de los componentes normalizados de una línea aérea de alta tensión.
6. Realizar el estudio del grado de contaminación salina en la línea 230KV ENRON.

INTRODUCCIÓN

Las líneas aéreas y los aisladores en servicio a la intemperie acumulan sobre su superficie cierta cantidad de material, depositados allí por agentes atmosféricos. Cuando la cantidad es tal que altera su funcionamiento normal se dice que estos están contaminados.

De los componentes de la contaminación, los más peligrosos son aquellos cuyas soluciones son conductoras, en las zonas cercanas a la costa se da esta situación, de los cuales se citan los siguientes: sales solubles en sodio, potasio y calcio. La cantidad de sustancias inertes poco conductoras influyen al actuar como aglomerante adhiriendo el depósito a la superficie de las líneas y del aislador, también al ser absorbentes, reteniendo el agua y facilitando la formación de soluciones conductoras.

Generalmente, la contaminación en seco no presenta problemas en los aisladores. Con un ambiente húmedo debido a la presencia de lluvias y especialmente de neblinas, los componentes de la contaminación, que normalmente tienen una gran resistividad en su estado seco, absorben humedad y forman una película conductora que al no ser uniforme, forma zonas de mayor resistencia. Debido a la distribución no uniforme de la tensión a lo largo del aislador, en zonas de mayor resistencia pueden producirse descargas locales, provocando un aumento considerable de la corriente de fuga superficial.

Si la contaminación y la humedad son suficientes, el arco así iniciando se puede propagar hasta los terminales del aislador, produciendo su contorneamiento total, el que sólo se termina al operar las protecciones.

El presente trabajo trata de explicar el efecto de la contaminación por salinidad, de los diferentes elementos constructivos de las líneas aéreas de alta tensión, para lo cual se emplea el método del ESDD y NSDD para determinar el grado de contaminación actual y se exponen las posibles soluciones de campo para la descontaminación que se pueden aplicar, para mejorar la calidad del servicio eléctrico y aumentar la duración de las instalaciones.

1. CONTAMINACIÓN EN LOS ELEMENTOS AISLANTES

Hablar de contaminación en los elementos aislantes es un tema sumamente extenso y complejo es por ello que el siguiente trabajo tiene como propósito centrarse en las de ambiente salino donde se presentan condiciones desfavorables para los aisladores. Los sitios seleccionados para llevar a efecto el estudio de contaminación de aisladores en ambientes salinos fueron las zonas cercanas a la costa, donde además de la alta contaminación del ambiente con materiales disociables (cloruro de sodio, potasio, sales de origen marino, polvo, etc.) presenta una escasa precipitación y una fuerte variación de temperatura entre el día y la noche.

1.1 Descripción general de la contaminación en aisladores

Las condiciones ambientales de las zonas cercanas a la costa propician la acumulación de sedimentos salinos y/o de polvo los cuales en general tienen muy alta resistividad en su estado seco. Por efectos de turbulencias provocadas por las brisas y un mecanismo de atracción electrostática, estas partículas tienden a acumularse en las áreas de mayor gradiente de potencial en el aislador, espiga y caperuza en aisladores de suspensión y coronilla en aisladores de espiga.

Con atmósferas ligeramente húmedas como las provocadas por las primeras precipitaciones de la temporada lluviosa (en el caso de que sean ligeras) o por el rocío que tiende a formarse en la superficie fría de los aisladores por la madrugada, las partículas secas absorben la humedad y forman una película de mayor conductividad. Bajo estas nuevas condiciones se produce una variación en la distribución de potencial en el aislador (ocasionalmente puede hacerse uniforme esta distribución de potencial) y también se acorta la distancia de contorno del aislador provocando un incremento de las corrientes de fuga.

La experiencia demuestra que las lluvias no solo no representan problemas serios en el funcionamiento de aisladores contaminados, sino que contribuyen a resolver problemas que esta contaminación plantea, principalmente debido a efectos de limpieza o disolución de capas conductoras de sedimentos.

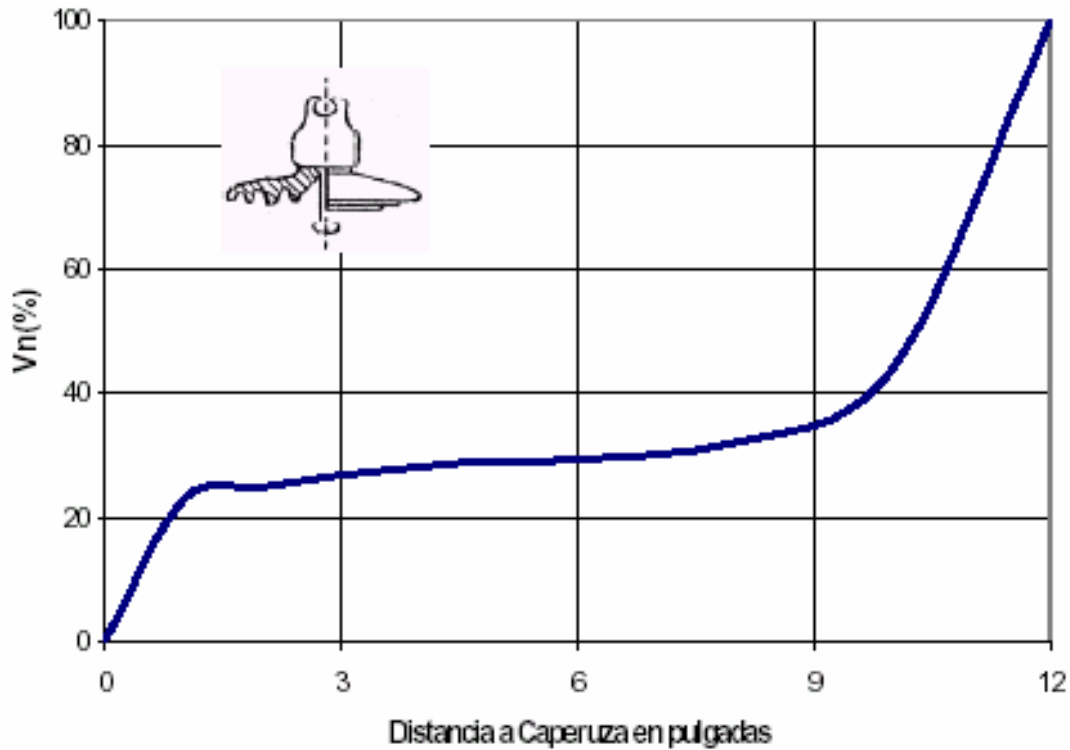
1.2 Efectos de la lluvia sobre aisladores contaminados

Al iniciarse la lluvia, las superficies superiores de los aisladores (o cadena de aisladores) se humedecen aumentando la conductividad favoreciendo la disrupción. En esta etapa inicial sin embargo, la parte inferior se encuentra seca, por lo cual todavía la corriente de fuga se mantiene todavía a niveles más o menos bajos.

Para el momento cuando las diferentes capas de aisladores están totalmente húmedas, la lluvia habrá limpiado la mayor parte de las sales solubles de la superficie del aislador (o de los aisladores, en el caso de cadena de suspensión), por cuya razón, cuando aumenta la conductividad por humectación de las capas inferiores del aislante, las capas superiores estarán mojadas pero sin contaminación o con poca contaminación.

Es lógico suponer que la lluvia lava más fácilmente las cadenas horizontales (o de amarre) que las verticales (o de suspensión). Esto obedece a que si bien las superficies regulares superiores del aislador se lavan mejor en las cadenas verticales, allí persiste el inconveniente de que las superficies menos regulares de la parte interior no reciben con facilidad este efecto de lavado, él cual si se logra con mayor intensidad en las cadenas horizontales. En la figura No.1 se muestra una distribución de tensiones a través de la superficie en corte de un aislador de suspensión.

Figura 1. Distribución de tensiones a través de la superficie en corte de un aislador de suspensión



Fuente: NKG Insulators, **Measuring methods pollution degree on insulator surfaces.** Pág.33.

1.3 Teorías sobre la ocurrencia de fallas por contaminación

Mediante la utilización de ensayos de laboratorio se ha tratado de descubrir el proceso mediante el cual se produce la contaminación y la aparición de fallas eléctricas causadas por el efecto de esta, este proceso se da aproximadamente de la siguiente manera:

Antes de producirse la falla del aislador contaminado, existen bandas secas de alta resistividad, la corriente de fuga es en este caso casi totalmente capacitiva. En la medida que aquellas capas secas se humedezcan se convierten en películas electrolíticas, aumentando la corriente de fuga y haciéndose más resistivas.

Debido a la forma de los aisladores, a la distribución no uniforme de los depósitos de contaminantes y de la humedad, la densidad de corriente de fuga no es tampoco uniforme.

En las zonas vecinas al conductor y a la caperuza, de mayor densidad de corriente de fuga, se produce un aumento de temperatura que provoca la evaporación de humedad.

Cuando se producen algunos puntos secos, aumenta la densidad de corriente en las bandas húmedas situadas a igual distancia del eje del aislador tanto en su parte superior como en la inferior. Así se forman rápidamente bandas secas concéntricas en varios aisladores, que reciben prácticamente toda la tensión aplicada al aislador.

La corriente de fuga superficial disminuye y el gradiente aumenta en las capas de aire vecinas a la banda seca. Si este gradiente no es soportado por el aire se producirá una descarga o pulso de corriente de magnitud limitada por las resistencias de las superficies contaminadas, en serie con el arco.

Los arcos formados evaporan la humedad ampliando el ancho de las bandas secas y disminuyendo el gradiente de potencial hasta límites que pueden ser soportados por el aire. En estas nuevas condiciones se produce la extinción del arco incipiente. Sin embargo, las bandas secas continúan captando humedad y de la misma manera se reproduce nuevamente el arco.

Dado que el proceso se está repitiendo en todas las unidades de las cadenas de aisladores, cada vez que ocurre un arco local, se incrementa la tensión aplicada sobre las restantes bandas de las otras unidades. Esto provoca que en todas las unidades ocurran arcos locales simultáneos. Prácticamente toda la tensión se aplica entonces sobre el contaminante húmedo, aumentándose notablemente la corriente.

La cadena se arquea en cada unidad produciéndose evaporación rápida de la humedad restante. La captación de nueva humedad restablece parcialmente las condiciones originales de funcionamiento pero repetitivamente se producen los arcos locales hasta que ocurre la disrupción.

Las experiencias han demostrado que el arco producido sobre una superficie húmeda aparece en una atmósfera de vapor de agua, generado por el intenso calor sobre la humedad de la superficie del aislador y cuando un arco termina en la superficie del contaminante húmedo, existe una alta probabilidad de que se propague a través de la superficie.

Es condición necesaria para que ocurra esta propagación que la caída de tensión por unidad de longitud en el arco (en condiciones de atmósfera de vapor de agua) sea menor que la caída de tensión por unidad de longitud en el contaminante. En este caso el arco se desplazará sobre la superficie contaminada humedecida, causando disrupción completa del aislador.

Es característica de la disrupción por contaminación la aparición del arco muy cerca de la superficie del aislador. Solo al final, cuando se produce la ionización del aire que rodea el arco, este se aleja de la superficie de las unidades aislantes.

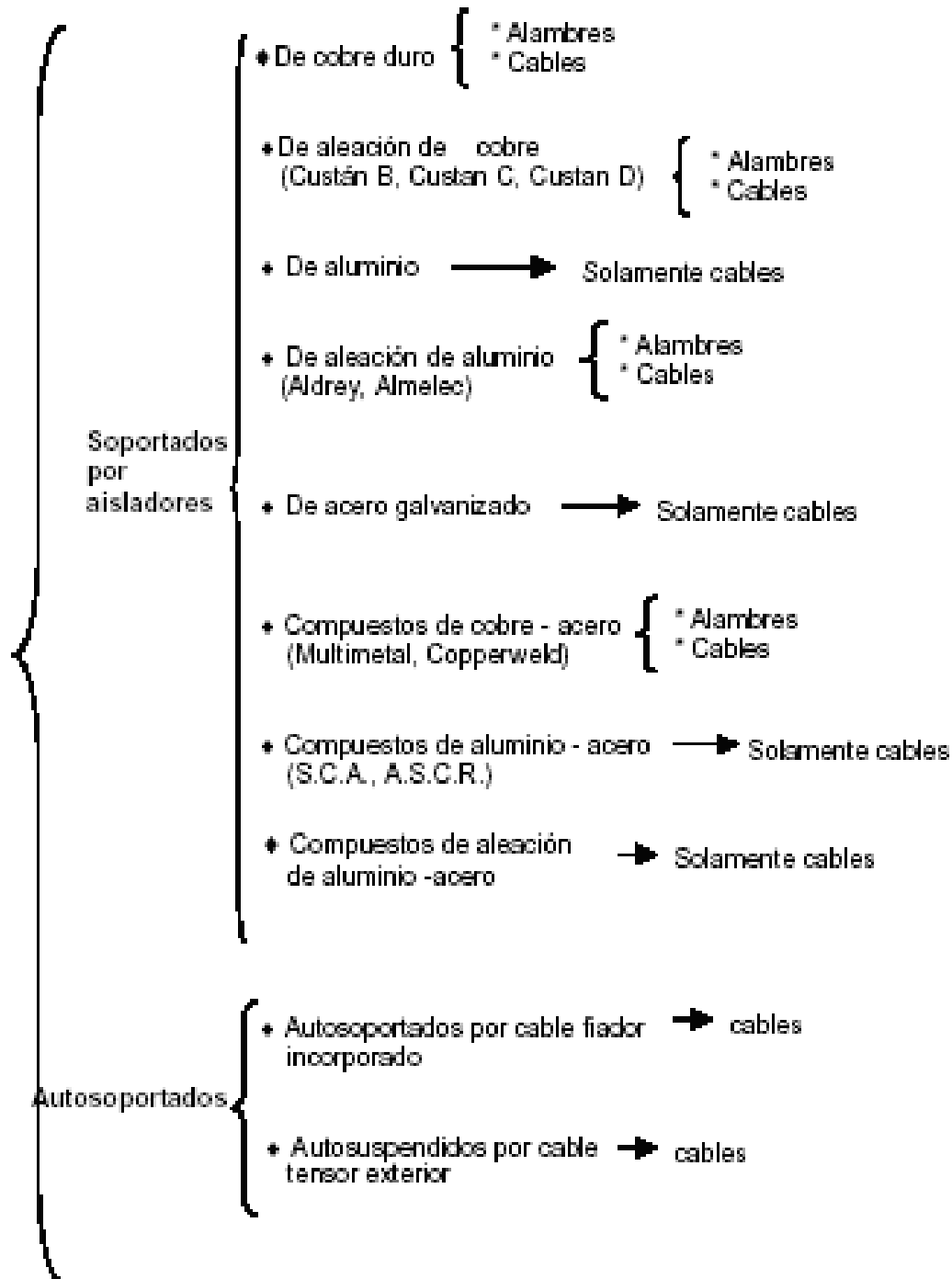
2. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN SOBRE CONDUCTORES

En este capítulo se analizan los diferentes tipos de conductores utilizados en líneas aéreas de alta tensión, las sollicitaciones mecánicas a que están sometidos así como las características eléctricas, con esta idea acerca de los conductores se comprenderán mejor los efectos a los que están sometidos en áreas de alta contaminación.

2.1 Generalidades

Las excelentes características eléctricas, mecánicas y químicas del cobre, lo constituyen en el material más conveniente desde el punto de vista técnico, para su utilización como conductor, pero su inconveniente es su elevada densidad, por lo que se precisan estructuras robustas y de material de instalación de muy buenas propiedades mecánicas, por eso el aluminio ha sustituido al cobre en algunos casos. El factor económico es clave para la selección del aluminio, además que la baja densidad del aluminio permite estructuras de menor altura para la misma flecha, o vanos mayores para la misma altura. El inconveniente del aluminio es su baja resistencia mecánica, razón por la cual se ha generalizado los cables compuestos de aluminio y acero (**ACSR**).

2.2 Tipos de conductores para líneas de transmisión aéreas



Los conductores están clasificados en dos grupos; los soportados por aisladores y los autoportados, pero antes de entrar en detalle, tenemos que saber que los conductores se presentan en forma de hilo o en forma de cables.

Se llama hilo o alambre a una varilla metálica cuya longitud es muy grande respecto a su diámetro. Será hilo desnudo si esta desprovisto de aislamiento, e hilo aislado sí esta cubierto con una sustancia aislante; En este caso aunque el término “hilo” se refiere al metal, la denominación “hilo aislado” incluye también el aislamiento. En líneas aéreas, casi siempre se emplean hilos desnudos.

Se denomina cable o conductor cableado a un conductor constituido por un grupo de hilos o por una combinación de grupos de hilos. Los hilos constituyentes de los cables casi siempre son trenzados o retorcidos juntos. También hay cables desnudos y cables aislados, empleándose en líneas aéreas casi siempre los cables desnudos. Los cables pueden ser monoconductores cuando incluyen solamente un conductor, o policonductores (también llamados multiconductores) si incluyen dos o más conductores, aislados entre sí. En líneas aéreas se utilizan exclusivamente los cables monoconductores. Con estos dos términos una vez que han sido aclarados podemos analizar los dos grupos de conductores:

- Conductores desnudos, soportados por aisladores fijados a postes, crucetas y palomillas, los más empleados son:

- a. Alambre de cobre.
- b. Cables de cobre.
- c. Alambres de aleación de cobre.
- d. Cables de aleación de cobre.
- e. Cables de aluminio.
- f. Alambres de aleación de aluminio.
- g. Cables de aleación de aluminio.
- h. Cables de acero galvanizado.
- i. Alambres compuestos cobre – acero.
- j. Cables compuestos cobre – acero.
- k. Cables compuestos aluminio – acero.
- l. Cables compuestos aleación de aluminio – acero.

- Conductores con aislamiento resistente a la intemperie, entre los más usados tenemos:

- a. Cables soportados por un cable fiador incorporado.
- b. Cables autosuspendidos mediante un cable tensor exterior.

2.2.1 Cables de aluminio

A pesar de las grandes ventajas del aluminio como conductor, pequeña densidad y buena resistencia a la corrosión, existe el inconveniente de que su carga de rotura es pequeña. Por otro lado, el costo de los aisladores y apoyos de líneas aéreas, obliga a reducir, en lo posible, el número de estos elementos, para lo cual se precisan vanos de gran longitud y, por lo tanto, conductores con grandes cargas de rotura; en este caso el aluminio, por sí solo, resulta insuficiente por su pequeña resistencia mecánica. A igualdad de longitud de vano-flecha es proporcional al peso del conductor, el cobre no es un material apropiado para grandes vanos ya que su densidad es elevada y, por lo tanto, se precisan apoyos de gran altura para que el punto más bajo de la flecha quede a la distancia del terreno prescrita por la reglamentación oficial. Era necesario por lo tanto obtener un conductor que, teniendo la pequeña densidad del aluminio, tuviera una resistencia mecánica comparable, por lo menos, a la del cobre.

Como consecuencia se estudiaron y fabricaron los cables de aluminio – acero, constituidos por un alma de acero de uno o más alambres, y varias capas de alambre de aluminio. De esta manera se aprovechan simultáneamente las buenas cualidades físicas, químicas y eléctricas del aluminio, con la gran resistencia mecánica del acero.

Este tipo de cables se denominan con las iniciales ACSR. En nuestro país se los conoce como cables de aluminio con alma de acero.

Además se fabrican cables de aleaciones de aluminio, con propiedades modificadas que alteran su pureza, que los hacen resistentes mecánicamente, y buenos conductores, llegando así como en el caso anterior de los ACSR a tener el conductor AAAC conocido como conductor de aluminio/aleación de aluminio, con una buena capacidad de conducción y resistencia a cargas para vanos largos de líneas de transmisión.

En nuestro país se designa a los cables de aluminio – acero o aleación de aluminio con la sección teórica del aluminio, que se denomina sección nominal y que es el valor redondeado de la sección efectiva de los alambres o hilos de aluminio. La sección efectiva del aluminio se expresa en MCM que corresponde a cada tipo de cable.

En el caso de los cables aluminio-acero no se permiten soldaduras en los hilos de acero galvanizado que constituyen el alma del cable. Para los alambres de aluminio, deberán mantenerse las siguientes distancias mínimas entre dos soldaduras:

- En un solo hilo.....100 m.
- En hilos diferentes...40 m.

2.2.2 Cables de Acero Galvanizado

Estos conductores se utilizan poco en líneas eléctricas. Su principal campo de aplicación esta en los conductores de hilos de guarda.

Debe tenerse en cuenta que desde el punto de vista económico, hay que proceder, de tiempo en tiempo, a la sustitución de conductores oxidados. Desde el punto de vista la seguridad mecánica, son bastantes numerosas las causas de rotura de estos cables ya que la galvanización, incluso en las mejores condiciones, solamente dura de 10 a 15 años, después de los cuales, los cables se oxidan y pierden sus buenas cualidades mecánicas. Existen otras causas que desgastan la capa de zinc de galvanizado, como son los roces con aisladores, los pequeños arcos intermitentes, etc. También pueden resultar muy perjudiciales los gases ácidos de las zonas industriales.

No están permitidas las soldaduras de ninguna clase en los alambres de acero galvanizado que componen el cable. En la tabla I, que se detalla a continuación se expresan alguno tipos de cables de acero galvanizado.

