



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**



**ENEP
ARAGON**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGON**

FALLA DE ORIGEN

**IMPACTO DE LA COORDINACION DE
AISLAMIENTO EN EL DIMENSIONAMIENTO
ELECTRICO EN TORRES DE LINEAS DE
TRANSMISION**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A I
OSCAR ROCHA OROZCO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. J.J. RAMON MEJIA ROLDAN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO


**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
UNIDAD ACADÉMICA**

Ing. RAUL BARRON VERA
Jefe de la Carrera de Ingeniería
Mecánica Eléctrica,
Presente.

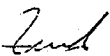
En atención a su solicitud de fecha 24 de febrero del año en curso, por la que se comunica que el alumno OSCAR ROCHA OROZCO, de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "IMPACTO DE LA COORDINACION DE AISLAMIENTO EN EL DIMENSIONAMIENTO ELECTRICO EN TORRES DE LINEAS DE TRANSMISION", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del examen profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Mex., 2 de marzo de 1995
EL JEFE DE LA UNIDAD


Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Asesor de Tesis.
c c p Interesado.



A MI MAMA :

Por haberme dado en principio la vida y el haberme impulsado en todo momento desde la primera vez en que me senté a tomar clase en las aulas, hasta este momento tan especial para mi, ya que se ha logrado un sueño que desde hacía mucho tiempo estaba en mi mente.

A ti, que no pusiste ninguna traba para que yo siguiera en mi trayecto como estudiante y así forjar parte de mi vida.

Por muchas cosas que me has dado en todos los sentidos, no existen palabras ni formas con que agradecertelo...

Pero eso sí, te quiero y te admiro mucho.....

OSCAR

A MI FAMILIA :

Por su apoyo incondicional para que terminara mi carrera, la cual culmina con la presentación de esta tesis ante la Universidad. Hacer un recordatorio de su impulso es imposible ya que es una gran, pero gran infinidad. Solo me queda recordar que todo esfuerzo conlleva sin duda a una recompensa.

Esa recompensa - aunque muy insignificante y en forma de agradecimiento - es entregar a todos ustedes este librito que con mucho esfuerzo he culminado...

OSCAR

ING GONZALO :

Ya sabe que sin la ayuda de usted este trabajo no estaría concluido; para agradecercelo no existen palabras en mi lenguaje en español ni en las escasas palabras técnicas de ingeniería que conozco.

Como puedo agradecercelo?... - no lo se -, pero existe una palabra muy usada y buena en estos casos, que siendo muy bien utilizada y dicha, significa muchas cosas en el medio sentimental:

10¹⁰⁰⁰⁰⁰⁰⁰ GRACIAS por haberme dado la oportunidad de conocer del desarrollo de la Coordinacion de Aislamiento, así como la empapada de conocimientos del mundo Eléctrico y del Desarrollo de Laboratorio que me brindo, sin dejar a un lado todos los consejos que me a proporcionado, su apoyo, confianza que me tuvo en poder inmiscuirme en su área.

En este trabajo se plasma la confianza, apoyo, impulso, consejos y sugerencias de su persona como profesionista y como amigo; este trabajo es tanto mío como suyo.

Por que personas como usted existen en este mundo muy pocas ...

MIL GRACIAS ING GONZALO

ING. CARLOS :

Como jefe de la Disciplina de Anteproyectos de Líneas de Transmisión le agradezco la oportunidad de haberme aceptado en su oficina como un insignificante miembro de su equipo durante el tiempo que duro mi servicio social.

Como persona y/o amigo le agradezco más de una vez la confianza que me tuvo y la paciencia en explicarme dudas que me surgían no solo referente al tema de líneas sino también a otras fuera del tema.

Las palabras bastantes veces no existen para demostrar el agradecimiento que se tienen a las personas que lo apoyan y auxilian para seguir adelante.

Por todo su apoyo y por lo que es...

GRACIAS ING. CARLOS

A TODOS :

A todas aquellas personas que me ayudaron para que estuviera en mi ultimo examen dentro de la U.N.A.M. .

A todos aquellos que pueden creer que no me ayudaron bastante, sin saber que todo lo que recibía de ellos lo apreciaba en forma muy especial.

A todos aquellos que perdieron mucha parte de su tiempo y esfuerzo en auxiliarme y enseñarme cosas que eran muy novedosas para mi.

A todos aquellos que me facilitaron las herramientas necesarias para seguir adelante.

Debo dar las gracias en forma muy, pero muy especial a unas personas que no he mencionado, y que tienen un lugar en esta tesis por su ayuda y más que nada por sus sentimientos para conmigo... .

Gracias D. Karina Hernández por demostrarme tu cariño y afecto en todos los momentos que hemos convivido y compartido durante bastante tiempo, desde que nos presentamos hasta este culminante momento.

Gracias M. Esther Ayala por realizar y ejecutar en cualquier instante el sentimiento de la amistad sobre mi persona, - que muy pocas personas brindan en esta existencia -, y por nunca haber escuchado una respuesta negativa para auxiliarme.

Gracias Familia Arango Orozco por apoyarme en todo momento para terminar todo esto, ya que siempre tuvieron caminos alternos que proponer para que siguiera adelante.

Gracias Ing. Ramón Mejía por dirigirme la Tesis, por haberme apoyado para que este trabajo se culminara lo más pronto posible; por haber aceptado la proposición de ser mi dirigente para este trabajo final y por haberme inyectado entusiasmo y ganas de conseguir el título para formar otro más de los Egresados de la E.N.E.P. Aragón.

Gracias a todos los integrantes del Departamento de Ingeniería Eléctrica que me dieron la oportunidad de conocerlos y convivir aunque haya sido tan solo un instante; sin dejar a un lado todas las atenciones que tuvieron conmigo.

**GRACIAS A TODOS POR PERMITIRME
LLEGAR HASTA ESTE MOMENTO**

**IMPACTO DE LA COORDINACION DE
AISLAMIENTO EN EL DIMENSIONAMIENTO
ELECTRICO EN TORRES DE LINEAS
DE TRANSMISION**

INDICE

- PROLOGO

- INTRODUCCION 1

I CONCEPTOS FUNDAMENTALES

I.1	Coordinación de Aislamiento	5
I.2	Aislamiento Externo	5
I.3	Aislamiento Interno	5
I.4	Aislamiento Autorrecuperable	6
I.5	Aislamiento No-autorrecuperable	6
I.6	Aislamiento de Fase a Tierra	6
I.7	Aislamiento de Fase a Fase	7
I.8	Tensión Nominal de un Sistema Trifasico	7
I.9	Tensión Máxima de un Sistema Trifasico (V_m)	7
I.10	Tensión Máxima de Diseño (V_d)	7

III COORDINACION DE AISLAMIENTO POR CONTAMINACION

III.1	¿ Que es la Contaminación en el Sector Eléctrico ?..	31
III.2	Filosofía del Aislamiento Exterior	31
III.3	¿ Como influye esta en Aislamientos y en la Continuidad del Servicio ?	32
III.4	Justificación de las Pruebas de Contaminación	35
III.5	¿ Que es el DESD ?	35
III.6	¿ Como se obtiene el DESD ?	36
III.7	Calculo de la Superficie del Aislador	40
III.8	Medición de Sustancias no Solubles	42
III.9	Como afecta la Disposición del Aislamiento	42
III.10	Características del Voltaje de Aguante en Ambientes Contaminados	45
III.11	Método para Aisladores Artificialmente Contaminados	48
III.12	Método para Aisladores Naturalmente Contaminados ..	49
III.13	Relación entre el tipo de Contaminante y su grado conrespecto al Voltaje de Aguante	51
III.14	Voltaje de Aguante en condiciones no uniforme de Contaminación	55
III.15	Forma del Aislamiento y el Voltaje de Aguante	58
III.16	Medidas para evitar Fallas por Contaminación	62
III.17	Selección del Aislador	63

**IV.- EJEMPLO DE LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN
DOS LINEAS DE TRANSMISION DE C.F.E.**

LINEA DE TRANSMISION " TUXPAN - TEXCOCO "

IV.1	Datos Generales	67
IV.2	Datos Complementarios	67
	Perfil Topográfico de la L.T. Tuxpan - Texcoco	68
IV.3	Coordinación por Contaminación	69
IV.4	Coordinación por Impulso	73
IV.4.1	Coordinación por Impulso de Rayo	73
IV.4.2	Coordinación por Impulso de Maniobra	76
IV.5	Selección del Aislador	79
	Resumen de la Coordinación de Aislamiento Tramo 1 ..	85
	Coordinación de Aislamiento para el Tramo 2	87
	Resumen de la Coordinación de Aislamiento Tramo 2 ..	88
	Coordinación de Aislamiento para el Tramo 3	89
	Resumen de la Coordinación de Aislamiento Tramo 3 ..	91
	Coordinación de Aislamiento para el Tramo 4	92
	Resumen de la Coordinación de Aislamiento Tramo 4 ..	93

LINEA DE TRANSMISION " GUAMUCHIL II - GUASAVE "

IV.6	Datos Generales	94
IV.7	Datos Complementarios	94
	Perfil Topográfico de la L.T. Guamuchil II-Guasave .	95
IV.8	Coordinación por Impulso	96
IV.9	Coordinación por Contaminación	96
	Resumen de la Coordinación de Aislamiento	99

- Conclusiones

- Bibliografía

PROLOGO

Este trabajo de tesis esta enfocada a dar un panorama de lo que es la Coordinación de Aislamiento en Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica, la cual es una de varias disciplinas dentro de la Ingeniería Eléctrica que tiene más trascendencia para lograr tener un sistema de potencia confiable y con los menores índices de falta de suministro de electricidad.

Esta Tesis surgió con la inquietud de conocer cuales son los factores más significativos que hacen que las torres tengan formas tan variadas; dependiendo de su nivel de tensión, de los factores geográficos y ambientales que intervienen dentro de la trayectoria de estas.

Por desgracia esta disciplina no es muy conocida a nivel licenciatura, cosa por la cual trato de ser lo más claro y explícito que puedo para que esta tesis pudiera tener alguna aplicabilidad de consulta, y así se tengan algunas bases de tipo teóricas los estudiantes de la carrera.

Toda la información contenida fue gracias a la participación directa de los Ingenieros de la Disciplina de Anteproyectos de Líneas de Transmisión de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) y a todas aquellas personas dentro de esta empresa que tuvieron la amabilidad de auxiliarme; ya que de no haber sido así este trabajo hubiese sido muy difícil de realizar y muchos de los conceptos que nunca había oído mencionar estuvieran erróneamente definidos.

A todos ustedesMIL GRACIAS

INTRODUCCION

Las líneas de transmisión, sirven para el transporte y la distribución de la energía eléctrica, se dividen principalmente en dos grandes categorías: Líneas Aéreas y Cables Subterráneos.

Las líneas aéreas están constituidas por conductores suspendidos en el aire apoyados en estructuras (torres) y sujetas por medio de aisladores. El aislamiento entre conductores lo proporciona el aire y el aislamiento entre conductores y tierra se obtiene por medio de la cadena de aisladores. En este trabajo de tesis solo se tratará de líneas de transmisión aéreas del tipo convencionales.

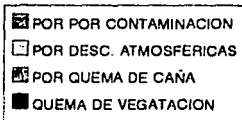
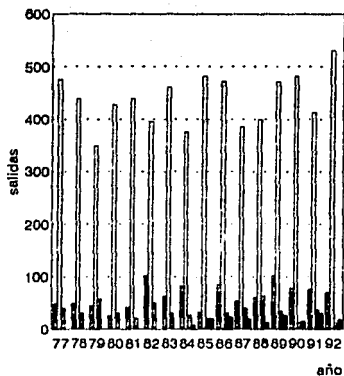
Los sistemas de transmisión de energía eléctrica están expuestas a sufrir colapsos que afecten el suministro de dicha energía, durante un intervalo de tiempo, ya sea por causas de tipo interno o externo.

Es difícil realizar comparaciones entre una línea y otra (aun cuando se traten del mismo nivel de tensión) y de esta forma obtener una línea que sirva como patrón en el dimensionamiento de "n" líneas .

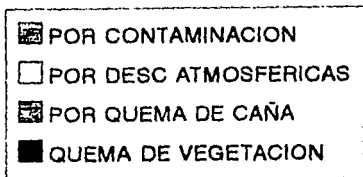
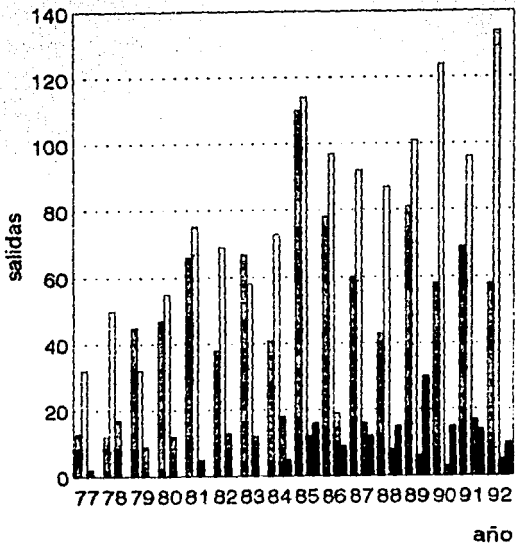
Por lo cual es necesario obtener datos y herramientas necesarias para realizar un buen dimensionamiento de las torres y así hacer más bajo el número de salidas de operación .

A continuación se muestran datos por parte de la Empresa Paraestatal COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (C.F.E.) donde se muestran las principales fallas en líneas de transmisión de 115, 161, 230 y 400 kV respectivamente.

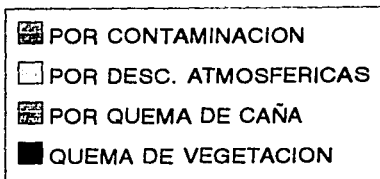
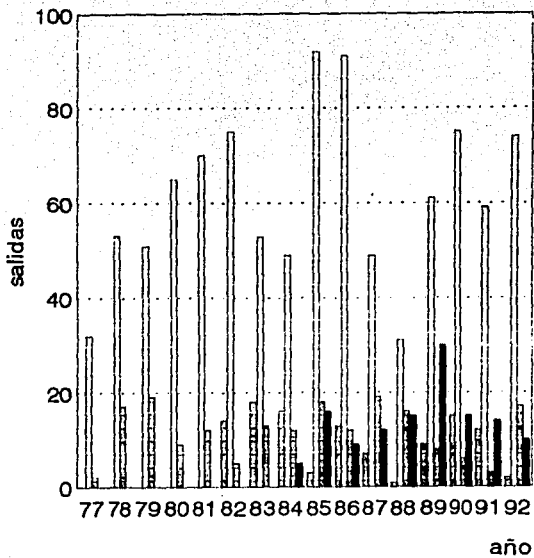
NUMERO DE SALIDAS DE LÍNEA DE 115-161 KV POR DESCARGAS ATMOSFERICAS Y POR CONTAMINACION



NUMERO DE SALIDAS EN LTs DE 230 kV POR DESCARGAS ATMOSFERICAS Y POR CONTAMINACION



NUMERO DE SALIDAS DE LTs DE 400 kV POR DESCARGAS ATMOSFERICAS Y POR CONTAMINACION



CAPITULO I

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

I.1 COORDINACION DE AISLAMIENTO

Conjunto de disposiciones para que los materiales eléctricos de una misma instalación tengan un margen de seguridad apropiado respecto a las sobretensiones y que las descargas de arco puedan ser ubicadas en los puntos donde no originen daños, y de esta forma no afecten la continuidad del servicio.

I.2 AISLAMIENTO EXTERNO

Comprende las superficies aislantes externas de los equipos, el aire ambiente que los rodea y las distancias en esta. La rigidez dieléctrica de este aislamiento depende de las condiciones atmosféricas del sitio (presión, temperatura y humedad) y otras condiciones de intemperie (contaminación, lluvia, niebla, etc.).

I.3 AISLAMIENTO INTERNO

Comprende los aislamiento internos sólidos, líquidos y gaseosos que forman parte del aislamiento de los equipos y que están protegidos de las condiciones atmosféricas e intemperie.

I.4 AISLAMIENTO AUTORRECUPERABLE

Es el aislamiento que recupera completamente y en relativamente poco tiempo sus características aislantes, después de la aplicación de un esfuerzo de tensión aunque haya o no ocurrido una descarga disrruptiva, un aislamiento de este tipo es por lo general, pero no necesariamente, un aislamiento externo.

I.5 AISLAMIENTO NO AUTORECUPERABLE

Es el aislamiento que pierde sus propiedades aislantes o que no las recupera completamente después de una descarga disrruptiva causada por la aplicación de un esfuerzo de tensión; un aislamiento de este tipo es por lo general, aunque no necesariamente un aislamiento interno.

I.6 AISLAMIENTO DE FASE A TIERRA

Se refiere al aislamiento de una fase cualquiera con relación a los puntos conectados a tierra y está caracterizada por una tensión relacionada con una distancia a tierra que se verifica por medio de procedimientos más o menos convencionales y reproducibles, que se expresan en las normas como una distancia de aislamiento en el aire y que es necesaria para definir los aspectos de seguridad.

