



Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"A R A G O N"

NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

DISEÑO DE UNA LINEA DE
TRANSMISION DE 750 KV

5107 - 29575

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

P R E S E N T A N
Manuel Morales Medina
Luciano González Sanjuan



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA

Sr. MANUEL MORALES MEDINA
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 16 de junio del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. PASCUAL RIVERA MUÑOZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "DISEÑO DE UNA LINEA DE TRANSMISION DE 750 KV.", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento, me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., julio 3 de 1980.
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

A mis padres, Manuel y Feliza, por su
apoyo y gran esfuerzo que me brindaron
durante la carrera.

A Carolina, mi novia, por su apoyo moral,
fué mi aliento y puso su empeño y cariño
para mecanografiar la presente.

A mis hermanos, Roberto, Rosario, Georgina
y Mario, que me alentaron durante toda la
carrera y me brindaron apoyo.

A mi familia, maestros, compañeros y amigos.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA

Sr. LUCIANO GONZALEZ SANJUAN
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 16 de junio del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. PASCUAL RIVERA MUÑOZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "DISEÑO DE UNA LINEA DE TRANSMISION DE 750 KV.", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento, me permito comunicarle que ha si do aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., julio 3 de 1980.
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería
Unidad Académica
Departamento de Servicios Escolares.

SRR TRTD'la.

A mis padres

Quintín y Rosa María

Gracias

A mis hermanos

NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

A mis compañeros y amigos de Atencingo, Puebla.

A mis Maestros, compañeros y amigos de la
Escuela Nacional de Estudios Profesionales
Aragón.

Agradecemos al Ing. Pascual Rivera Muñóz
su gran ayuda en la elaboración de la
presente.

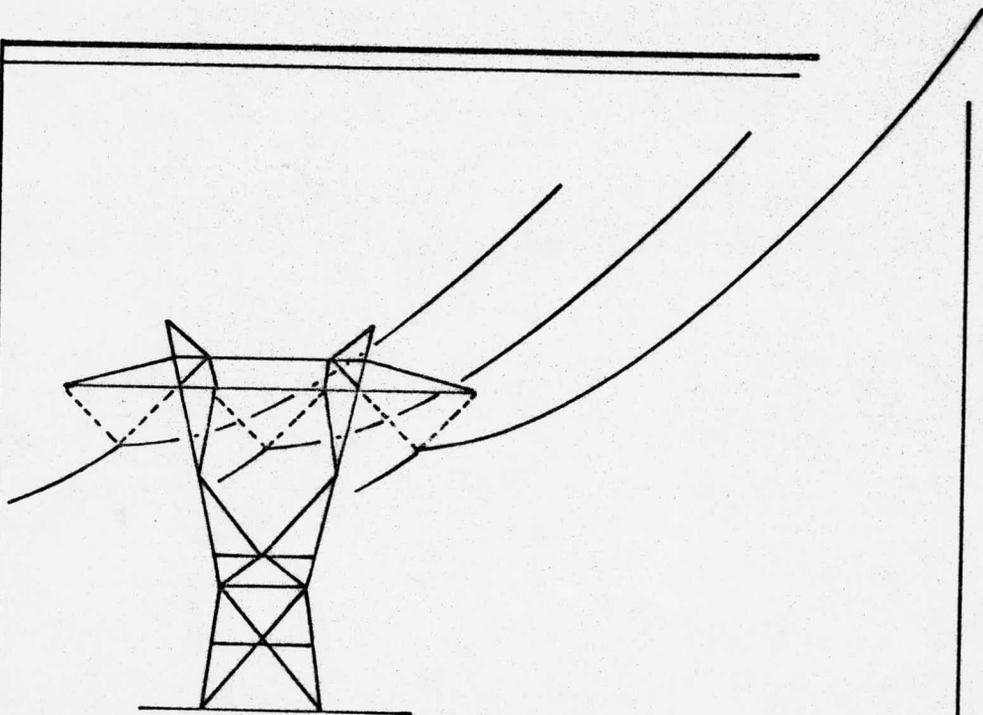
Con gratitud a la

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

"... has de saber que yo nací, por querer del cielo, en esta nuestra edad de hierro, para resucitar en ella la de oro, o la dorada, como suele llamarse. Yo soy aquel para quien están guardados los peligros, las grandes hazañas, los valerosos hechos..."

MIGUEL DE CERVANTES SAAVEDRA



DISEÑO DE UNA LINEA DE
TRANSMISION DE 750 KV

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION	i
CAPITULO 1. AISLAMIENTO	1
1.1.- Nivel básico de aislamiento al impulso..	1
1.2.- Aislamiento para sobretensiones produ- cidas por la operación de interruptores..	7
1.3.- Aislamiento para tensión a frecuencia nominal	24
1.4.- Aislamiento para contaminación atmosfé- rica	24
CAPITULO 2. CONDUCTORES	32
2.1.- Características mecánicas	40
2.2.- Tensión mecánica máxima	41
CAPITULO 3. CABLES DE GUARDA	42
3.1.- Características mecánicas	43
CAPITULO 4. CADENAS DE AISLADORES	44

4.1.- Aisladores	44
4.2.- Herrajes	44
4.3.- Cargas mecánicas	45
4.4.- Resistencia mecánica	46
CAPITULO 5. ACCESORIOS	47
5.1.- Separadores	47
5.2.- Conexión a tierra	48
CAPITULO 6. TORRES	49
CAPITULO 7. CARACTERISTICAS ELECTRICAS	55
7.1.- Secuencia positiva y negativa	55
7.2.- Secuencia cero	56
7.3.- Impedancia y potencia características (SIL)	56
CAPITULO 8. PROTECCION CONTRA RAYOS	57
8.1.- Angulo máximo de protección	60
8.2.- Resistencia a tierra	62
8.3.- Predicción del número de salidas	65

CAPITULO 9. DISTANCIAS REGLAMENTARIAS	67
9.1.- Distancia mínima de los conductores al piso	67
9.2.- Distancia mínima en cruzamientos con <u>o</u> tras líneas	68
9.3.- Distancias de los conductores al borde del derecho de vía	70
CAPITULO 10. DERECHO DE VIA	71
CONCLUSIONES	77
BIELIOGRAFIA	85

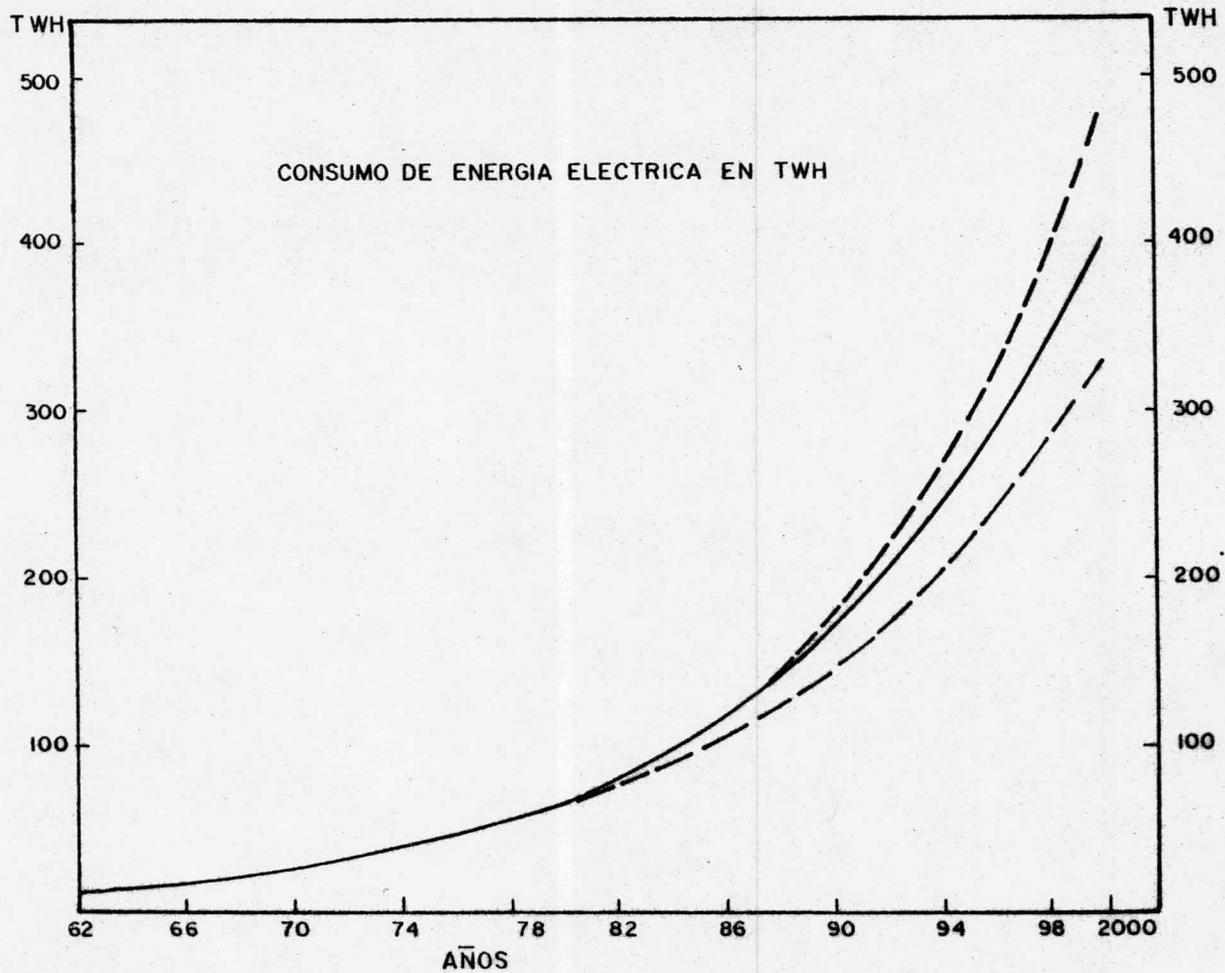
INTRODUCCION

El acelerado crecimiento de la población y el desarrollo económico en las principales ciudades del país trae consigo la necesidad de satisfacer un mayor número de servicios tales como abastecimiento de agua, transportes, habitación, escuelas, asistencia médica, etc. esto necesariamente implica incrementos en la generación transmisión y distribución de energía eléctrica, para satisfacer las demandas de cargas industriales, comerciales y residenciales.