Tabla I. Características Técnicas de los cables de Acero Galvanizado

Formación	Diámetro de los alambres mm	Sección del cable mm²	Diámetro del cable mm	Masa Kg/Km	Carga Total de rotura N
1+6	2	22	6	175	28 704
1+6	2.5	34.4	7.5	173	43 282
1+6	3	49.4	9	392	60 842
1+6	3.55	69.3	10.65	550	85 347

Fuente: NKG Insulators, **Measuring methods pollution degree on insulator surfaces.**
Pág. 116.

2.3 Características básicas de los conductores para líneas aéreas de alta tensión

Dentro de las características básicas que deben tener los conductores empleados en líneas aéreas de alta tensión, debido a que están sometidos a tensiones mecánicas, efectos eléctricos, condiciones meteorológicas y ambientales de las zonas por donde pasa la línea, para su correcta operación tenemos:

- Límite térmico
- Límite por efecto corona
- Resistencia del Conductor

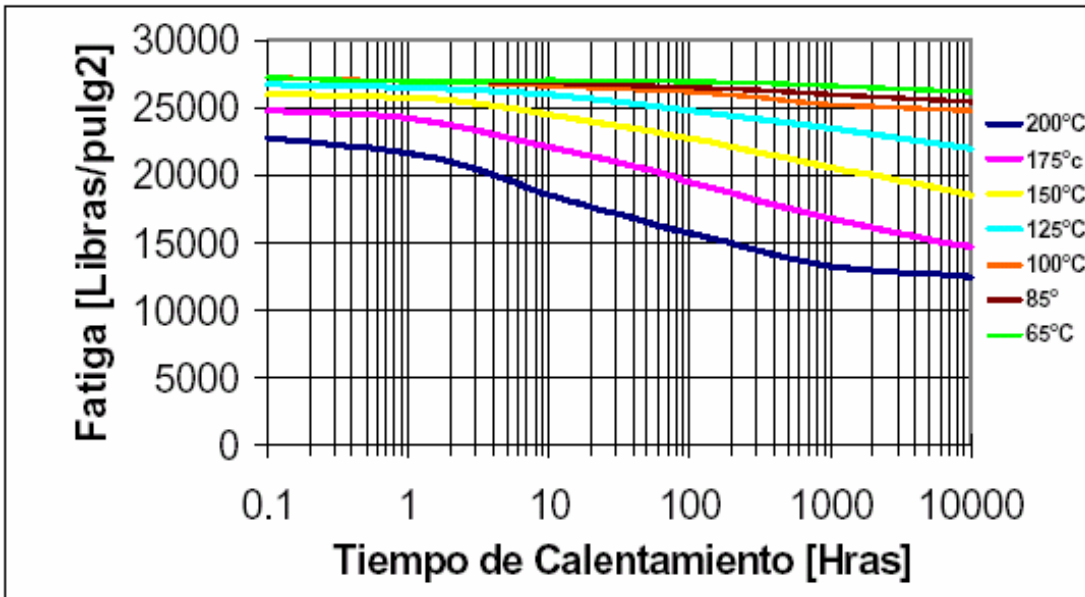
- Límite de tensiones mecánicas

2.3.1 Límite térmico

El límite térmico en este caso se debe establecer con la temperatura máxima que puede alcanzar el conductor en condiciones permanentes de servicio, teniendo presente que, tal como se indica en la figura 2, para cada tipo de conductor existe una temperatura límite, a partir de la cual se empieza a producir el recocido del material y, por consiguiente, una disminución de su resistencia mecánica.

Es necesario además determinar las condiciones meteorológicas en las cuales se producirá esta temperatura máxima y establecer para cada caso la corriente máxima admisible que puede circular en los conductores.

Figura 2. Variación de las Características mecánicas de un conductor de Aluminio por calentamiento.



Fuente: NKG Insulators, **Measuring methods pollution degree on insulator surfaces.**
Pág. 47.

Dada la importancia que tiene la fijación de este límite térmico, tanto para la operación de la línea como en su inversión inicial, se ha decidido detallar la correlación entre los distintos factores que intervienen en el problema del calentamiento de los conductores debido al paso de la corriente en base a lo siguiente:

Ecuación de Equilibrio Térmico:

$$Q_c + Q_r = Q_s + I^2 r_c \cdot 10^{-5} \quad (2.1)$$

$$I = \sqrt{\frac{Q_c + Q_r - Q_s}{r_c \cdot 10^{-5}}} \quad (2.2)$$

Donde:

I = corriente que circula por el conductor (A)

Q_c = pérdida de calor por convección forzada (W/cm.)

Q_r = pérdida de calor por radiación (W/cm)

Q_s = calentamiento por radiación solar (W/cm)

$$Q_c = 38,9(t_c - t_a) \delta \times V \times d_c \times 0,45 \cdot 10^{-4}$$

t_c = temperatura del conductor (°C)

t_a = temperatura ambiente (°C)

δ = densidad relativa del aire

d_c = diámetro del conductor (mm)

V = velocidad del viento (m/seg)

$$Q_r = \varepsilon \times K_{SB} \times d_c (T_c^4 - T_a^4) \quad (2.3)$$

Donde:

ε = factor de emisividad del conductor que se toma igual a 0.5 para conductores con cierto grado de envejecimiento.

K_{SB} = constante de Stefan –Boltzmann de valor $5,7 \times 10^{-12}$

T_c = temperatura absoluta del conductor (°K)

T_a = temperatura absoluta del ambiente (°K)

$$Q_s = K \times S_i \times d_c \quad (2.4)$$

Donde:

K = coeficiente de absorción del conductor que se toma igual a 0,5 para conductores con cierto grado de envejecimiento.

S_i = intensidad de la radiación solar (se considera 0,10 W/cm²)

d_c = diámetro del conductor (mm)

$$r_c = r_0 \times [1 + \alpha (t_c - 25)]$$

r_c = resistencia del conductor a la temperatura t_c (Ω/Km)

r_0 = resistencia del conductor a 25 °C (Ω/km)

α = coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura (1/°C)

También es de señalar que la corriente máxima admisible se calcula para la cota máxima de la línea con la velocidad promedio del viento de en m/s. Es importante hacer notar, que teniendo fijadas la temperatura máxima del conductor y la velocidad del viento, se puede establecer para distintas temperaturas ambientes y presencia o ausencia del sol las diferentes corrientes máximas admisibles que pueden circular en el conductor.

2.3.2 Límite por efecto corona

En las líneas de alta tensión, la distancia entre conductores es mayor que su radio, al existir una diferencia de potencial entre conductores se tiene una intensidad de campo eléctrico E , cuando esta intensidad del campo eléctrico excede la rigidez dieléctrica del aire, en la superficie de los conductores aparece el efecto corona. Este efecto depende de varios factores, entre lo más importantes se pueden considerar el tipo de tensión, temperatura, densidad relativa del aire, presencia de vapor de agua, etc.

El efecto corona tiene las siguientes consecuencias en una línea de alta tensión:

- a) Pérdidas que se manifiestan en forma de calor.

- b) Oscilaciones electromagnéticas de alta frecuencia que se transmiten en toda la línea y provocan perturbaciones de radio y televisión en sus inmediaciones (radio interferencia). Este fenómeno se puede explicar en forma semejante a la descarga en gases, ya que debido a la incidencia de radiaciones y otras causas, existen moléculas ionizadas en el aire, estas moléculas han perdido uno o más de los electrones que les corresponden y por tanto tienen cargas eléctricas positivas.

Debido a la diferencia de potencial entre las líneas el campo electrostático acelera la partícula aumentando su energía cinética, provocando choques con otras partículas (ionización por impacto).

La velocidad de estas partículas en promedio, depende de su carga eléctrica (e) de su masa (M). La intensidad del campo electrostático (E) y del camino libre entre impactos.

El camino libre de impactos depende de la presión atmosférica y de la temperatura absoluta. En la aparición del efecto corona en una línea se pueden diferenciar varios tipos de descargas.

- a) Descarga de puntas, aparece al aumentar el gradiente superficial; se puede medir una pequeña pérdida de energía.
- b) Descarga o corona de transición aparece una luminosidad en las partes rugosas del conductor, además un ruido siseante.
- c) Corona luminiscente, aparece un halo luminoso alrededor de todo el conductor y se percibe el olor característico del ozono. La tensión crítica de corona V_o se puede expresar en función del gradiente de potencial. Para dos conductores de radio r y separados una distancia D el gradiente de potencial máximo es:

$$E_{\max} = \frac{V}{r \cdot \ln \frac{D}{r}} \quad (2.4)$$

El gradiente de potencial máximo de los conductores con voltaje máximo permanente no deberá ser superior a 19,5 KV/cm, valor rms, al nivel del mar, o sea para densidad relativa del aire igual a 1.

Para el cálculo de la tensión crítica de ruptura V_0 :

$$V_0 = n \cdot r \cdot E_{\max} \cdot \delta \cdot m_t \cdot m_c \cdot 2,803 \cdot \log\left(\frac{D}{r}\right) \quad (2.4)$$

Donde:

δ = densidad del aire

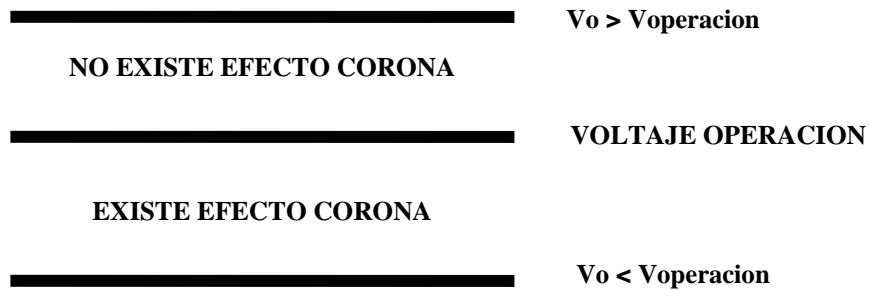
n = número de conductores

m_t = factor de humedad ambiental

m_c = factor de rugosidad.

El factor de humedad ambiental es de 0,85 a nivel del mar, el factor de rugosidad es 1 para cables lisos y 0,85 trenzados. Si el V_0 es menor que el valor de operación entonces va a existir efecto corona como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Comparación del $V_{operación}$ con el V_0



En el método empírico se han desarrollado fórmulas para el cálculo de las pérdidas, la más empleada para la determinación de las pérdidas por corona en las líneas de C. A., es la fórmula de Peek:

$$p_{ca} = \frac{242}{\delta_r} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{D}} \cdot (V - V_0)^2 \cdot 10^{-5} (Kw / Km) \quad (2.5)$$

Donde:

δ_r = densidad relativa del aire

f = frecuencia en ciclos/seg.

r = radio del conductor en cm.

D = Separación entre centros de conductores en cm.

V = tensión de fase a neutro de la línea en KV

V_o = tensión crítica disruptiva (de corona)

La densidad relativa del aire δ_r se obtiene de la expresión:

$$\delta_r = \frac{3,92 \cdot b}{2,73 + t} \quad (2.6)$$

Donde:

b = presión barométrica en cm. de mercurio

t = temperatura en °C

Para $b = 76$ cm. de mercurio y a una temperatura de 25°C la densidad relativa del aire es 1.

2.3.3 Resistencia del Conductor

La resistencia de los conductores de las líneas de transmisión es la causa más importante de pérdida de potencia en ellas. El término “resistencia”, a menos que sea calificado específicamente, se refiere a la resistencia efectiva. La resistencia efectiva de un conductor es:

$$R = \frac{\text{Pérdida de potencia en el conductor}}{I^2} (\Omega) \quad (2.7)$$

Donde la potencia está en watts e I es la corriente rms en el conductor.

La resistencia efectiva es igual a la resistencia de cd del conductor sólo si la distribución de corriente a través del conductor es uniforme. La resistencia de cd está dada por la ecuación:

$$R_0 = \frac{\rho \cdot l}{A} (\Omega)$$

Donde:

ρ = resistividad del conductor (Ω)

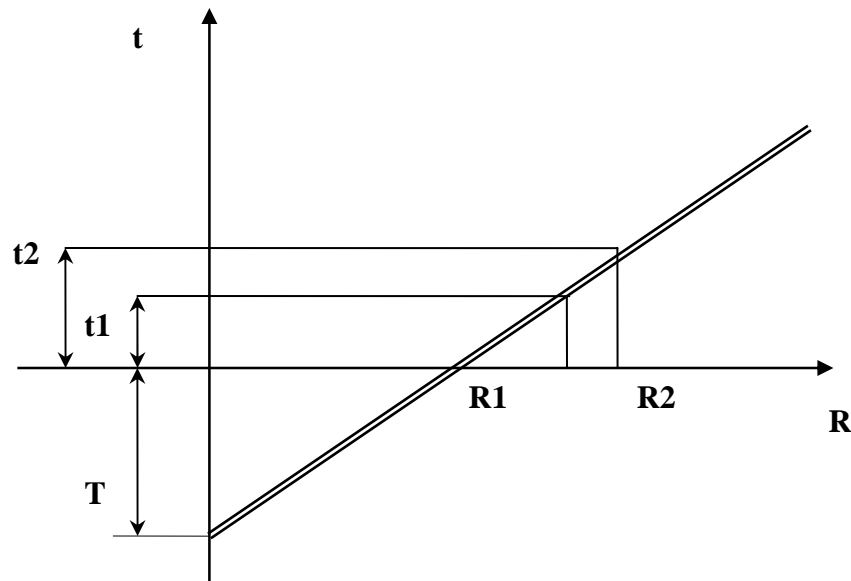
l = longitud (m)

A = área de la sección transversal (m^2)

La resistencia en cd de conductores trenzados es mayor que el valor que se calcula mediante la ecuación descrita, porque la colocación en espiral de los hilos los hace más largos que el conductor mismo. Para cada milla de conductor, la corriente en todos los hilos, excepto en el centro, fluye en más de una milla del conductor. El incremento en la resistencia debido al trenzado se estima en 1% para conductores de tres hilos y de 2% para conductores concéntricamente trenzados.

La variación en resistencia de los conductores metálicos con la temperatura es prácticamente lineal en el rango de operación. Si se gráfica la temperatura sobre el eje vertical y la resistencia sobre el eje horizontal como en la figura 4, la extensión de la porción recta de la gráfica es un método conveniente para corregir la resistencia por la variación de la temperatura. El punto de inserción de la extensión de la línea con el eje de la temperatura a resistencia cero, es una constante del material.

Figura 4. Resistencia de un Conductor metálico como función de la Temperatura



De la geometría de la figura 5, donde R_1 y R_2 son las resistencias del conductor a temperaturas t_1 y t_2 respectivamente, en grados Celsius, y T es la constante determinada de la gráfica. Algunos de los valores de la constante T en grados Celsius son las siguientes:

$$T = \begin{cases} 234,5 & \text{para el Cu recocido 100\% de conductividad} \\ 241 & \text{para el Cu estirado en frío con 97,3\% de conductividad} \\ 228 & \text{para el Al estirado en frío con 61\% de conductivita} \end{cases}$$

La distribución uniforme de la corriente en la sección transversal de un conductor solamente se presenta para la corriente directa. Conforme se aumenta la frecuencia de la corriente alterna, la no uniformidad de la distribución se hace más pronunciada. Un incremento en la frecuencia da origen a una densidad de corriente no uniforme. A este fenómeno se lo conoce como efecto piel.

Generalmente, la densidad de corriente en un conductor circular se incrementa desde el interior hacia la superficie. Sin embargo, para conductores de radios suficientemente grandes, se puede obtener una densidad de corriente oscilatoria con respecto a la distancia radial desde el centro.

Como es de conocimiento en el interior del conductor hay algunas líneas de flujo magnético. Los hilos que se hallan en la superficie del conductor no están enlazados por el flujo interno, y el flujo que enlaza un hilo cercano a la superficie es menor que el que enlaza un hilo del interior.

Los flujos alternos inducen mayores voltajes sobre los hilos interiores que sobre los que están cerca de la superficie del conductor.

Por la ley de Lenz, el voltaje inducido se opone a los cambios de corriente que lo producen, y los voltajes inducidos más elevados, que actúan sobre los hilos internos, causan una mayor densidad de corriente cerca de la superficie, por lo tanto, se tiene una mayor resistencia efectiva.

Aun a las frecuencias de los sistemas de potencia, el efecto piel es un factor significativo en los grandes conductores. La resistencia teniendo en cuenta el efecto piel se la determina de la siguiente manera:

$$R_{ca} = k \cdot R_{cd} \quad (2.8)$$

Donde :

k = efecto piel

El efecto piel se selecciona de la tabla II, donde se relaciona la variable X la cual se la determina empleando la siguiente ecuación:

$$X = 0.05 \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot f}{R_{cd}}} \quad (2.9)$$

Donde:

f = es la frecuencia (Hz)

μ = permeabilidad magnética

R_{cd} = resistencia de corriente directa (Ω/Km)

Con el valor de X vemos que el valor de k (efecto piel), coincide y tenemos el valor de la resistencia tomando en cuenta el efecto piel

Tabla II. Efecto Piel

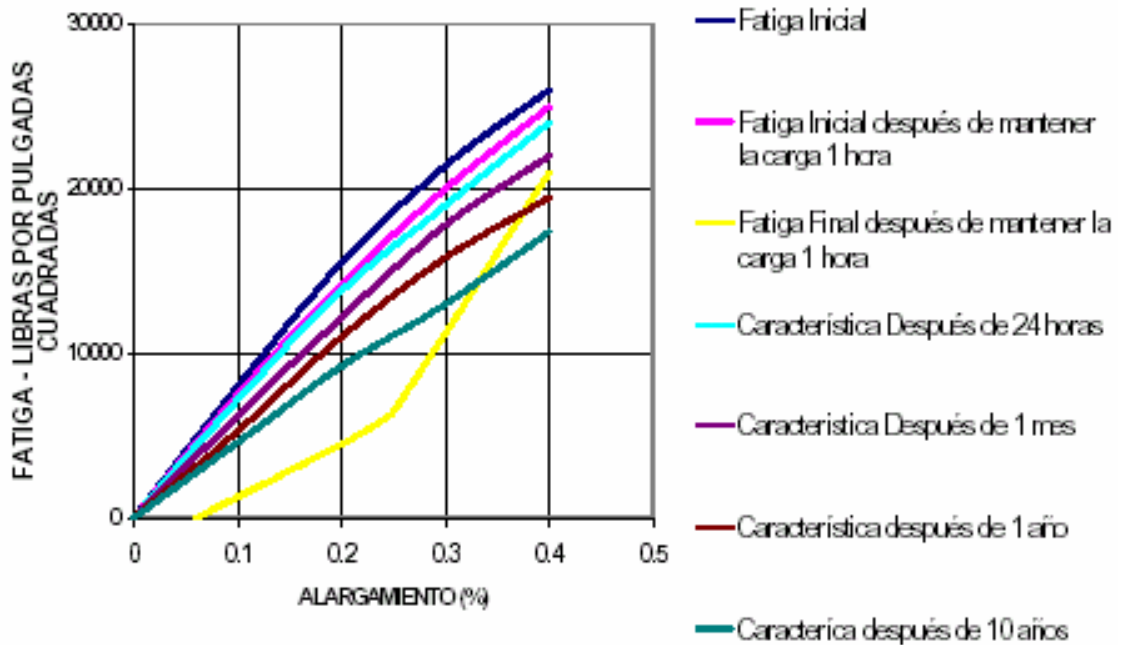
X	K	X	K	X	K	X	K
0.0	1.00000	1	1.00519	2.0	1.07816	3	1.3181
0.1	1.00000	1.1	1.00758	2.1	1.09375	3.1	1.35102
0.2	1.00001	1.2	1.01071	2.2	1.11126	3.2	1.38504
0.3	1.00004	1.3	1.01470	2.3	1.23069	3.3	1.41999
0.4	1.00013	1.4	1.09690	2.4	1.15207	3.4	1.45570
0.5	1.00032	1.5	1.02582	2.5	1.17538	3.5	1.49202
0.6	1.00067	1.6	1.03223	2.6	1.20056	3.6	1.52879
0.7	1.00124	1.7	1.04205	2.7	1.22753	3.7	1.56587
0.8	1.00212	1.8	1.05240	2.8	1.25620	3.8	1.60314
0.9	1.00340	1.9	1.06440	2.9	1.28644	3.9	1.64051

Fuente: Maxlin V., **Revista Energía.** Pág. 29.

2.3.4 Límite de tensiones mecánicas

Para establecer estos límites es necesario conocer las características mecánicas de los conductores y las distintas combinaciones de cargas que pueden actuar sobre ellos, de acuerdo a las condiciones meteorológicas de las zonas por donde pasa la línea de alta tensión.

Figura 5. Características Mecánicas de Conductores de Aluminio



Fuente: NKG Insulators, **Measuring methods pollution degree on insulator surfaces.** Pág. 57.

En lo que respecta a las características mecánicas, ellas se reflejan muy bien por medio de las curvas fatiga–alargamiento que son propias de cada conductor, tal como se indica en la figura 5 y por medio del alargamiento plástico progresivo que un conductor experimenta a través del tiempo al estar sometido a una tensión mecánica. De esta manera se configuran para cada conductor dos condiciones:

- Condiciones iniciales, que serán las calculadas considerando las características mecánicas del conductor, resultantes después que éste ha estado sometido a la tensión mecánica en cuestión, durante una hora después de su fabricación.