I.7 AISLAMIENTO DE FASE A FASE

Es el aislamiento entre fases que debe garantizar un comportamiento dieléctrico, que relacione la tensión con la distancia en aire y sin considerar ningún elemento a tierra entre los conductores de fase.

En las subestaciones, la distancia de aislamiento resulta de las condiciones de la instalación y frecuentemente se refiere a los equipos aunque no dependa de éstos. Para líneas de transmisión se debe distinguir entre las distancias dieléctricas entre fases y la distancia entre apoyos de las fases.

I.8 TENSION NOMINAL DE UN SISTEMA TRIFASICO

Es la tensión eficaz entre fases con la que opera un sistema trifásico con sus características de operación.

I.9 TENSION MAXIMA DE UN SISTEMA TRIFASICO (V_m)

Es el valor eficaz entre fases más alto en condiciones normales de operación en cualquier momento y lugar. Este valor debe ser máximo el 5% de la tensión nominal.

I.10 TENSION MAXIMA DE DISEÑO (V_d)

Valor mínimo entre fases para la cual está dimensionado el equipo conforme a su aislamiento y es la tensión máxima de operación.

CAPITULO II

COORDINACION DE AISLAMIENTO

POR IMPULSO

II.1 SOBRETENSION

Es cualquier valor de tensión cresta que excede la existente a través de las terminales del aislamiento, las sobretensiones de fase a fase o de fase a tierra tomando como referencia la tensión más alta del sistema, mientras que para un equipo se considera como la tensión más alta del equipo, ver la tabla II.1

VALOR DE CRESTA DE LA SOBRETENSION		
TIPO DE SOBRETENSION	SISTEMA	EQUIPO
FASE A TIERRA	$\sqrt{2} V_m / \sqrt{3}$	$\sqrt{2} V_d / \sqrt{3}$
FASE A FASE	$\sqrt{2} V_m$	$\sqrt{2} V_d / \sqrt{3}$

tabla II.1

Las sobretensiones pueden clasificarse en diferentes formas debido a la causa que lo produzca, con lo cual daremos las siguientes definiciones.

II.2 SOBRETENSION TEMPORAL

Sobretensión oscilatoria de fase a fase ó de fase a tierra en el sistema la cual tiene una duración relativamente grande. Estas son originadas por fallas a tierra, operaciones de maniobra (rechazo de carga), y se caracterizan por sus amplitudes, forma de onda y duración, y no están amortiguadas o tienen un débil amortiguamiento.

II.2.1 FALLAS A TIERRA

La sobretensión temporal debida a fallas a tierra es una sobretensión de fase a tierra en dos de las fases de un sistema trifásico. La forma de onda de la sobretensión representativa es la de la tensión a la frecuencia del sistema.

II.2.2 RECHAZO DE CARGA

Estas dependen de la carga rechazada en la configuración del sistema después de su desconexión y las características de las fuentes (potencia de corto circuito en la desconexión, regulación de tensión, velocidad de los generadores, etc.).

Otro tipo de sobretensiones que caen dentro de esta clasificación son las provocadas por los transformadores del sistema, transformador del generador, resonancia y ferroresonancia; las cuales son de importancia en los estudios de Coordinación de Aislamiento pero en Subestaciones.

II.3 SOBRETENSION TRANSITORIA

Sobretensión de corta duración de pocos milisegundos, la cual puede ser oscilatoria y usualmente altamente amortiguada.

Estas sobretensiones se clasifican de la siguiente forma:

- Sobretensiones de Frente Lento
- Sobretensiones de Frente Rápido
- Sobretensiones de Frente muy Rápido.

II.4 SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO

Estas tienen duraciones de frente y de cola de algunos décimos hasta miles de microsegundos, generalmente son originadas por:

- Energización y reenergización de líneas.
- Fallas y libramiento de fallas.
- Rechazo de carga.
- Incidencia de rayos en la cercanía de conductores.

II.4.1 ENERGIZACION DE LINEAS

Estas amplitudes de sobretensión dependen de varios factores, entre ellos: tipo de interruptor, longitud de la línea, tipo de terminación de la línea (abierta con transformador, con apartarrayos).

II.4.2 REENERGIZACION DE LINEAS

La reenergización trifásica puede generar sobretensiones elevadas de frente lento, debido a las cargas atrapadas en la línea reenergizada. Esta descarga depende del equipo que este conectado a

la línea, las condiciones ambientales y/o por efecto corona del conductor así como el tiempo de recierre.

II.4.3 FALLAS Y LIBERACION DE FALLA

Estas generan transitorios cuando las fases sanas cambian de la tensión de operación a una sobretensión temporal, o cuando la fase fallada regresa desde el valor cercano a cero a la tensión de operación.

II.4.4 POR RAYOS EN LA CERCANIA DE CONDUCTORES

Originada por la incidencia de descargas atmosféricas en las inmediaciones al conductor de fase. Se dice que es de frente lento porque se cumple que la corriente de rayo es suficientemente pequeña para no causar flámeo ya que la distancia de incidencia de este es suficientemente grande.

II.5 SOBRETENSIONES DE FRENTE RAPIDO

Es una sobretensión transitoria, usualmente unidireccional, y que tiene una duración de frente entre 0.1 microsegundos y 30 microsegundos, y una duración de cola hasta algunos cientos de microsegundos, estas sobretensiones son causadas por:

- Rayos directos a conductores.
- Operaciones por maniobra.

II.5.1 SOBRETENSIONES POR RAYO

Son causadas ya sea por rayos directos a conductores de fase, flámeos inversos o descargas a tierra cercanas a las líneas, las cuales producen disturbios inducidos. Las sobretensiones por rayos entre fases tiene aproximadamente las mismas amplitudes que las de fase a tierra.

II.5.2 SOBRETENSIONES POR MANIOBRA

Ocurren cuando el equipo se conecta y se desconecta del sistema a través de conexiones cortas principalmente en subestaciones, son generalmente oscilatorias.

II.6 SOBRETENSIONES DE FRENTE MUY RAPIDO

Originadas por operaciones de desconectores o fallas dentro de subestaciones en SF₆ y debido a la ruptura dieléctrica rápida del gas entre los electrodos. Ya que la sobretensión debido a este equipo es bastante rápida se ha llegado a tener una forma normalizada de frente de 3 nanosegundos hasta 300 nanosegundos.

La siguiente tabla II.2 muestra las formas de onda normalizada de las sobretensiones a baja frecuencia y transitoria, así como sus tiempos de duración de frente y de cola.

Debido a que en la mayoría de los laboratorios de alta tensión en diferentes países se han llegado a tener formas de onda estandarizadas, para prueba de equipos y materiales; todos los laboratorios que realicen pruebas con diferentes formas de onda, solo ellos tendrán sus resultados; siendo estos no compatibles para comparar con pruebas realizadas en otros lugares y obtener así información para diseño. La siguiente fig. III.1 muestra un ejemplo de la forma de onda normalizada y no normalizada en impulso de rayo.

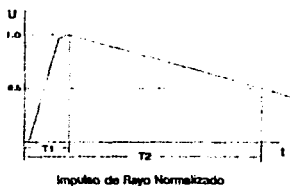


fig. III.1

CLASES	BAJA FRECUENCIA		TRANSITORIOS		
	PERMANENTE	TEMPORAL	FRENTE-LENTO	FRENTE-RAPIDO	FRENTE-MUY-RAPIDO
FORMA DE TENSION					
LIMITES DE LAS FORMAS DE TENSION	$f = 60 \text{ Hz}$ $T_d \geq 1 \text{ h}$	$50 < f < 500 \text{ Hz}$ $0.03 < T_d < 3600 \text{ s}$	$30 < T_i < 3000 \mu\text{s}$ $0.3 < T_d < 30 \text{ ms}$	$0.3 < T_i < 30 \mu\text{s}$ $3 < T_d < 300 \mu\text{s}$	$3 < T_i < 300 \text{ ns}$ $0.3 < F_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 < F_2 < 300 \text{ kHz}$ $0.03 < T_d < 3 \text{ ms}$
FORMA DE TENSION NORMALIZADA	$f = 60 \text{ Hz}$ $T_d = (*)$	$48 \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_d = 1 \text{ min}$	$T_i = 250 \mu\text{s}$ $T_d = 2500 \mu\text{s}$	$T_i = 1.2 \mu\text{s}$ $T_d = 50 \mu\text{s}$	bajo consideración
PRUEBA DE AGUANTE NORMALIZADA	Prueba a la frecuencia del sistema de larga duración	Prueba a la frecuencia del sistema de corta duración	Prueba de impulso por maniobra	Prueba de impulso por rayo	(Impulso cortado) bajo consideración

(*) Se especifica en la norma del equipo correspondiente.

tabla I I. 2

II.7 TENSION DE AGUANTE PARA COORDINACION

Es el valor de la tensión de aguante del aislamiento para cada clase de tensión, referido a las condiciones reales de servicio. Un número de factores influyen en la rigidez dieléctrica del aislamiento. Tales factores son la magnitud, duración y polaridad de la tensión aplicada y las cuales afectan directamente a este valor.

En líneas de transmisión la ruptura del aire depende fuertemente de la configuración del electrodo y de las condiciones ambientales. Para aisladores intemperie también el efecto de humedad, lluvia y contaminación sobre la superficie del aislamiento llega a tener gran relevancia.

II.8 TENSION DE AGUANTE REQUERIDA

Es el valor de tensión de aguante que se requiere para asegurar que el aislamiento al ser instalado en condiciones reales de servicio cumpla con la tensión de aguante para coordinación en todo el tiempo de servicio.

Debido a que las tensiones de aguante para coordinación están normalizadas a nivel del mar, y las condiciones de diseño y operación, en la gran mayoría de las ocasiones se encuentran fuera de éstas, es necesario realizar cálculos para la corrección de ésta tensión, y de esta forma prevenir fallas a tierra por efecto de flámeo o arqueo.

II.9 CORRECCIONES DE LAS TENSIONES DE AGUANTE

Para el aislamiento interno puede suponerse que las condiciones de aire atmosférico no influyen en las propiedades del aislamiento, lo cual es totalmente contrario para aislamientos externos.

Para propósitos de coordinación de aislamiento en líneas de transmisión se dictan las siguientes recomendaciones:

1.- La distancia en aire y aisladores limpios, la corrección debe realizarse para tensiones de aguante de coordinación de impulso de maniobra y rayo.

II.10 CORRECCION POR IMPULSO DE RAYO

$$V_{re} = V_c \cdot (b_0/b)$$

donde:

V_{re} : tensión de aguante requerida.

V_c : tensión de aguante de coordinación.

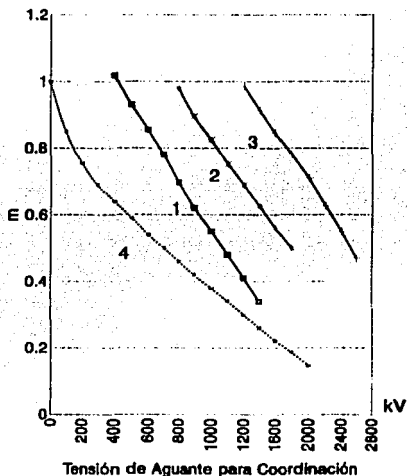
b : presión atmosférica de referencia.

b_0 : presión atmosférica de referencia normalizada.

II.11 CORRECCION POR IMPULSO DE MANIOBRA

$$V_{re} = V_c \cdot (b_0/b)^m$$

donde "m" depende de varios parámetros incluyendo la trayectoria de la descarga mínima. Obsérvese la gráfica II.1 siguiente:



- 1.- Aislamiento de fase a tierra
- 2.- Aislamiento longitudinal
- 3.- Aislamiento de fase a fase
- 4.- Distancia entre electrodos punta-plano

gráfica II.1

2.- Para determinación del factor de corrección atmosférico puede considerarse que la temperatura y la humedad tienden a cancelarse mutuamente. Por consiguiente solo se necesita tomarse en cuenta la presión atmosférica correspondiente a la altitud del lugar; esto es tanto para aislamientos en seco como en húmedo.

II.12 CORRECCION A LA FRECUENCIA DEL SISTEMA

Para aisladores cuya condición requiera una prueba de contaminación, se necesita además una corrección de la tensión de aguante de corta duración a la frecuencia del sistema, y se calcula como:

$$V_{re} = V_c \sqrt{(b_0/b)}$$

II.13 CORRECCION POR ALTITUD

$$b_0/b = e^{(H-1000/8150)}$$

donde:

H: altitud en metros

NOTA: En la práctica profesional para alturas menores a 1000 m.s.n.m. se toman directamente las tensiones de aguante para coordinación, debido a que las normas contemplan estas alturas.

En las siguiente tablas (II.3 y II.4) se muestran los niveles de aislamiento para los equipos de las categorías I y II.

** Todos los equipos los cuales operan a tensión nominal entre 4.4 y 230 kV; líneas transformadores de potencia, de potencial, de corriente, líneas de transmisión, etc., entraran dentro de la categoría I. De igual forma pasa con los equipos de la categoría II.

NIVELES DE AISLAMIENTO NORMALIZADOS PARA EQUIPO DE LA CATEGORIA I

TENSION NOMINAL DEL SISTEMA Vn-kV (eficaz)	TENSION MAXIMA DE DISEÑO DEL EQUIPO Vd-kV (eficaz)	TENSION DE AGUANTE NOMINAL A 60 Hz DE FASE A TIERRA kV (eficaz)	TENSION DE AGUANTE NOMINAL AL IMPULSO POR RAYO (NBAI) DE FASE A TIERRA kV (cresta)
4.4	5.5	19	45 60 75
6.9	7.2	20	40 60
13.8	15.5	35	75 95 110
23	27	50 60	95 125 150
34.5	38	70	125 150 200
44	52	95	250
69	72.5	140	325 350
85 115	123	185 230	450 550
138	145	230 275	550 650
150 161	170	275 325	650 750
230	245	360 395 460	850 900 950 1050

tabla II.3

NIVELES DE AISLAMIENTO NORMALIZADOS PARA EQUIPO DE LA CATEGORIA II

TENSION DE AGUANTE NOMINAL DE IMPULSO DE MANIOBRA					
TENSION NOMINAL DEL SISTEMA Vn-kV (eficaz)	TENSION MAXIMA DE DISEÑO DEL EQUIPO Vd-kV (eficaz)	AISLAMIENTO LONGITUDINAL (+) kV (valor-pico)	FASE A TIERRA kV (valor-cresta)	FASE A FASE (relación al valor cresta de fase a tierra)	TENSION DE AGUANTE NOMINAL POR RAYO (NBAI) DE FASE A TIERRA (valor-cresta)
285	300	750	750	1.50	850 950
		750	850	1.50	950 1050
345	362	850	850	1.50	950 1050
		850	950	1.50	1050 1175
400	420	850	850	1.60	1050 1175
		950	950	1.50	1175 1300
		950	1050	1.50	1300 1425
500	525	950	950	1.70	1175 1300
		950	1050	1.60	1300 1425
		950	1175	1.50	1425 1550
730	765	1175	1300	1.70	1675 1800
		1175	1425	1.70	1800 1950
		1175	1550	1.60	1950 2100

tabla II.4

II.14 FACTOR DE GAP

Gracias a pruebas de laboratorio se han podido obtener diferentes valores de factor gap, los cuales son de importancia ya que se utilizan dependiendo de la configuración geométrica del equipo de subestaciones y líneas de transmisión como herramientas para la obtención de la distancia mínima entre conductor(es) de fase a tierra (distancias mínimas dieléctricas), para evitar la descarga disruptiva en el medio aislante (aire).

La definición de gap, es tener dos electrodos separados a una distancia de "x" metros y a una presión de referencia, en donde un electrodo posee el voltaje de prueba y el otro tendrá un voltaje de referencia igual a cero. Este voltaje de referencia puede ser tierra o alguna estructura, dependiendo del tipo de configuración que se someta a prueba.

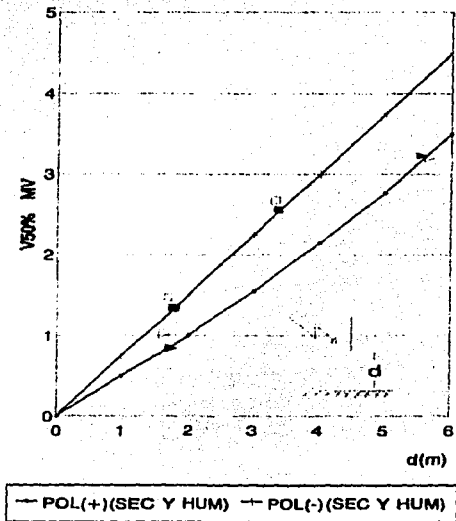
Para el caso de la configuración punta-plano, ésta configuración fue la que presentó menor tensión de arqueo de todas las pruebas realizadas, y por lo cual fue tomada como base para la obtención del factor de gap de todas las restantes.