La Comisión Federal de Electricidad elaboró un pronóstico de consumo y demanda máxima anual al año dos mil, en la gráfica 1 se observa que el crecimiento de la potencia consumida es exponencial y se puede advertir que para el año dos mil el consumo será de 5 a 7 veces el de 1980.

Las principales fuentes de energía son las plantas hidroeléctricas y en el futuro serán las nucleoelectricas, los recursos hidroeléctricos dependen de la hidrografía, y a medida que se aprovechan, la distancia entre estos centros de generación y los centros de consumo se incrementan. Las plantas nucleoelec-

tricas deben instalarse en lugares alejados a los centros de consumo, por factores de seguridad. Para transmitir grandes bloques de energía eléctrica a grandes distancias con eficiencia y economía, se debe transmitir en ultra alta tensión. Dentro de los planes de Comisión Federal de Electricidad para la transmisión de la energía eléctrica desde los centros de generación hasta los centros de consumo, se contempla que a corto plazo esta se lleve a cabo por medio de líneas de transmisión de 750 KV.



GRAFICA : I

CAPITULO 1

AISLAMIENTO

1.1 NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO AL IMPULSO

La sobretensión con la que se debe diseñar el equipo de potencia se denomina "Nivel Básico de Aislamiento al Impulso" "NBI".

El nivel básico de aislamiento al impulso "BIL" es el valor de sobretensión que el aislamiento de un equipo eléctrico debe soportar repetidamente sin que se presente la carga disruptiva. El término "BIL" se conoce en las normas nacionales como: Nivel Básico al Impulso "NBI".

El equipo eléctrico está sujeto a sobretensiones y para evitar fallas, tales como, arcos, calentamientos y otras, es necesario que exista un dieléctrico entre las partes vivas y soportes, entre partes vivas, entre las partes vivas y torres,

etc., este dieléctrico puede ser el aire, aceite, hexafloruro de azufre, y otros. Si por alguna razón el sobrevoltaje es tal que rompe la rigidez dieléctrica del dieléctrico se establece un arco y puede dañar el equipo.

La selección del nivel básico de aislamiento al impulso para una línea de transmisión o para cualquier elemento de un sistema eléctrico de potencia, se basa fundamentalmente en la aplicación de las normas existentes tal como: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC STANDARD) publicaciones 71-1 y 71-2.

Para hacer uso de esta norma es necesario conocer los valores de sobretensiones provocadas por la operación de interruptores. La forma de obtener el valor crítico de la sobretensión esperada es a través del uso de programas de computadores o bien con la ayuda de un analizador de redes (TNA).

De acuerdo con las normas IEC STANDARD el valor mínimo de sobretensión en por unidad por la operación de interruptores

para 760 KV es 2.08 p.u. sin embargo con el uso de interruptores encapsulados en hexafloruro de azufre se logran sobretensiones hasta de 1.7 p.u. y menores. El valor esperado, en la línea de transmisión en el presente estudio será 1.7 p.u.

También es necesario conocer la relación entre el valor de voltaje de impulso de rayo e impulso por operación de interruptores. Las normas establecen que para sistemas no protegidos (o no protegidos efectivamente) con pararrayos, se debe considerar el valor más alto de esta relación en la tabla 1.A. Estos valores altos se basan en la relación que se obtiene normalmente entre las sobretensiones por descargas atmosféricas y por la operación de interruptores.

Haciendo uso de la tabla de las normas I.E.C. 71.1 así como del valor de sobretensión esperada por la operación de interruptores (1.7) y el valor máximo de esta tabla (para el caso correspondiente) para la relación entre el valor de voltaje de impulso de rayo e impulso por operación de interruptores - (1.38) se concluye que el nivel básico de aislamiento es 1800

TABLA I.A. AISLAMIENTO ESTANDAR PARA $V_m \geq 300$ KV.

1	2	3		4	5	6
VOLTAJE MAXIMO DEL EQUIPO V_m (r.m.s)	VALOR BASE EN P.U. $V_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (CRESTA)	VALOR DE IMPULSO DE DESCARGA POR OPERACION DE INTERRUPTORES (CRESTA)		RELACION ENTRE VALOR DE VOLTAJE DE IMPULSO DE RAYO E IMPULSO POR OPERACION DE INTERRUPTORES	VALOR DE VOLTAJE POR IMPULSO DE RAYO (CRESTA)	
KV	KV	p.u.	KV		KV	
300	245	3.06	750	1.13	850	
		3.47	850	1.27	950	
362	296	2.86	850	1.12		
		3.21	950	1.24	1050	
420	343	2.76	950	1.11		
		3.06	1050	1.24	1175	
525	429	2.45	1050	1.12		
		2.74	1175	1.24	1300	
765	625	2.08	1300	1.11	1425	
		2.28	1425	1.36		
765	625	2.48	1550	1.21	1800	
		2.08	1300	1.10		
765	625	2.28	1425	1.32	1550	
		2.48	1550	1.19		
765	625	2.08	1300	1.09	2100	
		2.28	1425	1.38		
765	625	2.48	1550	1.26	1950	
		2.08	1300	1.16		
765	625	2.28	1425	1.26	2400	
		2.48	1550	1.47		
765	625	2.08	1300	1.55	2400	
		2.28	1425			

KV. En la tabla correspondiente aparece con línea gruesa la selección del nivel básico de aislamiento al impulso.

Debido a que la rigidez dieléctrica de los elementos cam bia con la temperatura y la altitud es necesario hacer una co rrección por este concepto.

La presión barométrica estándar (b) de 760 mm. de mercurio, y la temperatura estándar de bulbo húmedo (t) de 25°C establece una densidad relativa del aire de 1. La densidad relativa del aire, D, para cualquier presión barométrica y temperatura se cal cula por la relación

$$D = 0.386 \frac{b}{273 + t} \dots \dots \dots (1.1)$$

donde:

b = Presión barométrica (en mm. de mercurio)

t = Temperatura (°C)

El factor de corrección de la densidad del aire para una altitud de 2500 metros sobre el nivel del mar a la que corresponde una presión de 580 mm. de columna de mercurio y una tem-

peratura de 25°C es:

$$D = 0.386 \frac{580}{273 + 25} = 0.7512 \dots \dots \dots (1.2)$$

Con el aumento de la densidad del aire la rigidez dieléctrica del aire aumenta. Para espacios pequeños, la rigidez dieléctrica del aire a la frecuencia nominal es directamente proporcional a la densidad relativa del aire, esto es:

$$V = D V_0 \dots \dots \dots (1.3)$$

donde:

V = Voltaje crítico de flameo en cualquier densidad relativa del aire.

V₀ = Voltaje crítico de flameo en condiciones estándar de temperatura y presión.

El nivel básico del aislamiento al impulso referido a condiciones de prueba normalizadas:

- a) Presión barométrica de 760 mm. de columna de mercurio.
- b) 25°C de temperatura

es:

$$V_0 = \frac{V}{D} \dots \dots \dots (1.4)$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación

1.4 se tiene:

$$V_0 = \frac{1800}{0.7512} = 2395.92 = 2396 \text{ KV} \dots \dots (1.5)$$

Este nivel básico de aislamiento se puede lograr con el empleo de 29 aisladores de 146 mm. x 254 mm. Ø que garantiza un nivel básico de aislamiento al impulso de 2455 KV.

El nivel básico de aislamiento al impulso para las distancias mínimas a tierra a través del aire será 10% mayor que el de las cadenas de aisladores, es decir $2455 \times 1.1 = 2700.5 \text{ KV}$, esto se logra con una distancia en aire de:

$$146 \text{ mm.} \times 29 \times 1.1 = 4657.4 \text{ mm.} = 4.657 \text{ m.}$$

1.2 AISLAMIENTO PARA SOBRETENSIONES PRODUCIDAS POR LA

OPERACION DE INTERRUPTORES

La sobretensión máxima esperada de fase a tierra provocada por la operación de interruptores será igual a 1.7 veces la tensión nominal de fase a tierra valor de cresta, es decir:

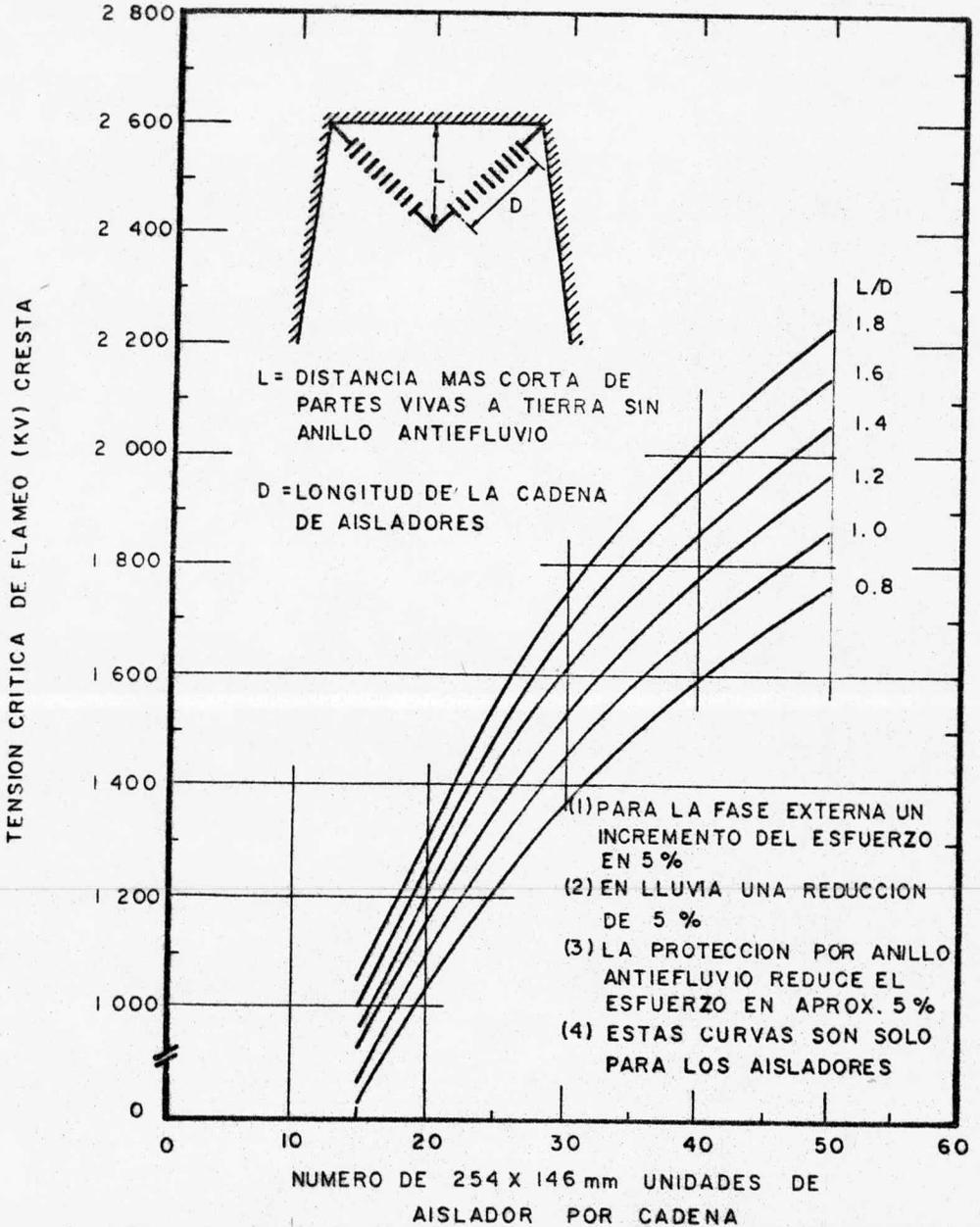
$$1.7(\sqrt{2}) (750) / \sqrt{3} = 1041 \text{ KV}$$

Para lograr este aislamiento se necesita alrededor de 1700 KV de tensión crítica de flameo en seco, valor de cresta para las cadenas de aisladores como se verá más adelante.

Dada la importancia de una línea de 750 KV, de la cual se requiere de continuidad de servicio solo se utilizarán cadenas en "V" que tienen la ventaja sobre las tangenciales que el desplazamiento vertical y horizontal es cero, es decir no hay desplazamiento, o balanceo por la influencia del viento en los conductores y cadenas de aisladores.

Para cadenas en suspensión en (V) 1700 KV de tensión crítica de flameo en seco se puede lograr de acuerdo con la gráfica 1.1 de la siguiente manera:

CASO	No. DE AISLADORES	L/D
i)	29	1.8
ii)	31	1.6
iii)	33	1.4
iv)	37	1.2
v)	41	1.0
vi)	46	0.8



GRAFICA: I.I TENSION DE FLAMEO EN CADENAS DE AISLADORES EN "V" PARA DISEÑO POR SOBRETENSION EN LA OPERACION DE INTERRUPTORES

donde:

L = es la longitud vertical desde el conductor hasta la torre.

D = es la longitud de la cadena de aisladores.

La longitud "D" de la cadena de aisladores normalizados

es:

$$D = (146) \times (\text{No. de aisladores}) \text{ mm.}$$

Para cada caso se tiene:

CASO	No. DE AISLADORES	LONG. DE LA CADENA "D"
i)	29	4235 mm.
ii)	31	4527 mm.
iii)	33	4819 mm.
iv)	37	5403 mm.
v)	41	5986 mm.
vi)	46	6716 mm.

De donde la longitud "L" medida desde el conductor hasta el cuerpo de la torre en forma vertical es:

$$L = D (\text{FACTOR } L/D) \dots \dots \dots (1.6)$$

para cada caso se obtiene:

CASO	L
i)	7623 mm.
ii)	7244 mm.
iii)	6747 mm.
iv)	6484 mm.
v)	5988 mm.
vi)	5374 mm.

La longitud "Y" medida a lo largo del aislador desde el cuerpo de la torre hasta el conductor es:

$$Y = \frac{L}{\cos \theta} \dots \dots \dots (1.7)$$

y si las cadenas están suspendidas con un ángulo de 45° se tiene:

$$Y = \frac{L}{\cos 45^\circ} \dots \dots \dots (1.8)$$

para cada caso se obtiene:

CASO	Y
i)	10781 mm.
ii)	10244 mm.
iii)	9542 mm.

CASO	Y
iv)	9170 mm.
v)	8468 mm.
vi)	7600 mm.

La longitud que hay que agregar a D para igualar a Y, es decir, la longitud "X" del estribo y la longitud "W" de herrajes que hay que agregar a la cadena para lograr el largo deseado es:

$$X + W = Y - D \dots \dots \dots (1.9)$$

Para cada caso se obtiene:

CASO	X + W
i)	6 546 mm.
ii)	5 717 mm.
iii)	4 723 mm.
iv)	3 767 mm.
v)	2 480 mm.
vi)	0 882 mm.

La longitud mínima del diámetro de la ventana es de 2L.

Para cada caso se tiene:

CASO	2L
i)	15 247 mm.
ii)	14 488 mm.
iii)	13 495 mm.
iv)	12 969 mm.
v)	11 969 mm.
vi)	10 749 mm.

Elaborando un resúmen se obtiene la tabla 1.B.

CASO	No. DE AISLADORES	LONGITUD DE LA CADENA "D" (mm.)	LONGITUD DE "L" (mm.)	LONGITUD DE "Y" (mm.)	X = W (mm.)	LONGITUD MINIMA DEL DIAMETRO DE LA VENTANA (mm.)
i)	29	4 235	7 623	10 781	6 546	15 247
ii)	31	4 527	7 244	10 244	5 717	14 488
iii)	33	4 819	6 747	9 542	4 723	13 495
iv)	37	5 403	6 484	9 170	3 767	12 969
v)	41	5 988	5 988	8 468	2 480	11 969
vi)	46	6 718	5 374	7 600	882	10 749

Tabla 1.B : Características físicas de las cadenas de aisladores y ventanas de la torre. Ver fig. 1.2.

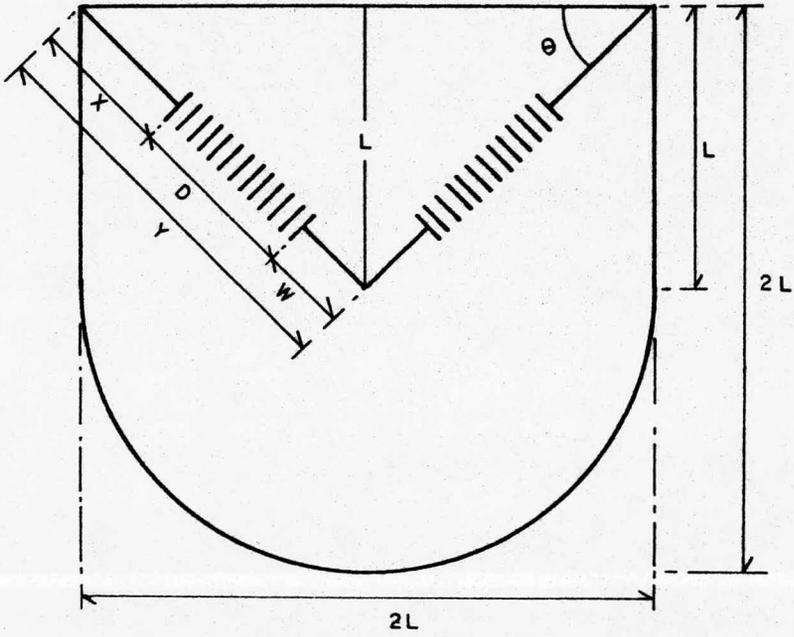


FIGURA:1.2

DIMENSIONES DE LA VENTANA DE TORRE

De la tabla anterior se observa:

- a) Las primeras dos alternativas demandan ventanas grandes, lo que implica tener torres grandes y también es tribos grandes.
- b) En las dos últimas alternativas las ventanas son más chicas lo que tiene como consecuencia menor cantidad de acero en las torres y estribos, sin embargo el número de aisladores es mayor.
- c) Las alternativas iii) y iv), ofrecen mejores características en lo que se refiere a las dimensiones de torre y aisladores.