- Condiciones finales que serán las calculadas considerando que el conductor ha experimentado la más desfavorable de las siguientes condiciones después de ser instalado con una determinada tensión mecánica inicial:
 - ✓ Haber permanecido durante 10 años sin sobrecarga y a la temperatura media anual de la zona por donde pasa la línea.

 - ✓ Haber sido sometido a la tensión mecánica máxima de servicio que resulta de las condiciones meteorológicas por donde pasa la línea durante un periodo de una hora.

Es indudable que de acuerdo a lo anteriormente descrito, las tensiones mecánicas y las flechas iniciales de un conductor resultan respectivamente mayores y menores que los correspondientes valores finales. Este hecho debe tomarse muy en cuenta para la determinación de los límites que se deben establecer para el comportamiento de los conductores frente a las sollicitaciones mecánicas.

De las tensiones admisibles de servicio en las condiciones que se definen no deberán sobrepasar los porcentajes indicados de la tensión de rotura garantizada por el fabricante.

De otra parte la tensión normal de operación de los conductores y cables de guardia será para conductores de aluminio el 25% de valor inicial y 20% de valor final de la tensión de rotura respectivamente. Mientras que para cable de guardia será de 20% del valor inicial y 17% del valor final de la tensión de rotura respectivamente. Los valores anteriores suponen el empleo de amortiguadores y grapas de suspensión basculantes. Sólo en casos justificados técnicamente podrán suprimirse los amortiguadores.

En lo que refiere a la tensión máxima de los conductores debido especialmente a las fluctuaciones que experimentan las tensiones mecánicas de los conductores, al estar sometidos a distintas cargas provocadas por las condiciones meteorológicas por donde pasa la línea, la tensión mecánica máxima admisible recomendada por los fabricantes y empleada internacionalmente es el 70% de la respectiva resistencia a la rotura de los conductores.

La práctica usual para el diseño de líneas de transmisión consiste en establecer las condiciones de carga que producirán en el conductor la tensión mecánica máxima y considerar como límites para esta el 50% de la respectiva resistencia a la rotura del conductor. De esta manera se asegura que, si por algún motivo se producen condiciones de carga mayores, no se produzca la rotura del conductor.

De acuerdo a lo citado, este límite debe aplicarse a la tensión mecánica inicial, el principal problema que se presenta para la determinación de este límite radica en establecer las condiciones de carga bajo las cuales se producirá la tensión mecánica máxima del conductor. Es bien sabido que ella está afectada por las diferentes combinaciones de temperatura, viento y formación de hielo o nieve que puedan actuar sobre el conductor por lo tanto requiere de estadísticas meteorológicas muy completas de la zona.

2.4 Proceso de corrosión en conductores en áreas de alta contaminación

Se puede afirmar que el aluminio no es atacado en forma apreciable por la atmósfera contaminada, cuando no está en contacto con otro cuerpo rígido. Aunque es importante señalar que la presencia de la corrosión debido a la contaminación salina, se presenta especialmente en puntos calientes, lo cual merece importante atención.

Un punto caliente se origina por la alta resistencia al paso de la corriente en la unión de dos o más metales del mismo tipo o diferentes. Un punto caliente puede tener su origen en:

- Corrosión al utilizar conexiones metálicas de diferentes tipos, en las que el material más activo se oxida más rápido que el menos activo (la rapidez de oxidación depende del tipo de conexión y magnitud de la diferencia de potencial de los metales unidos), esto ocasiona pérdida de presión entre ellos por el desgaste.

Al ocurrir esto, la resistencia eléctrica entre los diferentes conectores o conductores metálicos, aumenta, provocando temperaturas elevadas hasta llegar al punto de fusión de alguno de ellos o ambos.

- El uso inadecuado de calibre de conductores. Si usamos un conductor que opere con sus características térmicas limitadas, éste se sobrecalentará provocando fusión del propio material, del conector de unión y del conductor al que está unido.
- Las concentraciones magnéticas cuando no se tiene el cuidado de separar las fases a distancias considerables representan riesgos cuando los cables pasan cerca de partes metálicas magnéticas grandes, ya que se pueden establecer flujos magnéticos grandes, lo que hará que ciertas áreas del cable sufran calentamientos indeseados.

2.5 Hipótesis sobre el proceso de corrosión en conductores de aluminio en áreas de alta contaminación.

En los ambientes de alta salinidad, todos los conectores (presionados por tornillos) tienen un comportamiento inadecuado aún cuando se trate el conductor con compuestos inhibidores de oxidación, este resultado sugiere de un tipo de corrosión diferente de la corrosión galvánica.

Es un hecho probado que el aluminio puro en aleaciones es suficientemente protegido por la película de óxido de aluminio que se forma sobre su superficie, pero que en contacto con un cuerpo fijo y duro como conectores, grapas de suspensión, es atacado por la corrosión. Así mismo, es normal suponer, en base a las observaciones efectuadas, que la corrosión es progresiva.

Descartando la posibilidad de que ocurra corrosión galvánica y la corrosión de corriente alterna. Las siguientes hipótesis pudieran explicar la corrosión en conductor de aluminio:

En los puntos sometidos a compresión por amarre se produce acumulación de humedad causa de que los intersticios están protegidos del efecto del viento.

Es un hecho comprobado que la película de aluminio formado en las superficies de aleaciones de aluminio, es menos homogéneo que la formada en el cuerpo del aluminio puro. En los puntos de fijación, colocados en estado rígido respecto al conductor, se manifestaría el mayor efecto de la vibración producida por causas mecánicas sobre el conductor. Esta vibración produciría resquebrajamiento en la película de óxido de aluminio, exponiendo el aluminio puro al efecto de las sustancias suspendidas en el medio húmedo de los intersticios de conexión, estas sustancias producirán nuevamente la oxidación de esta área, reiniciándose el proceso. La abrasión entre los elementos en contacto, sería una causa adicional de remoción de la película de óxido, contribuyendo a acelerar el proceso corrosivo.

3. EFECTO CORROSIVO DE LA ATMOSFERA CONTAMINADA SOBRE ESTRUCTURAS

3.1 Generalidades

Las estructuras tienen por objeto sostener los conductores y cables de tierra, resistir las sollicitaciones que ellos les transmiten y mantenerlos a cierta distancia entre sí, con el suelo y con las mismas estructuras..

3.2 Clasificación de las estructuras

Las estructuras pueden clasificarse en varias formas:

a) Según su Magnitud y Forma:

- torres
- postes

Las torres son las estructuras de grandes dimensiones en que sus elementos forman un sistema enrejado y las dimensiones de sus bases son grandes comparadas con las de los otros elementos de las estructuras.

Los postes son estructuras de una sola pieza o a veces de varias piezas empalmadas o de enrejados sencillos cuyas bases son estrechas.

b) Según el Material que están hechos:

- estructuras metálicas
- estructuras de concreto

c) Según los esfuerzos que soportan:

- autosoportantes
- flexibles

Las estructuras autosoportantes son rígidas, tanto en el sentido transversal como longitudinal de la línea y no dependen de los conductores para su estabilidad.

Las estructuras flexibles son rígidas en el sentido transversal de la línea, pero su resistencia longitudinal es pequeña y generalmente depende de los conductores para su estabilidad.

d) Según su función:

- suspensión
- anclaje
- remate
- especiales

Las estructuras de suspensión tienen por objeto sostener los conductores y cables de tierra, restringir los movimientos transversales (viento), y longitudinales (diferencia de tensión mecánicas). Generalmente se emplean en las alineaciones rectas y en ángulos pequeños, hasta 7° del trazado de la línea.

Las estructuras de anclaje están destinadas a establecer puntos fijos en la línea para dividir esta en sectores mecánicamente independientes, y generalmente van colocados cada cierto número de estructuras de suspensión. Estas estructuras pueden ser de anclaje en recta o en ángulo.

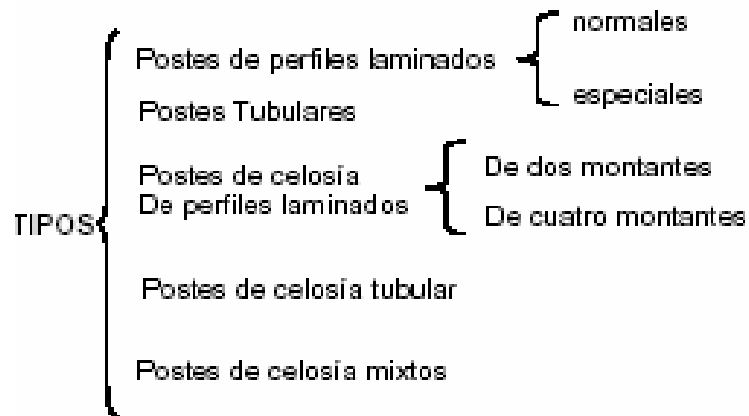
En el caso de que se usen estructuras de suspensión flexibles el empleo de las estructuras de anclaje se hace imperativo para limitar las fallas provocadas en la línea solamente a un cierto sector de la misma. Por la función que deben cumplir las estructuras de anclaje deben ser capaces de resistir una cierta fracción de la tensión mecánica de los conductores en sentido longitudinal.

Las estructuras de remate se emplean en los extremos de la línea o en puntos con ángulos mayores que los considerados para las estructuras de anclaje. Estas estructuras deben ser capaces de resistir una cierta fracción de la tensión mecánica máxima de los conductores.

Las estructuras especiales se usan en tramos de grandes luces, por ejemplo en cruce de ríos, o bien en cruces de caminos, ferrocarriles u otras líneas de transmisión eléctrica. Otros tipos de estructuras especiales son aquellas que sirven para derivar otras líneas o aquellas usadas para hacer las transposiciones de los conductores.

3.3 Postes metálicos

Los postes metálicos se construyen de diferentes formas según su aplicación y ubicación dentro del trazado de las líneas de alta tensión:



3.3.1 Materiales utilizados en los postes metálicos

Generalmente, se emplea el acero de calidad normal, en tubos, perfiles laminados en L, U, T, I, etc. y planchas. Para casos especiales, se utiliza también el hierro fundido. Modernamente, se estudia el empleo de diversas aleaciones ligeras, a base de aluminio y acero.

Como elementos de unión se utilizan, sobre todo, los pernos, tornillos y remaches. Por razones que veremos más adelante, no se ha generalizado el empleo de la soldadura.

A continuación, se resumen las prescripciones reglamentarias, en lo que se refiere a los materiales que deben emplearse en la construcción de postes metálicos:

- a) No pueden utilizarse perfiles abiertos inferior a 4 mm. Cuando los perfiles estuvieren galvanizados por inmersión en caliente, el límite anterior puede reducirse a 3 mm.

- b) En construcciones remachadas o atornilladas, no podrán realizarse taladros sobre flancos de perfiles cuya anchura sea inferior a 35 mm.

- c) Cuando los perfiles de la base del poste prolonguen dentro del terreno sin recubrimiento de hormigón (por ejemplo, en el caso de cimentaciones metálicas), el espesor de los perfiles enterrados no será inferior a 6 mm.

- d) No deben emplearse tornillos ni remaches de un diámetro inferior a 12mm.

- e) Cuando se utilicen tubos o perfiles cerrados, debe hacerse de forma que resulten estancos, es decir, sin comunicación de su cavidad interior con el exterior. En estas condiciones el espesor mínimo de la pared no será inferior a 3 mm, límite que podrá reducirse a 2,5 mm cuando estuvieren galvanizados por inmersión en caliente.

- f) En los perfiles metálicos enterrados sin recubrimiento de hormigón, se cuidará especialmente su protección contra la oxidación, empleando procedimientos protectores adecuados, como galvanizado, brea de alquitrán, etc.

3.3.2 Tipos generales de postes metálicos

Las ventajas de los postes metálicos respecto a los demás tipos de postes, son las siguientes:

- a) Su superior resistencia mecánica.
- b) Por su propia estructura, un poste metálico se presta a la descomposición en piezas sencillas, que luego se arman cómodamente en el lugar del izado del poste.
- c) Su fácil mantenimiento.

La extensión de las aplicaciones de los postes metálicos, hace que los tipos constructivos sean muy variados y adopten muy diferentes formas, lo que hace difícil su clasificación. Para nuestro estudio, se considerará el material constituyente del poste, y la configuración de este material en el conjunto del mismo. De esta forma, los postes metálicos se pueden clasificar como sigue:

- Postes de perfiles laminados.
- Postes tubulares.
- Postes de celosía de perfiles laminados.
- Postes de celosía tubular.
- Postes de celosía mixtos.

Todos estos tipos hacen referencia a los postes que podemos considerar de construcción normal, es decir, los más utilizados en las líneas de transporte de energía eléctrica.

3.3.3 Corrosión en postes metálicos

En las áreas cargadas de atmósfera de salinidad, los efectos de la corrosión causan acelerada destrucción sobre el cuerpo del poste, localizándose este efecto sobre la cara enfrentada al viento predominante.

La corrosión presenta mayor incidencia en las secciones donde se aplican los herrajes de sustentación de componentes y fundamentalmente hacia la base del poste.

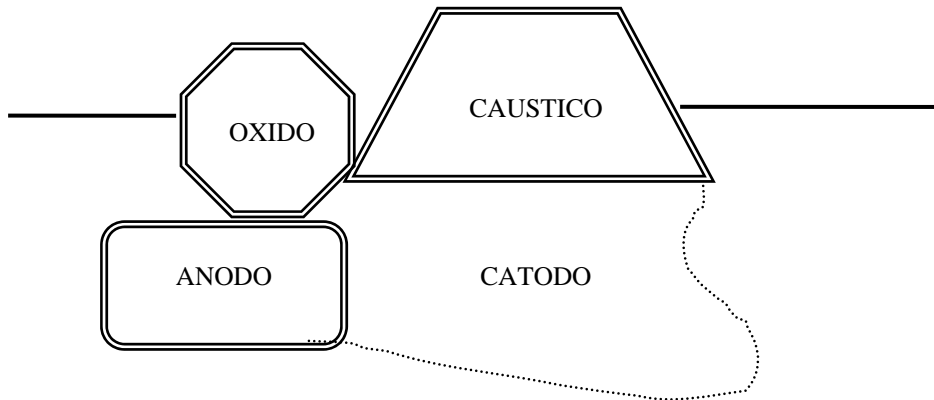
Otro fenómeno de corrosión que se presenta en los postes metálicos, es una reacción electroquímica mediante la cual, diminutas zonas de una superficie metálica actúan como pilas o baterías microscópicas. Este fenómeno puede explicarse de la siguiente manera:

En una primera etapa el metal se empieza a combinar con el oxígeno del aire formándose una delgadísima placa de óxido. En la segunda etapa es cuando se forman las pilas microscópicas constituidas por:

- Una zona anódica por el propio metal.
- Una zona catódica formada por impurezas de metales (películas de óxido).
- Un electrolito que es precisamente la alta humedad ambiente con la sal disuelta y otras impurezas de la atmósfera.

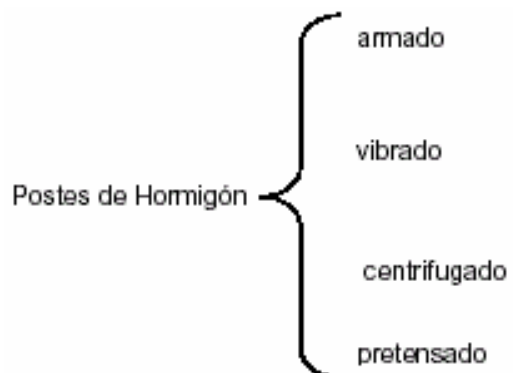
Al formarse estas diminutas pilas, en cada una de ellas hay paso de corrientes pequeñísimas pero que producen disolución del metal de la zona anódica, que con el electrolito de humedad salina producen reacciones químicas con la consecuente formación de óxidos de hierro. Figura 6.

Figura 6. Reacción Electroquímica en los Postes Metálicos



3.4 Postes de hormigón

Estas estructuras tienen su origen y nombre en la forma de construcción física y proceso de fabricación a la cual son sometidos, siendo los siguientes los más comunes para el tendido de líneas eléctricas de alta tensión.



3.4.1 Materiales utilizados en los postes de hormigón

Es conveniente estudiar aquí los materiales utilizados en los postes de hormigón, ya que no puede abordarse con eficacia el estudio de los mismos, sin conocer previamente los conceptos que se trataran.

Se llama cemento, en general, a cualquier material que, en forma líquida o plástica, llena los vacíos de una masa de partículas o une dos superficies adyacentes y, por endurecimiento posterior hasta su solidificación, las mantiene completamente trabadas.

El llamado cemento Portland es el producto obtenido por la pulverización fina de la escoria que se produce calcinando a fusión incipiente, una mezcla íntima y adecuadamente dosificada, de materiales calizos y arcillosos, sin otras adiciones después de la calcinación excepto agua y yeso. El fraguado (o dosificación) se realiza en unas 10 horas.

El cemento natural es un producto finamente pulverizado que resulta de la calcinación de una piedra caliza arcillosa sólo a la temperatura suficiente para eliminar el gas anhídrido carbónico. Fragua más rápidamente que el cemento Portland, pero tiene menos resistencia mecánica.

El hormigón es una piedra artificial, obtenida por mezcla de cemento, un agregado y agua.

El agregado consiste en un material duro e inerte, de grano grueso; como la grava, la piedra machacada, etc. y un material más fino, generalmente arena, debe estar exento de impurezas tales como barro, carbonilla, azufre, etc. La presencia del agua es necesaria para que se produzcan las reacciones químicas que hacen fraguar la mezcla; el proceso de endurecimiento de la mezcla, se denomina hidratación.

La mezcla, que al principio presenta una estructura elástica, se endurece durante el proceso de fraguado, hasta adquirir una consistencia pétreo, es decir, que adquiere la consistencia de una piedra. La principal característica del hormigón es su excelente resistencia a la compresión (es decir, a los esfuerzos que tienden a aplastar el material), que es tanto mayor cuanto menor sea el contenido de agua.

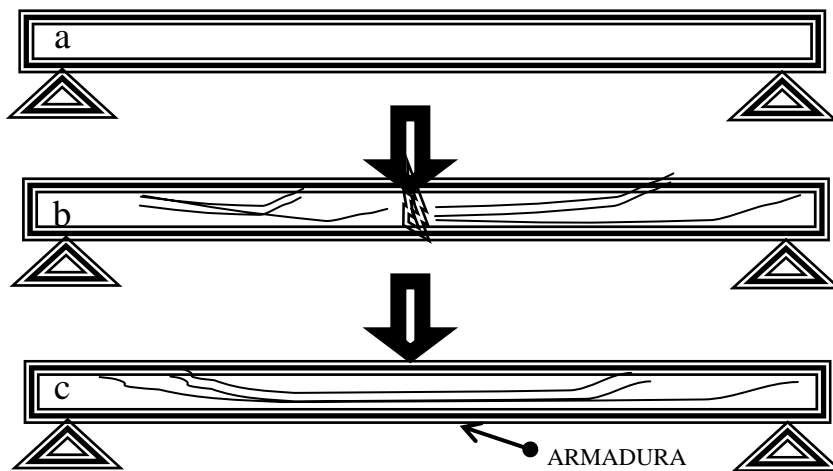
Muchas veces se emplea el hormigón en masa que es solamente una argamasa o pasta del hormigón normal, que se fabrica en el mismo lugar en que debe ser utilizado. Generalmente, no se emplea para la fabricación de postes, debido a que éstos están sometidos a importantes esfuerzos de tracción (esfuerzos que tienden a alargar el material) y de flexión (esfuerzos que tienden a doblar el material), para los que el hormigón en masa no está preparado; pero sí suele emplearse muchas veces en cimentaciones para postes de madera, de hormigón y metálicos, que están sometidos principalmente a esfuerzos de compresión.

La resistencia a la tracción (esfuerzos de alargamiento) del hormigón, es muy inferior a su resistencia a la compresión (esfuerzos de aplastamiento); por esta razón, al hormigón, en masa, citado en el párrafo anterior, no se le considera material apto para resistir esfuerzos de tracción. Pero puede incorporarse al hormigón en masa, una armadura metálica (generalmente hierro o acero), constituyéndose de esta forma el material denominado hormigón armado. La presencia del hierro o del acero, además de dar mayor solidez a la construcción, permite someter al conjunto a considerables esfuerzos de tracción, que absorbe la armadura metálica y que, de otra forma, no serían compatibles con del hormigón.

En la figura 7 se puede apreciar cómo la combinación de ambos hierro y el hormigón se conjuga para soportar grandes esfuerzos de compresión, tracción y flexión. La figura representa una viga de hormigón común, de sección rectangular, y apoyada en ambos extremos. Si se aplica una carga en el centro de la viga, que provoque un esfuerzo de tracción mayor que el propio del hormigón, en la parte inferior de la una grieta, que irá ensanchándose hasta producir la rotura de la viga. Si se disponen barras de acero en la parte sometida al esfuerzo de tracción, es decir, en la parte inferior de la viga, ésta se combará ligeramente bajo el mismo peso, pero lo soportará. De esta forma, la escasa resistencia a la tracción del hormigón, ya no constituye un factor que limita su campo de aplicación, si en su interior se incluye una armadura de hierro que resista los esfuerzos de tracción.

Figura 7. Influencia de la armadura en una barra de hormigón:

- a) barra sin armar, no sometida a esfuerzo de flexión,
- b) barra sin armar, sometida a esfuerzo de flexión,
- c) barra con armadura, sometida a esfuerzo de flexión.