A continuación se muestran las configuraciones, llevadas a prueba, y donde se observa el comportamiento de cada una de ellas, concluyendo que la onda positiva es la más crítica, teniendo un menor voltaje de arqueo a cualquier variación de espaciamento del gap, ver gráficas II.2 a II.6.

En la gráfica II.7 obtenemos que para la configuración punta-plano (en onda positiva e impulso de rayo 1.2/50 μ s), el gradiente de potencial E_0 tiene un comportamiento uniforme, aun si se aumenta el espacio del gap, mientras que para la onda negativa este tiene un

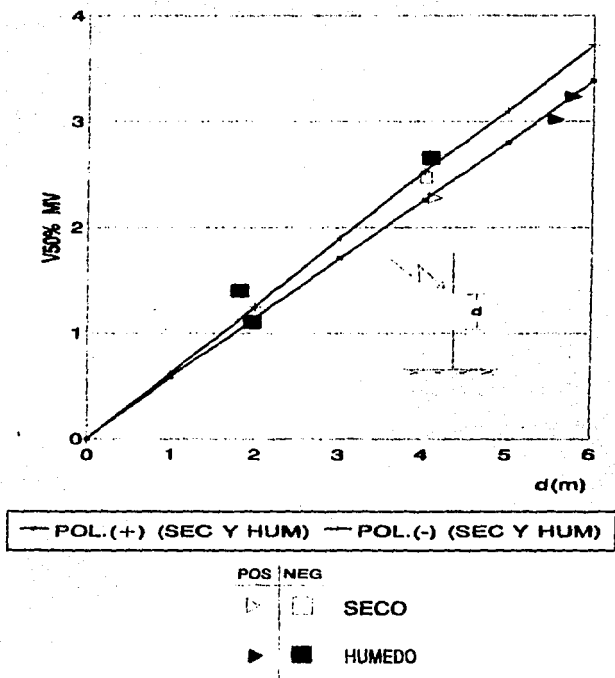
comportamiento logarítmico.

En la tabla II.5 encontramos resumidos los factores de gap correspondientes a cada configuración con norma I.E.C. (impulso de rayo positivo, 1.2/50 μ s).



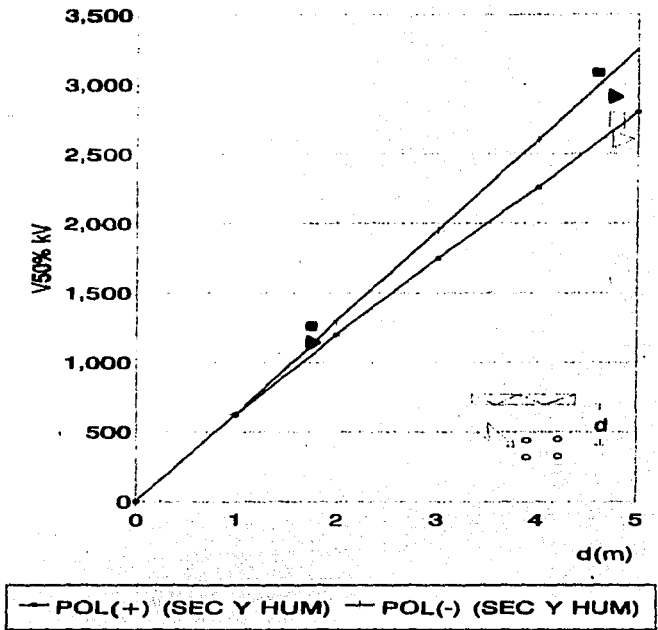
Resultados de IR (1.2/50 μ s) pruebas en punta-plano. Gradiente promedio: positivo 500 kV/m, negativo 750 kV/m.

gráfica II.2



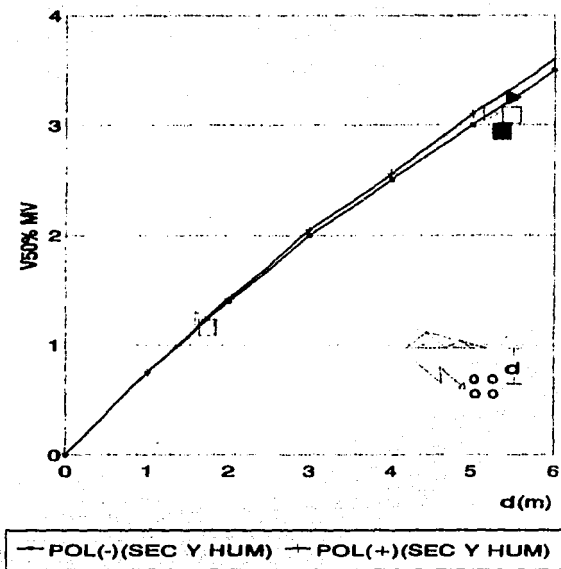
Resultados de IR(1.2/50 μ s) pruebas en punta-punta. Gradiente promedio: positivo 575 kV/m, negativo 625 kV/m

gráfica II.3



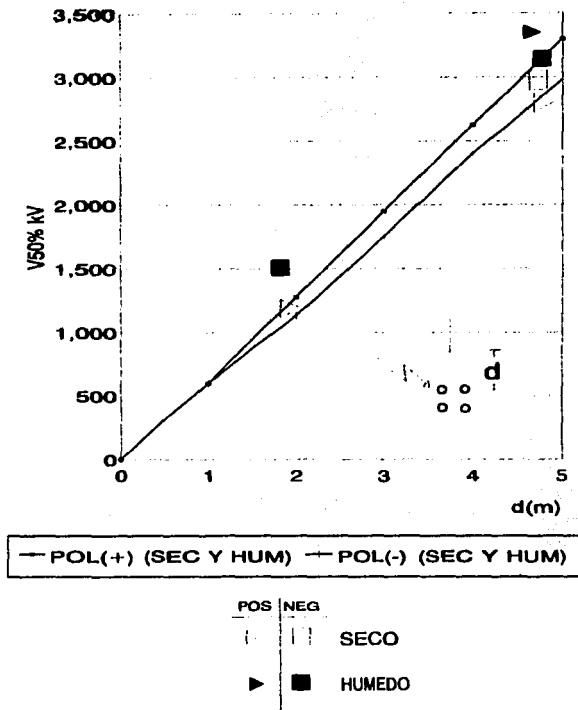
Resultados de IR(1.2/50 μ s) pruebas en conductor-estructura superior. Gradiente promedio: positivo 580 kV/m, negativo 625 kV/m.

gráfica II.4



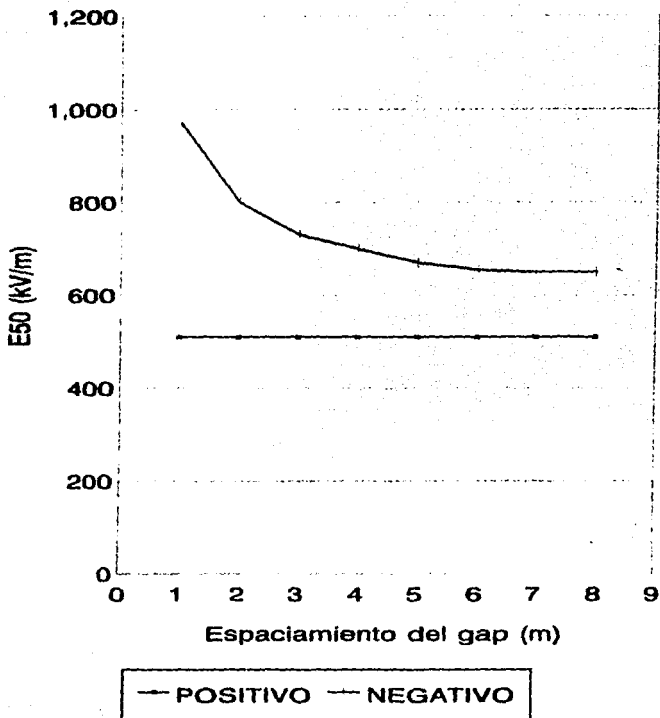
Resultados de IR (1,2/50 μ s) pruebas en conductor-cruceta. Gradiente promedio: positivo, negativo 625 kV/m

gráfica II.5



Resultados de IR(1.2/50 μ s)prueba en conductor-punta superior.Gradiente promedio:positivo,negativo 625 kV/m

gráfica II.6



Configuración punta-plano. Gradiente promedio en V50 como una función del espaciamiento del gap.

gráfica 11.7














CONFIGURACION	SIMBOLO	K
PUNTA-PLANO		1.00
PUNTA-EST. INF.		1.05
CONDUCTOR-PLANO		1.15
CONDUCTOR-VENTANA		1.20
CONDUCTOR-EST. INF.		1.30
PUNTA-PUNTA INF. (3 m)		1.30
COND.-EST.LAT. Y SUP.		1.35
PUNTA-PUNTA (6 m)		1.40
CONDUCTOR-CUERDA		1.40
CONDUCTOR-CRUCETA		1.55
COND.-PUNTA (3 m)		1.65
COND.-PUNTA (6 m)		1.90
CONDUCTOR-PUNTA		1.90

tabla II.5

II.15 CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS DISTANCIAS DIELECTRICAS EN AIRE

Las distancias en aire de fase a tierra y de fase a fase deben garantizar estadísticamente una probabilidad de flámeo tal, que resulte baja desde el punto de vista de los criterios adoptados. Esto conduce al establecimiento de distancias mínimas de no flámeo entre fases y tierra o entre fases, y que se determinan principalmente para los impulsos de rayo y maniobra según los niveles de aislamiento.

Los conceptos de distancia dieléctrica en aire es general y desde el punto de vista de diseño parte de la relación entre la Tensión Crítica de Flámeo (U_c o TCF) o por maniobra (TCFM) y el Nivel Básico de Aislamiento al Impulso de Rayo (NBAI) o por Maniobra (NBAM).

La tensión crítica de flámeo es el valor de la tensión al cual se tiene una probabilidad de flámeo del 50%, y los valores usados para diseño corresponden a los valores básicos de aislamiento (al impulso por rayo o por maniobra), que son las cantidades inferiores al TCF o al TCFM y que darían probabilidades de flámeo del 10%, es decir que no se produzca en un 90% de las veces.

La relación entre los niveles básicos de aislamiento al impulso y las tensiones críticas de flámeo se indican a continuación:

a) Para impulso por rayo

$$NBAI = TCF*(1.0 - 1.3\sigma)$$

donde σ es la desviación estándar referida al valor de TCF

Se recomienda usar un valor de $\sigma = 3\%$

Con lo que:

$$NBAI = 0.961*TCF \dots\dots\dots 1$$

$$TCFC = D * E_{90}'' \dots\dots\dots 1.1$$

$$E_{90}'' = 361.11 + (138.89*k) \dots\dots\dots 1.2$$

donde k es el factor de gap correspondiente a la configuración deseada.

b) Para impulso por maniobra

$$NBAM = TCFM*(1.0 - 1.3\sigma)$$

Se recomienda usar un valor de $\sigma = 6\%$

Con lo que:

$$NBAM = 0.922*TCFM \dots\dots\dots 2$$

$$TCFM = 3400 * k/(1+(8/D)) \dots\dots\dots 2.1$$

'' con referencia a artículos de Seminario de Alta Tensión
"Esfuerzos Dieléctricos Sometidos a Sobrevoltajes"

CAPITULO III

COORDINACION DE AISLAMIENTO POR CONTAMINACION

III.1 ¿QUE ES LA CONTAMINACION EN EL SECTOR ELECTRICO?

La operación ininterrumpida de los sistemas de potencia modernos dependen de un aislamiento confiable. Este no solo debe soportar las sobretensiones, sino además nunca debe deteriorarse para no permitir disturbios y/o las salidas de la línea.

El deterioro del aislamiento exterior es causado principalmente por los depósitos transportados por el aire, que se originan de fuentes tanto naturales como las creadas por el hombre.

III.2 FILOSOFIA DEL AISLAMIENTO EXTERIOR

La exposición de las estructuras de aislamiento de porcelana a todas las condiciones atmosféricas, siempre ha sido parte integral del aislamiento de todos los sistemas de transmisión, subtransmisión y distribución. Con un conocimiento mayor de sobretensiones causadas por: las descargas eléctricas y las operaciones de maniobra; urge encarar el problema de contaminación de aislamiento, teniendo en cuenta la creciente contaminación del aire y el número cada vez mayor de líneas de transmisión.

Dado que la optimización del costo del aislamiento siempre ha sido una meta de la industria, los niveles óptimos de aislamiento deben determinarse en forma confiable.

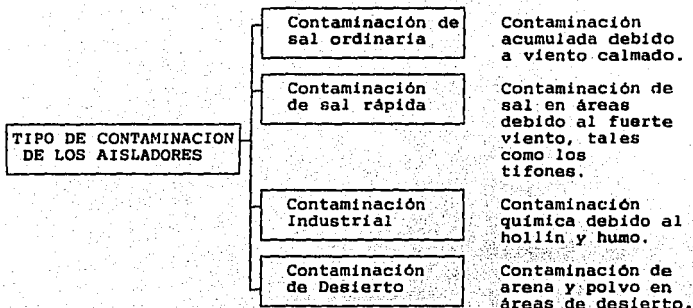
III.3 ¿ COMO INFLUYE ESTA EN AISLAMIENTOS Y EN LA CONTINUIDAD DEL SERVICIO ?

La variedad de depósitos no se puede identificar fácilmente, por lo general, los depósitos secos no dan por resultado el deterioro de la capacidad del aislamiento de un aislador determinado; siempre es necesaria la humedad para producir una capa conductora, que es la responsable del deterioro. El humedecimiento de la superficie del aislador ocurre, casi en todos los casos, por procesos naturales, que son tan diversos como puede ser el tiempo; como por ejemplo: la llovizna, rocío, niebla o nieve sin que llegue a darse un lavado efectivo en el aislador. Debe hacerse incapie de que el flámeo ocurre en el aislador, no en el aire.

En aisladores contaminados, estos deberán aguantar la tensión máxima en el sistema (V_m) conllevando a un aceptable riesgo de flameo.

La acumulación de índices de contaminación en aisladores depende del tipo de aislador, así como también de la posición de éste, aún cuando se encuentren sometidos a las mismas condiciones contaminantes. Como podemos notar es de suma importancia el conocimiento de los niveles de contaminación en donde se desea instalar el equipo, ya que éstos regirán al diseñador a seleccionar el tipo de aislador a utilizar, así como la posición geométrica que guardará dentro de la instalación.

En instalaciones eléctricas que se tienen en el sistema se presentan básicamente cuatro tipos de contaminación en aislamientos, los cuales dependen de su origen específico en la diferentes regiones:



En la tabla III.1 se muestran los grados o niveles de contaminación, así como sus respectivas causas que los producen.

NIVELES DE CONTAMINACION

NIVEL DE CONTAMINACION	EJEMPLOS DE AMBIENTES TÍPICOS
I.- LIGERA	<ul style="list-style-type: none"> - Areas sin industrias y con baja densidad de casas equipadas con calefacción. - Areas con baja densidad de industrias o casas pero sujetas a frecuentes vientos y/o lluvias. - Areas agrícolas (1). - Areas montañosas. <p>Todas éstas áreas deben de estar situadas por lo menos a 10 o 20 Km del mar y no deben estar expuestas a vientos directamente del mar (2).</p>
II.- MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> - Areas con industrias que no producen humo particularmente contaminante y/o con densidad promedio de casas equipadas con calefacción. - Areas con alta densidad de casas y/o industrias sujetas a frecuentes vientos y/o lluvias. - Areas expuestas a vientos del mar pero no demasiado cerca de la costa (por lo menos varios Km de la costa)(2).
III.- ALTA	<ul style="list-style-type: none"> - Areas con alta densidad industrial y suburbios de grandes ciudades con alta densidad de calefactores que producen contaminación. - Areas cercanas o expuestas a fuertes vientos del mar. (2)
IV.- MUY ALTA	<ul style="list-style-type: none"> - Areas de extensión moderada sujetas a polvos conductivos y a humos industriales que producen depósitos conductivos. - Areas de extensión moderada, muy cerca de la costa y expuesta a brisa o a vientos fuertes y contaminantes del mar. - Areas desérticas caracterizadas por grandes periodos sin lluvia que llevan arena y sal, y sujetas a condensación regular.

(1) El uso de fertilizantes en rocío o quema de residuos, puede llevar a estas zonas a niveles de contaminación altos, debido a la dispersión por vientos.

(2) La distancia al mar depende de la topografía del área costera y de condiciones extremas de viento.

tabla III.1

III.4 JUSTIFICACION DE LAS PRUEBAS DE CONTAMINACION

Con el objeto de investigar la influencia de la contaminación en aislamientos expuestos a este ambiente es necesario la realización de pruebas de este índole para obtención de información que pudieran dar algunas instrucciones de diseño y mantenimiento en contra de estas condiciones.

III.5 ¿ QUE ES EL DESD ?