Para determinar la tensión crítica de flameo se procede como sigue:

1.- Se obtiene para cada caso:

- a) Tensión crítica de flameo en seco para una fase central.
- b) Multiplicamos por 1.05 y se obtiene la tensión crítica de flameo en seco para una fase lateral de la fig. 1.1 para cada caso se obtiene:

TENSION CRITICA DE FLAMEO EN SECO

CASO	FASE CENTRAL	FASE LATERAL
i)	1700 KV	1785 KV
ii)	1700 KV	1785 KV
iii)	1700 KV	1785 KV
iv)	1700 KV	1785 KV
v)	1700 KV	1785 KV
vi)	1700 KV	1785 KV

2.- Se resta el 5% por la instalación de anillos antiefluvios que reducen el efecto corona y como consecuencia reducen la tensión crítica de flameo en un 5%. Para todos los casos se obtiene:

FASE CENTRAL	FASE LATERAL
1614 KV	1695.75 KV

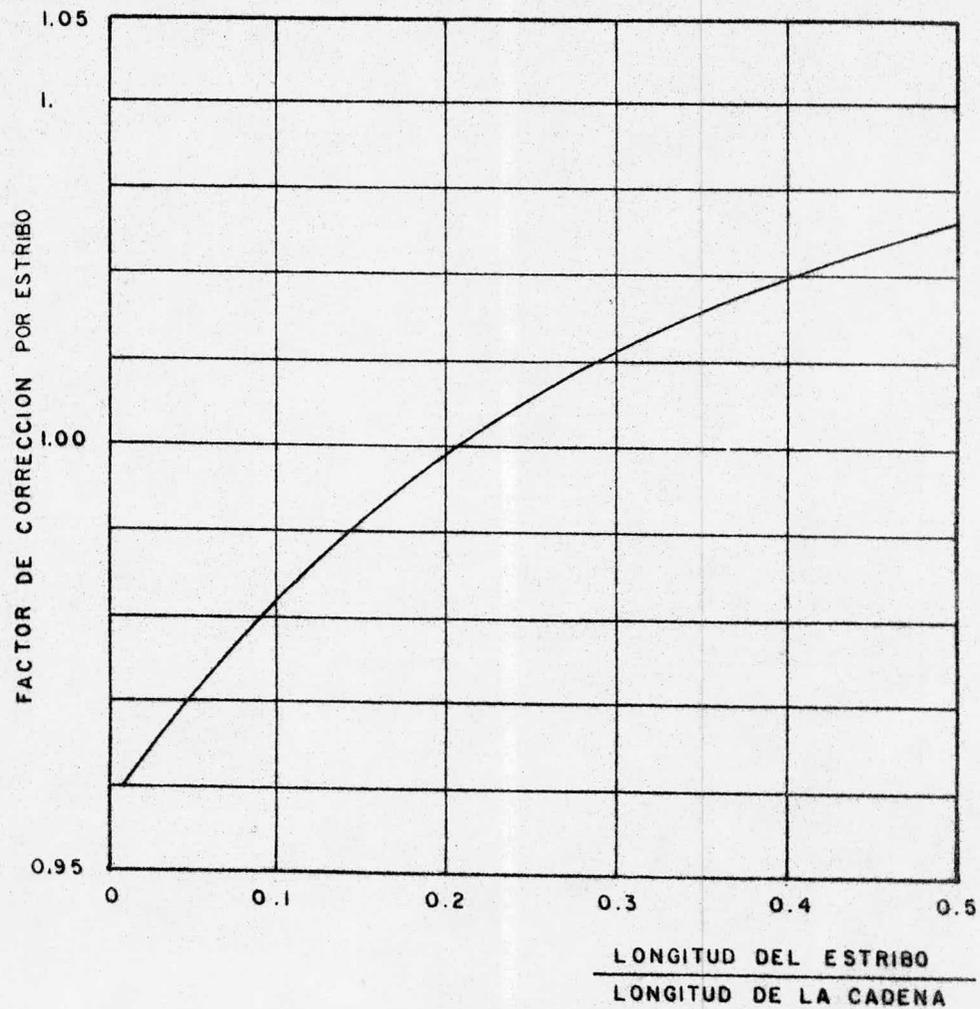
3.- Se obtiene la razón de la longitud del estribo a la longitud de la cadena (se supone una longitud del estribo de 0.5 metros), lo que implica para cada caso:

CASO	RAZON DE LA LONG. DEL ESTRIBO Y LA LONG. DE LA CADENA
i)	0.1180
ii)	0.1104
iii)	0.1037
iv)	0.0925
v)	0.0835
vi)	0.0744

4.- Con la razón obtenida en el paso 3, y la gráfica 1.3 se encuentra el factor de corrección para el estribo, para cada caso se obtiene:

CASO	FACTOR DE CORRECCION
i)	0.982
ii)	0.982
iii)	0.981
iv)	0.980
v)	0.978
vi)	0.975

GRAFICA:1.3 FACTOR DE CORRECCION POR ESTRIBO PARA CADENAS DE AISLADORES



5.- La tensión crítica de flameo se modifica por este factor de corrección y haciendo las multiplicaciones necesarias se obtiene para cada caso lo siguiente:

CASO	TENSION DE FLAMEO AFECTADA POR EL FACTOR DE CORRECCION POR EL ESTRIBO	
	FASE CENTRAL	FASE LATERAL
i)	1585.93 KV	1665.22 KV
ii)	1585.93 KV	1665.22 KV
iii)	1584.31 KV	1663.53 KV
iv)	1582.70 KV	1661.88 KV
v)	1579.47 KV	1658.44 KV
vi)	1574.62 KV	1653.35 KV

6.- La humedad ocasiona una reducción del 5% (como máximo) y la lluvia un 15% (como máximo) lo cual se tiene una reducción del 20% (como máximo) por lo tanto, la tensión de flameo se reduce al 80%, para cada caso se obtiene:

CASO	80% DE LA TENSION DE FLAMEO DEBIDO A HUMEDAD Y LLUVIA	
	FASE CENTRAL	FASE LATERAL
i)	1268.74 KV	1332.17 KV

80% DE LA TENSION DE FLAMEO DEBIDO A
HUMEDAD Y LLUVIA

CASO

FASE CENTRAL

FASE LATERAL

ii)	1268.74 KV	1332.17 KV
iii)	1267.45 KV	1330.82 KV
iv)	1266.16 KV	1329.46 KV
v)	1263.57 KV	1326.75 KV
vi)	1259.70 KV	1322.68 KV

7.- Si la sobretensión máxima esperada producida por la operación de interruptores actúa sobre un conjunto de 100 torres, la tensión resistente del conjunto considerando una probabilidad de falla del 2% es: (Ver fig. 1.4)

$$KV (i - 3.5 \times 0.05)$$

para cada caso se tiene:

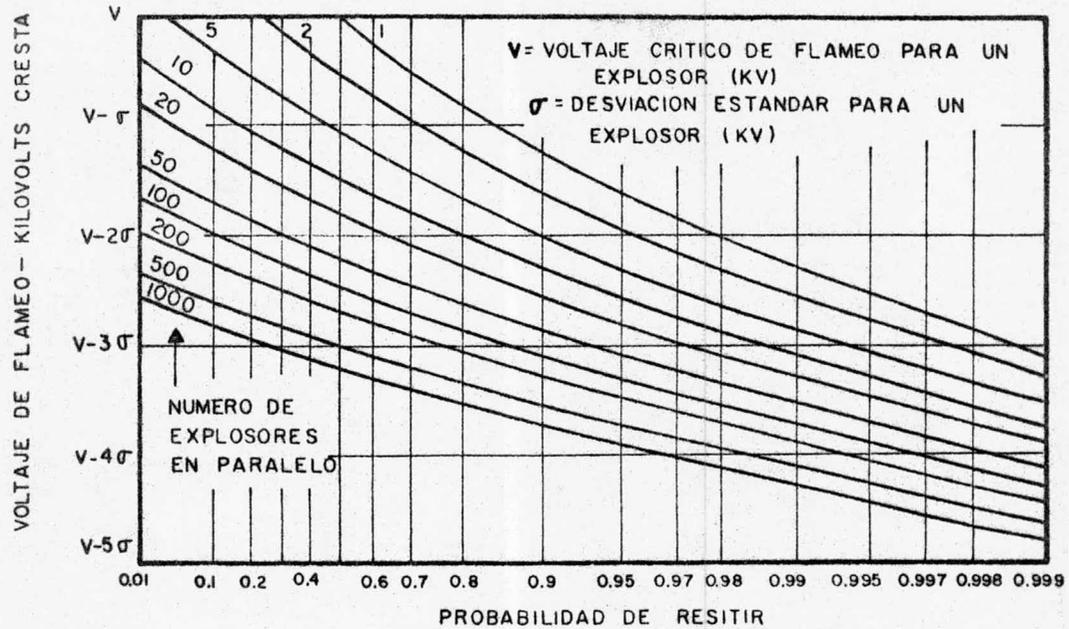
CASO

FASE CENTRAL

FASE LATERAL

i)	1046.71 KV	1099.04 KV
ii)	1046.71 KV	1099.04 KV
iii)	1045.64 KV	1097.92 KV
iv)	1044.58 KV	1096.81 KV
v)	1042.45 KV	1094.57 KV
vi)	1039.25 KV	1091.21 KV

GRAFICA: I. 4



GRAFICA DE CONVERSION PARA LA REDUCCION DEL VOLTAJE DE FLAMEO DEBIDO A LA COLOCACION DE EXPLOSORES EN PARALELO.

Comparando estos resultados con la sobretensión máxima esperada, 1041 KV, se observa que todos los casos pueden ser aplicados, incluso la sexta que es menor, pero también puede ser útil ya que este estudio es muy riguroso.

Los seis casos cumplen con las necesidades del aislamiento para sobretensiones por la operación de interruptores, en los primeros cuatro casos podemos utilizar un aislador menos, pero se incrementa el tamaño de la ventana, el número de aisladores no puede ser menor de 29, ya que así lo requiere el nivel básico de aislamiento al impulso.

Como anteriormente se explicó las primeras dos alternativas requieren de ventanas grandes y torres grandes. Las alternativas v) y vi) requieren de un número mayor de aisladores. Atendiendo las alternativas iii) y iv) se observa que la alternativa requiere de un estribo más grande que la iv). Por lo tanto se requieren cadenas de 37 x 2 aisladores para formar las cadenas de suspensión en "V".