3.4.2 Tipos Generales de Postes de Hormigón

En lo que se refiere a los postes utilizados en las instalaciones eléctricas de líneas aéreas, se utilizan los siguientes tipos:

- Postes de hormigón armado.
- Postes de hormigón vibrado.

- Postes de hormigón centrifugado.
- Postes de hormigón pretensado.

En los postes de hormigón armado, las armaduras de hierro, no solamente ayudan a soportar los esfuerzos de compresión, sino también los esfuerzos de tracción provocados por la flexión. Por su parte, el hormigón resiste los esfuerzos de compresión, mantiene en posición correcta la armadura metálica y protege al hierro contra la corrosión y contra el fuego. Naturalmente, la armadura ha de mantenerse en perfecto contacto con el hormigón, para evitar cualquier deslizamiento. Con este objeto, las barras de hierro que constituyen la armadura, presentan pestañas o salientes que se agarran al hormigón e impiden los deslizamientos a lo largo de la barra.

En la fabricación de postes de hormigón armado, se puede someter a vibraciones, obteniéndose el hormigón vibrado, lo que mejorara las cualidades del mismo. Estas vibraciones consisten en sacudidas a elevada frecuencia (de 3 000 a 22000 vibraciones por minuto), bajo cuyo efecto, la masa de hormigón, que se halla en un estado más o menos esponjoso, se va asentando gradualmente, reduciéndose notoriamente el volumen de aire ocluido, es decir, introducido entre los poros de la masa de hormigón.

Otro procedimiento para mejorar las características del hormigón armado, es someterlo a un proceso de centrifugación, obteniéndose el hormigón centrifugado.

Este procedimiento consiste en someter a las piezas moldeadas de hormigón a un movimiento rápido alrededor de un núcleo o eje, de forma que el hormigón vertido en el molde previamente, se comprime enérgicamente contra éste, por efecto de la fuerza centrífuga originada por el movimiento de rotación, constituyendo de esta forma el elemento o pieza que se necesita fabricar. La pieza sometida a centrifugación, tiene una elevada impermeabilidad y gran resistencia a las aguas corrosivas.

Actualmente, se emplea mucho el denominado hormigón pretensado llamado también, algunas veces, hormigón precomprimido. La finalidad propuesta es el aprovechamiento, con vistas a una mayor resistencia mecánica, de toda la sección de la pieza sometida a esfuerzos de flexión (que tienden a doblar la pieza). Generalmente, se parte del hormigón vibrado dentro de cuya masa se colocan unos alambres de acero, que se tensan antes de colar el hormigón. Cuando el hormigón está en un conveniente grado de fraguado, se cortan los alambres que vuelven a quedar destensados; pero no pueden acortarse porque se lo impide la masa del hormigón y, como consecuencia, los alambres de acero comprimen el hormigón. De esta forma, se obtiene una pieza de hormigón pretensado, que resiste mucho mejor que el hormigón armado normal, los esfuerzos de tracción. Además, el hormigón pretensado resulta más económico y se eliminan las fisuras y grietas en la masa del material.

3.4.3 Corrosión en postes de hormigón

Los problemas que este tipo de postes presentan se refieren a la corrosión de la cabilla por filtración de humedad a través de las porosidades de la superficie, donde se afecta la estructura metálica del poste, por lo que es a cuenta del fabricante que corre la prevención o anulación de este fenómeno, además durante la fabricación de postes de hormigón se pide una abertura en el poste para la respectiva ventilación.

4. CONTAMINACION DE AISLADORES

4.1 Generalidades

En las líneas eléctricas aéreas, los conductores deben ir aislados de los apoyos correspondientes. Se ha visto que los conductores se emplean casi siempre sin aislamiento propio, es decir, desnudos.

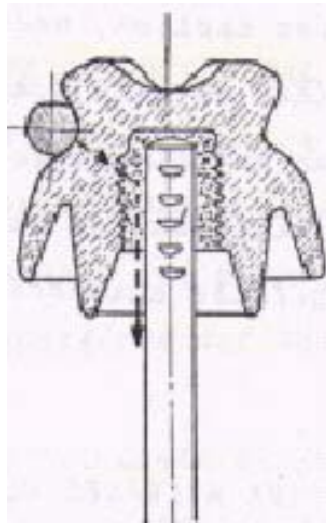
Por lo tanto, se necesita un aislamiento intermedio, denominado aislador, de buenas propiedades dieléctricas, que aislen casi totalmente los conductores bajo tensión, de los apoyos que soportan la línea.

La unión de los conductores a los aisladores y de los aisladores a los apoyos, se efectúa por medio de piezas metálicas denominadas, en general, herrajes y que, naturalmente están aislados entre sí por medio del material que constituye el aislador.

Por lo tanto, la misión fundamental del aislador es evitar el paso de la corriente del conductor al apoyo. Este paso de corriente puede producirse por cualquiera de las causas que se citan a continuación:

- a) Por conducción de masa, a través de la masa del aislador, como corriente de fuga, figura 8, con los materiales actualmente empleados en la fabricación de aisladores, la corriente de fuga resulta insignificante y no se tiene en cuenta.

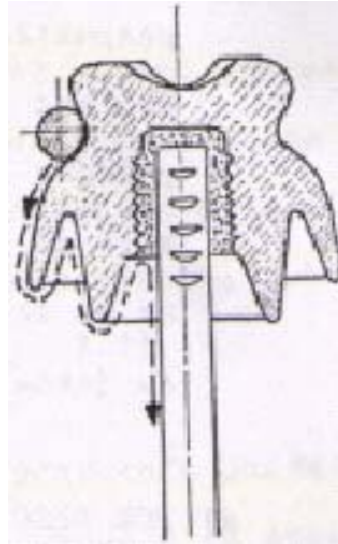
Figura 8. Paso de Corriente en un Aislador Por Conductividad de Masa
(Corriente de Fuga)



Fuente: Ramírez José, **Manual Autodidáctico de Líneas Aéreas**, Pagina 106.

- b) Por conductividad superficial, o sea contorneado la parte exterior del aislador por aumento de su conductividad debido a la formación de una capa humedad, de polvo, o sales depositadas sobre la superficie del aislador, figura 9.

Figura 9. Paso de Corriente en un Aislador Por Conductividad Superficial



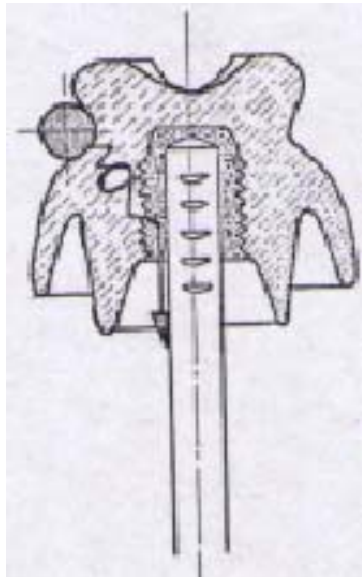
Fuente: Ramírez José, **Manual Autodidáctico de Líneas Aéreas**, Pagina 114.

La corriente de fuga correspondiente puede reducirse hasta límites seguros dando a la superficie del aislador un perfil apropiado, de forma que el recorrido de la corriente de fuga sea la mayor posible.

- c) Por perforación de masa del aislador, esta circunstancia tiene poca importancia en los aisladores para bajas tensiones, ya que el material constituyente del aislador resulta suficiente para evitar la perforación. Pero en altas tensiones, el peligro es mucho mayor, sobre todo en aisladores de gran espesor, pues en este caso, es muy difícil fabricarlo de forma que conserven sus propiedades dieléctricas en toda su masa.

Un fallo en estas propiedades en algún punto del interior del aislador puede provocar su perforación. Por esta razón, los aisladores para altas tensiones se fabrican muchas veces en varias piezas supuestas de reducido espesor, unidades entre sí por una pasta especial; de esta forma se evita el peligro de que puedan existir defectos en el interior de la masa del aislador, ya que la estructura de éste puede vigilarse cuidadosamente durante su fabricación. Figura 10.

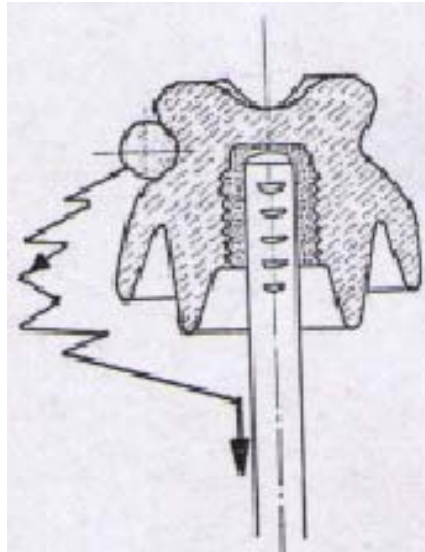
Figura 10. Paso de Corriente en un Aislador Por Perforación de la Masa del Aislador



Fuente: Ramírez José, **Manual Autodidáctico de Líneas Aéreas**, Pagina 118.

- d) Por descarga disruptiva a través del aire, formándose un arco el conductor y el soporte a través del aire, cuya rigidez dieléctrica no basta para evitar la descarga, figura 11.

Figura 11. Paso de Corriente en un aislador por descarga Disruptiva a través del aire



Fuente: Ramírez José, **Manual Autodidáctico de Líneas Aéreas**, Pagina 122.

En ciertas ocasiones, la rigidez dieléctrica del aire disminuye como sucede con la lluvia, porque los filetes de agua de lluvia que se desprenden de la superficie del aislador toman el potencial del conductor y se encuentran a menos distancia del soporte que de aquel. Estas descargas pueden evitarse por un diseño adecuado de los aisladores que han de trabajar a la intemperie, es decir, sometido a la acción de la lluvia, para aumentar la distancia existente entre conductor y soporte, el perfil de estos aisladores se hace con una o de varias ondulaciones en forma de campanas, con lo que aumenta la tensión necesaria para que se forme el arco.

4.2 Características básicas de los aisladores para L/T aéreas.

A continuación se definen algunos conceptos relacionados con los materiales aislantes en general, y más particularmente, con los aisladores. Téngase en cuenta que cualquier dispositivo aislante constituye un condensador. Recordemos que, entre las placas de un condensador, sometidos a una tensión V , existe un campo eléctrico, caracterizado por la magnitud denominada intensidad de campo eléctrico y expresada por

$$E = \frac{V}{a} \quad (3.1)$$

Donde a es la distancia entre placas, si V está expresada en Kv y a en cm., E estará expresada en Kv/cm.

4.2.1 Rigidez Dieléctrica

Si se intercala una placa aislante entre las dos placas de un condensador y se aumenta gradualmente la tensión entre las placas, llega un momento en que es perforado el aislante, produciéndose la descarga, la tensión a la cual ocurre la perforación V_p se denomina tensión de perforación y a la intensidad de campo que ocurre la perforación.

$$E_p = \frac{V_p}{a} \quad (3.2)$$

El valor de la rigidez dieléctrica tiene gran importancia. Para determinar la calidad de un aislante, éste será tanto mejor, cuanto mayor su rigidez dieléctrica, si V es la tensión de servicio de una instalación y V_p es la tensión de perforación de un aislante determinado, la relación

$$S = \frac{V_p}{V} \quad (3.3)$$

Es el coeficiente de seguridad a que se trabaja dicha instalación.

4.2.2 Constante Dieléctrica

Se llama también índice dieléctrico, y expresa el comportamiento dieléctrico de un material aislante. Es un concepto relacionado con el de inducción dieléctrica, que vamos a explicar brevemente; la carga eléctrica que admite cada placa de un condensador por cm^2 de superficie se denomina inducción dieléctrica. Si en el espacio entre las placas existe el vacío, esta magnitud está relacionada con la intensidad de campo eléctrico que se ha definido anteriormente por la siguiente expresión.

$$D = \epsilon_0 \cdot E \quad (3.4)$$

Donde:

D : Inducción dieléctrica, en culombios/cm²

E : Intensidad de campo eléctrico; en V/cm

ϵ_0 : Constante dieléctrica en el vacío o absoluta. Esta constante tiene el valor de 8.85×10^{-12}

Si en el espacio entre placas, en lugar de existir el vacío, estuviera lleno de una sustancia aislante varían las condiciones, ya que en este caso, la inducción dieléctrica aumenta.

Ahora tenemos:

$$D = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot E \quad (3.5)$$

Donde:

ϵ : Constante dieléctrica relativa

Por lo tanto, la constante dieléctrica relativa, o abreviadamente, Constante Dieléctrica del material aislante, expresa cuantas veces dicho material es más aislante que en el vacío. Un material aislante será, por lo tanto, tanto mejor cuanto mayor sea su constante dieléctrica.

4.2.3 Factor de Pérdidas

Se ha dicho que cualquier dispositivo aislante es en realidad, un condensador. Y que, si se aplica una corriente alterna a un condensador, éste se carga y descarga sucesivamente; de ello resulta una corriente alterna, cuyo valor máximo se haya desfasado 90° en adelanto del correspondiente a la tensión, pero una sustancia aislante no tiene nunca una conductividad nula, siempre pasa a través de ella una pequeña corriente de flujo que depende de la resistencia eléctrica de la capa aislante. Esto hace que un dispositivo aislante no sea nunca un condensador puro y que aparezca siempre una pequeña corriente y la tensión en bornes no es nunca de 90° sino algo menor al ángulo al que se denomina ángulo de pérdida dieléctrica y la relación (3.6) recibe el nombre de Factor de Pérdida. Esta magnitud tiene mucha importancia para determinar la calidad de un aislante desde el punto de vista térmico, ya que la corriente activa I_a , en fase con la tensión en la que, según la Ley de Joule, provoca el calentamiento del aislante. Por lo tanto, cuanto menor sea esta corriente menor también será el factor de pérdida $\text{tg}\delta$ y mejor será el aislante en lo que a comportamiento térmico se refiere.

$$\text{tg}\delta = \frac{I_a}{I_r} \quad (3.6)$$

4.3 Características propias de un aislador

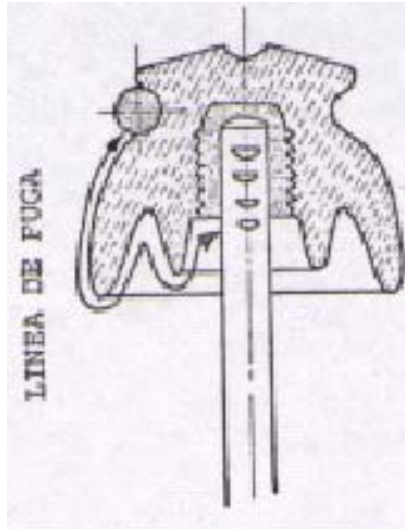
De acuerdo con las condiciones generales que deben cumplirse, expresadas anteriormente, se han establecidos unas características mínimas para los aisladores de líneas aéreas, hasta no hace mucho tiempo, se distinguían los aisladores por la tensión de servicio a que estaban destinados, pero actualmente, se estima que esta tensión no caracteriza a un aislador ya que lo más conveniente en cada caso depende de las condiciones del aislador.

Mediante los correspondientes ensayos, se han de estipular y comprobar las siguientes características.

4.3.1 Línea de fuga

Es la distancia entre las fuerzas conductoras de la que está provisto el aislador, en las condiciones que se establecen para los ensayos de tensión disruptiva, medida sobre la superficie del aislador, como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Línea de Fuga de un Aislador

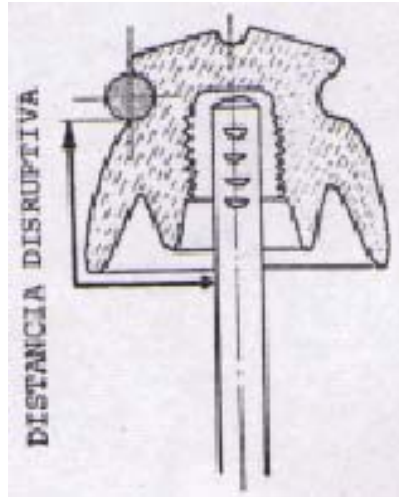


Fuente: Ramírez José, **Manual Autodidáctico de Líneas Aéreas**, Pagina 127.

4.3.2 Distancia disruptiva

Es la distancia en el aire, entre las piezas de las que está provisto el aislador, en las condiciones establecidas para los ensayos de tensión disruptiva, también se denomina distancia de contorneamiento, figura 13.

Figura 13. Distancia Disruptiva de un Aislador



Fuente: Ramírez José, **Manual Autodidáctico de Líneas Aéreas**, Pagina 136.

4.3.3 Tensión de corona

Es el valor eficaz de la tensión, expresado en kilovoltios, toda manifestación luminosa que se deja ser visible en la oscuridad. En cualquier punto del aislador causada por la ionización del aire se conoce como efecto corona.

4.3.4 Tensión disruptiva en seco o a la frecuencia normal

Se denomina también tensión de contorneamiento y es el valor eficaz de la tensión, expresado en kilovoltios, en el que se produce la descarga disruptiva ó descarga por contorneamiento.

En el aislador, recordemos que la descarga disruptiva se produce a través del aire bajo aspecto de una chispa o arco, o de un conjunto de chispas o arcos, que establecen conexión eléctrica entre las piezas metálicas del aislador, sometidas normalmente a la tensión de servicio. Para la tensión disruptiva en seco o a la frecuencia normal se somete al aislador a un ensayo en atmósfera normal seca a una frecuencia de 60 hertz.

4.3.5 Tensión disruptiva bajo lluvia a la frecuencia normal

Para determinar la tensión disruptiva bajo lluvia a la frecuencia normal, el ensayo se realiza también con una frecuencia de 60 hz., pero sometido al aislador, a los efectos de una lluvia artificial. Así para determinar la tensión mínima disruptiva, es decir, el valor mínimo de 5 determinaciones sucesivas sobre el aislador, durante ensayos de un minuto de duración.

4.3.6 Tensión con ondas de sobre tensión de frente recto

Es el valor de cresta (no el eficaz) de la tensión de la onda, expresado en kilovoltios en que se produce la descarga disruptiva, para los ensayos se utilizan trenes de ondas de choque de frente escarpado, de duración $1 \times 50 \mu$ seg., obtenidas en generadores de ondas que van aumentando de valor, hasta que producen aproximadamente, un 50% de descarga de contorneamiento, sobre un mismo aislador. Este valor de la tensión de choque es el que se adopta como valor característico del aislador.

4.3.7 Tensión de perforación

Es el valor eficaz de la tensión, expresado en kilovoltios, en el que tiene lugar la perforación del aislante, es decir la destrucción localizada de este material, producida por una descarga que atraviesa el cuerpo del aislador, de acuerdo con esto, el desprendimiento de un fragmento del borde de un aislador por efecto del calor de un arco de contorneamiento, no debe considerarse como perforación.

El excesivo calentamiento local y el calentamiento diferencial ocasionado por la excesiva corriente de fuga, disminuye rápidamente la resistencia dieléctrica del material, lo cual se traduce mayor disipación de energía hasta producir la ruptura de perforación del aislador.

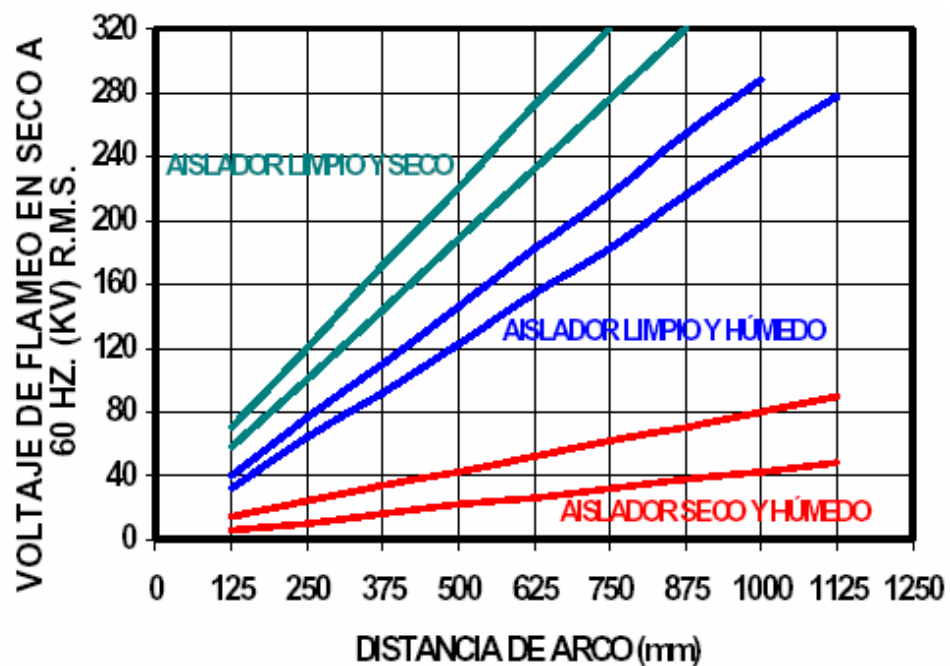
4.4 Efectos de la contaminación sobre los aisladores

Los aisladores modernos están diseñados, inicialmente para una limpieza natural mediante las lluvias y el viento. De tal manera que bajo condiciones normales de depósito de polvo atmosférico, actúen en forma satisfactoria.