Al examinar las contramedidas para la contaminación de los aisladores, es necesario saber las condiciones de contaminación reales y los grados de esta deben ser mostrados cuantitativamente y en términos científicos.

Los contaminantes que son depositados en la superficie del aislador se pueden clasificar en sustancias solubles conductivas y materiales insolubles no conductivos. Aquí las condiciones climatológicas son de suma importancia ya que éstas sustancias pueden ser diluidas por el agua debido a la niebla, lluvia, etc., los cuales provocan una disminución de la resistividad superficial del aislador; ya que estos contienen sal formando así un electrólito (en el caso de no existir un lavado efectivo).

En la práctica los grados de contaminación son evaluados, obteniendo el ESDD (Equivalent Salt Deposit Density), en español, DESD (Densidad Equivalente de Sal Depositada) en cada lugar donde se pretenda instalar el equipo. A continuación se explicará en forma explícita la obtención de este dato.

III.6 ¿ COMO SE OBTIENE EL DESD ?

El DESD se define como la relación existente entre la cantidad de sal depositada en gramos sobre una superficie cualquiera en unidades cuadradas, en este caso cm^2 , por lo cual es necesario calcular la superficie total del aislamiento que se usará como prueba. El procedimiento es el siguiente.

- Ya que se tenga el aislador contaminado (en forma natural), este es lavado con agua destilada a una cierta cantidad en cm^2 .
- Medir la resistividad específica de la solución con un megger, con un conductímetro (Ω , ohms.m.) o por cualquier otro método; al mismo tiempo la temperatura de la solución es medida.
- La resistividad (Ω) es corregida a 20°C (Ω_{20}) con ayuda de la figura A.
- La concentración de sal equivalente de la solución a 20°C (B%) es obtenida utilizando la figura B y C.
- La cantidad de sal equivalente en la solución "x" en [mg] es obtenida por la siguiente fórmula:

$$X = A \cdot B \cdot (1/100) \cdot 1000 = A \cdot B \cdot 10$$

- La Densidad Equivalente de Sal Depositada "y" en $[\text{mg}/\text{cm}^2]$ es obtenida dividiendo la cantidad de sal equivalente de la solución por el área de la superficie del aislador "S" en $[\text{cm}^2]$:

$$Y = X / S$$

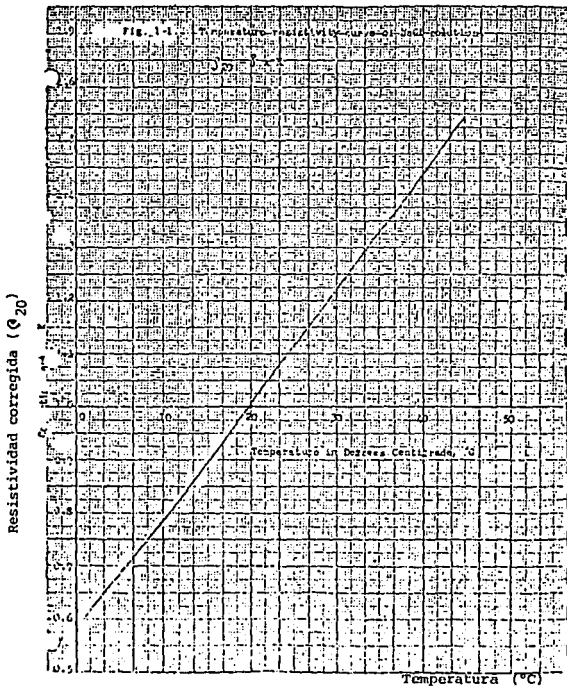


fig. A

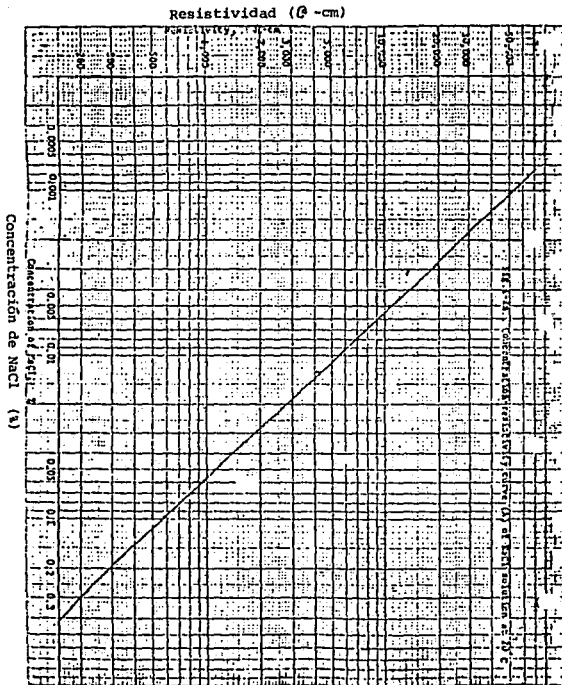


fig. B

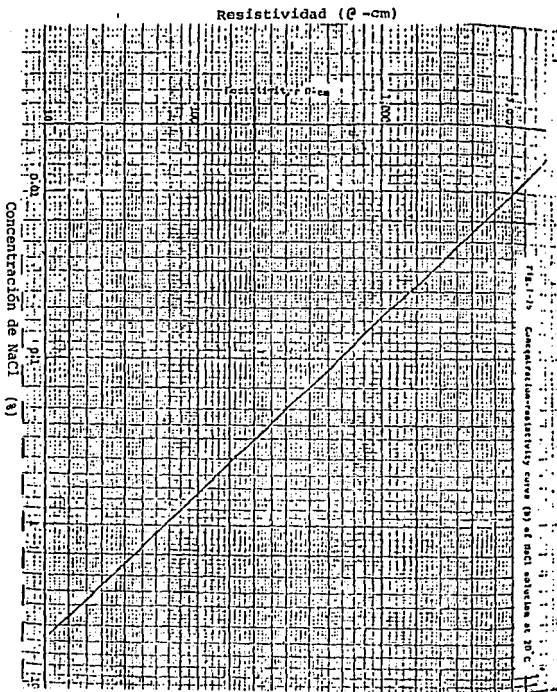


fig. C

III.7 CALCULO DE LA SUPERFICIE DEL AISLADOR

La superficie de un aislador es determinada y calculada esencialmente en base a las siguientes ecuaciones:

$$S = \int_0^l \pi \cdot D(l) \cdot dl$$

$$S = \int_0^l \pi \cdot (D(l)/L) \cdot dl$$

$$S = \pi \cdot L \int_0^l D(l)/L \cdot dl$$

donde:

- S = área de la superficie del aislador.
- L = distancia de fuga.
- l = distancia de electrodo a electrodo por la trayectoria de fuga.
- dl = elemento diferencial de la distancia de fuga.
- D(l) = diámetro de la porcelana a el punto (l).

La ecuación anterior es expresada también usando el Diámetro Promedio "D," definido como:

$$D_p = \int_0^l D(l)/L \cdot dl$$

$$S = \pi \cdot L \cdot D_p$$

Auxiliece de la figura III.1

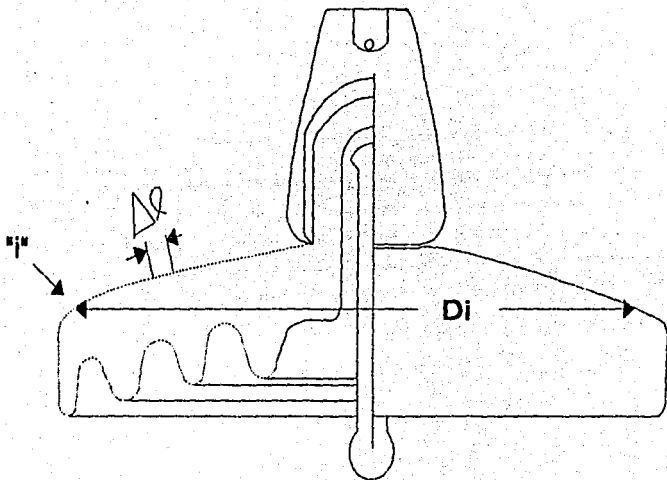


fig. III.1

III.8 MEDICION DE SUSTANCIAS NO SOLUBLES

Este tipo de medición es muy sencilla ya que por medio del filtrado, secado y pesado del contaminante contenido por la solución usada en la medición del DESD se puede determinar la densidad de depósito insoluble.

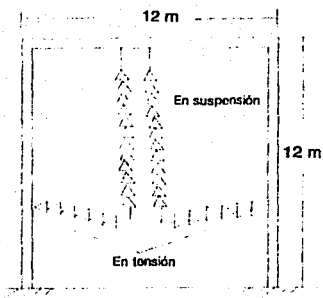
El análisis de los componentes contaminantes es realizado en base a "rayos X" o a análisis químicos. La existencia de iones positivos y negativos en el contaminante es comprobado, de igual forma el tipo y cantidad de sal puede ser estimada considerando la equivalencia química.

III.9 COMO AFECTA LA DISPOSICION DEL AISLAMIENTO

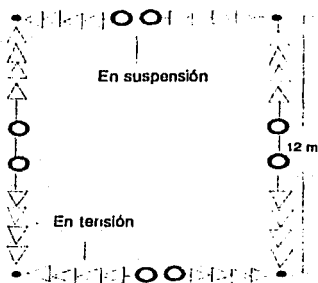
Debido a que en Líneas de Transmisión se manejan sólo tres tipos de arreglos: en suspensión "1", en tensión y en suspensión en "V", es necesario realizar estudios sobre como son afectados por la contaminación.

Las características típicas de la configuración de los aisladores de prueba son instalados en forma de cadena de tensión y suspensión, con el objeto de observar el comportamiento de cómo se contamina éste (uniforme o no uniforme), quien será analizada con respecto al voltaje de aguante.

A continuación se muestra la figura III.2 la configuración que guardan los aislamientos de prueba y posteriormente se detallan las diferencias de depósitos contaminantes de dependiendo del arreglo que estos guarden.



VISTA FRONTAL DE AISLADORES DE PRUEBA



VISTA AEREA DE AISLADORES DE PRUEBA

fig. III.2

El efecto del arreglo de montaje de las cadenas de los aisladores sobre el grado de contaminación ha sido estudiado por medida a largo plazo en varios lugares y fueron obtenidos los siguientes datos:

- La influencia que el tipo de cadena tiene sobre la densidad del depósito de sal cambia con el periodo de exponerla. Cuanto más largo es el tiempo de exponerla, tanto menos el DESD tiende a mostrar la cadena de amarre, comparado con la cadena de suspensión. El DESD medido sobre los aisladores de disco de la cadena de amarre es, aproximadamente del 50%, comparándolo con la cadena de suspensión.
- En la misma cadena de amarre el DESD medido tiende a incrementarse cuando la superficie inferior del aislador se enfrenta con el mar, comparado con el caso de la superficie superior dada al mar.
- El DESD sobre la cadena en "V" del aislador de disco es aproximadamente del 80%, comparado con el valor de la cadena de suspensión normal.

III.10 CARACTERISTICAS DEL VOLTAJE DE AGUANTE EN AMBIENTES CONTAMINADOS

En la evaluación de las características de los aisladores contaminados, se conduce generalmente a pruebas de contaminación natural (exposición natural del aislamiento) y la contaminación artificial.

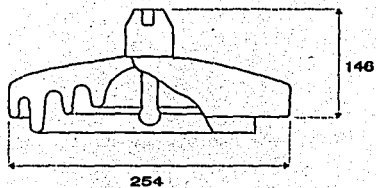
La prueba de contaminación natural es sumamente confiable, ya que es una prueba bajo las condiciones reales de servicio. Sin embargo, ésta tiene los defectos tales como el requerir largos periodos de tiempo, implicar grandes condiciones circunstanciales, ser incapaz de obtener un gran volumen de datos, etc.. Por otra parte, se han hecho muchos estudios y sugerencias sobre la prueba de contaminación artificial, pero no se ha establecido ningún procedimiento único de la prueba normalizada; aunque estas pruebas son equivalentes a las de contaminación natural, además de que son reproducibles y repetibles.

Un método muy recomendado es el de "Prueba de Aisladores Contaminados Naturalmente y Prueba de Aisladores Contaminados Artificialmente", los cuales reproducen las condiciones más críticas del aislador bajo este tipo de situaciones.

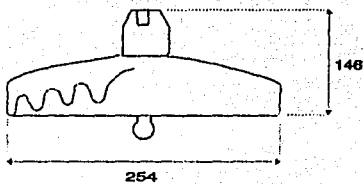
Este método (Contaminación Artificial) como ya se dijo consideran las condiciones más críticas y se recomienda por que:

- Se pueden representar condiciones de humedad alta antes del lavado, es decir, se representa un proceso gradual de humectación.
- El Voltaje de Aguante es más o menos igual al valor mínimo del 5% del voltaje de flameo de aisladores contaminados en la costa.
- Se puede seleccionar el tipo y cantidad de contaminante y el rango de humedad si fuese necesario, dependiendo de la información del lugar.
- El grado de contaminación es práctico indicarlo en terminos del DESD, por lo cual se tendrá una relación entre el voltaje de aguante y este, obteniendo datos que son aplicados directamente al trabajo realizado de diseño del aislamiento.

Este método se aplica en aisladores denominados standard y tipo niebla, ver figura III.3.



AISLADOR DE SUSPENSION TIPO NIEBLA
ESPECIE 254 X 148 mm



AISLADOR DE SUSPENSION TIPO STANDARD
ESPECIE 254 X 148 mm

fig. III.3

Por causas debidas a pruebas realizadas en diferentes laboratorios del mundo, se ha encontrado que en cadenas de aisladores formadas por menos de 5 unidades, el voltaje de flámeo no es lineal ya que aquí predomina el comportamiento capacitivo y no resistivo, causa por la cual se realizan pruebas a cadenas de mayor longitud y así tener pruebas que puedan ser reproducibles, repetitibles y representativas.

III.11 METODO PARA AISLADORES ARTIFICIALMENTE CONTAMINADOS

Aquí se resumen en forma práctica los pasos a seguir para la obtención de datos sobre el voltaje de aguante para aisladores tipo suspensión:

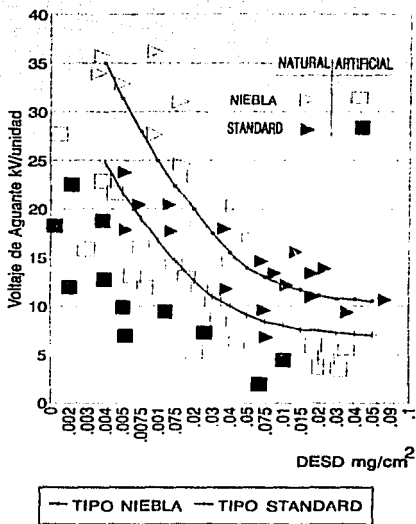
- Se contaminan "n" aisladores con determinado grado de contaminación con una mixtura de NaCl, con la precaución de contaminar todos los aisladores de igual forma.
- Son llevados y colocados en el cuarto de niebla (cuarto con paredes de plástico).
- Se les aplica una tensión con un transformador de gran capacidad para que la caída de tensión sea mínima al ocurrir el flámeo, esto se hace durante "t" tiempo.
- Se produce niebla por la vaporización de agua creada por resistencias de gran disipación de potencia.

- En el caso de no haber flámeo, se desmonta la cadena de aisladores, se lava y se vuelve a contaminar; posteriormente se aumenta el voltaje determinada cantidad de kV.; este procedimiento se repite hasta obtener el flámeo.
- Si se obtuvo el flámeo, la tensión se baja repitiéndose el procedimiento anterior.
- Si la cadena resiste este voltaje en "x" eventos sin provocar flámeo, este voltaje es dividido entre los "n" aisladores obteniendo de esta forma el voltaje de aguante por unidad.

III.12 METODO PARA AISLADORES NATURALMENTE CONTAMINADOS

- Los aisladores son expuestos al medio ambiente y de esta forma contaminados en forma natural.
- Son llevados y colocados al cuarto de niebla.
- Se les aplica tensión en forma constante durante "t" tiempo.
- En caso de no ocurrir flámeo se aumenta la tensión por determinados kV , repitiéndose "x" veces hasta que ocurra el flámeo.
- Con el dato de tensión de flámeo, es dividido entre los "n" aisladores para obtener el voltaje de aguante por unidad.

A continuación se muestran en la gráfica III.1 las características del voltaje de aguante en contaminación natural y artificial, obtenidos por los métodos anteriores.