1.3 AISLAMIENTO PARA TENSION A FRECUENCIA NOMINAL

Como las cadenas de suspensión que se van a utilizar son en "V" y se suspenden con un ángulo de 45° la distancia mínima del conductor al cuerpo de la torre es la que se denomina en el aislamiento para sobretensiones producidas por la operación de interruptores como "L", esta longitud es para el caso de 37 aisladores, 6484 mm. que de acuerdo con la gráfica 1.5, la tensión crítica de flameo a la frecuencia nominal es:

1950 KV

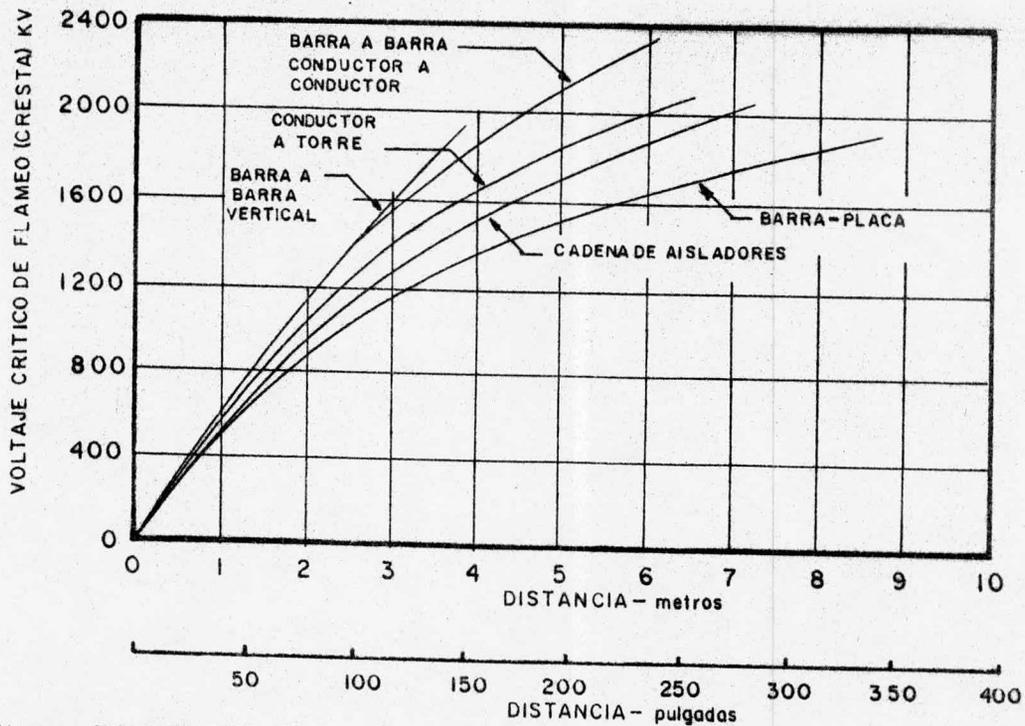
en condiciones críticas de densidad relativa del aire y humedad la tensión crítica de flameo se puede reducir hasta un 20%, es decir a 1560 KV, comparando este valor con la tensión nominal de fase a tierra, valor de cresta, 612.37 KV se observa que no es necesario hacer modificaciones de aislamiento por este concepto.

La tensión nominal de fase a tierra se determina así:

$$750(\sqrt{2})/\sqrt{3} = 612.37 \text{ KV}$$

1.4 AISLAMIENTO PARA CONTAMINACION ATMOSFERICA

En la tabla siguiente (tabla 1.C) se aprecian los requeri-



GRAFICA: 1.5 RESISTENCIA DE FLAMEO C. A. EN GRANDES DISTANCIAS EN AIRE Y CADENA DE AISLADORES

mientos de aislamiento para cadenas de aisladores normales de 254 mm. Ø x 146 mm. con distintos grados de contaminación atmosférica.

Tabla 1.C

CONTAMINACION		DISTINTOS GRADOS DE CONTAMINACION ATMOSFERICA VALORES DE DISEÑO	
CLASE	TIPOS	Cantidad Equivalente de NaCl mg/cm ²	Distancia de fuga cm/KVn
A	Atmósfera limpia: en regiones <u>rurales</u> y boscosas sin contaminación industrial.	0 - 0.03	En este caso no se requiere determinar el aislamiento por contaminación.
B	Contaminación ligera: en las <u>proximidades</u> de regiones industriales, <u>ferrocarriles</u> , con lluvias frecuentes.	0.04	2.64

C	Contaminación <u>mod</u> erada con sales <u>so</u> lubles hasta un 5% hornos, p'antas <u>me</u> talúrgicas, ferti-lizantes.	0.06	3.33
D	Contaminación alta con 15% o más de <u>sa</u> les solubles: pro-ductos químicos, <u>ce</u> mento, fertilizantes.	0.12	4.42
F	Precipitación salina en las costas marinas	0.30	5.36

La tensión máxima de operación que puede soportar una cadena de aisladores en una atmósfera contaminada es directamente proporcional a la distancia de fuga o al número de unidades aislantes que componen la cadena. Otros factores que intervienen son el diámetro y el número de faldas de los aisladores. Si estos últimos no cambian, el parámetro principal para el di

seño de aislamiento por contaminación atmosférica es la distancia de fuga.

Con base a los valores de la tabla anterior, y considerando las condiciones de contaminación que existen en las regiones en que operará la línea, se tienen los dos siguientes casos:

- a) Atmósfera limpia: en regiones rurales y boscosas sin contaminación industrial. En este caso no se requiere determinar el aislamiento por contaminación atmosférica.
- b) Contaminación ligera: En las proximidades de regiones industriales, ferrocarriles, con lluvias frecuentes.

La distancia de fuga necesaria es:

$$(750) (\sqrt{3}) (2.64) = 1143.15 \text{ cm.} = 11431.5 \text{ mm.}$$

el número de aisladores está dado por:

$$\text{No. de aisladores} = \frac{\text{DISTANCIA DE FUGA TOTAL}}{\text{DISTANCIA DE FUGA DE CADA AISLADOR}}$$

Los aisladores de 146 mm. x 254 mm. \emptyset (5 3/4" x 10")

los podemos encontrar con distancia de fuga de:

- a) 292.1 mm. (11½ plg.)

b) 304.8 mm. (12.0 plg.)

c) 393.7 mm. (15½ plg.)

Para cada caso analizado se requiere un mínimo de aisladores de:

CASO

$$a) \frac{1143.15 \text{ cm.}}{29.21} = 39.13 = 39 \text{ aisladores}$$

$$b) \frac{1143.15 \text{ cm.}}{30.48} = 37.50 = 37 \text{ aisladores}$$

$$c) \frac{1143.5 \text{ cm.}}{39.37} = 29.03 = 29 \text{ aisladores}$$

Para cada uno de los casos analizados en aislamiento para sobretensiones por la operación de interruptores se obtiene la tabla 1.D.

Se observa en la tabla 1.D que por contaminación atmosférica no hay que hacer ningún cambio en el número de aisladores ya que las necesidades de aislamiento por contaminación atmosférica se satisfacen con el número de aisladores dados por cada caso, solo hay que considerar la distancia de fuga necesaria para cada caso en los aisladores.

Tabla 1.D : Necesidades de aislamiento por contaminación atmosférica ligera.

CASO	No. DE AISLADORES	DISTANCIA DE FUGA DEL AISLADOR	DISTANCIA DE FUGA DE LA CADENA	TIPO DE AISLADOR DE OHIO BRASS
i)	29	15.5" = 39.37 cm.	1141.73 cm.	47314;47313;47414;47413
ii)	31	15.5" = 39.37 cm.	1220.47 cm.	47314;47313;47414;47413
iii)	33	15.5" = 39.37 cm.	1299.21 cm.	47314;47313;47414;47413
iv)	37	12" = 30.48 cm.	1127.76 cm.	47410;47415
v)	41	11.5" = 29.21 cm.	1197.61 cm.	48008;48019;31440;32439
vi)	46	11.5" = 29.21 cm.	1343.66 cm.	48008;48019;31440;32439

La mejor alternativa por operación de interruptores es la cuarta, y en base a ella se continuará el estudio de la línea de transmisión.

CAPITULO 2

CONDUCTORES

En los proyectos de ultra alta tensión se usan comunmente varios conductores por fase, para controlar el gradiente de tensión en la superficie de los conductores y así evitar niveles altos de ruidos y pérdidas por efecto corona. Si se usara un solo conductor de construcción normal en cada fase de una línea de extra alta tensión o ultra alta tensión y fue seleccionado en base a la evaluación de pérdidas por I^2R y el costo del conductor, el gradiente en la superficie del conductor sería con frecuencia más alta que el aceptable, es decir, 20 a 23 KV pico por centímetro.

Con varios conductores por fase se deben instalar separadores e intervalos de 75 a 90 metros para mantener constante el claro entre los subconductores. Esto es necesario para impedir que los conductores se alcancen debido a fuerzas de viento.

to o por atracción electromagnética causadas por corrientes altas, dado que las fuerzas electromagnéticas son proporcionales al cuadrado de la corriente del conductor e inversamente proporcionales al espacio, una corriente puede retener los conductores en contacto una vez que se hayan juntado.

Los grupos de conductores pueden estar sometidos a cargas mecánicas como hielo, esto requiere de torres algo fuertes. La experiencia con el uso de grupos de conductores y el equipo asociado ha permitido superar las complicaciones que inicialmente impidieron su adopción.

El número de conductores por fase ha diferido para líneas que operan a la misma tensión, sin embargo se pueden agrupar de la siguiente manera:

- a) Para líneas operando hasta 345 KV se usan uno 6 dos conductores por fase.
- b) En líneas operando hasta 750 KV se usan cuatro conductores por fase.
- c) Puede ser que para líneas de 1100 KV en el futuro se u-

sen seis conductores por fase.

Existen varios métodos para el cálculo del gradiente superficial del conductor. El cálculo de este gradiente se apoya en el uso de computadoras digitales y en el uso de tablas y gráficas obtenidas del uso de programas de computadoras, y así un proyecto de extra alta tensión se puede resolver gráficamente. Un método gráfico es el descrito en el libro "Transmission Line Reference Book 345 KV and Above" para grupos de conductores en disposición asimétrica, este método se puede usar fácilmente para el cálculo del gradiente de superficie sin recurrir a la computadora.

En este método se da una gráfica "base" para cada caso de tensión máxima de línea a línea que muestra el gradiente de superficie del conductor en función del diámetro del conductor y del número de conductores por fase como parámetro.

La altura de los conductores, el espacio entre fases y configuraciones de hilos de guarda son parámetros que tienen rela-

tivamente poco efecto para conductores altos y espacios grandes entre conductores.

Se representan tablas adicionales para cada caso de tensión base las cuales representan los cambios en el gradiente superficial conforme varían las dimensiones de la geometría del arreglo de interés.

En la gráfica 2.1 se observa que 3, 4 y 6 conductores por fase cumplen el requisito del nivel aceptable del gradiente superficial (20 a 23 KV (rms)/cm.), sin embargo, si se usan tres conductores por fase se tendrían conductores de diámetro mayor para lograr nuestro objetivo. Es más económico usar cuatro conductores por fase en lugar de seis.