Sin embargo, los aisladores en su uso normal pueden estar en un medio ambiente con diferentes grados de contaminación, que disminuye su aislamiento produciendo flameo, y en caso extremo, dando lugar a interrupciones del suministro de energía eléctrica.

El flameo por contaminación sobre un aislador se presenta cuando la mayor parte de la superficie está cubierta por una capa de baja resistividad, y exceptuando algunos casos muy especiales de contaminación en los cuales el depósito es conductor en atmósfera seca (como polvo de óxido metálico y coque) el contaminante debe estar húmedo para que la capa sea conductora, debido a las sales disueltas en ellas o debido a la formación de ácidos diluidos. Este comportamiento como vimos anteriormente, depende de la contaminación existente en los aisladores, o cual podemos resumir en la figura 14.

Figura 14. Voltaje de Flameo de Aisladores Contaminados



Fuente: Insulators, Measuring methods pollution degree on insulator surfaces. Pág. 68.

En una determinada atmósfera, las densidades de depósitos salinos dependen de la forma y tamaño de los aisladores y del efecto del lavado por lluvia. Los efectos principales de la acumulación de depósitos contaminantes son las siguientes:

4.4.1 Excesiva Corriente de Fuga

A medida que se humedece la superficie del aislador, disminuye la resistencia y se presenta una corriente de fuga apreciable de carácter intermitente. La disipación de energía aumenta la temperatura y esto a su vez disminuye la resistencia dieléctrica del aislador, ocasionando pérdidas de la capacidad aislante del material.

4.4.2 Flameo Continuo

Existe el riesgo de flameo por contaminación en servicio en tres casos especiales:

- Cuando el aislador contaminado se expone a la lluvia después de haber sido energizado al voltaje normal de trabajo, durante un largo periodo de tiempo.
- Cuando un aislador contaminado y “húmedo” se energiza a su voltaje normal de trabajo.

- Cuando un aislador contaminado y “húmedo” se somete a un voltaje transitorio.

El primer caso es el más común y en estas circunstancias el aislador se comporta de acuerdo a lo anotado. En el segundo caso, se puede presentar el flameo antes de alcanzar la estabilidad térmica; y en el tercer caso se presenta el flameo antes de llegar a la misma. En general, la corriente intermitente de fuga modifica el gradiente de potencial, ionizado el aire, disminuyendo el voltaje de flameo y provoca la descarga a tierra.

4.4.3 Corrosión

Se presenta una acelerada corrosión de las partes metálicas del aislador que operan en áreas de alta contaminación. Las causas principales de dicha corrosión son:

- Efectos electrolíticos debido a la corriente de fuga.
- Pérdida de capa de Zinc (galvanizado), quedando el metal expuesto a la acción corrosiva del medio.
- Generación de ácido nítrico a partir del ozono producido por el efecto corona y el calentamiento.

4.4.4 Radio Interferencia

El efecto de descargas eléctricas sobre los aisladores produce alguna interferencia. Sin embargo, las descargas superficiales que producen las corrientes excesivas, no necesariamente son las responsables de las altas interferencias, puesto que contienen muy pocos componentes de alta frecuencia. Las descargas tipo corona resultantes de distorsión del campo eléctrico, originadas por una superficie contaminada “húmeda” pero conformada de bandas secas, son las causantes de interferencia en señales de radio y televisión.

5. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE LOS AISLADORES

5.1 Generalidades

Cuando el diseño anti-contaminación de un aislador es un hecho, es indispensable determinar su grado de contaminación. El grado de contaminación es generalmente determinado por la medida del depósito de la densidad de sal equivalente ESDD en la superficie del aislador que es removido de las estaciones de prueba.

En suma al ESDD, la densidad del material no –soluble NSDD podría ser medido, especialmente en caso de que la cantidad indicada de polvo y arena tienden a acumularse sobre la superficie del aislador en una área desértica.

Además, el análisis químico de los contaminantes necesita ser llevado fuera para identificar las sustancias de los contaminantes porque la alteración del voltaje de disrupción está influenciado por la clase de aquellas sustancias.

En este capítulo, se describe como medir ESDD y NSDD, y como hacer el análisis químico de los contaminantes.

5.2 Instrumentos Necesarios para medir el Grado de Contaminación del Aislador

Para realizar la medición tanto del ESDD como del NSDD necesitaremos los siguientes instrumentos:

- a) Conductímetro
- b) Vaso de precipitación (100 cc)
- c) Probeta (100 cc)
- d) Algodón absorbente
- e) Papel filtro
- f) Embudo
- g) Guantes de goma
- h) Balanza (capacidad: 10gr máximo, 1 mg. Mínimo)
- i) Botella plástica (500cc)

Nota: El agua destilada bajo 10us/cm es necesario para medir el ESDD y NSDD.

5.3 Alcance de las mediciones

De los resultados de la siguiente investigación deberán ser obtenidos:

- 1) El grado estimado de contaminación en los aisladores.
- 2) Análisis de los resultados con el tiempo de exposición del aislador a la atmósfera contaminada.

5.4 Detalle de las mediciones y procedimiento para el análisis.

Las actividades generales o método para realizar las mediciones se detallan a continuación:

- Se obtendrá un aislador que este expuesto al ambiente físico del lugar de estudio y que se encuentre en las mismas condiciones que los utilizados en la línea.
- Cuando el aislador haya sido desmontado de la línea o punto de prueba en estudio se procederá a recoger los contaminantes de la superficie del aislador.

- Se realizara la medición del peso de los contaminantes y calculo de la densidad de los contaminantes disueltos en el agua destilada filtrando componentes de material no – soluble y componentes de material soluble.
- Se obtendrán los valores en porcentaje (%) del material soluble y no-soluble con la utilización de las ecuaciones de ESDD y NSDD.
- Se obtendrá la relación de la contaminación con el tiempo de exposición.

Las mediciones se realizaran de acuerdo a los parámetros siguientes:

Aislador Piloto: El aislador piloto deberá ser instalado en los lugares de estudio.

Lugares de las Pruebas: El aislador piloto será expuesto en los lugares comunes a lo largo de la línea de alta tensión o en las subestaciones.

Periodo de exposición para la prueba: La investigación esencialmente deberá efectuarse en una medición de un periodo considerablemente extenso, y para análisis exhaustivos, deberá ser necesario continuar por lo menos por 3 años para obtener información de un modelo de contaminación de aisladores confiables. No obstante deberá ser posible obtener algunos datos mostrando la tendencia de la contaminación del aislador a lo largo de la medición, aún si el periodo de la medición es muy corto.

También aún después del cumplimiento del primer periodo de prueba para el modelo de contaminación de la línea, las mediciones de la contaminación, proporcionarán importantes datos para los trabajos de mantenimiento de las líneas y más aún, un mayor conocimiento y técnicas en contaminación de aisladores de lo cual es aplicable a proyectos futuros.

Intervalo de las mediciones: Para recopilar datos cuantos sean posibles y hacer que sean lo más confiables, las pruebas de la densidad de depósitos de sales minerales equivalentes disueltos en agua (ESDD) y la densidad de los depósitos no – solubles en el agua (NSDD), deberán ser medidos en intervalos largos de tiempo, y en estaciones climáticas diferentes para poder estimar el comportamiento de la contaminación.

Medición de la Contaminación: Las pruebas ESDD y NSDD deben ser hechas en términos del contaminante total de cada aislador.

Colección de datos de las condiciones meteorológicas: Los datos meteorológicos de la estación más cercana durante el periodo de exposición, deben ser registrados:

- Estado del tiempo.
- Condiciones del viento (valores máximos y rangos), dirección del viento.
- Precipitación lluviosa diaria total.

- Temperatura ambiente (máxima, mínima y rango).
- Humedad.

Procedimiento para el análisis:

- a) Medidas de los grados de contaminación ESDD y NSDD en la superficie de los aisladores.
- b) Estandarización de los datos meteorológicos.

Las pruebas ESDD y NSDD deberán ser preferentemente hechas en forma separada (superficies exterior e interior del aislador). Las mediciones deberán ser llevadas a cabo de acuerdo con el método descrito.

Para la estandarización de los datos meteorológicos se utilizarán los que predominan en el área de estudio de la estación más cercana durante el periodo de exposición.

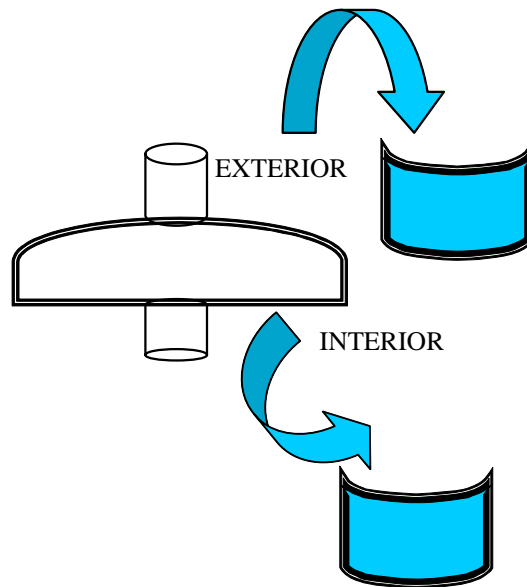
5.4.1 Medición del método de ESDD y NSDD

Procedimientos de Medición

- a) El vaso de precipitación, probeta, etc. serán limpiados lo suficiente para remover los electrolitos previo a la medición. Los guantes serán pulcramente lavados.
- b) El agua destilada será puesta en un vaso de precipitación hasta 400cc. (más agua será conveniente para una alta contaminación).
- c) El algodón absorbente será sumergido en el agua destilada, y entonces la conductividad y la temperatura del agua serán medidos con el conductímetro.
- d) Los contaminantes serán secados separadamente de la superficie exterior y de la superficie interior del aislador con el algodón exprimido con los guantes.
- e) El algodón con los contaminantes son puestos en el vaso de precipitación como se muestra en la figura 15. Los contaminantes serán disueltos en el agua agitando y apretando el algodón en el agua.
- f) La limpieza será repetida hasta sacar todos los contaminantes de la superficie del aislador.
- g) Precaución no podrán ser tomadas las cantidades de agua que se viertan fuera del vaso de precipitación (ejemplo: la cantidad de agua no podrá ser cambiada ni antes ni después de la recolección de los contaminantes).

- h) La conductividad del agua conteniendo los contaminantes será medida por el conductímetro, al mismo tiempo la temperatura del agua será medida.
- i) El agua conteniendo los contaminantes después de la medición del ESDD será filtrada por medio de un embudo y filtro de papel conteniendo los contaminantes será puesto dentro de una botella plástica que se enviara a los laboratorios para la medición del NSDD.

Figura 15. Retiro de contaminantes



5.4.2 Calculo del ESDD

- a) La conductividad del agua medida conteniendo los contaminantes es automáticamente corregida por la conductividad a 25° grados centígrados.
- b) La cantidad de sal equivalente en agua será obtenida de la muestra en los recipientes de la figura 16.
- c) El ESDD sobre la superficie del aislador será calculada por la siguiente ecuación:

$$W = \frac{10 \cdot V \cdot (D_1 - D_2)}{S} \quad (5.1)$$

Donde:

W: Equivalente de la densidad de sal depositada (mg/cm²)

V: Cantidad de agua destilada (cc)

D1: Concentración de la sal equivalente del agua conteniendo los contaminantes (%)

D2: Concentración de sal equivalente del agua con el algodón antes de contener los contaminantes (%)

S: Area de la superficie del aislador en cm².

5.4.3 Medición del NSDD

El agua conteniendo los contaminantes después de la medición del ESDD será filtrada por medio de un embudo y filtro de papel que será suministrado y después proceder a secar las sustancias filtradas. Luego el filtro de papel conteniendo los contaminantes será puesto en una botella plástica que se enviara a los laboratorios para la medición del NSDD.

La medición del NSDD será llevada a cabo, pesando el residuo del agua que contiene los contaminantes. El pesaje se hará en los laboratorios. Pero el filtrado se realizara en el sitio de pruebas. El residuo será obtenido por el agua filtrada con filtro papel como se indica en la figura 16.

La ecuación para el cálculo del NSDD en mg/cm² es la siguiente:

$$NSDD = \frac{RC}{S} \quad (5.2)$$

Donde:

RC: Residuo de los contaminantes

S: Area de la superficie del aislador en cm^2 .

5.4.4 Traslado a la hoja de datos

La hoja de datos será llenada después de cada medición y con los datos meteorológicos del lugar donde se está llevando a cabo la prueba, tabla III.

Figura 16. Procedimiento para obtener el peso de los contaminantes.

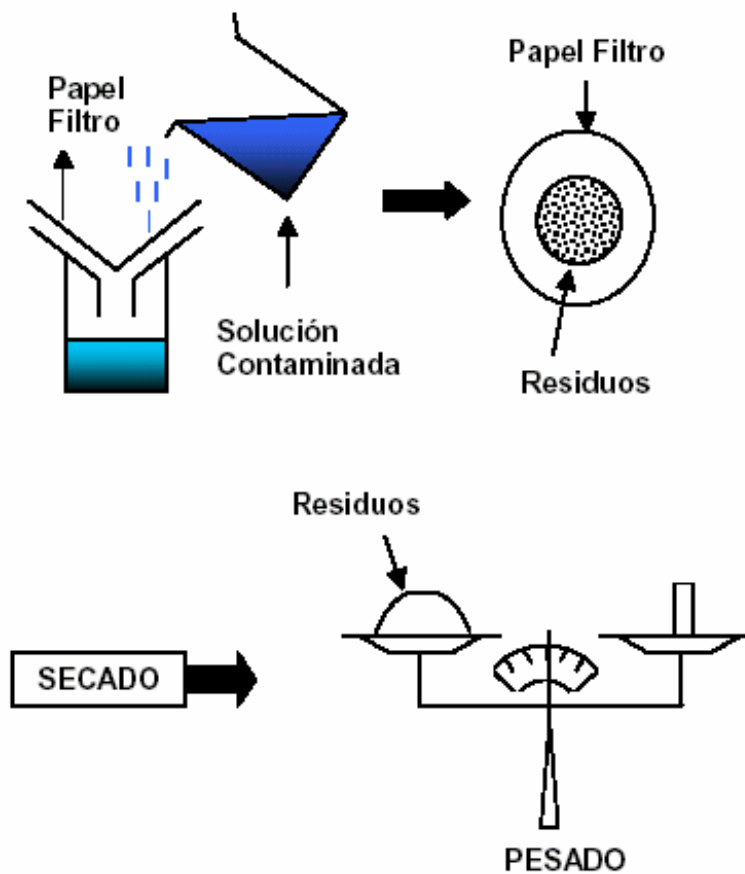


TABLA III. Tabla de datos

AISLADOR No.	SUPERFICIE EN cm ²	ANTES Y DESPUES DE LA RECOLECCIÓN DE CONTAMINANTES	VOLUMEN DEL AGUA (cc)	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	CONDUCTIVIDAD (us/cm)	CONCENTRACION DE SAL (%)	ESDD mg/cm ²	NSDD mg/cm ²
	SUPERIOR	ANTES						
		DESPUES						
	INFERIOR	ANTES						
		DESPUES						
	SUPERIOR	ANTES						
		DESPUES						
	INFERIOR	ANTES						
		DESPUES						
	SUPERIOR	ANTES						
		DESPUES						
	INFERIOR	ANTES						
		DESPUES						
	SUPERIOR	ANTES						
		DESPUES						
	INFERIOR	ANTES						
		DESPUES						

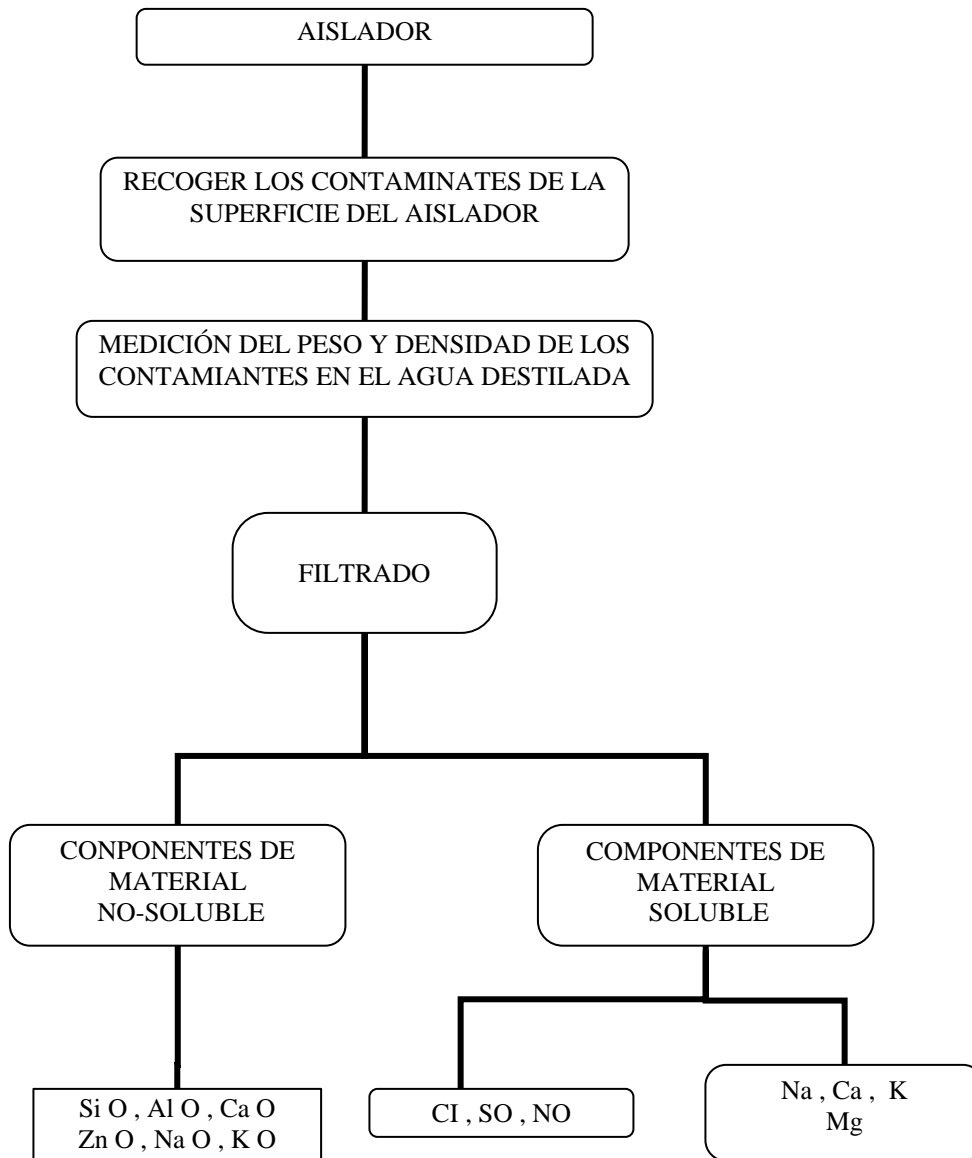
5.4.5 Análisis de los Contaminantes

Para analizar los componentes contaminantes y estimar el nivel de contaminación del aislador, se deberá almacenar la solución acuosa del contaminante, después de realizar la última medición de la prueba ESDD en los lugares de prueba de los aisladores expuestos.

Con este material se procederá a realizar los análisis cuantitativos sobre el material soluble y no soluble. La contaminación se puede expresar en general en términos de una neblina salina de tantos mg de Cl.Na./cm² (ESDD) debido a que los componentes de la contaminación son en su mayoría sales solubles de sodio, calcio, potasio, etc.

En este capítulo se detallaron las mediciones, procedimientos y análisis de los contaminantes los que se resumen en la figura 17.

Figura 17. Procedimiento para el análisis de los contaminantes



6. SISTEMAS Y PROCEDIMIENTOS DE DESCONTAMINACIÓN

6.1 Generalidades

La confiabilidad y operación interrumpida de las líneas aéreas de alta tensión dependen en un alto grado, de la confiabilidad de su aislamiento y a largo plazo de la durabilidad del material de los componentes de la misma. Sin embargo, tanto el aislamiento como el resto de los elementos de la línea envejecen y en ocasiones se deterioran rápidamente, pudiendo afirmarse que dicho deterioro depende, en lo fundamental, de la influencia del medio ambiente sobre los mismos.

La severidad del problema de contaminación del ambiente en una instalación específica está gobernada generalmente por lo siguiente:

- Densidad o rata de depósito contaminante.
- Frecuencia e intensidad de las aguas lluvias y del viento.
- Naturaleza del contaminante, su conductividad y su facilidad de adherirse a la superficie de los componentes o estructuras.
- Materiales, ajustes y uniones mecánicas entre componentes.

La evaluación del impacto que el medio ambiente y en especial el salino ejerce sobre los componentes de las líneas de alta tensión, requieren el cumplimiento de varias etapas entre las cuales se destacan:

- Evaluación del comportamiento de los elementos físicos que las componen, ante la contaminación.
- Análisis de las alternativas de solución al problema de la contaminación.
- Evaluación técnico-económica de las alternativas de solución.

Todo este análisis parte de parámetros técnicos establecidos sobre zonas con ambientes contaminados, y comportamiento de los elementos de las líneas de alta tensión, los cuales han sido determinados a base de ensayos por entes como el IEEE, para tener un punto de partida y comparación de las condiciones de las líneas estudiadas y poder tomar las decisiones correctas y acciones certeras para el trabajo óptimo de las mismas.