CARACTERÍSTICAS DEL VOLTAJE DE AGUANTE EN AISLADORES NATURAL Y ARTIFICIALMENTE CONTAMINADOS

gráfica III.1

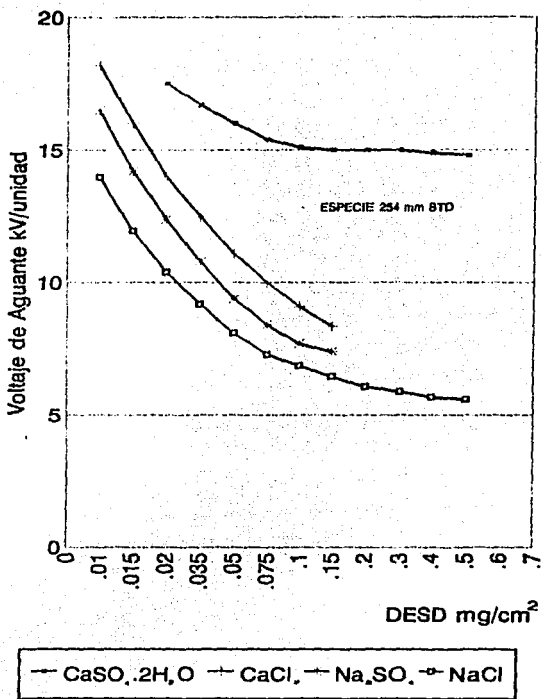
FALLA DE ORIGEN

Como se nota en la cifra, la curva del voltaje de aguante de los aisladores artificialmente contaminados corresponde aproximadamente a los valores mínimos del voltaje de aguante de los aisladores naturalmente contaminados.

III.13 RELACION ENTRE EL TIPO DE CONTAMINANTE Y SU GRADO CONRESPECTO AL VOLTAJE DE AGUANTE

Es evidente que la contaminación en los aislamientos no esta compuesta de un solo elemento. Sin embargo existen elementos muy significativos que reducen considerablemente la rigidez dieléctrica y producen el flámeo más rápidamente.

En la siguiente gráfica III.2 se muestra la relación existente entre el voltaje de aguante por unidad en aisladores tipo standard , y la cantidad y tipo de algunos materiales más comunes en la contaminación natural (estos son materiales solubles).



MATERIALES SOLUBLES Y EL VOLTAJE DE AGUANTE

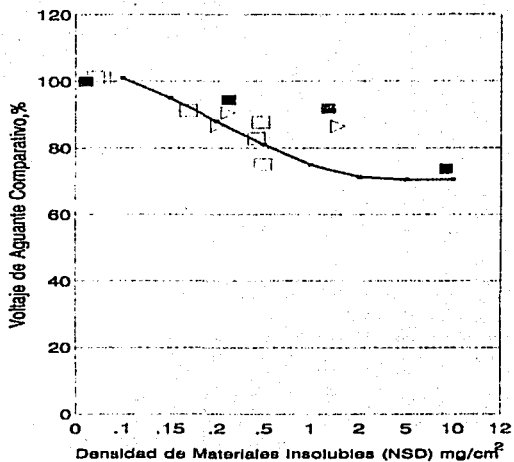
gráfica III.2

Es evidente observar que el cloruro de sodio (NaCl) fue el que presento el menor voltaje de flámo de los materiales solubles llevados a prueba, por lo cual se reitera que la sal es el principal cuasante de flámo en la cadena.

Con lo que se refiere a materiales inertes esta afecta al aislamiento dependiendo de la cantidad acumulada, esto es atribuible a la capacidad de retención de agua del material bajo condiciones naturales, con lo que no puede ser comparado significativamente con pruebas de contaminación artificial, ya que solo partículas muy finas se adhieren a la superficie del aislador. Por lo tanto la influencia de materiales inertes en el voltaje de aguante es despreciado y solamente representados por el kaolín, el cual tiene componentes químicos de :

- Del 58 al 76% de SiO_2 ,
- Del 14 al 30% de Al_2O_3 , y
- Fe_2O_3 ,

La siguiente gráfica III.3 muestra la relación entre la cantidad de material inerte y el voltaje de aguante en aisladores tipo standard y niebla.



— TIPO STANDARD

SIMBOLO	AISLADOR
□	21 ¹ NIEBLA
■	21 ¹ STANDARD
▷	12 ¹ STANDARD

VOLTAJE DE AGUANTE Y MATERIAL INSOLUBLE

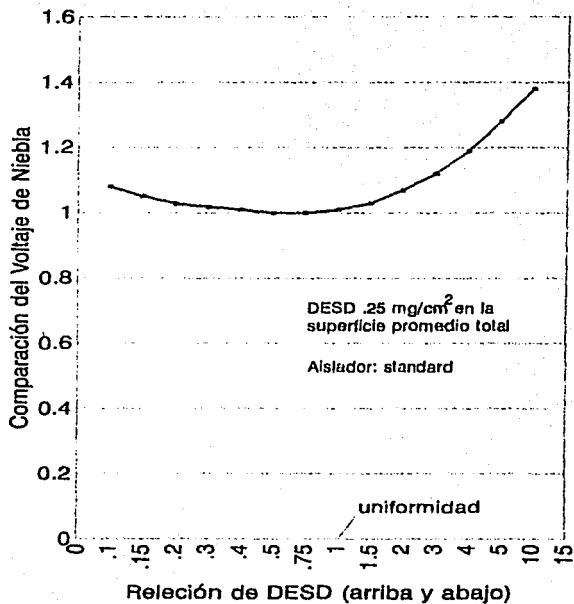
gráfica III.3

III.14 VOLTAJE DE AGUANTE EN CONDICIONES NO UNIFORME DE CONTAMINACION

El DESD de un aislador bajo condiciones de contaminación natural es mayor en la superficie inferior que en la superior debido al efecto de lavado de lluvia. A continuación se hace la comparación entre un aislador contaminado desuniformemente distribuido con un aislador uniformemente contaminado al mismo promedio de DESD en la superficie superior e inferior, observese la gráfica III.4.

Donde la relación de contaminación esta dada por la siguiente formula:

$$\text{RELACION DE CONTAMINACION} = \frac{\text{DESD (superior)}}{\text{DESD (inferior)}}$$

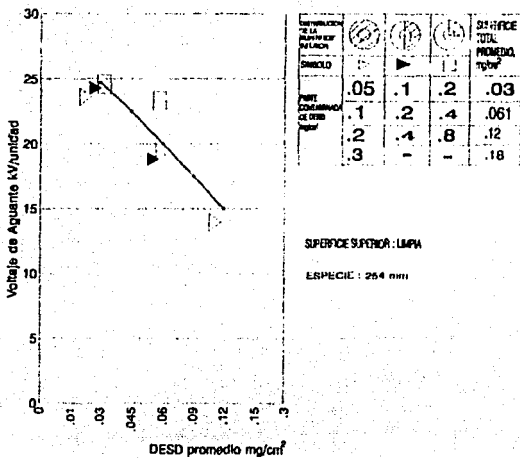


VOLTAJE DE AGUANTE EN NIEBLA
EN CONDICIONES NO UNIFORMES
DE CONTAMINACION

gráfica III.4

Sin embargo muchas de las fallas de flámeo debido a la contaminación frecuentemente ocurren después de un fuerte viento, y en muchos casos el DESD en ambas superficies es similar. Por esta razón se justifica el empleo del voltaje de aguante bajo contaminación uniforme en el diseño de aislamiento.

Para verificar lo anteriormente escrito, se muestra la gráfica III.5 dando el comportamiento del voltaje de aguante bajo condiciones de contaminación circularmente uniforme.



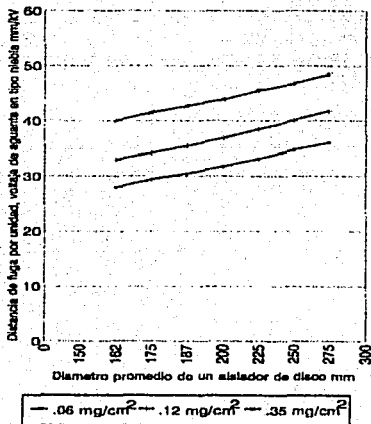
VOLTAJE DE AGUANTE EN UN AISLADOR NIEBLA CONTAMINADO NO-UNIFORMEMENTE

gráfica III.5

III.15 FORMA DEL AISLAMIENTO Y EL VOLTAJE DE AGUANTE

En el aislamiento de líneas de transmisión existen gran variedad de formas de aisladores con lo cual el voltaje de aguante es muy influenciado por esta característica. Debido a que existe un estrecha relación entre el diámetro del disco y la distancia de fuga, estos marcaran el voltaje de aguante por unidad.

En la gráfica III.6 se muestra tal influencia, ya que se nota claramente que en cuanto se hace el diámetro promedio del disco, más grande se hace la distancia de fuga por le voltaje de aguante por unidad.



RELACION DE DISTANCIA DE FUGA POR EL VOLTAJE DE AGUANTE EN NIEBLA DE UN DISCO CON DIAMETRO MEDIO

gráfica III.6

Para una mejor comprensión la siguiente formula muestra que la resistencia eléctrica de la superficie aumenta en proporción con la distancia de fuga y disminuye a razón inversa al diámetro promedio del aislador, por lo cual el voltaje de aguante de un aislador tipo niebla es superior a la de un tipo standard.

$$R = @ (D_p / L)$$

donde:

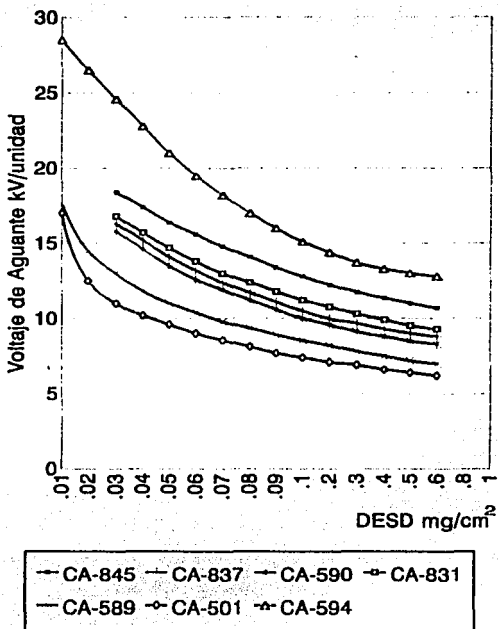
R = resistividad eléctrica de la superficie

@ = resistividad de la superficie (ohms)

D_p = diámetro promedio del aislador (mm)

L = distancia de fuga total del aislador (mm)

La gráfica III.7 muestra el voltaje de aguante requerido por unidad para aisladores tipo standard y niebla para diferentes grados de contaminación ; la cual nos será de utilidad para la mejor selección del aislamiento. Estas curvas fueron obtenidas después de realizarse bastantes pruebas, por lo cual pueden ser utilizadas con gran seguridad.



DISEÑO DE VOLTAJE DE AGUANTE PARA VARIOS AISLADORES DEPENDIENDO DEL GRADO DE CONTAMINACION

gráfica III.7

Hasta el momento solo se ha mencionado lo referente a los casos de niebla como uno de los principales causantes de flámeo en la cadena debido al humedecimiento de la superficie del aislador, sin tener en consideración el lavado realizado por la lluvia natural.

Aquí la precipitación pluvial en [mm] del lugar a de ser un punto determinante en dicho lavado, con lo cual en estudios de campo se llegó a tener una relación entre la precipitación pluvial y el lavado efectivo del disco, así como la formula para la obtención de este; obsérvese la tabla III.2.

LAVADO EFECTIVO EN %

PRECIPITACION [mm]	SUPERFICIE INFERIOR DEL DISCO	SUPERFICIE SUPERIOR DEL DISCO
2	15	50
5	25	80
10	40	90
15	45	90
20	50	90
30	60	90

tabla III.2

Es notoria la buena función del lavado de aisladores en la superficie superior del disco por la lluvia natural, mientras que la superficie inferior tiene una función notable.

En el caso de aisladores de disco, el lavado por lluvia es más efectivo para diámetros más cortos.

El lavado efectivo debido a lluvia natural es obtenido por la siguiente formula:

LAVADO	SAL DEPOSITADA ANTES DE LA PRECIPITACION	-	SAL DEPOSITADA DESPUES DE LA PRECIPITACION
EFFECTIVO	SAL DEPOSITADA DESPUES DE LA PRECIPITACION		

En el caso de que en el lugar no existan condiciones meteorológicas favorables de precipitación, se han creado diferentes métodos para el lavado del aislamiento.

III.16 MEDIDAS PARA EVITAR FALLAS POR CONTAMINACION

Las medidas para evitar las fallas por contaminación en el aislamiento pueden ser categorizadas de la siguiente manera:

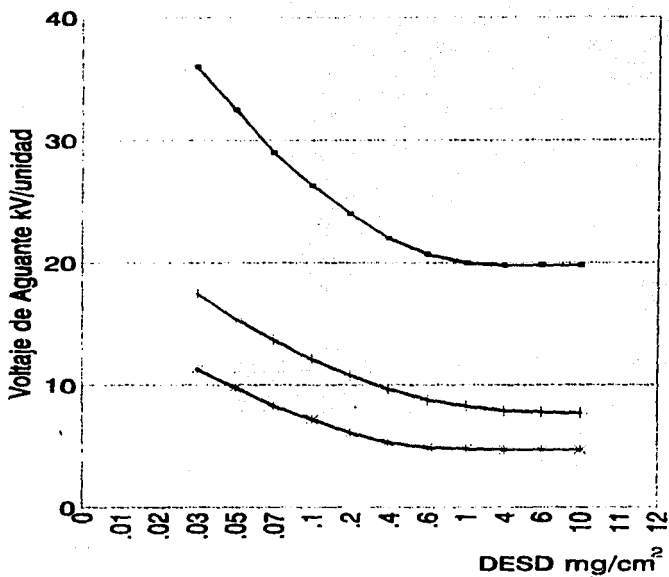
- Aplicación del aislador de suspensión tipo niebla.
- Aplicación del aislador de suspensión de vidrio semiconductor
- Lavado del aislamiento.
- Cubierta de grasa compuesta.
- Instalación interior.

En las posteriores fotografías se muestran algunas de estas medidas; se muestra del lavado del aislamiento en línea viva y mostrando las diferentes técnicas para este propósito, siendo estas, el subir por la misma estructura de la torre, auxiliados por helicóptero y/o plataformas.

De igual forma se anexa la gráfica III.8 donde es muy notorio que el voltaje de aguante del aislador de vidrio semiconductor es sumamente superior en comparación con los tipo standard y niebla.

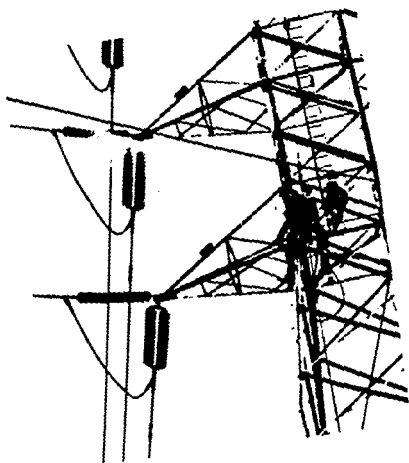
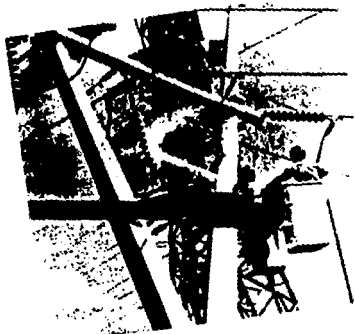
III.17 SELECCION DEL AISLADOR

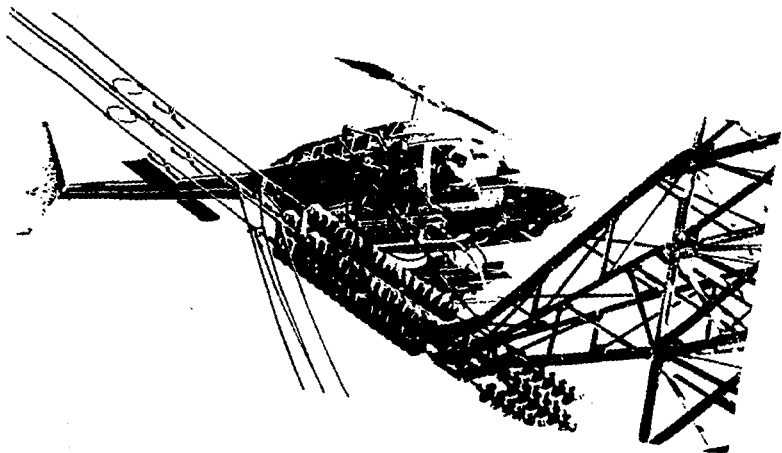
La selección que hará el diseñador será el de aquel aislamiento que de la menor longitud (número de unidades) para el mismo funcionamiento de anticontaminación. Es por esta causa es que el aislador tipo niebla es diseñado para aplicarlo en áreas sumamente contaminadas, debido a que tiene una gran distancia de fuga y un voltaje de aguante más alto que el tipo standard.