El C. Sr. Pedro Luis Cruz Galindo en su tesis profesional "Estudio del Efecto Corona y Radiointerferencia en Líneas de Ultra Alta Tensión" mediante un programa de computadora obtuvo que las cuatro alternativas que se mencionan en el capítulo 6 cumplen satisfactoriamente las necesidades de efecto corona y radiointerferencia.

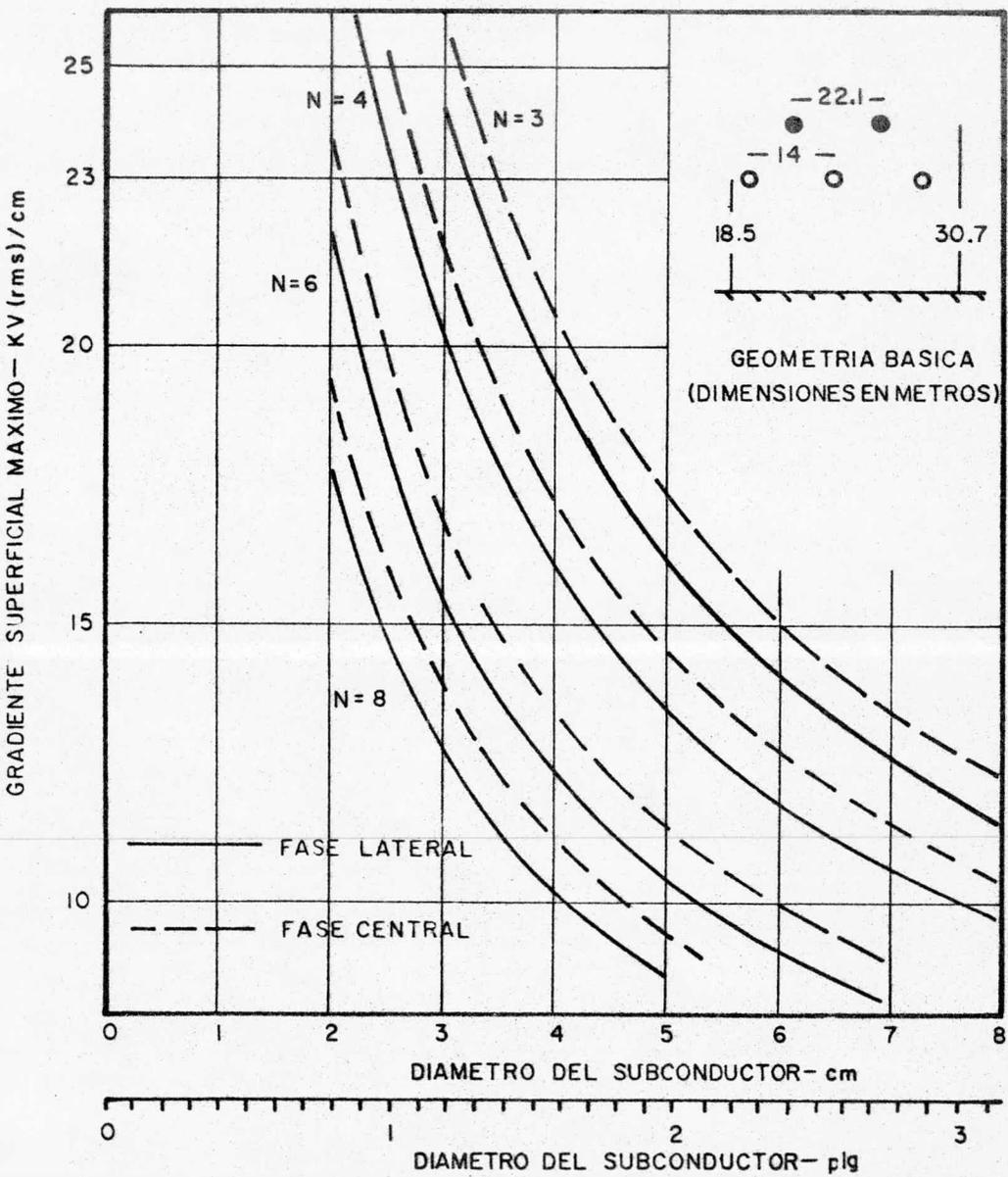
En la gráfica 2.1 para el caso de cuatro conductores por fase y un gradiente superficial del conductor entre 20 y 23 KV (rms)/cm. se demanda un diámetro del subconductor (Un conductor de los cuatro que forman un agrupamiento o bundle) entre 2.6 y 3.1 cm. El conductor 1113 MCM tiene un diámetro de 3.2 cm., es un conductor comercial que satisface las demandas de corriente y gradiente superficial del conductor.

De la gráfica "base 2.1" para el conductor 1113 MCM y cuatro conductores por fase se tiene un gradiente superficial de 19.1 KV (rms)/cm. para una fase lateral y 20.6 KV (rms)/cm. para una fase central, es necesario hacer una corrección ya que la tensión indicada en la gráfica es 1800 KV y no 750 KV que es la tensión de interés además la geometría también puede ser diferente. Así el gradiente superficial del conductor está dado por:

$$E_1 = F_v \times F_{ps} \times F_H \times E_{L1}$$

$$E_c = F_v \times F_{ps} \times F_H \times E_{c1}$$

E_1 es el gradiente superficial de conductor corregido por la variación de la configuración de circuito.



GRAFICA: 2.1 GRADIENTE SUPERFICIAL EN EL CONDUCTOR, 800 KV

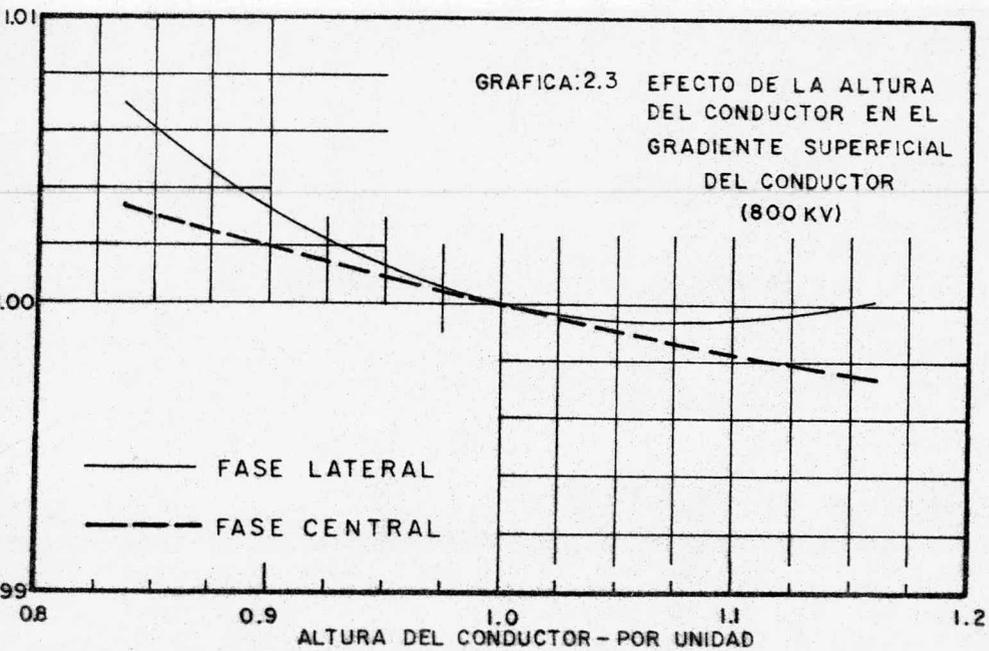
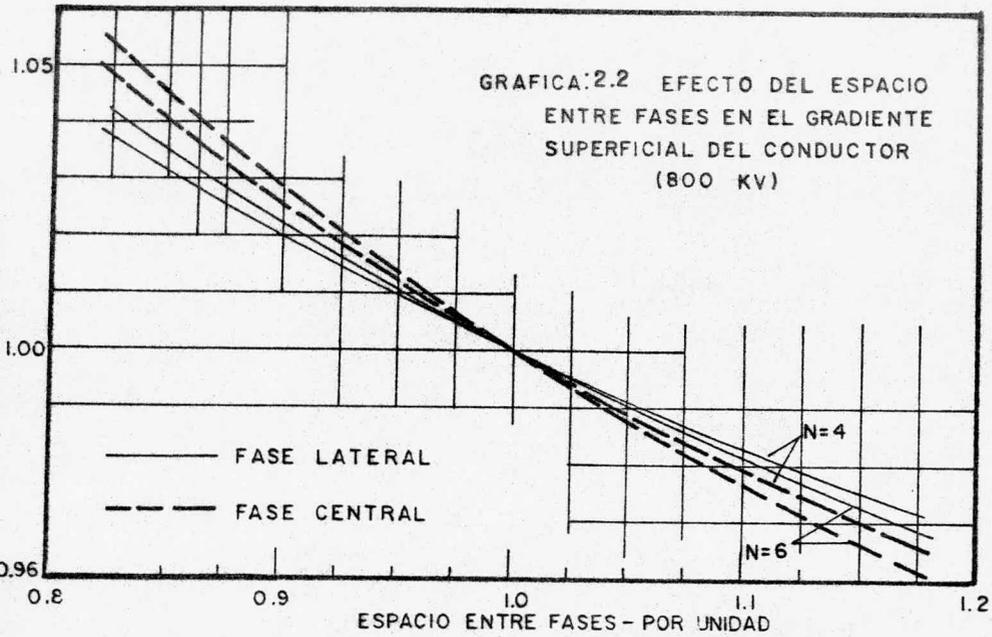
E_c es el gradiente superficial para una fase central corregido por los cambios en la tensión y la configuración del circuito.