En la tabla IV se muestran los valores promedio de contaminación para diferentes zonas, además se dividen en categorías para su mejor entendimiento y aplicación.

TABLA IV. División de zonas por tipo de contaminación

CONTAMINACION	ESDD (mg/cm²)	DISTANCIA DE FUGA cm/Kv
Atmosfera limpia	0.03	1.2-1.25
Poca contaminación	0.06	1.90-2.00
Contaminación alta	0.12	2.5-2.60
Contaminación severa	0.30	3.00-3.20

Fuente: IEEE Working group on Insulator Contamination. **Application guide for insulators in a Contaminated Enviroment.** F 77639-8

En los capítulos anteriores se ha destacado el comportamiento de los elementos principales de las líneas de alta tensión, ante el ambiente contaminante, y como es el objetivo de esta tesis la contaminación salina, por lo que en este capítulo se detallaran las alternativas y medidas para contrarrestar este fenómeno ambiental.

6.2 Alternativas al problema de contaminación

El conocimiento objetivo de la magnitud y características de los fenómenos que ocurren en la operación de un sistema eléctrico permite la elaboración fundamentada de decisiones que se adoptan para lograr el óptimo funcionamiento del sistema.

Desde hace varias décadas se realizan grandes esfuerzos a escala internacional con vistas a encontrar métodos eficaces que permitan combatir el efecto de la contaminación en los elementos de las líneas de alta tensión, y por tanto encaminados a lograr el comportamiento confiable de las mismas. Los métodos más utilizados pueden dividirse en dos: Métodos de diseño y métodos de mantenimiento preventivo.

6.2.1 Método de diseño

Las técnicas para la prevención de la contaminación en los elementos de las líneas de alta tensión desde el diseño de las mismas, conlleva la realización de estudios sobre las condiciones atmosféricas y los niveles de contaminación en las zonas donde se llevaran a cabo los proyectos, estos enfocados a la predicción de posibles desventajas tanto eléctricas como mecánicas, a las que serán sometidas todos los elementos de la línea. El objetivo es armonizar el diseño de la línea, técnica y económicamente, con los conceptos de prevención de contaminación.

Las acciones más relevantes a tomar en el diseño se mencionaran a continuación, y más adelante se argumentaran las tendencias de aplicación.

- Sobredimensionamiento del aislamiento.
- Elección del tipo de los aisladores, posición sobre la estructura y sujeción.

- Riguroso control de la pureza y clasificación de los elementos metálicos.

6.2.2 Método de Mantenimiento

Este método se justifica cuando la línea de alta tensión ha sido construida sin provisiones de condiciones ambientales desfavorables para sus elementos, o el envejecimiento de los mismos disminuye sus características aislantes, eléctricas y mecánicas, y se espera disminuir al máximo las interrupciones del sistema eléctrico por afecciones de la contaminación.

En tales condiciones es necesario aplicar medidas preventivas o correctivas en donde el balance de los costos representativos de estas acciones sean menores que las repercusiones, resultado de niveles altos de contaminación en los elementos de las líneas de alta tensión.

Para este método existen muchas opciones aplicables a cada elemento de la línea de alta tensión, y dependerá de la severidad de los daños causados por la contaminación o del aprovisionamiento que se desee tener para no tener consecuencias técnicas-económicas en el servicio continuo de un sistema eléctrico. Por lo que mencionaremos los pasos más relevantes para la elaboración de un plan de mantenimiento y en los sub-capítulos siguientes se detallaran las acciones concretas a tomar.

- a. Realizar el análisis técnico de las características de los elementos de la línea de alta tensión Vrs. condiciones reales de operación.
- b. Realizar un examen estadístico de fallas por contaminación.
- c. Investigar las características ambientales de la zona, y el comportamiento de los posibles contaminantes con la variación del tiempo.
- d. Establecer en detalle los contaminantes que afectan los elementos de las líneas de alta tensión, el comportamiento de los elementos y sus afecciones a los mismos.
- e. Identificar las acciones preventivas a tomar y utilizar las tecnologías apropiadas, dando parámetros consecutivos y/o programados de tiempo para su aplicación.
- f. Identificar las acciones correctivas y aplicarlas.

6.3 Soluciones para prevenir el efecto corrosivo de la atmósfera contaminada sobre conductores

La salinidad suspendida en la atmósfera actúa sobre los conductores de aluminio, provocando efectos corrosivos en las inmediaciones de los puntos de sujeción a los soportes de las líneas. La mayor parte del conductor, la correspondiente a la longitud suspendida por los soportes, no es afectada o lo es en forma insignificante.

La economía que significa el empleo de conductores de aluminio en lugar de conductor de cobre, hace recomendable la búsqueda de una solución a este efecto corrosivo localizado; en este sentido se han ensayado las siguientes medidas.

- a. Utilización de Grasas inhibidoras de oxidación: Los resultados con grasas o compuestos para limitar la oxidación, representan una solución momentánea pues no han tenido resultado satisfactorio en los ambientes más exigentes, además de representar la desventaja que en estaciones secas forman una capa donde se puede impregnar muy fácilmente polvo (compuesto de contaminantes) y formar un medio conductor.
- b. Utilización de elementos de sujeción de aleación de acero: La utilización de conectores, grapas de suspensión y elementos mecánicos, aunque son de aleación de acero, en ambientes salinos se ven afectados por corrosión la cual ataca en forma de picaduras acelerándose el proceso.
- c. Utilización de Cobertores Plásticos (P.V.C) para H/G: Esto se ha implementado recientemente en las líneas de alta tensión, y solamente se hace con la finalidad de evitar que en los puntos de sujeción del hilo de guarda a la estructura se posen las aves ya que la defecación de los mismos destruye el hilo de guarda, lo cual deja claro que con los protectores no se protege de la contaminación salina de la atmósfera.

En los puntos de sujeción del conductor, aparentemente puede prevenirse la corrosión evitando la exposición a la humedad de las superficies en contacto, por lo que podemos realizar ajustes preventivos en el montaje de los mismos.

- d. Para el ASCR, se puede colocar un cojín de neopreno en el conductor a fin de evitar que la grapa de comprensión no dañe el conductor debido a la presión que ejerce la misma sobre el conductor. El cojín de neopreno reduce los esfuerzos mecánicos, en la parte eléctrica, minimiza el efecto corona y la radio interferencia de radio y T.V., obedeciendo de esta forma los requisitos de alta tensión y dando una larga vida al conductor, figura 18.

Figura 18. Protección del conductor



Fuente: NGK Insulator, **Reporte de Investigación de Contaminación de Aisladores para Líneas de Transmisión y Subestaciones**, Pagina 86.

- e) Pintar todo el conjunto de grapa de suspensión con un compuesto adecuado a fin de evitar la corrosión.

- f) Riguroso control de la pureza y clasificación de los elementos metálicos: Para el caso de los conductores en las líneas de alta tensión, es la forma de previsión y/o solución más efectiva, sabiendo que hasta ahora no se ha encontrado un método de mantenimiento efectivo para contrarrestar esta afección del ambiente salino en los conductores.

6.4 Alternativas al problema de contaminación en aisladores

Los aisladores modernos están diseñados, inicialmente para una limpieza natural mediante las lluvias y el viento. De tal manera que bajo condiciones normales de depósito de polvo atmosférico, actúen en forma satisfactoria. Sin embargo, los aisladores en su uso normal pueden estar en un medio ambiente con diferentes grados de contaminación, que disminuye su aislamiento produciendo flameo, y en caso extremo, dando lugar a interrupciones del suministro de energía eléctrica.

Los fabricantes de aisladores han efectuado diferentes investigaciones simulando condiciones de contaminación a nivel de laboratorio, observando el comportamiento de los aisladores y tratando de establecer las razones de las fallas, para diseñar aisladores que operan en zonas contaminadas, y optimizar los métodos para que las instalaciones puedan operar sin soportar problemas de flameo o pérdidas de aislamiento.

Se ha logrado mucho progreso en los últimos años en el desarrollo de métodos para prevenir flameo de los aisladores en servicio normal, aumentando la distancia de fuga sobre la superficie total del aislador, utilizando recubrimientos superficiales o lavando los aisladores en caliente. Además se han desarrollado esmaltes resistivos, como una solución más definitiva al problema del flameo por contaminación. Los métodos mas utilizados internacionalmente son:

- Sobre-aislamiento
- Lavado del Aislamiento
- Empleo de grasas especiales
- Uso de Aisladores con capa semiconductor
- Eliminación de la fuente de contaminación

Este ultimo solo es posible aplicarlo cuando el tipo de contaminante es industrial, por lo que para los fines de nuestro estudio no aplica.

6.4.1 Medidas contra la corrosión electrolítica

Para contrarrestar la corrosión del tipo electrolito se pueden citar las siguientes alternativas:

- a. Supresión de la Corriente de Fuga: La corrosión electrolítica es causada por la corriente de fuga, los métodos tradicionales que son el aumentar el número de aisladores en una cadena, utilizar aisladores del tipo neblinero, etc., pueden reducir la corriente de fuga pero no puede ser considerado para reducirla totalmente. Además, el aumento en el número de aisladores no es deseable debido a que directa o indirectamente aumentan los costos.

- b. Uso de materiales resistentes a la Corrosión: El acero inoxidable se puede considerar como un material apropiado en el diseño del vástago del aislador, sin embargo la eficacia de dicho material no se puede anticipar debido a que la reacción procede según la Ley de Faraday.

- c. Capa de NO – METAL: La corrosión del vástago puede ser prevenida cubriéndolo con una sustancia no – metal para que la corriente de fuga fluya en dicha capa. Si embargo, esta medida puede presentar la corrosión electrolítica al final de esta capa, la capa se deteriora debido a la acción atmosférica, descargas por efecto corona, etc.

- d) Uso de ánodo de sacrificio: El vástago se puede proteger contra la corrosión asociando un ánodo de sacrificio al vástago cerca del límite del cemento. El material del ánodo de sacrificio deber ser galvánico positivo y tener una gran diferencia de potencial respecto al hierro, a fin de proteger el vástago de la corrosión. Actualmente en países como Japón el uso de aisladores con ánodo de sacrificio de Zinc ha dado excelentes resultados.

6.4.2 Prevención de contornamientos en ambientes de alta contaminación

Al desarrollo explosivo de la electrificación, con las anotaciones previas de la presente, se le puede añadir las siguientes medidas preventivas para evitar el contorneamiento de los aisladores en ambientes de alta contaminación:

- a. Lavado de aisladores a mano : A medida que la población fue tornándose más exigente en cuanto a continuidad de servicio eléctrico fue necesario adoptar prácticas nuevas para prevenir el contorneamiento de los aisladores, falla más frecuente durante los meses previos a la estación lluviosa, o cuando se evidencia chispazos en los aisladores en tiempo húmedo. Se debe anotar que en la actualidad solo se lava hace este tipo de mantenimiento cuando sale de servicio la S/E y/o la Línea de Alta tensión sea por mantenimiento o por otro motivo, en la misma se aprovecha para limpiar los aisladores .

Es evidente que a causa de la dispersión de las líneas de transmisión y distribución, este método es sumamente costoso y requiere de la suspensión de servicio.

- b. Lavado en Caliente: El lavado en caliente es la actividad de mantenimiento preventivo que en algunas líneas no se lo puede aplicar por la topografía del terreno que hace imposible que ingresen los carros hasta las estructuras. Para este tipo de mantenimiento se usa

el agua destilada, la cual se puede obtener a bajo precio de las refinerías. Para tomar decisiones sobre maniobras en el caso de que se presenten inconvenientes (arqueo que provoquen salidas de líneas, rotura de conductores, etc.) normalmente, cuando se ejecuta el lavado en las ciudades se destaca un trabajador técnico de más jerarquía para comandar las actividades de lavado. Evidentemente, el costo de esta práctica es sumamente elevado pero tiene la ventaja de no ocasionar interrupciones programadas de servicio.

En la aplicación práctica del lavado en caliente para reducir al mínimo la posibilidad de una descarga en el momento de estarse efectuando el mismo, se deben cumplir, por parte del operario del equipo los siguientes requerimientos:

- Mantener una distancia mínima de seguridad.
- Efectuar el lavado de abajo hacia arriba en las cadenas verticales o con cierto ángulo.
- Escoger la posición de lavado de forma tal que la misma no afecte a otras partes de la instalación mientras ejecuta el mismo.
- Tener en cuenta la dirección y velocidad del viento en el instante de efectuar el lavado.
- Mantener solidamente aterrada la boquilla de salida del equipo

- c. Utilización de Grasas Especiales: Las grasas de silicone tienen propiedades que las hacen aplicables como medio de prevención contra la contaminación. Estas propiedades se tienen su efecto adhesivo. Las partículas contaminantes son atrapadas por la grasa y luego de un tiempo razonablemente corto, son absorbidos en el interior del silicone. Con el tiempo las grasas se saturan de partículas contaminantes y pierden sus propiedades, convirtiéndose en ese entonces en un problema adicional.

El método utilizado para la aplicación de estos compuestos es el de depositar paños impregnados y distribuir uniformemente en la superficie del aislador. El alto costo de la grasa de silicone, hace necesario un entrenamiento del personal de linieros que realizan estas actividades y una supervisión eficaz para evitar desperdicios del material. El modo de aplicación, a mano, hace necesario la desconexión de servicio a áreas extensas por largo tiempo. La remoción de grasa, aún más difícil, es el un inconveniente que hace de este método poco aplicable.

- d. Soluciones de Diseño: En este tipo de soluciones la mas utilizada es el sobre-dimensionamiento, la cual es una medida que ha sido muy empleada durante muchos años para disminuir las perdidas que se asocian a las fallas por la acción de la contaminación, aunque la misma no trabaja sobre la inhibición del proceso, sino va a la busca de incrementar la longitud de fuga del asilamiento de forma que aun, en la presencia de las bandas secas, no es posible que ocurra la descarga parcial que inicie el proceso de falla.

Esta medida tiene la necesidad de realizar un estudio de coordinación de asilamiento, ya que al sobre asilar el aislamiento exterior, puede llegarse a sobrepasar los niveles de coordinación diseñados para la línea y sus equipos, lo que provocaría en determinadas condiciones que esos equipos fallaran por esfuerzos dieléctricos.

7. ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN EN LOS COMPONENTES EN LA LÍNEA AÉREA DE ALTA TENSIÓN 230KV ENRON

La línea de alta tensión 230KV ENRON fue construida en 1992 por la empresa Ebasco Overseas Corporation para la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. para interconectar la Subestación Mauricio de Puerto Quetzal a la Subestación Alborada en Escuintla. La línea tiene aproximadamente 42 Km. de longitud, y esta construida en un terreno generalmente plano con elevaciones variantes pero cercanas al nivel del mar en las cercanías al puerto Quetzal y de alrededor de 500m sobre el nivel del mar el área de Escuintla.

En la siguiente tabla se detallan los datos generales de la línea de alta tensión 230KV ENRON :

Tabla V. Datos generales de la línea de alta Tensión 230KV ENRON

DATOS GENERALES		
VOLTAJE	230	KV
LONGITUD	42	KM
TIPO DE AISLADORES	TIPO POSTE	(V-BRACE) OHIO BRASS
VANO ECONOMICO APROX.	200	M
TIPO DE CABLE	AAAC-6201	FLINT
HILO DE GUARDA	5/16 HHS	7 No.9
NUMERO DE ESTRUCTURAS PARA EL ESTUDIO	207	
NUMERO DE ESTRUCTURAS DE ORMIGON	207	

Fuente: R.W. Beck INC., **Transmission Line Clearance Upgrade.** Pág. 4-3.

7.1 Características de los componentes utilizados en la línea aérea de alta tensión 230KV ENRON

La línea en mención, posee un diseño en sus componentes tanto mecánico como eléctrico, acondicionado para su operación en las condiciones ambientales desfavorables que se presentan en la zona donde esta construida. A continuación describiremos los componentes de la línea de alta tensión 230KV ENRON que son objeto de nuestro estudio.

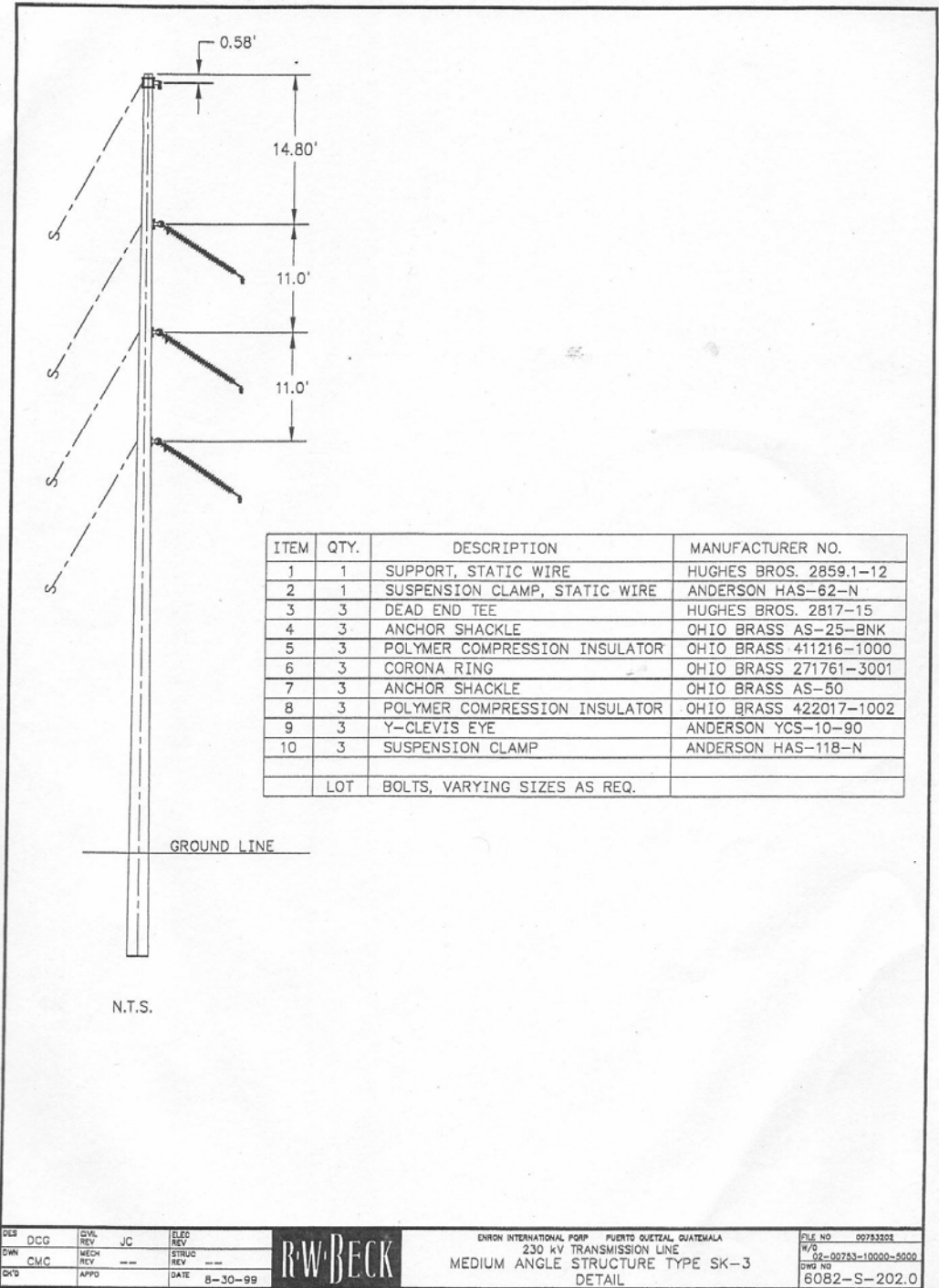
Conductores de transmisión: Para cada fase de la línea se utiliza 1 conductor de 741.0 Kcmil 37 hilos AAAC-6201 “Flint” (conductor de aluminio/aleación de aluminio 6201) con una temperatura máxima de operación de 75°C, 52.5% de conductividad.