- + AIS. VIDRIO SEMI-COND.
- + AISLADOR TIPO NIEBLA
- + AISLADOR TIPO STANDARD

CARACTERISTICAS DEL VOLTAJE DE AGUANTE DEL AISLADOR DE VIDRIO-SEMICONDUCTOR





CAPITULO IV

EJEMPLO DE LA COORDINACION DE AISLAMIENTO EN DOS LINEAS DE TRANSMISION DE CFE

L I N E A D E T R A N S M I S I O N

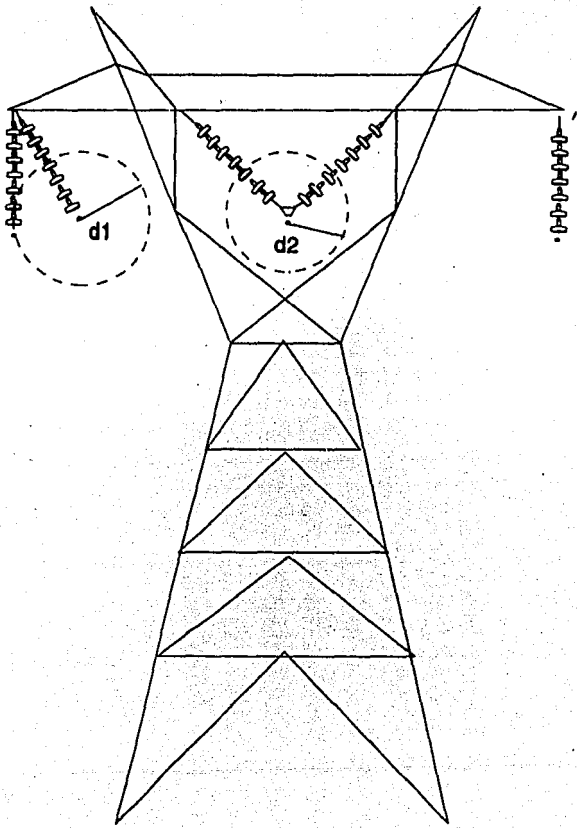
" TUXPAN - TEXCOCO "

IV.1 DATOS GENERALES

TENSION NOMINAL DEL SISTEMA	:	400 kV
NUMERO DE CIRCUITOS	:	1 CIRC.
NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE	:	3 COND./FASE
CALIBRE DEL CONDUCTOR	:	1113 MCM ACSR
LONGITUD DE LA LINEA	:	255 km

IV.2 DATOS COMPLEMENTARIOS

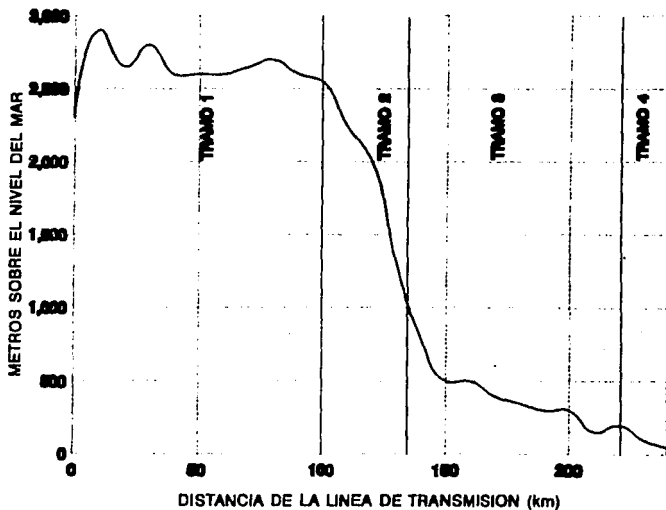
Para la obtención de parte de estos datos será necesario auxiliarnos del plano topográfico donde se muestra la trayectoria de línea así como las zonas por donde cruza, obsérvese el plano de trayectoria anexo; y como se trata de un solo circuito se utilizará la silueta básica mostrada a continuación.



De aquí obtenemos los datos de altura sobre el nivel del mar con respecto a los kilómetros de avance de la línea, de igual forma obtendremos los criterios necesarios para la obtención del DESD.

Con los puntos de inflexión se realiza la gráfica correspondiente a los kilómetros contra m.s.n.m., tal gráfica es la IV.1 que a continuación se muestra.

PERFIL TOPOGRAFICO DE LA L.T. TUXPAN-TEXCOCO
400 kv, 1C, 3COND/FASE, 1113 ACSR, 255 km



gráfica IV.1

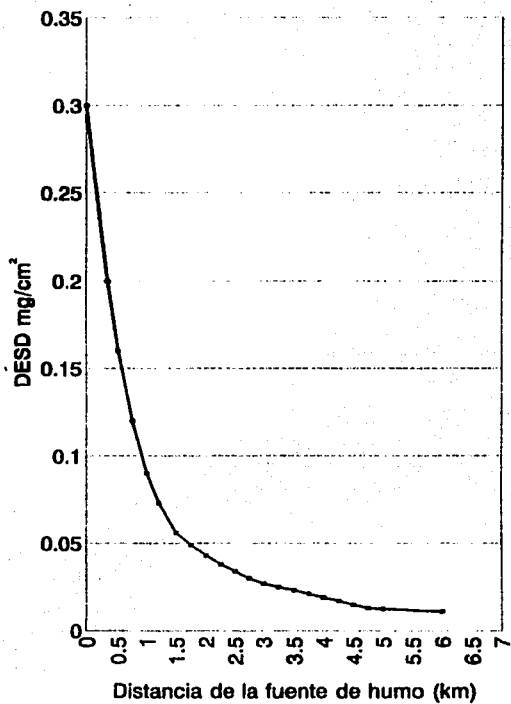
Después de analizar la trayectoria tanto por los grados de contaminación como por la altura, se llega a la determinación de seccionar la línea en cuatro tramos. A continuación se analizará el tramo número 1.

IV.3 COORDINACION POR CONTAMINACION

Para este tramo se analizan las posibles fuentes contaminantes, llegando a la conclusión de tener un DESD de .015 mg/cm³ ya que como criterio se tomó una distancia de 5 km de la zona de contaminación, obsérvese la gráfica IV.2.

DATOS

TRAMO : 1
DEL km : 0 AL km : 100
TENSION NOMINAL : 400 kV
TENSION MAXIMA DE DISEÑO (Vd) : 420 kV
GRADO DE CONTAMINACION (DESD) : .015 mg/cm³



DATOS MEDIDOS EN AREA INDUSTRIAL

gráfica IV.2

De la gráfica III.7 obtendremos el voltaje de aguante por unidad para este DESD en los aisladores tipo standard y niebla, CA-589 y CA-845 respectivamente (marca N.G.K.), los cuales son utilizados como referencia para la obtención de unidades de marca I.U.S.A. (52-8 STD y 52-8 N.), debido a la falta de información de este tipo por parte de esta empresa. Hay que hacer incapie que se eligen aislamientos que cumplan con características geométricas muy semejantes; obsérvese las características de estos aislamientos en la tabla IV.1.

Nota: Se pueden elegir una gran variedad de aislamientos en tipo suspensión (llámese marca o características geométricas), siempre y cuando se tengan los recursos económicos necesarios para la adquisición de esta gran variedad.

Por la siguiente formula encontraremos el número de unidades requeridas por contaminación:

$$\text{Unidades} = \frac{Vd * 1.1}{\sqrt{3} * TA}$$

donde:

Vd = Voltaje máximo de diseño

TA = Tensión de aguante del aislador

1.1 = Factor de seguridad del 10%

Para el tipo standard tendremos que:

TA = 16 kV

$$\text{Unidades} = (420 \text{ kV} * 1.1) / (\sqrt{3} * 16 \text{ kV})$$

$$\text{Unidades} = 17$$

$$\text{Unidades} = 17 \text{ STD } 280 \times 146 \text{ mm}$$

Para el tipo niebla tendremos que:

$$\text{TA} = 20.5 \text{ kV}$$

$$\text{Unidades} = (420 \text{ kV} * 1.1) / (\sqrt{3} * 20.5 \text{ kV})$$

$$\text{Unidades} = 13$$

$$\text{Unidades} = 13 \text{ NIEBLA } 321 \times 171 \text{ mm}$$

Resumiendo los resultados para este tramo:

CONCEPTO	TRAMO No. 1
DESD (mg/cm ²)	0.015
TA:kV/unidad (STD)	16
TA:kV/unidad (NIEBLA)	20.5
Aisladores STD	17
Aisladores NIEBLA	13

IV.4 COORDINACION POR IMPULSO

DATOS

TENSION NOMINAL	:	400 kV
TENSION MAXIMA DE DISEÑO (Vd)	:	420 kV
TENSION DE AGUANTE POR IMPULSO DE MANIOBRA (NBAM)	:	1050 kV
TENSION DE AGUANTE POR IMPULSO DE RAYO (NBAI)	:	1425 kV
ALTURA DE DISEÑO	:	2800 msnm

Los datos de NBAI y NBAM se obtuvieron de la tabla II.4 .

Primero obtendremos las distancias mínimas requeridas d_1 y d_2 de la silueta de la torre mostrada con anterioridad para este tramo.

IV.4.1 PARA IMPULSO DE RAYO

1) En primera instancia se hará la corrección por altitud :

$$bo/b = \text{EXP}^{(H-1000/8150)} \quad H = 2800 \text{ msnm}$$

$$bo/b = 1.24$$

- 2) Corrección de la tensión de aguante (Tensión de Aguante Requerida).

$$\text{NBAIC} = \text{NBAI} * \text{bo/b}$$

$$\text{NBAIC} = 1425 \text{ kV} * 1.24$$

$$\text{NBAIC} = 1777.18 \text{ kV}$$

- 3) Obtención de la distancia mínima por rayo d_1 . Para d_1 utilizaremos el factor de gap (k) de la configuración Conductor-Cruceta con referencia a la tabla II.5;

$$k = 1.55.$$

$$E_{10} = 361.11 + 138.69 * k$$

$$E_{10} = 361.11 + 138.69 * 1.55$$

$$E_{10} = 576.389 \text{ kV/m}$$

como :

$$\text{NBAI} = 0.961 * \text{TCF} \quad \text{entonces ;}$$

$$\text{TCFC} = \text{NBAIC} / 0.961$$

$$\text{TCFC} = 1777.18 \text{ kV} / 0.961$$

$$\text{TCFC} = 1849.30 \text{ kV}$$

de la formula 1.1

$$\text{TCF} = D * E_{10} \quad \text{tenemos que ;}$$

$$D = \text{TCFC} / E_{10}$$

$$D = 1849.30 \text{ kV} / 576.389 \text{ kV/m}$$

$$\underline{D = 3.20 \text{ m}}$$

Siendo $D = d_1$, esta es la distancia mínima a respetar por impulso de rayo al final de la cruceta.

Para la distancia d_2 se tomaran algunos valores exactamente igual que el calculo anterior.

- 1) La corrección por altitud permanece constante, de igual forma el Nivel Básico de Aislamiento Corregido y la Tensión Crítica de Flámeo Corregida.

$$b_0/b = 1.24$$

$$\text{NBAIC} = 1777.18 \text{ kV}$$

$$\text{TCFC} = 1849.30 \text{ kV}$$

- 2) El gradiente E_{50} tendrá un valor diferente a causa que el factor de gap será $k = 1.20$ para la configuración Conductor-Ventana.

$$E_{50} = 361.11 + 138.89 * k$$

$$E_{50} = 361.11 + 138.89 * 1.20$$

$$E_{50} = 527.77 \text{ kV/m}$$

entonces tendremos ;

$$D = TCFC / E_{50}$$

$$D = 1849.30 \text{ kV} / 527.77 \text{ kV/m}$$

$$D = \underline{3.50 \text{ m}}$$

Este valor es d_2 , valor en distancia mínima en al ventana por impulso de rayo.

IV.4.2 PARA IMPULSO DE MANIOBRA

Para d_1 y d_2 se realizarán nuevamente cálculos solo que ahora tomando esta consideración.

- 1) El factor de corrección por altitud se respeta.

$$b_o/b = 1.24$$

- 2) Corrección de la tensión de aguante (Tensión de Aguante Requerida por Maniobra)

$$NBAMC = NBAM * (b_o/b)^m$$

donde "m" se obtiene de la gráfica II.1, teniendo un valor de 0.68 para aislamiento de fase a tierra con el valor de 1050 kV (NBAM).

$$NBAMC = 1050 \text{ kV} * (1.24)^{(0.68)}$$

$$NBAMC = 1215.39 \text{ kV}$$

3) Obtención de la distancia mínima por maniobra d_1 ; $k = 1.55$.

$$NBAM = 0.922 * TCFM \quad \text{entonces,}$$

$$TCFM = NBAM / 0.922$$

$$TCFMC = 1215.39 \text{ kV} / 0.922$$

$$TCFMC = 1328.21 \text{ kV}$$

de la formula 2.1

$$TCFM = 3400 * k / (1+(8/D))$$

despejando D, nos queda finalmente;

$$D = 8 * TCFM / ((3400 * k) - TCFM)$$

$$D = 8 * TCFMC / ((3400 * k) - TCFMC)$$

sustituyendo valores;

$$D = 8 * 1318.21 \text{ kV} / ((3400 * 1.55) - 1318.21 \text{ kV})$$

$$D = \underline{2.66 \text{ m}}$$

D es la distancia mínima d_1 en la cruceta por maniobra.

Para d2 tendremos que nuevamente variar el factor de gap,
 $k = 1.20$.

1) Los siguientes valores permanecen constantes:

$$bo/b = 1.24$$

$$NBAMC = 1215.39 \text{ kV}$$

$$TCFMC = 1318.21 \text{ kV}$$

2) Lo restante es aplicar la formula de distancia para

$$k = 1.20.$$

$$D = 8 * 1318.21 \text{ kV} / ((3400 * 1.20) - 1318.21 \text{ kV})$$

$$D = \underline{3.81 \text{ m}}$$

D es la distancia mínima d2 en la ventana por maniobra.

Resumiendo resultados de distancias mínimas:

CONCEPTO	DISTANCIA MINIMA POR MANIOBRA (m)	DISTANCIA MINIMA POR RAYO (m)
CONDUCTOR-CRUCETA	2.66	3.20
CONDUCTOR-VENTANA	3.81	3.50

Las distancias mínimas que llevara la torre en el tramo No. 1 son:

- Conductor-Cruceta "d1" : 3.20 m
- Conductor-Ventana "d2" : 3.81 m

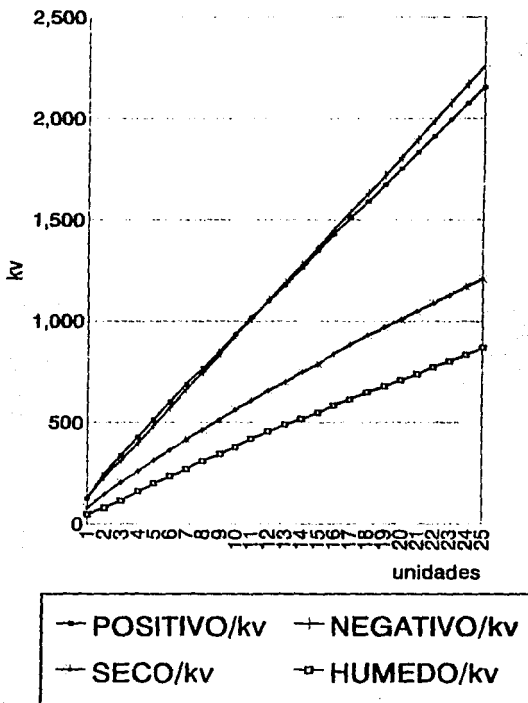
Ya que son las distancias mayores, y nos brindan una mejor seguridad contra flámeos.

La selección del aislador apropiado debe hacerse comparando los aisladores obtenidos en los cálculos por contaminación y los que se obtendrán en esta parte, además deberá cumplir con las distancias mínimas de no-flámeo.

IV.5 SELECCION DEL AISLADOR

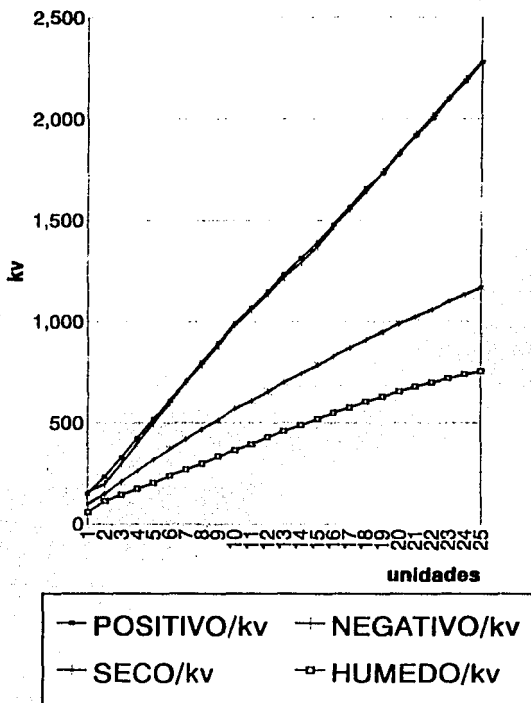
Para la selección del aislador por impulso, tanto niebla como standard nos auxiliaremos de las gráficas IV.3 y IV.4 . Estas gráficas fueron realizadas bajo las normas I.E.C. y algunas otras que se mostrarán más adelante son bajo normas A.N.S.I.; pero en todos los cálculos realizados para la obtención de la Coordinación de Aislamiento serán utilizadas las normas I.E.C. debido a que la norma A.N.S.I. es escasamente usada a nivel mundial y solo se limita por lo regular, a los cálculos hechos en los Estados Unidos de Norteamérica. De igual manera solo nos importaran la cantidad de aisladores en onda positiva, ya que no podemos cambiar de filosofía, - es decir no debemos hacer mezcolanza entre onda positiva y negativa ya que son de comportamientos muy diferentes - .