F_v es el factor de corrección debido a la variación en la tensión y es la razón entre la tensión de interés y la tensión dada en la gráfica "base", para el caso de 750 KV se tiene:

$$F_v = \frac{750}{800} = 0.9375$$

F_{ps} es el factor de corrección debido a los cambios en el espacio entre fases y se obtiene de la gráfica 2.2, para obtener este factor se debe conocer la razón de la distancia entre fases de interés y la distancia entre fases "base" y con este valor y la tabla 2.2 se obtiene el factor F_{ps} . Ya que aún no se conoce esta dimensión se supone igual a la unidad.

F_H es el factor de corrección por la altura y se obtiene de la gráfica 2.3. Primero se obtiene la razón entre la altura de interés y la altura "base", con este valor y en la gráfica 2.3 se obtiene el factor F_H que por instancia se puede suponer igual a la unidad, ya que no afecta de



manera significativa el valor del gradiente superficial, así como tampoco lo hace el factor F_{ps} .

E_{L1} es el valor leído en la gráfica "base" (2.1) de gradiente superficial para una fase lateral.

E_{c1} es el valor leído en la gráfica "base" (2.1) de gradiente superficial para una fase central.

De esta manera el gradiente superficial para una fase lateral es:

$$E_{L1} = 0.9375 \times 1 \times 1 \times 19.1 = 17.9 \text{ KV (rms)/cm.}$$

y para una fase central es:

$$E_c = 0.9375 \times 1 \times 1 \times 20.6 = 19.31 \text{ KV (rms)/cm.}$$

2.1 CARACTERISTICAS MECANICAS

Número de hilos: 45 de aluminio y 7 de acero.

Diámetro	32 mm.
Area	603 mm. ²
Peso	1868 kg/km.
Carga de Ruptura	14030 kg.
Módulo de elasticidad inicial	5483 kg/mm ²

Módulo de elasticidad final	6587 Kg/mm ²
Módulo de elasticidad del acero	1279 Kg/mm ²
Módulo de elasticidad del aluminio	5307 Kg/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal inicial	20.53 x 10 ⁻⁶ °C
Coefficiente de dilatación lineal final	20.80 x 10 ⁻⁶ °C
Coefficiente de dilatación del acero	11.52 x 10 ⁻⁶ °C

2.2 TENSION MECANICA MAXIMA

Para evitar que se presenten vibraciones peligrosas se recomienda que la tensión mecánica máxima de los conductores sea tal que las tensiones inicial y final a 0°C sin carga de viento no sean mayores al 33% y 25% respectivamente. Por lo tanto la tensión mecánica máxima no será mayor a 3507.5 kg. por conductor a -5°C y sin carga de viento, con carga de viento de 24 kg/m² y a -5°C la tensión mecánica máxima no debe ser mayor a 3900 kg. por conductor.

CAPITULO 3

CABLES DE GUARDA

Para la protección contra descargas atmosféricas se usarán dos cables de guarda de acero extragalvanizado de 9.5 mm. (3/8") de diámetro.

Se recomienda que la separación en el centro del claro sea del 10% al 15% mayor que en la torre debido a que las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas son mayores en el centro del claro.

En la tabla siguiente se anotan las flechas a 16°C para conductores ACSR 1113 MCM y para el hilo de guarda de cable de acero extragalvanizado de 9.5 mm. de diámetro, con tensión máxima de trabajo de 3900 y 1000 kg. respectivamente para claros de 300 a 800 metros.

CLARO	ACSR 1113 MCM	HILOS DE GUARDA CABLE DE ACERO (9.5 mm. ϕ)
300	6.67 m.	5.49 m.
400	11.48 m.	9.64 m.
500	17.64 m.	14.98 m.
600	25.20 m.	21.52 m.
700	34.20 m.	29.32 m.
800	44.72 m.	38.39 m.

3.1 CARACTERISTICAS MECANICAS

Número de hilos	7
Diámetro	9.5 mm.
Area	51.2 mm. ²
Peso	406 kg/km.
Carga de ruptura	4900 kg.
Módulo de elasticidad inicial	15747 kg/mm ²
Módulo de elasticidad final	18137 kg/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal	11.52 x 10 ⁻⁶ °C

CAPITULO 4

CADENAS DE AISLADORES

4.1 AISLADORES

De acuerdo con el capítulo de aislamiento las cadenas de aisladores se formarán de aisladores con distancia de fuga de 30.48 cm. (12") para las zonas con atmósfera limpia ó ligeramente contaminada.

Las cadenas de suspensión contarán con 37 aisladores, mientras que las de tensión contarán con 38 aisladores.

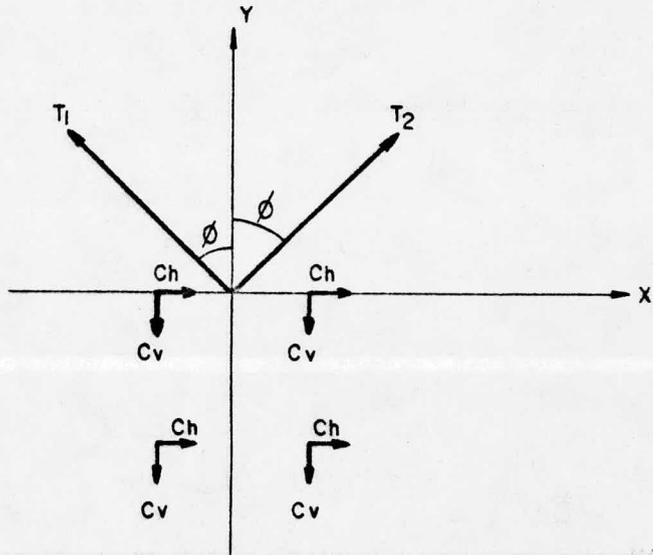
4.2 HERRAJES

Debido a la tensión de transmisión se requiere de herrajes del tipo "CORONA FREE" ya que su diseño elimina puntas, y sus bordes son redondeados, esto con el objeto de que la carga no se concentre en aristas o puntas para eliminar en lo posible el efecto corona. También se utilizarán anillos antiefluvios para reducir el efecto corona.

4.3 CARGAS MECANICAS

a) Cadenas de suspensión

Para un claro de viento de 500 metros y un claro de peso de 750 metros.



C_v = CARGA VERTICAL

C_h = CARGA HORIZONTAL

$$\sum F_y = 0$$

$$T_1 \cos \phi + T_2 \cos \phi - 4C_v = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-T_1 \text{ Sen } \phi + T_2 \text{ Sen } \phi + 4C_h = 0$$

Resolviendo las ecuaciones se obtiene: para $\phi = 45^\circ$

NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

$$T_1 = 2 \frac{C_v + C_h}{\text{Sen } 45^\circ} = 2 \frac{1402 + 348}{0.707}$$

$$T_1 = 5052.9 \text{ kg.} = 11139.9 \text{ lb}$$

$$T_2 = 2 \frac{C_v - C_h}{\text{Sen } 45^\circ} = 2 \frac{1402 - 348}{0.707}$$

$$T_2 = 2880.7 \text{ kg.} = 2880.7 \text{ lb}$$

Claro de viento: es la semisuma de dos claros adyacentes.

Claro de peso: es la distancia entre los puntos más bajos de la catenaria de dos claros adyacentes.

b) Cadenas de tensión

$$T = 4 \times 3900 = 15600 \text{ kg.}$$

4.4 RESISTENCIA MECANICA

a) Cadenas de suspensión en "V"

Se utilizarán aisladores y herrajes con carga de ruptura de 13607.7 kg. (30 000 lb)

b) Cadenas de tensión

Se utilizarán cadenas cuádruples de aisladores con carga de ruptura de 13607.7 kg. (30 000 lb) cada una.

CAPITULO 5

ACCESORIOS

5.1 SEPARADORES

Para mantener la separación entre los conductores de la misma fase se utilizarán separadores con resistencia mecánica suficiente para soportar, sin que se deformen permanentemente, los esfuerzos electrodinámicos de compresión producidos por corrientes de corto circuito asimétricos y con dispositivos de sujeción que limiten al mínimo el deterioro de los conductores.

Para la selección de los separadores se considerará, en principio un corto circuito de 30 000 MVA y un tiempo de 3 ciclos para libramiento de la falla.

Se utilizarán varillas preformadas para proteger a los conductores y limitar, hasta cierto punto, el efecto de vibraciones en todos los puntos de sujeción en suspensión.

Las puntas de las varillas preformadas deberán estar terminadas de tal forma que no se produzcan puntas críticas para el efecto corona.

5.2 CONEXION A TIERRA

La conexión a tierra de las torres se llevará a cabo por medio de enrollamientos de cables de cobre No. 3/0 AWG, contraantenas de cobre del mismo calibre y varillas copperweld de 16 mm. (5/8") de diámetro unidos por medio de conectores convencionales. La combinación y la longitud de los tres elementos mencionados dependerá de la resistividad del terreno en cada caso. En el capítulo 8 inciso 2 se trata con más profundidad la resistencia de pie de torre y se determina su valor.

CAPITULO 6

TORRES

6.1 La distancia mínima de las partes vivas al cuerpo de la torre es: 6.484 metros.

6.2 La distancia mínima entre fases es: 13.97 metros. -Se recomienda que la distancia mínima entre fases sea tres veces la distancia mínima entre fase y tierra, esto es $3(4.6574) = 13.97$ metros.

6.3 La separación vertical entre los cables de guarda y los conductores es: 9.31 metros. -Se recomienda que esta distancia sea dos tercios de la distancia entre fases.

6.4 SILUETAS

En los dibujos anexos fig. (6.1 - 6.4) se muestran las alternativas de siluetas para torres de suspensión.

-50-

11.348

21.280

5.000

6.500

17°

14.780

FLECHA

18.13

LIBRAMIENTO

14.95



FIGURA: 6.1 LINEA DE 750 KV

ALTERNATIVA I

NOTA: LA FLECHA INDICADA ES PARA UN CLARO DE

500 m.