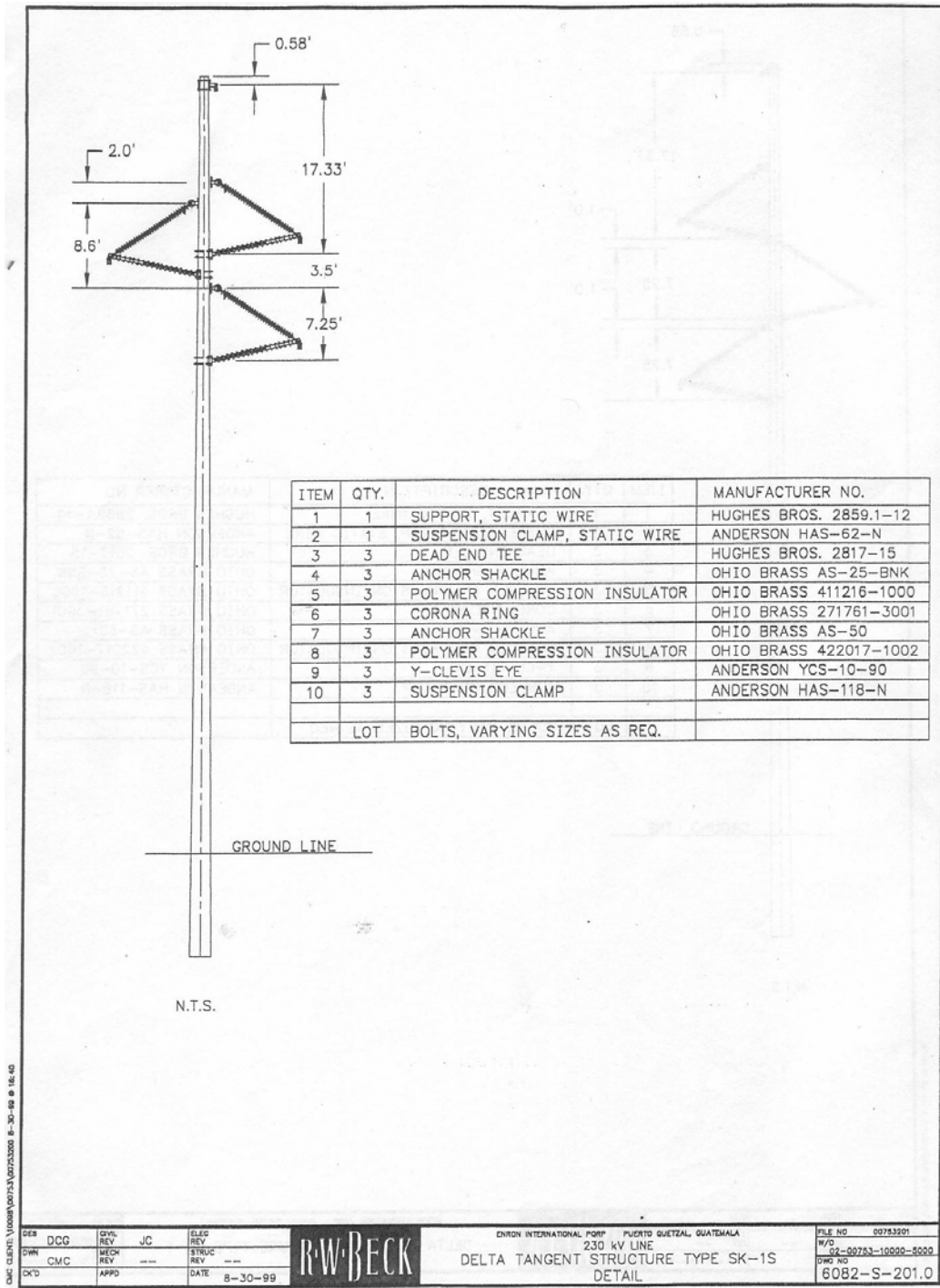
Sus características de flecha/tracción lo hacen atractivo para sistemas eléctricos aéreos de longitudes promedio de 150 a 200 m y presenta un peso de 1005 Kg/Km.

Hilo de Guarda: Cable de acero tipo "A" No.9 o 5/16 HHS formación 7.

Estructuras: Los postes para las estructuras utilizadas en la línea 230KV ENRON, son de hormigón pretensado con alma de acero, lo que los convierte en auto-soportados, instalados en el terreno con zapatas de hormigón vibrado, diseñados para soportar velocidades del viento de 100 Km/h equivalente a una presión superficial de 47 Kg/m², con un factor de seguridad de 2.0. En la figura 19 se muestran los tipos de estructuras que se utilizan a lo largo de la línea.

Figura 19. Tipos de estructuras utilizadas en la línea 230KV ENRON





FUENTE: R.W. Beck INC., Transmission Line Clearance Upgrade. SECCION 5.

Herrajes: Los elementos para sujeción y ajuste de los conductores línea de alta tensión a las estructuras, son denominados herrajes. Los herrajes utilizados en las líneas son aleaciones de metal con acero galvanizado, y su escogencia se caracteriza por la pureza de los materiales de fabricación, con la finalidad que presenten un tiempo de vida largo y al ser afectados por la contaminación salina del ambiente, no pierdan tan fácilmente sus propiedades mecánicas. A continuación se detallan algunos de los elementos de sujeción utilizados en la línea 230KV ENRON.

- Soporte (HUGUIES BROSS.)
- Grapa de suspensión, Ojo Y-CLEVIS (ANDERSON.)
- Cadena de anclaje (OHIO BRASS.)
- Tornillería (ACERO GALVANIZADO.)

Aisladores: Los aisladores utilizados son de posición horizontal tipo poste “V-BRACE” , estos se utilizan como soportes de los conductores de la línea, fueron escogidos de la marca OHIO BRASS USA, los cuales proveen los requerimientos mecánicos y eléctricos necesarios para las condiciones ambientales y de diseño necesarios para la línea en mención. El aislador consiste de un cuerpo de silicón (polímero) con una base metálica cementada al mismo. Este tipo de construcción ofrece la ventaja de hacer trabajar su estructura a compresión, siendo su resistencia mecánica 20 veces mayor que cuando se trabaja a tensión, y se aprovecha la expansión térmica de los polímeros cuando se trabaja a compresión.

Además, el perfil relativamente bajo de estos aisladores favorece la limpieza de los mismos, por medio del viento y la lluvia, dificultando la acumulación de contaminantes. La distancia de arco es casi la misma que la del espesor del dieléctrico del mismo. En la figura No. 20 se muestra el perfil de un aislador tipo poste.

Figura 19. Aislador tipo poste

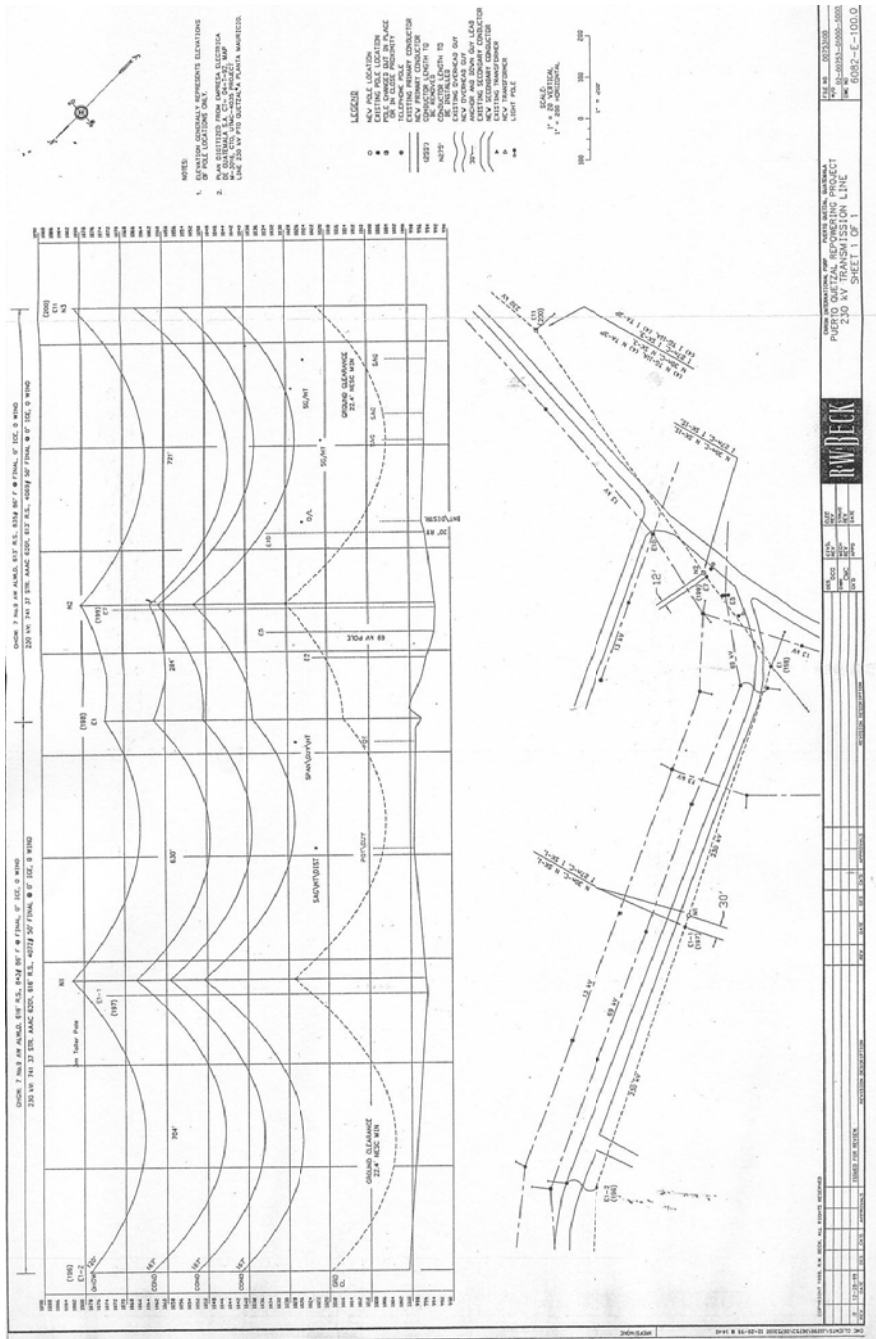


Fuente: Electroporcelana S.A., **Boletín No. 1.** Pàg.2.

7.2 Estado actual de la línea área de alta tensión en estudio

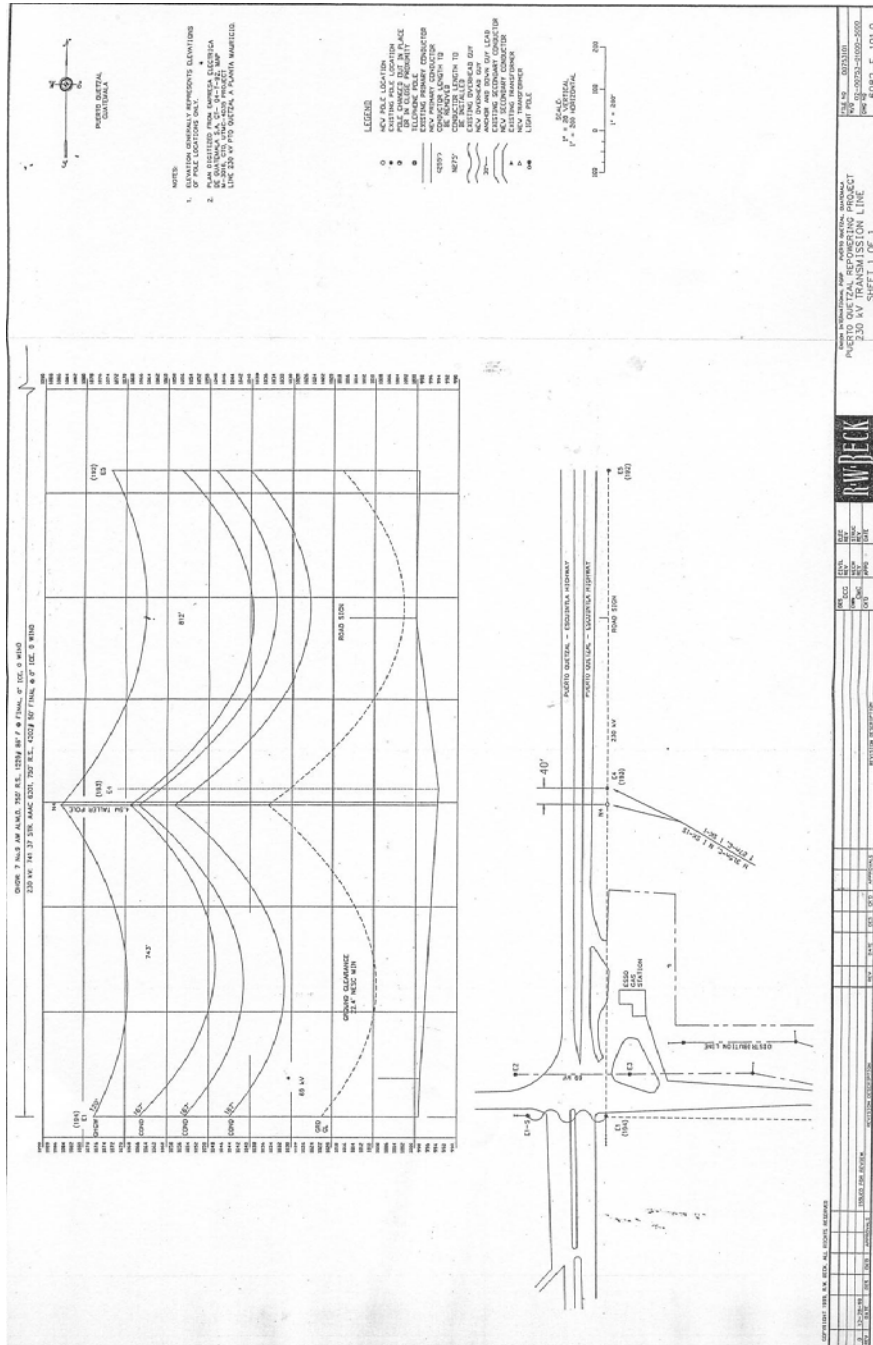
La línea 230K ENRON recorre 42Km por la antigua carretera de Puerto Quetzal a el departamento de Escuintla, y en las cercanías al Puerto Quetzal y principalmente en las estructuras de entrada a la empresa generadora ENRON, figura 21 y 22, se presentan con mas severidad los efectos de la contaminación salina del ambiente en los elementos que componen la línea.

Figura 21. Plano de entrada de la línea de Alta tensión 230KV a Generadoras ENRON.



Fuente: R.W. Beck INC., Transmission Line Clearance Upgrade. SECCION 8.

Figura 22. Plano de entronque a la entrada de la línea de Alta tensión 230KV a Generadoras ENRON.



Fuente: R.W. Beck INC., Transmission Line Clearance Upgrade. SECCION 8.

7.2.1 Componentes de la línea 230KV ENRON afectados por la contaminación salina

En área cercana al Puerto Quetzal se tiene la presencia de Na^+ y Cl^- , de modo que estos sitios están influenciados por la sal marina la misma que corroe herrajes, conductores, etc. y recubre los aisladores con una capa de estos elementos ocasionando efectos no deseados en los mismos.

En el caso de las estructuras no tienen una afección considerable debido a su construcción y corto tiempo de vida de la línea comparada con el parámetro de vida útil para el que se diseña, se muestra un la figura 23 la estructura 196, que se encuentra en el área de alta contaminación, la afección mostrada debido a la corrosión corresponde a las uniones de los segmentos del mismo, y como se observa es mínima.

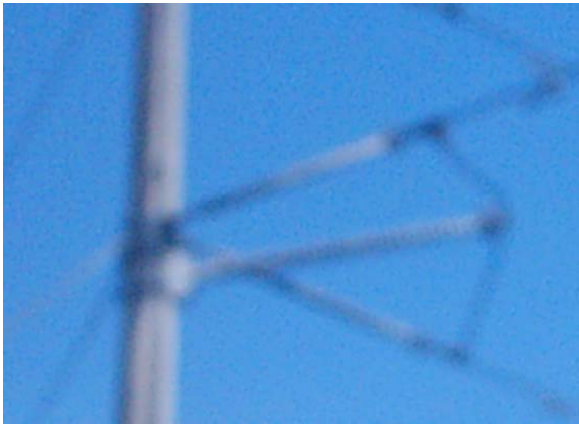
Figura 23. Estructura 196



Para el análisis de este sub.-capítulo se ha recorrido la línea 230KV, exceptuando las estructuras de la 1 a la 4 que se encuentran en la subestación alborada y de la 200 a la 208 que se encuentran en dentro de la Portuaria Quetzal, y se ha realizado una inspección visual de los elementos encontrándose en las siguientes condiciones:

- a) Los elementos metálicos, conductores, herrajes, hilo de guarda y aisladores se encuentran sometidos a condiciones severas de contaminación salina en el ambiente en las cercanías a la playa del Puerto Quetzal, lugar donde se encuentran las generadoras ENRON, y en particular las estructuras de la 192 a la 200 donde no existen árboles, palmeras ni plantas de banano que retengan los contaminantes transportados por el aire provenientes de las playas. En la figura 24 se muestran los detalles de algunas estructuras de este tramo, y se puede observar las afecciones por contaminación salina tanto en los elementos metales con corrosión como en los aisladores con una capa blanca de elementos salinos.

Figura 24. Estructuras contaminadas



En la figura 24, se ha captado por medio de fotografías realizadas en los meses de Agosto y Septiembre de 2004 que las afecciones por contaminación salina no son tan severas como para ameritar cambios inmediatos en los elementos de las estructuras, siendo estas visibles y motivo de un estudio para su restauración y mantenimiento, lo cual será objetivo de los sub.-capítulos siguientes.

- b) En la estructura 194 se encuentra un entronque donde las estructuras empiezan a recorrer un camino de tercería y donde se encuentra vegetación en abundancia, lo cual minimiza la contaminación salina, por lo que en este tramo las afecciones en los elementos de la línea se dan en su mayoría por polvo y aves, los cuales no son motivos de nuestro estudio.

- c) A partir de la estructura 151 a la estructura 5 las afecciones por contaminación salina disminuyen considerablemente debido a la presencia de vegetación y la lejanía de la zona costera, por lo que no se presentan casos de afecciones visibles a considerar.

7.3 Medición del grado de contaminación de los componentes de la línea aérea de alta tensión ENRON 230 KV

Nuestro estudio se basa en la medición del grado de contaminación salina en los aisladores de la línea de alta tensión ENRON 230KV que se encuentran en la zona crítica de contaminación, (Tramo entre estructuras 192 y 200), en dicha zona se ubicara el aislador de prueba o piloto para la medición por el método descrito en el capítulo 5, de donde podremos obtener un resultados medibles cuantitativamente.

Aislador Piloto: El aislador piloto utilizado es OHIO BRASS tipo poste V-BRACE de 16 discos (146 mm de diámetro de los discos), proporcionado por el equipo de mantenimiento de líneas de la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. el cual fue retirado de la línea 230KV ENRON debido a desperfectos en su fabricación, figura 25. Este aislador se instalo en el lugar de las pruebas.

Lugares de las Pruebas de las Exposiciones: El aislador piloto se instalo en las cercanías a la estructura 196, en un lugar seguro para que no se corra el riesgo de extraviarse.

Periodo de Exposición e intervalo de las mediciones para la Prueba: La exposición se realizo en 2 estaciones climáticas diferentes, Tabla VI, esto con el objetivo de obtener las características más cercanas al comportamiento de las afecciones sobre aisladores de la contaminación salina en periodos largos.

En total se tuvo una exposición de seis meses a la contaminación salina y se realizo toma de muestras, al principio y al final de la misma.

Tabla VI. Periodo de exposición del aislador piloto.

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MES	TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN DÍAS	No. DE AISLADORES
Ambiente Seco	ABRIL 2004	31	1
	MAYO 2004	30	1
	JUNIO 2004	30	1
Ambiente Húmedo	AGOSTO 2004	30	1
	SEPTIEMBRE 2004	31	1
	OCTUBRE 2004	31	1

Colección de datos de las condiciones meteorológicas: Los datos registrados en la tabla VII se obtuvieron de el departamento meteorológico del INSIVUME, para los periodos de exposición de la tabla VI.

Tabla VII. Datos meteorológicos de la zona (Detalle de la costa sur Puerto Quetzal)

Condiciones Meteorológicas	
Temperatura mínima	10° C
Temperatura máxima	40° C
Dirección del Viento	S-N
Velocidad mínima del Viento	0.65 m/s
Velocidad máxima del Viento	15 m/s
Precipitación lluviosa Total	106 mm/año
Humedad	85%

7.3.1 Toma de Muestras

La recolección de muestras del aislador piloto realizó según el método descrito en el sub-capítulo 5.5 . En la figura 25 se muestra el aislador después del periodo de exposición.

Figura 25. Aislador piloto después del periodo de exposición.



Las muestras recogidas que se muestran en la figura 26, fueron enviadas en sus recipientes para ser analizadas en el Laboratorio de Metrología de la USAC, de acuerdo al procedimiento establecido en el sub-capítulo 5.5.

Figura 26. Muestras obtenidas del aislador piloto.



En la tabla VIII se muestran los datos obtenidos en el lugar de las pruebas, con los que se empieza a recavar información para la tabla de datos III del sub-capítulo 5.5.4.

Tabla VIII. Datos obtenidos en el lugar de las pruebas.

DISCO No.	SUPERFICIE EN cm ²	ANTES Y DESPUES DE LA RECOLECCIÓN DE CONTAMINANTES	VOLUMEN DEL AGUA (cc)	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)
1	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	27,40
		DESPUES		26,50
	INFERIOR 167,41	ANTES		27,80
		DESPUES		27,60
2	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	26,90
		DESPUES		26,80
	INFERIOR 167,41	ANTES		27,60
		DESPUES		28,10
3	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	26,90
		DESPUES		26,90
	INFERIOR 167,41	ANTES		27,90
		DESPUES		28,20
4	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	27,20
		DESPUES		26,90
	INFERIOR 167,41	ANTES		28,20
		DESPUES		28,40
5	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	27,10
		DESPUES		26,90
	INFERIOR 167,41	ANTES		28,60
		DESPUES		28,90
6	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	27,60
		DESPUES		27,40
	INFERIOR 167,41	ANTES		29,10
		DESPUES		29,10
7	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	29,1
		DESPUES		29
	INFERIOR 167,41	ANTES		28,4
		DESPUES		28,1
8	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	28,5
		DESPUES		28,2
	INFERIOR 167,41	ANTES		28,6
		DESPUES		28,4

Continuación de tabla VIII.