CARACTERÍSTICAS DE ESFUERZOS DE FLAMEO DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN NGK 280X170 mm STD
 BASADOS EN PRUEBAS PRODUCIDAS SEGUN IEC PUIS 383 Y B.S. 137



gráfica IV.3

CARACTERÍSTICAS DE ESFUERZOS DE FLAMEO DE AISLADORES DE SUSPENSION NGK 320X170 mm NIEBLA
 BASADOS EN PRUEBAS PRODUCIDAS SEGUN REC PUB 363 Y B.S. 137



gráfica IV.4

Para la obtención de la cadena de aisladores se utilizará la tensión crítica de flámeo corregida por Impulso de Rayo ya que no se cuenta con información de aislamientos sometidos a Impulso de Maniobra por parte del fabricante.

TCFC = 1777.18 kV

Este valor tiene que ser cubierto por determinadas unidades. De la gráfica IV.3 se tiene que :

Unidades requeridas por impulso : 22 STD 280X146 mm

Para el tipo niebla (gráfica IV.4) se tiene:

Unidades requeridas por impulso : 21 NIEBLA 321x171 mm

Resumamos número de aisladores para la cadena por impulso y por contaminación.

CONCEPTO	STANDARD	NIEBLA
IMPULSO	22	21
CONTAMINACION	17	13

Los siguientes cálculos son para determinar los aisladores adecuados que cumplan con las distancias mínimas.

La longitud de la cadena en la cruceta:

Distancia mínima : 3.20 m

Para el tipo standard en contaminación e impulso:

Longitud de la cadena en impulso (LC_i) = $146 * 22 / 1000$

$LC_i = 3.21$ m

Longitud de la cadena en contaminación (LC_c) = $146 * 17 / 1000$

$LC_c = 2.48$ m

Para el tipo niebla en las mismas circunstancias:

$LC_i = 171 * 21 / 1000$

$LC_i = 3.59$ m

$LC_c = 171 * 13 / 1000$

$LC_c = 2.22$ m

En esta parte de la línea no es muy necesario la colocación del aislador niebla por su bajo índice de contaminación, por lo cual el aislador en la cruceta será el tipo standard y con 22 unidades.

Longitud de la cadena en la ventana :

Aquí es el mismo procedimiento que el anterior, aunque el arreglo de la cadena deba ser en "V".

Distancia mínima : 3.81 m

Para el standard :

$$LC_1 = 146 * 22 / 1000$$

$$LC_1 = 3.21 \text{ m}$$

$$LC_c = 146 * 17 / 1000$$

$$LC_c = 2.48 \text{ m}$$

Para el niebla :

$$LC_1 = 3.59 \text{ m}$$

$$LC_c = 2.22 \text{ m}$$

Debido a que las descargas son muy aleatorias y a causa de que la contaminación es poca se toma la desición de colocar 22 + 1 aisladores en la ventana del tipo standard.

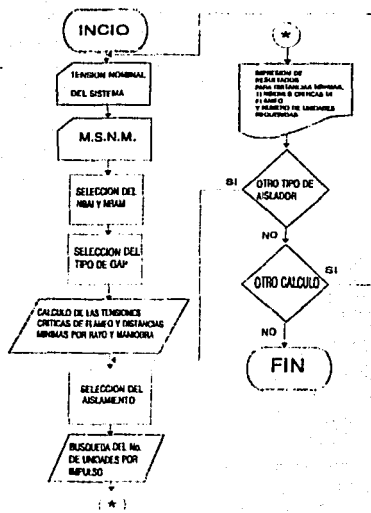
RESUMEN DE LA COORDINACION DE AISLAMIENTO

LÍNEA : TUXPAN-TEXCOCO	
<p>TENSION NOMINAL : 400 kv No. DE CIRCUITOS : 1 CONDUCTORES POR FASE : 3 CONDUCTOR : 1113 ACSR LONGITUD : 255 km</p>	<p>TRAMO : 1 DE 4 DEL km: 0 AL km :100 ALTURA DE DISEÑO : 2800 m</p>

DIMENSIONAMIENTO DEL AISLAMIENTO	
<p>POR IMPULSO</p> <p>TEN. MAX. : 420 kV NBI : 1425 kV NBAM : 1050 kV TCFI : 1777 kV TCFM : 1318 kV AISLADOR: STANDARD UNIDADES: 22</p>	<p>POR CONTAMINACION</p> <p>DESD : 0.015 mg/cm² KV/UNIDAD : 16 TIPO : STANDARD UNIDADES : 17</p>
<p>ARREGLO</p> <p>LATERAL : I 22 STD VENTANA : V 23 STD</p>	<p>DISTANCIAS MINIMAS</p> <p>LATERAL : 3.20 m VENTANA : 3.81 m</p>

A continuación solo se mostraran los resultados obtenidos por un programa en software el cual nos facilitará todos los cálculos por Impulso así como el número de aisladores requeridos para esta parte.

El siguiente diagrama de flujo muestra el funcionamiento de dicho programa.



TRAMO #2

DATOS :

TRAMO : 2

DEL km : 100 AL km : 135

Altura de Diseño : 2300 m.s.n.m.

DESD : 0.02 mg/cm³ a tres km de la zona de contaminación.

POR IMPULSO

Tensión Crítica de Flámeo Impulso de Rayo	= 1739.26 kV
Tensión Crítica de Flámeo Impulso de Maniobra	= 1269.30 kV
Distancia Mínima por Maniobra en la Cruceta "d1"	= 2.53 m
Distancia Mínima por Rayo en la Cruceta "d1"	= 3.01 m
Distancia Mínima por Maniobra en la Ventana "d2"	= 3.61 m
Distancia Mínima por Rayo en la Ventana "d2"	= 3.29 m
No. de unidades en la cruceta STD	21
No. de unidades en la cruceta Niebla	20
No. de unidades en la ventana STD	21
No. de unidades en la ventana Niebla	20

POR CONTAMINACION

Para un DESD de 0.02 mg/cm³ :

STANDARD:

TA = 14 kV

Unidades : 19

NIEBLA:

TA = 19.2 kV

Unidades : 14

RESUMEN DE LA COORDINACION DE AISLAMIENTO

LINEA : TUXPAN-TEXCOCO	
TENSION NOMINAL : 400 kv No. DE CIRCUITOS : 1 CONDUCTORES POR FASE : 3 CONDUCTOR : 1113 ACSR LONGITUD : 255 km	TRAMO : 2 DE 4 DEL km: 100 AL km :135 ALTURA DE DISEÑO : 2300 m

DIMENSIONAMIENTO DEL AISLAMIENTO	
POR IMPULSO TEN. MAX. : 420 kV NBAI : 1425 kV NBAM : 1050 kV TCFI : 1739 kV TCFM : 1269 kV AISLADOR: STANDARD UNIDADES: 21	POR CONTAMINACION DESD : 0.02 mg/cm ² KV/UNIDAD : 14 TIPO : STANDARD UNIDADES : 19
ARREGLO LATERAL : I 21 STD VENTANA : V 22 STD	DISTANCIAS MINIMAS LATERAL : 3.01 m VENTANA : 3.61 m

TRAMO #3

DATOS:

TRAMO : 3

DEL km : 135 AL km : 225

Altura de Diseño : 500 m.s.n.m.

DESD : 0.03 mg/cm² a 40 km de la costa, obsérvese la gráfica IV.5 .

POR IMPULSO

Tensión Crítica de Flámeo Impulso de Rayo : 1483 kV

Tensión Crítica de Flámeo Impulso de Maniobra : 1139 kV

Distancia Mínima por Maniobra en la Cruceta "d1" : 2.20 m

Distancia Mínima por Rayo en la Cruceta "d1" : 2.57 m

Distancia Mínima por Maniobra en la Ventana "d2" : 3.09 m

Distancia Mínima por Rayo en la Ventana "d2" : 2.80 m

Unidades STD : 17

Unidades Niebla : 17

POR CONTAMINACION

Para un DESD de .03 mg/cm²

STANDARD

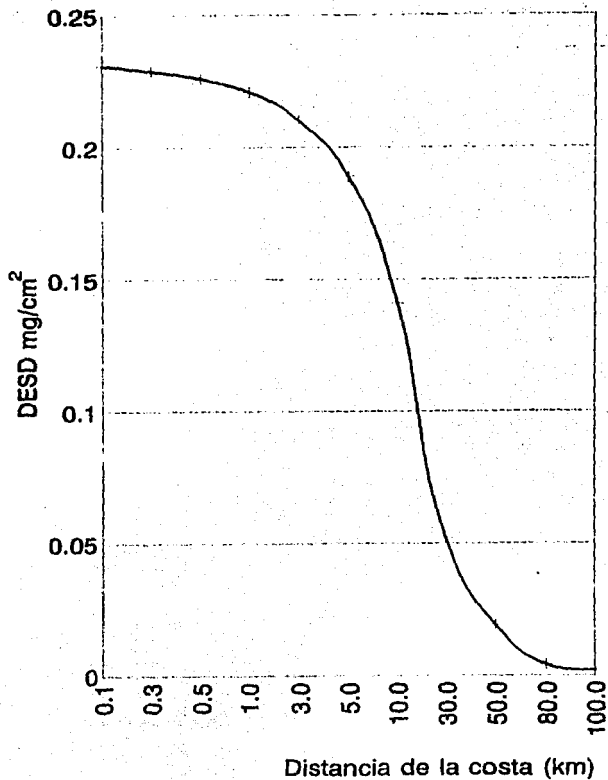
NIEBLA

TA = 13 kV

TA : 18.2 kV

Unidades : 20

Unidades : 15



DATOS MEDIDOS EN ZONA COSTERA

gráfica IV.5

RESUMEN DE LA COORDINACION DE AISLAMIENTO

LINEA : TUXPAN-TEXCOCO	
TENSION NOMINAL : 400 kv No. DE CIRCUITOS : 1 CONDUCTORES POR FASE : 3 CONDUCTOR : 1113 ACSR LONGITUD : 255 km	TRAMO : 3 DE 4 DEL km: 135 AL km :225 ALTURA DE DISEÑO : 500 m

DIMENSIONAMIENTO DEL AISLAMIENTO	
POR IMPULSO TEN. MAX. : 420 kV NBAI : 1425 kV NBAM : 1050 kV TCFI : 1483 kV TCFM : 1139 kV AISLADOR: STANDARD UNIDADES: 17	POR CONTAMINACION DESD : 0.03 mg/cm² kV/UNIDAD : 13 TIPO : STANDARD UNIDADES : 20
ARREGLO LATERAL : I 20 STD VENTANA : V 21 STD	DISTANCIAS MINIMAS LATERAL : 2.57 m VENTANA : 3.09 m

TRAMO #4

DATOS :

TRAMO : 4

DEL km : 225 AL km : 255

Altura de Diseño : 500 m.s.n.m.

DESD : 0.24 mg/cm³ de la gráfica IV.5 a 100 metros de la costa.

POR IMPULSO

Tensión Crítica de Flámeo Impulso de Rayo : 1483 kV

Tensión Crítica de Flámeo Impulso de Maniobra : 1139 kV

Distancia Mínima por Maniobra en la Cruceta "d1" : 2.20 m

Distancia Mínima por Rayo en la Cruceta "d1" : 2.57 m

Distancia Mínima por Maniobra en la Ventana "d2" : 3.09 m

Distancia Mínima por Rayo en la Ventana "d2" : 2.80 m

Unidades STD : 17

Unidades Niebla : 17

POR CONTAMINACION

Para un DESD de 0.24 mg/cm³ :

STANDARD

NIEBLA

TA = 8 kV

TA : 12 kV

Unidades : 33

Unidades : 22

Debido a que esta zona es altamente contaminada por su cercanía a la costa, aquí se muestra que es prioritario el uso del aislador tipo niebla por su mayor voltaje de aguante en condiciones contaminadas.

RESUMEN DE LA COORDINACION DE AISLAMIENTO

LINEA : TUXPAN-TEXCOCO	
TENSION NOMINAL : 400 kV No. DE CIRCUITOS : 1 CONDUCTORES POR FASE : 3 CONDUCTOR : 1113 ACSR LONGITUD : 255 km	TRAMO : 4 DE 4 DEL km: 225 AL km :255 ALTURA DE DISEÑO : 500 m

DIMENSIONAMIENTO DEL AISLAMIENTO	
POR IMPULSO TEN. MAX. : 420 kV NBAI : 1425 kV NBAM : 1050 kV TCFI : 1483 kV TCFM : 1139 kV AISLADOR: STANDARD UNIDADES: 17	POR CONTAMINACION DESD : 0.24 mg/cm² kV/UNIDAD : 12 TIPO : NIEBLA UNIDADES : 22
ARREGLO LATERAL : I 22 NIEBLA VENTANA : V 23 NIEBLA	DISTANCIAS MINIMAS LATERAL : 2.57 m VENTANA : 3.09 m

L I N E A D E T R A N S M I S I O N

" G U A M U C H I L I I - G U A S A V E " "

IV.6 DATOS GENERALES

TENSION NOMINAL DEL SISTEMA : 115 kV
NUMERO DE CIRCUITOS : 1 CIRC.
NUMERO DE CONDUCTORES POR FASE : 1 COND/FASE
CALIBRE DEL CONDUCTOR : 795 ACSR
LONGITUD DE LA LINEA : 47.5 km

IV.7 DATOS COMPLEMENTARIOS

Altura de Diseño : 30 m.s.n.m.

DESD : 0.05 mg/cm' a 30 km de la costa

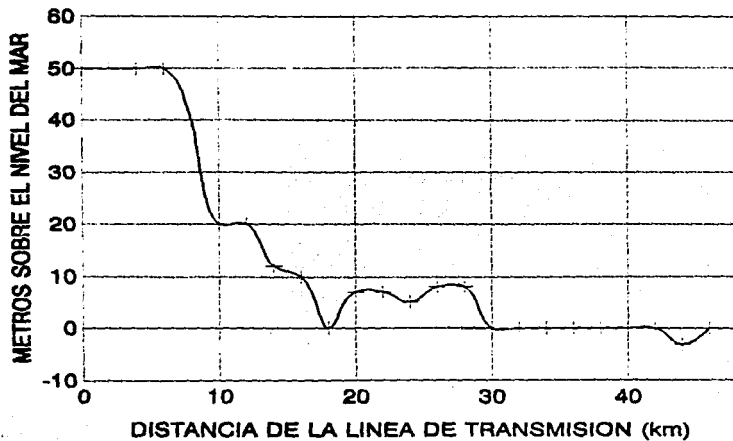
Tensión Máxima del Sistema : 123 kV

Nivel Básico de Aislamiento al Impulso de Rayo : 650 kV

Nivel Básico de Aislamiento al Impulso de Maniobra : 230 kV

Para esta línea se utilizarán las gráficas correspondientes a los aisladores N.G.K. con clasificación CA-501 y CA-837 en standard y niebla respectivamente (equivalencia I.U.S.A. 52-5 y 52-5 (N2)), ya que se trata de un solo conductor por fase; obsérvese las gráficas IV.6 y IV.7 . Se utilizará la misma silueta de la torre anterior.