DISCO No.	SUPERFICIE EN cm ²	ANTES Y DESPUES DE LA RECOLECCIÓN DE CONTAMINANTES	VOLUMEN DEL AGUA (cc)	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)
9	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	28,4
		DESPUES		28,1
	INFERIOR 167,41	ANTES		29
		DESPUES		29,5
10	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	29,5
		DESPUES		29
	INFERIOR 167,41	ANTES		29,4
		DESPUES		29,5
11	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	29
		DESPUES		29,2
	INFERIOR 167,41	ANTES		29,6
		DESPUES		30,5
12	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	29,1
		DESPUES		29,2
	INFERIOR 167,41	ANTES		29,8
		DESPUES		30,3
13	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	34,1
		DESPUES		32
	INFERIOR 167,41	ANTES		32,5
		DESPUES		32,1
14	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	32,8
		DESPUES		33,3
	INFERIOR 167,41	ANTES		32,4
		DESPUES		31,4
15	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	33,2
		DESPUES		32,5
	INFERIOR 167,41	ANTES		32,2
		DESPUES		32,5
16	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	33,3
		DESPUES		32,4
	INFERIOR 167,41	ANTES		33
		DESPUES		32,3

7.3.2 Análisis de los contaminantes

Al tener las muestras se realizaron los análisis para encontrar la conductividad y el la concentración de sólidos no solubles con el peso de los mismos. Estos procedimientos fueron llevados en los laboratorios de química del centro e investigaciones de la facultad de Ingeniería USAC, y se obtuvieron los resultados presentados en la tabla IX, la que es complemento de la tabla III.

Tabla IX. Resultado de los análisis de laboratorio realizadas a las muestras de contaminación salina del aislador piloto.

DISCO No.	SUPERFICIE EN cm ²	ANTES Y DESPUES DE LA RECOLECCIÓN DE CONTAMINANTES	VOLUMEN DEL AGUA (cc)	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	CONDUCTIVIDAD (us/cm)	CONCENTRACION DE SAL (%)
1	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	27,40	1,45	5,99897E-05
		DESPUES		26,50	27,40	0,001238087
	INFERIOR 167,41	ANTES		27,80	1,22	5,02133E-05
		DESPUES		27,60	240,00	0,011574056
2	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	26,90	1,19	4,8942E-05
		DESPUES		26,80	27,50	0,001242741
	INFERIOR 167,41	ANTES		27,60	1,14	4,68252E-05
		DESPUES		28,10	221,00	0,010631438
3	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	26,90	1,25	5,14855E-05
		DESPUES		26,90	24,20	0,001089426
	INFERIOR 167,41	ANTES		27,90	1,26	5,19098E-05
		DESPUES		28,20	214,00	0,01028476
4	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	27,20	1,31	5,40328E-05
		DESPUES		26,90	26,10	0,001177627
	INFERIOR 167,41	ANTES		28,20	1,23	5,06373E-05
		DESPUES		28,40	94,10	0,004412303
5	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	27,10	1,25	5,14855E-05
		DESPUES		26,90	22,00	0,00098756
	INFERIOR 167,41	ANTES		28,60	1,34	5,53077E-05
		DESPUES		28,90	95,80	0,004494428
6	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	27,60	1,30	5,36080E-05
		DESPUES		27,40	22,30	0,001001433
	INFERIOR 167,41	ANTES		29,10	1,58	6,55367E-05
		DESPUES		29,10	89,30	0,004180661
7	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	29,1	1,58	6,55367E-05
		DESPUES		29	55,3	0,002551966
	INFERIOR 167,41	ANTES		28,4	1,51	6,25481E-05
		DESPUES		28,1	168,7	0,008050012
8	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	28,5	1,12	4,59793E-05
		DESPUES		28,2	53,3	0,002456954
	INFERIOR 167,41	ANTES		28,6	1,05	4,30222E-05
		DESPUES		28,4	156,4	0,007446151

Continuación de la tabla IX

DISCO No.	SUPERFICIE EN cm ²	ANTES Y DESPUES DE LA RECOLECCIÓN DE CONTAMINANTES	VOLUMEN DEL AGUA (cc)	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	CONDUCTIVIDAD (us/cm)	CONCENTRACION DE SAL (%)
9	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	28,4	1,41	5,82859E-05
		DESPUES		28,1	49,70	0,002286204
	INFERIOR 167,41	ANTES		29	1,08	4,42889E-05
		DESPUES		29,5	137,30	0,006511314
10	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	29,5	1,48	6,12685E-05
		DESPUES		29	127,50	0,006033141
	INFERIOR 167,41	ANTES		29,4	1,17	4,80949E-05
		DESPUES		29,5	119,60	0,005648474
11	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	29	1,35	5,57329E-05
		DESPUES		29,2	131,40	0,006223307
	INFERIOR 167,41	ANTES		29,6	1,65	6,85293E-05
		DESPUES		30,5	127,70	0,006042889
12	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	29,1	1,14	4,68252E-05
		DESPUES		29,2	115,20	0,005434556
	INFERIOR 167,41	ANTES		29,8	1,25	5,14855E-05
		DESPUES		30,3	115,80	0,005463712
13	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	34,1	1,74	8,13961E-05
		DESPUES		32	98,70	0,023380963
	INFERIOR 167,41	ANTES		32,5	1,95	7,28110E-05
		DESPUES		32,1	475,00	0,00455726
14	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	32,8	1,75	6,55367E-05
		DESPUES		33,3	97,10	0,023533077
	INFERIOR 167,41	ANTES		32,4	1,58	6,76739E-05
		DESPUES		31,4	478,00	0,004238537
15	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	33,2	1,63	6,29748E-05
		DESPUES		32,5	90,50	0,023228879
	INFERIOR 167,41	ANTES		32,2	1,52	8,18261E-05
		DESPUES		32,5	472,00	0,004968689
16	SUPERIOR 167,41	ANTES	400	33,3	1,96	6,55367E-05
		DESPUES		32,4	105,60	0,005706856
	INFERIOR 167,41	ANTES		33	1,58	8,05364E-05
		DESPUES		32,3	120,80	0,004866946

Calculo de ESDD: La ecuación 5.1 para determinar el ESDD en mg/cm² será utilizada además de los datos obtenidos en el análisis de las muestras y posteriormente mostrados en la tabla IX. A continuación se realizaran los cálculos para obtener el ESDD del primer disco, posteriormente se elaborara una tabla de cálculo para los demás discos del aislador piloto y los resultados se plasmaran en la hoja de datos de la tabla X.

ESDD : W Equivalente de la densidad de sal depositada (mg/cm^2), se calculara para la cara superior del disco 1.

V : Cantidad de agua destilada (cc) = 400

$D1$: Concentración de la sal equivalente del agua conteniendo los contaminantes (%) = 0,001238087

$D2$: Concentración de sal equivalente del agua con el algodón antes de contener los contaminantes (%) = 5.99897 E-05

S : Area de la superficie del aislador en cm^2 = 167,41

De la ecuación 5.1

$$W = \frac{10 \cdot 400 \cdot (0.001238087 - 5.99897E - 5)}{167.41} = 0.02814 \text{ mg}/\text{cm}^2$$

Este ejercicio se realiza de igual manera con la cara inferior del disco 1 y se obtendrá el promedio de estas cantidades para tener el dato ESDD del disco.

Calculo del NSDD: La ecuación 5.2 para determinar el NSDD en mg/cm² será utilizada además de los datos obtenidos en el análisis de las muestras y posteriormente mostrados en la tabla IX. A continuación se realizaran los cálculos para obtener el NSDD del primer disco, posteriormente se elaborara una tabla de cálculo para los demás discos del aislador piloto y los resultados se plasmaran en la hoja de datos de la tabla X.

RC: Residuo de los contaminantes = 245

S: Área de la superficie del aislador en cm² = 167.41

De la ecuación 5.2

$$NSDD = \frac{245}{167.41} = 1.46 \text{ mg/cm}^2$$

Este ejercicio se realiza de igual manera con la cara inferior del disco 1 y se obtendrá el promedio de estas cantidades para tener el dato ESDD del disco.

Tabla X. Tabla de datos

DISCO No.	SUPERFICIE EN cm ²	ANTES Y DESPUES DE LA RECOLECCIÓN DE CONTAMINANTES	VOLUMEN DEL AGUA (cc)	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	CONDUCTIVIDAD (us/cm)	CONCENTRACION DE SAL (%)	ESDD mg/cm ²	NSDD mg/cm ²
1	SUPERIOR	ANTES	400	27,40	1,45	5,99897E-05		1,403729944
	167,41	DESPUES		26,50	27,40	0,001138087		1,415670928
	INFERIOR	ANTES		27,80	1,22	5,02133E-05	0,1275914	1,338011349
	167,41	DESPUES		27,60	240,00	0,008574056		1,379819067
2	SUPERIOR	ANTES	400	26,90	1,19	4,8942E-05		1,302159578
	167,41	DESPUES		26,80	27,50	0,001242741	0,0406656	1,349940625
	INFERIOR	ANTES		27,60	1,14	4,68252E-05		1,188654113
	167,41	DESPUES		28,10	221,00	0,001063144		1,2304618
3	SUPERIOR	ANTES	400	26,90	1,25	5,14855E-05		1,182669106
	167,41	DESPUES		26,90	24,20	0,000789426	0,0801473	1,272263664
	INFERIOR	ANTES		27,90	1,26	5,19098E-05		1,06916364
	167,41	DESPUES		28,20	214,00	0,00528476		1,104997969
4	SUPERIOR	ANTES	400	27,20	1,31	5,40328E-05		1,206539245
	167,41	DESPUES		26,90	26,10	0,001177627		1,343920674
	INFERIOR	ANTES		28,20	1,23	5,06373E-05	0,0670074	1,325994773
	167,41	DESPUES		28,40	94,10	0,003412303		1,415589332
5	SUPERIOR	ANTES	400	27,10	1,25	5,14855E-05		1,206515949
	167,41	DESPUES		26,90	22,00	0,00098756	0,075399	1,278190431
	INFERIOR	ANTES		28,60	1,34	5,53077E-05		1,134623995
	167,41	DESPUES		28,90	95,80	0,004494428		1,152738247
6	SUPERIOR	ANTES	400	27,60	1,30	5,36080E-05		1,367773341
	167,41	DESPUES		27,40	22,30	0,001001433	0,071809	1,421527746
	INFERIOR	ANTES		29,10	1,58	6,55367E-05		1,098960546
	167,41	DESPUES		29,10	89,30	0,004180661		1,188555104
7	SUPERIOR	ANTES	400	29,1	1,58	6,55367E-05		1,158682486
	167,41	DESPUES		29	55,3	0,003051966	0,083153	1,21841025
	INFERIOR	ANTES		28,4	1,51	6,25481E-05		1,086990532
	167,41	DESPUES		28,1	168,7	0,001050012		1,182558449
8	SUPERIOR	ANTES	400	28,5	1,12	4,59793E-05		1,015298578
	167,41	DESPUES		28,2	53,3	0,002156954	0,0672012	1,158653366
	INFERIOR	ANTES		28,6	1,05	4,30222E-05		1,158647542
	167,41	DESPUES		28,4	156,4	0,001446151		1,176561794

Continuación de la tabla IX

DISCO No.	SUPERFICIE EN cm ²	ANTES Y DESPUES DE LA RECOLECCIÓN DE CONTAMINANTES	VOLUMEN DEL AGUA (cc)	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	CONDUCTIVIDAD (us/cm)	CONCENTRACION DE SAL (%)	ESDD mg/cm ²	NSDD mg/cm ²
9	SUPERIOR	ANTES	400	28,4	1,41	5,82859E-05		1,1910784
	167,41	DESPUES		28,1	49,70	0,001886204	0,0612014	1,2233288
	INFERIOR	ANTES		29	1,08	4,42889E-05		1,3278566
	167,41	DESPUES		29,5	137,30	0,001511314		1,3774297
10	SUPERIOR	ANTES	400	29,5	1,48	6,12685E-05		1,2914075
	167,41	DESPUES		29	127,50	0,002033141	0,0781808	1,3463566
	INFERIOR	ANTES		29,4	1,17	4,80949E-05		1,1773047
	167,41	DESPUES		29,5	119,60	0,002648474		1,2209044
11	SUPERIOR	ANTES	400	29	1,35	5,57329E-05		1,1814744
	167,41	DESPUES		29,2	131,40	0,003223307	0,0873246	1,262109
	INFERIOR	ANTES		29,6	1,65	6,85293E-05		1,0667743
	167,41	DESPUES		30,5	127,70	0,001042889		1,0942459
12	SUPERIOR	ANTES	400	29,1	1,14	4,68252E-05		1,2029552
	167,41	DESPUES		29,2	115,20	0,002434556	0,0739226	1,3325713
	INFERIOR	ANTES		29,8	1,25	5,14855E-05		1,3164374
	167,41	DESPUES		30,3	115,80	0,001463712		1,4143947
13	SUPERIOR	ANTES	400	34,1	1,74	8,13961E-05		1,1963612
	167,41	DESPUES		32	98,70	0,002338096	0,0716546	1,2758011
	INFERIOR	ANTES		32,5	1,95	7,28110E-05		1,1240719
	167,41	DESPUES		32,1	475,00	0,00155726		1,1491542
14	SUPERIOR	ANTES	400	32,8	1,75	6,55367E-05		1,356424
	167,41	DESPUES		33,3	97,10	0,002353308	0,0686507	1,4119704
	INFERIOR	ANTES		32,4	1,58	6,76739E-05		1,0977659
	167,41	DESPUES		31,4	478,00	0,001238537		1,1784004
15	SUPERIOR	ANTES	400	33,2	1,63	6,29748E-05		1,1562931
	167,41	DESPUES		32,5	90,50	0,002222888	0,0622028	1,2076582
	INFERIOR	ANTES		32,2	1,52	8,18261E-05		1,0634065
	167,41	DESPUES		32,5	472,00	0,000968689		1,1712091
16	SUPERIOR	ANTES	400	33,3	1,96	6,55367E-05		1,2207821
	167,41	DESPUES		32,4	105,60	0,004706856	0,1202921	1,3904197
	INFERIOR	ANTES		33	1,58	8,05364E-05		1,2141998
	167,41	DESPUES		32,3	120,80	0,000866946		1,2697462

7.4 Discusión de resultados

Medición de ESDD y NSDD: Los resultados de la medición son similares entre la superficie superior e inferior del aislador, es evidente que la parte inferior del aislador tendrá un valor ligeramente mayor debido a que es la parte menos expuesta a lluvia, misma que le sirve como medio de limpieza. Además se observa que los aisladores 1 y 16 contienen una mayor concentración de NSDD y por ende un ESDD mayor, esto es debido a que en los extremos del aislador el viento tiene su principal obstáculo por lo que impregna un mayor número de partículas contaminantes, aunque esta teoría es discutible dependiendo de la posición de los aisladores con respecto a la dirección del viento.

En los meses donde no hay lluvia el ESDD y el NSDD aumentan y en los meses de lluvia el son menores, esto es fácil suponer debido a que con la lluvia los aisladores no tienen acumulación de impurezas, por lo que es una de las explicaciones que podemos dar al nivel bajo de ESDD en el aislador piloto, debido a que estuvo expuesto por 3 meses en una estación seca y 3 meses en una estación húmeda, con precipitaciones frecuentes.

El aislador piloto ubicado en las cercanías a la estructura 196 de la línea de alta tensión 230KV ENRON ha alcanzado un promedio de 0.07728 mg de CINa/cm² (ESDD) durante 6 meses de exposición, refiriéndonos a la tabla IV estamos diciendo que tenemos un nivel de contaminación sobre el rango considerado como poco contaminado, lo que no lo hace alarmante por estar al 50% del límite de el rango de alta contaminación.

CONCLUSIONES

1. Los componentes normalizados de redes y líneas eléctricas, en general son afectados por la contaminación salina. Los efectos producidos varían como función del componente y/o deterioro definitivo del mismo, en tiempos que varía según la severidad de la contaminación.
2. En áreas de fuerte contaminación atmosférica por salinidad, los conductores de aluminio puro o en aleaciones de grano fino presentan una extraordinaria resistencia a la corrosión a lo largo de los vanos. Sin embargo, en los puntos de sujeción a los soportes, es fuertemente atacado por la acción corrosiva de la atmósfera y es en la cercanía de estos puntos donde se produce el mayor número de rotura de conductores.
3. En la línea de alta tensión 230KV ENRON el H/G y los cables tensión AAAC no presentan hasta ahora ninguna afección severa debido a que la pureza de sus materiales de fabricación presentan resistencia a la contaminación salina y esfuerzos mecánicos. Esta ventaja en el largo tiempo de vida de los mismos se debe a las buenas decisiones tomadas en el diseño de la línea.
4. Los aisladores tipo poste utilizados en la línea 230KV ENRON, presentan por diseño, una buena respuesta a la contaminación ambiental, y en

especial a la contaminación salina, debido a su estructura robusta que facilita el lavado de los mismos por medio de la lluvia, además de que los polímeros con los que son construidos presentan una gran ventaja contra la corrosión electrolítica.

5. La zona cercana a la orilla del mar, estructuras de la 92 a la 200, tiene una tendencia mayor a salir de servicio por la acumulación de partículas contaminantes en los aisladores y en general en todos sus componentes, es por ello que se deben realizar revisiones y si es necesario mantenimientos constantes en esta porción de la línea, para evitar repercusiones en el futuro.

4. La velocidad del viento y la precipitación de la lluvia son factores influyentes en las afecciones que puedan sufrir los componentes de las líneas eléctricas cercanas a la costa por contaminación salina, por lo mismo debe monitorearse estos parámetros para planificar cambios en los planes de mantenimiento o incluirlos en las rutinas aplicadas a las mismas.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta en el diseño de líneas eléctricas cercanas a la costa, el montaje de elementos que ayuden a prevenir las afecciones por la contaminación salina en la estructura y componentes; estos pueden ser cobertores de material impermeable en el área de abrazamiento de los conductores en las mordazas de amarre, cobertores de polipropileno en los lugares de sujeción de los H/G, y la utilización de materiales con alto grado de pureza de sus materias primas para reducir las afecciones presentadas por el ambiente, y se obtendrá un mayor tiempo de vida en ellos.
2. Realizar un plan de mantenimiento preventivo en la línea 230KV ENRON, debido a que en la actualidad no cuentan con uno, y las afecciones por contaminación son tratadas sólo en emergencias.
3. Capacitar al personal de mantenimiento de la línea 230KV ENRON sobre el tema de contaminación salina en líneas eléctricas cercanas a la costa, debido a que por falta de información son obviadas ciertas afecciones que se presentan actualmente y pueden presentar problemas en el corte del servicio en el futuro.

7. Realizar un estudio exhaustivo en la línea 230KV ENRON de por lo menos dos años, sobre la contaminación en sus elementos con depósitos conductores como lo es la contaminación salina o costera, industrial y agroforestal, con la finalidad de predecir con bases más sólidas las afecciones que pueden sufrir los elementos de la línea y poder tomar las acciones y decisiones certeras para poder asegurar la continuidad y calidad de servicio.

BIBLIOGRAFÍA

1. CHECA, LUIS MARÍA. **Líneas de transporte de energía**, Editorial ALFAOMEGA, Tercera edición.
2. MARTIN, RAUL. **Diseño de subestaciones eléctricas**, Editorial Mc Graw-Hill, México 1987.
3. VIQUEIRA, J. **Redes eléctricas. Representaciones y servicios de Ingeniería**, Vol. I y II. México 1982.
4. REFERENCE BOOK. **Electrical transmission and distribution**, Westinghouse 1964.
5. JONSON, G. **Modern switchyard design and selection aspects**, JK KM 1 November-1978, Segunda Edición.
6. CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA. **Anclas Titán informe técnico 84-M**, Facultad de Ingeniería USAC.

7. CNEE. **Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución NTDID**, Resolución CNEE No. 43-99, Guatemala octubre 1999.
8. CNEE. **Reglamento de líneas eléctricas aéreas de alta tensión**. 1998.
9. IEEE. **Electrolatina**. Volumen VI. Septiembre 1992.
10. E/CEPAL/CCE/SC.5/111. **Manual de normas eléctricas para el istmo centroamericano**, Volumen IV. Julio 1976.
11. ENRIQUEZ, HARPER G. **Técnicas de las altas tensiones**, Editorial LIMUSA, México 1980.
12. FELIO, S. **La Corrosión y las técnicas convencionales de protección**, Catálogo No. 001/1985.
13. NGK INSULATORS. **Reporte de investigación de contaminación de aisladores para líneas de transmisión y subestaciones**. Dic. 18/1996.

14. NKG INSULATORS. **Measuring methods pollution degree on insulator surfaces**, Feb. 14/1996.
15. RAMÍREZ, JOSÉ. **Manual autodidáctico de líneas aéreas**. Julio 1998.
16. IEEE. **Working group on Insulator Contamination. Application guide for insulators in a Contaminated Enviroment**, F 77639-8
17. R.W. BECK. **Transmission line clearance upgrade**. Beck INC.
18. ELECTROPORCELANA S.A. **Boletín No. 1**. Agosto 1991.
19. MAXLIN, V. **Revista Energía**. Segunda edición, 1997.