PERFIL TOPOGRAFICO DE LA L.T. GUAMUCHIL II-GUASAVE
115 kv, 1 CIRCUITO, 1 COND./FASE, 795 ACSR, 47.5 km



IV.8 POR IMPULSO

Tensión Crítica de Flámeo al Impulso de Rayo	: 572 kV
Tensión Crítica de Flámeo al Impulso de Maniobra	: 249 kV
Distancia Mínima por Maniobra en la Cruceta "d1"	: 0.83 m
Distancia Mínima por Rayo en la Cruceta "d1"	: 0.99 m
Distancia Mínima por Maniobra en la Ventana "d2"	: 1.08 m
Distancia Mínima por Rayo en la Ventana "d2"	: 0.83 m
Unidades STD	: 7
Unidades Niebla	: 6

IV.9 POR CONTAMINACION

Para un DESD de 0.05 mg/cm³

STANDARD

TA = 10 kV

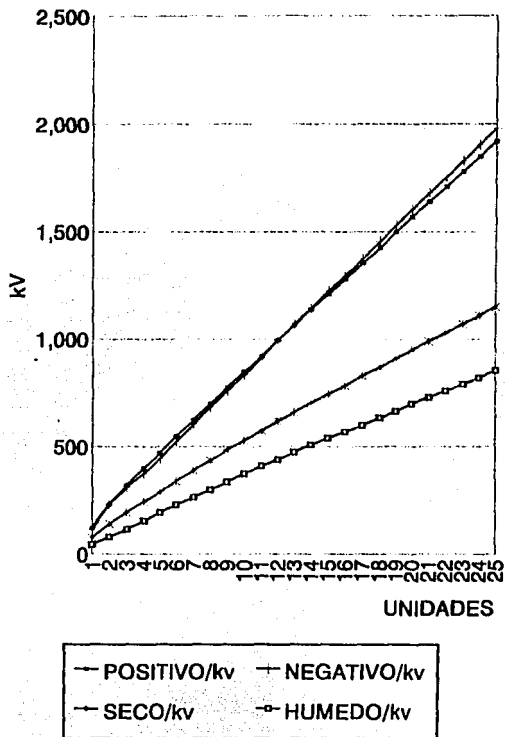
Unidades : 8

NIEBLA

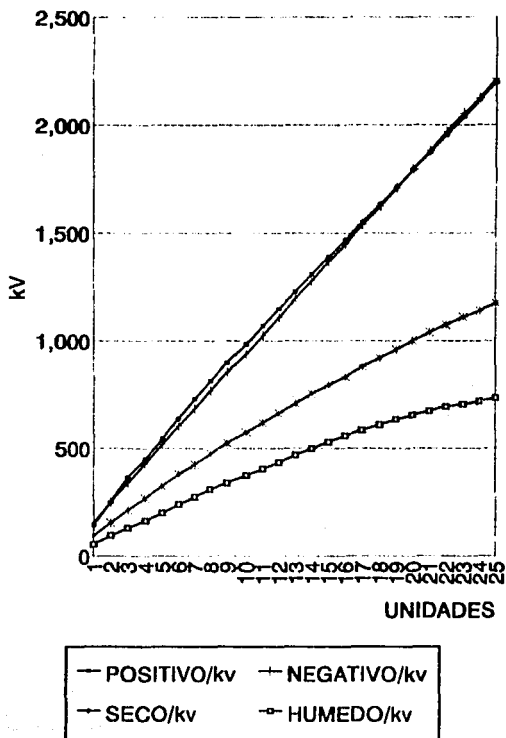
TA = 14 kV

Unidades : 6

CARACTERÍSTICAS DE ESFUERZOS DE FLAMEO DE AISLADORES DE SUSPENSION NOK 254X146 mm STD
 BASADOS EN FIBERAS PRODUCIDAS SEGUN IEC PUD 363 Y B.S. 137



gráfica IV.6



gráfica IV.7

RESUMEN DE LA COORDINACION DE AISLAMIENTO

LINEA : GUAMUCHIL II - GUASAVE	
TENSION NOMINAL : 115 kV No. DE CIRCUITOS : 1 CONDUCTORES POR FASE : 1 CONDUCTOR : 795 ACSR LONGITUD : 47.5 km	TRAMO : 1 DE 1 DEL km: 0 AL km :47.5 ALTURA DE DISEÑO : 30 m

DIMENSIONAMIENTO DEL AISLAMIENTO	
POR IMPULSO TEN. MAX. : 123 kV NBAI : 650 kV NBAM : 230 kV TCFI : 572 kV TCFM : 249 kV AISLADOR: STANDARD UNIDADES: 7	POR CONTAMINACION DESD : 0.05 mg/cm² kV/UNIDAD : 10 TIPO : STANDARD UNIDADES : 8
ARREGLO LATERAL : I 8 STD VENTANA : V 9 STD	DISTANCIAS MINIMAS LATERAL : 1.00 m VENTANA : 1.08 m

A continuación se mostrara las comparaciones de los aislamientos N.G.K. y I.U.S.A que son las que nos permitieron la selección de las unidades adecuadas para la Coordinación (tabla IV.1).

Además se mostraran solo algunos de los aislamientos N.G.K. , OHIO BRASS, L.A.P.P. y SEDIVER sometidos a pruebas A.N.S.I. e I.E.C., en donde observaremos que el comportamiento del aislamiento a diferentes formas de impulsos es muy variado y, por lo cual es de suma importancia llevar una sola filosofía de cálculos.

Y como estos son los últimos renglones que voy a escribir solo quiero remarcar las gracias a todos los que intervinieron en este trabajo, con su ayuda y apoyo. Y ti que tuviste la gentileza de leer u hojear este trabajo para informarte y/o por pura curiosidad para saber de que se trata este tema.

Como ultimo he de poner algunas líneas que me han impulsado psicológicamente como recién egresado, y que espero que a ti también te entusiasmen para seguir adelante.

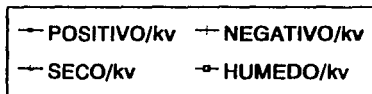
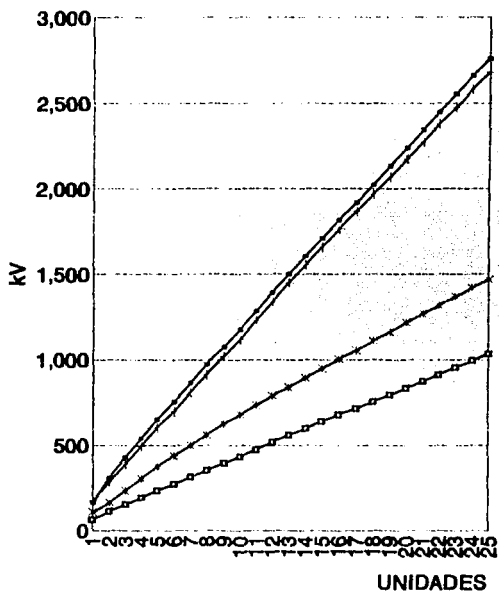
QUE EL CONOCIMIENTO REEMPLACE
A LA
IGNORANCIA
PARA QUE LOS PUEBLOS PUEDAN GRITAR
SU IDENTIDAD
EN
L I B E R T A D

Ing. Marcos Moreno B.

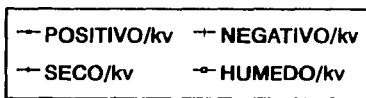
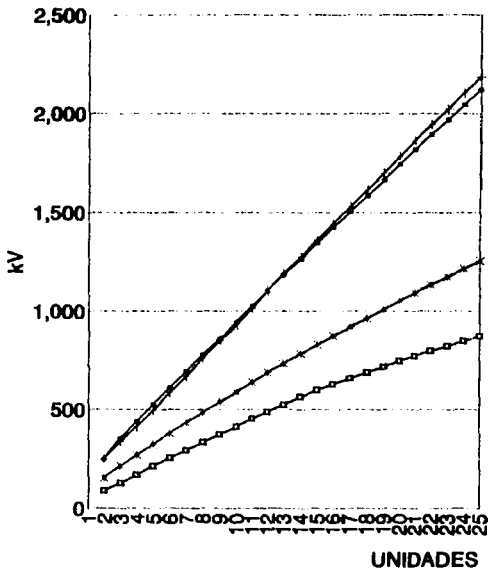
CLASIFICACION	MARCA	TIPO	DIAMETRO DEL DISCO (mm)	ESPACIAMIENTO (mm)	DISTANCIA DE PUGA (mm)
CA-589	N.G.K.	STANDARD	280	170	370
CA-845	N.G.K.	NIEBLA	321	171	540
52-8	I.U.S.A.	STANDARD	280	148	370
52-8	I.U.S.A.	NIEBLA	321	171	540
CA-501	N.G.K.	STANDARD	254	148	292
CA-837	N.G.K.	NIEBLA	292	159	470
52-5	I.U.S.A.	STANDARD	254	148	292
52-5 (N2)	I.U.S.A.	NIEBLA	280	148	445

tabla IV.1

CARACTERÍSTICAS DE ESFUERZOS DE FLAMEO DE AISLADORES DE SUIPERNON NGK 400X185 mm HIEBLA
 BASADOS EN PRUEBAS PRODUCIDAS SEGUN IEC PUB 383 Y D.S. 137

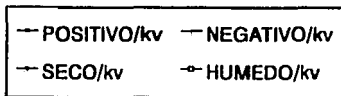
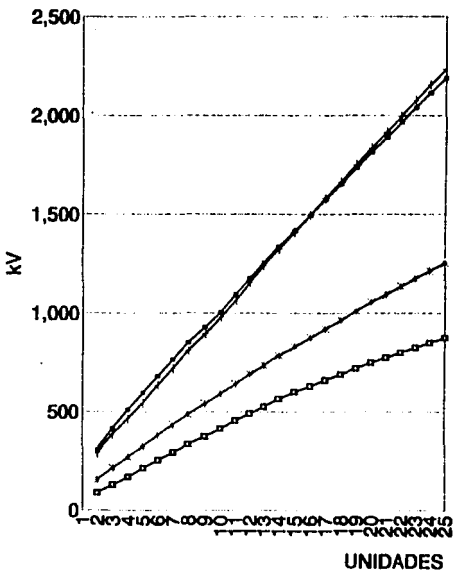


CARACTERÍSTICAS DE ESFUERZOS DE FLAMEO DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN LAPP 2542148 mm ØTD
 BASADOS EN PRUEBAS PRODUcidas EN CONCORDANCIA CON NORMALIZACIÓN USA C29.1-1987



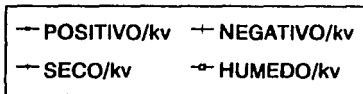
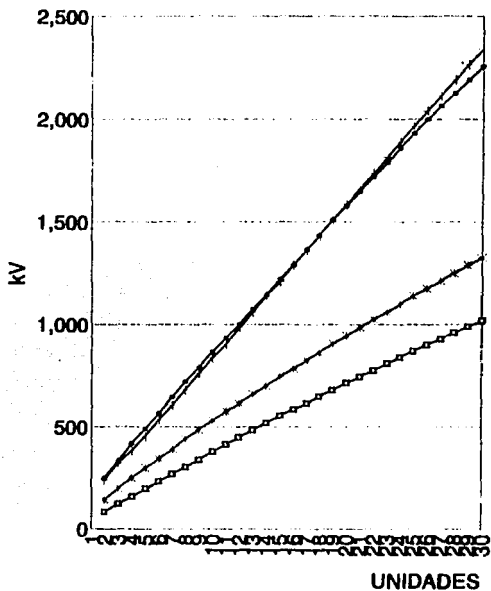
Impulso Normalizado 1.5/40 μ s

CARACTERÍSTICAS DE EFUERZOS DE FLAMEO DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN LAPP 264X168 mm MEDIDA
BASADOS EN PRUEBAS ANSI C84.1-1961

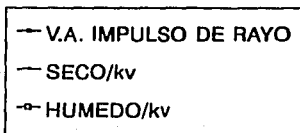
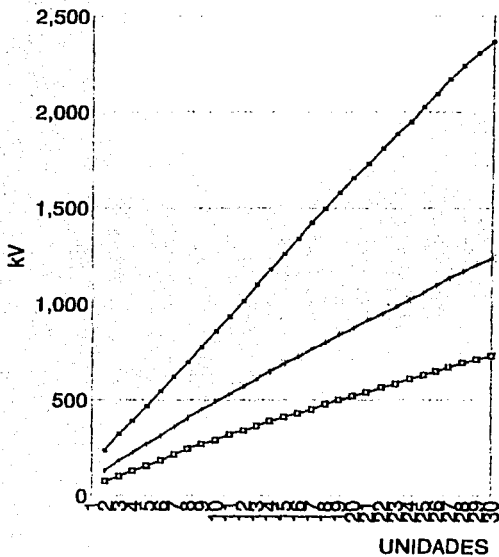


Impulso Normalizado 1.5/40 μ s

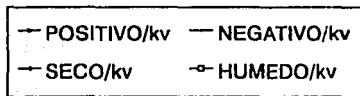
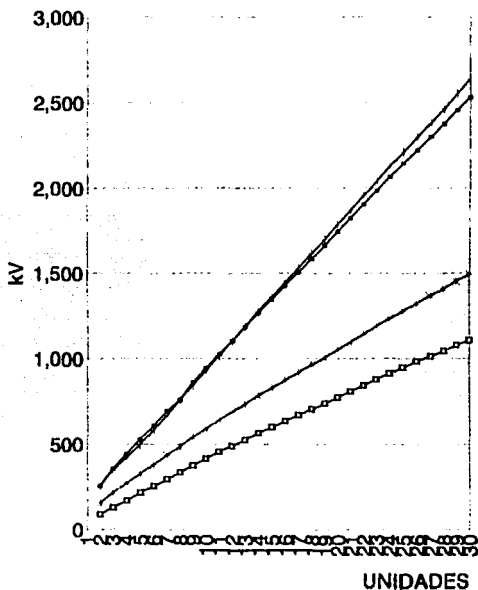
CARACTERÍSTICAS DE ESFUERZOS DE FLAMEO DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN OHIO BRASS 254X127 mm STD
 BASADOS EN PRUEBAS PRODUCIDAS EN CONCORDANCIA CON ANSI C99.1



CARACTERÍSTICAS DE EFUERZOS DE FLAMEO DE AISLADORES DE SUSPENSION SEORVER 254X146 mm NIBMA
 BASADOS EN PRUEBAS PRODUCTAS SEGUN IEC 8.9.137-1982



CARACTERÍSTICAS DE ESFUERZOS DE FLAMBO DE AISLADORES DE SUSPENSION SCOVER 254X148 mm STD
 BASADOS EN PRUEBAS PRODUCIDAS SEGUN ANSI C29.1.1979



CONCLUSIONES

La terminación de este trabajo me ha dejado una grata experiencia en el cálculo de las distancias mínimas y selección del tipo de aislamiento más apropiado para que las líneas de transmisión de energía eléctrica presenten los índices de salidas más bajos posibles.

Por desgracia las empresas que se dedican a la construcción, operación y mantenimiento de equipos de producción y distribución de este tipo de energía tienen por lo regular la política de adquisición de equipos y materiales a determinados proveedores, los cuales en bastantes ocasiones no contienen información complementaria de sus equipos a venta, - debido ya sea por protección de ellos mismos y/o por la venta de esta información a cantidades muy elevadas -, o por una causa posiblemente muy justificadas, la cual es que tal vez la importación de estos equipos sean muy elevados en comparación con las pérdidas económicas debido a las salidas de las líneas por fallas en los aislamientos propiamente dicho.

Pero lo anterior no es un estímulo para las empresas realicen sus proyectos con materiales no bien complementados en todas sus características, sino tener la información más completa de sus proveedores para que todos los proyectos a realizar sean de una confiabilidad muy alta.

A estas fechas se han hecho estudios sobre este tema de la Coordinación en todo el mundo, - incluyendo México - ; creando hipótesis de que en niveles de tensión en líneas de 765 kV o más la contaminación del aislamiento parece ser el más importante e inclusive el que controla el diseño del aislamiento. En muchos

casos, la contaminación puede ser un factor decisivo en todos los voltajes, pero otros factores pueden intervenir en esto como son: los claros mecánicos, efecto corona y ondas irruptivas del aislamiento, y las sobretensiones causadas por rayo y maniobra. Y dentro de las sobretensiones el calcular las distancias mínimas de seguridad para mantenimiento de las líneas energizadas (Línea Viva), - pero esto todavía esta en proceso de estudio -.

Este trabajo queda abierto a la inquietud del saber sobre la Coordinación de Aislamiento y los múltiples factores que intervienen en ella, para su complemento y/o mejoramiento, y de esta forma ofrecer resultados satisfactorios en la operación de las Líneas de Transmisión, preferentemente en Líneas Mexicanas.

BIBLIOGRAFIA

- " COORDINACION DE AISLAMIENTO (Especificación CFE L0000-06 Febrero 1980) "
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

- " COORDINACION DE AISLAMIENTO (Especificación CFE L0000-06 Julio 1991) "
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

- " SEMINARIO DE ALTA TENSION (Sobre Voltajes y Coordinación de Aislamiento) "
CIGRE-MEXICO

- " A GUIDE ON THE APPLICATION OF INSULATORS IN CONTAMINATED ENVIRONMENTS "
NGK INSULATORS, Ltd. MIZUHO NAGOYA Japan

- " CARACTERISTICAS DE AISLADORES CONTAMINADOS Y CRITERIO DE DISEÑO PARA CONTAMINACION "
NGK INSULATORS, Ltd. MIZUHO NAGOYA Japan

- " NGK INSULATORS CATALOG NUMBER 65 "
NGK INSULATORS, Ltd. MIZUHO NAGOYA Japan

- " TRANSMISSION AND DISTRIBUTION INSULATORS CATALOG
NUMBER 60 "
OHIO BRASS Co.

- " LAPP INSULATORS "
LAPP INSULATORS Co. Inc.

- " TOUGHENED GLASS INSULATORS SELECTION GUIDE
TRANSMISSION "
SEDDIVER INSULATORS Co.

- " CATALOGO GENERAL DE AISLADORES DE SUSPESION "
INDUSTRIAS UNIDAS SOCIEDAD ANONIMA

- EXPLICACION VERBAL DE LOS INGENIEROS DEL DEPARTAMENTO
DE ANTEPROYECTOS DE LINEAS DE TRANSMISION.