ACOTAMIENTO EN METROS

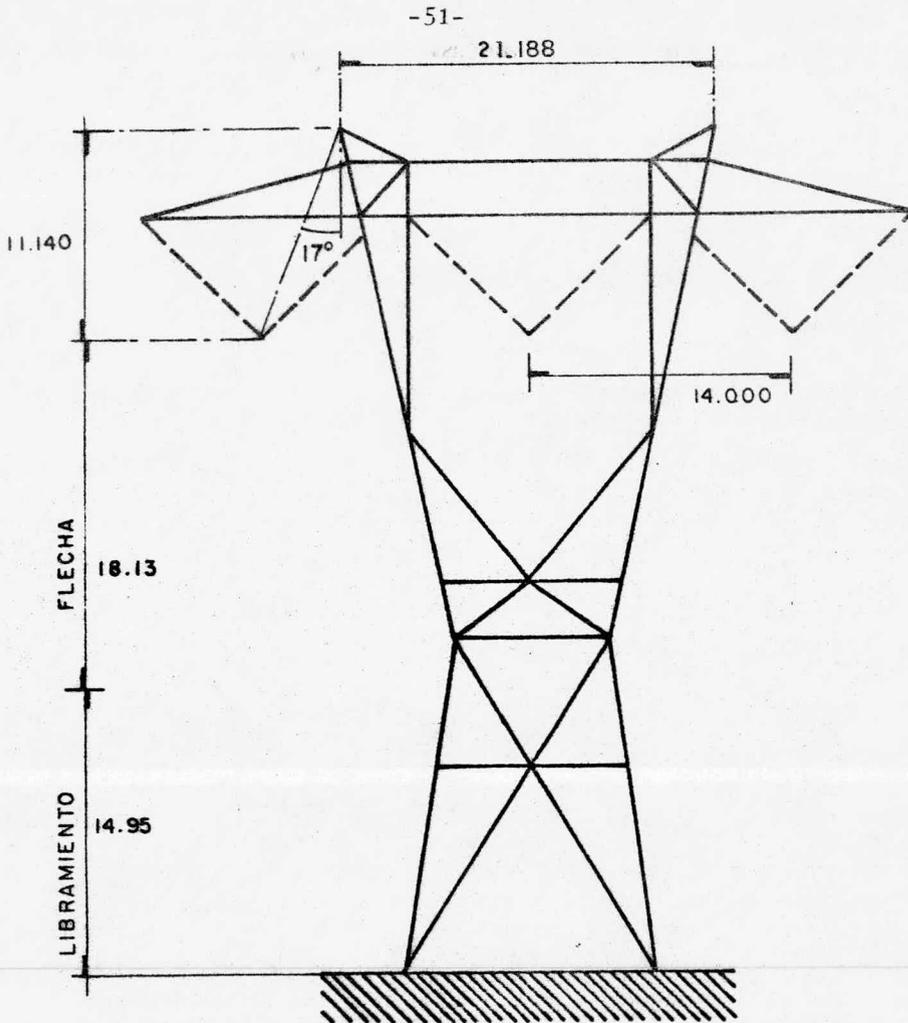


FIGURA: 6.2 LINEA DE 750 KV

ALTERNATIVA 2

NOTA: LA FLECHA INDICADA ES PARA UN CLARO DE
500 m.

ACOTAMIENTO EN METROS

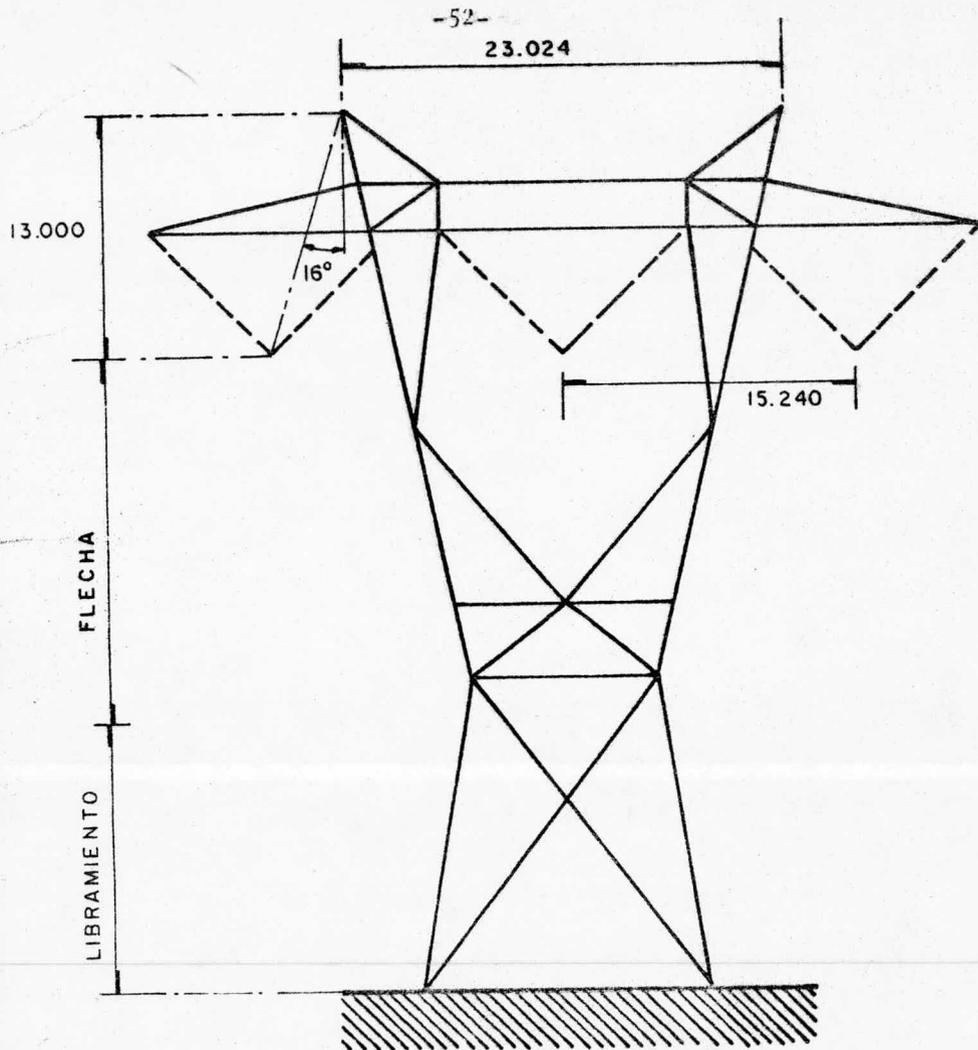


FIGURA: 6.3 LINEA DE 750 KV

ALTERNATIVA 3

NOTA: LA FLECHA INDICADA ES PARA UN CLARO DE
500m

ACOTAMIENTO EN METROS

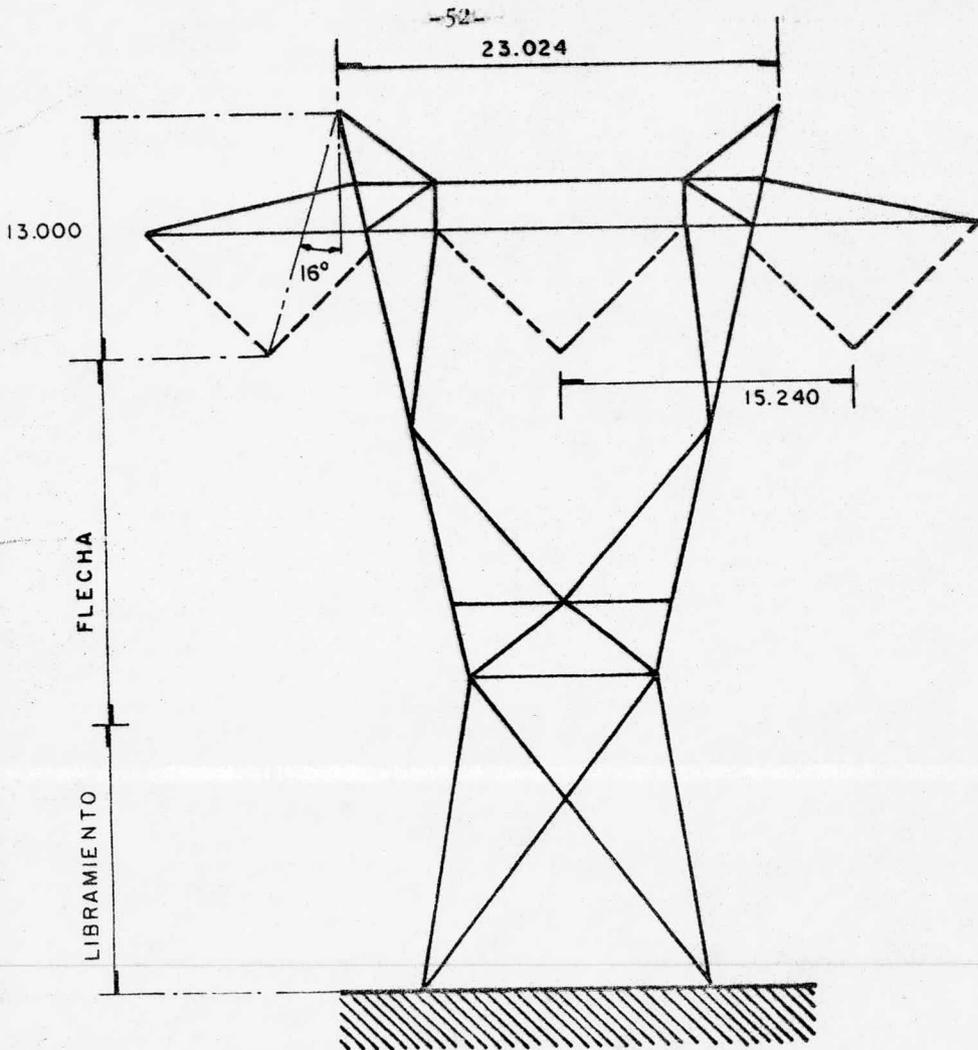


FIGURA: 6.3 LINEA DE 750 KV

ALTERNATIVA 3

NOTA: LA FLECHA INDICADA ES PARA UN CLARO DE 500m

ACOTAMIENTO EN METROS

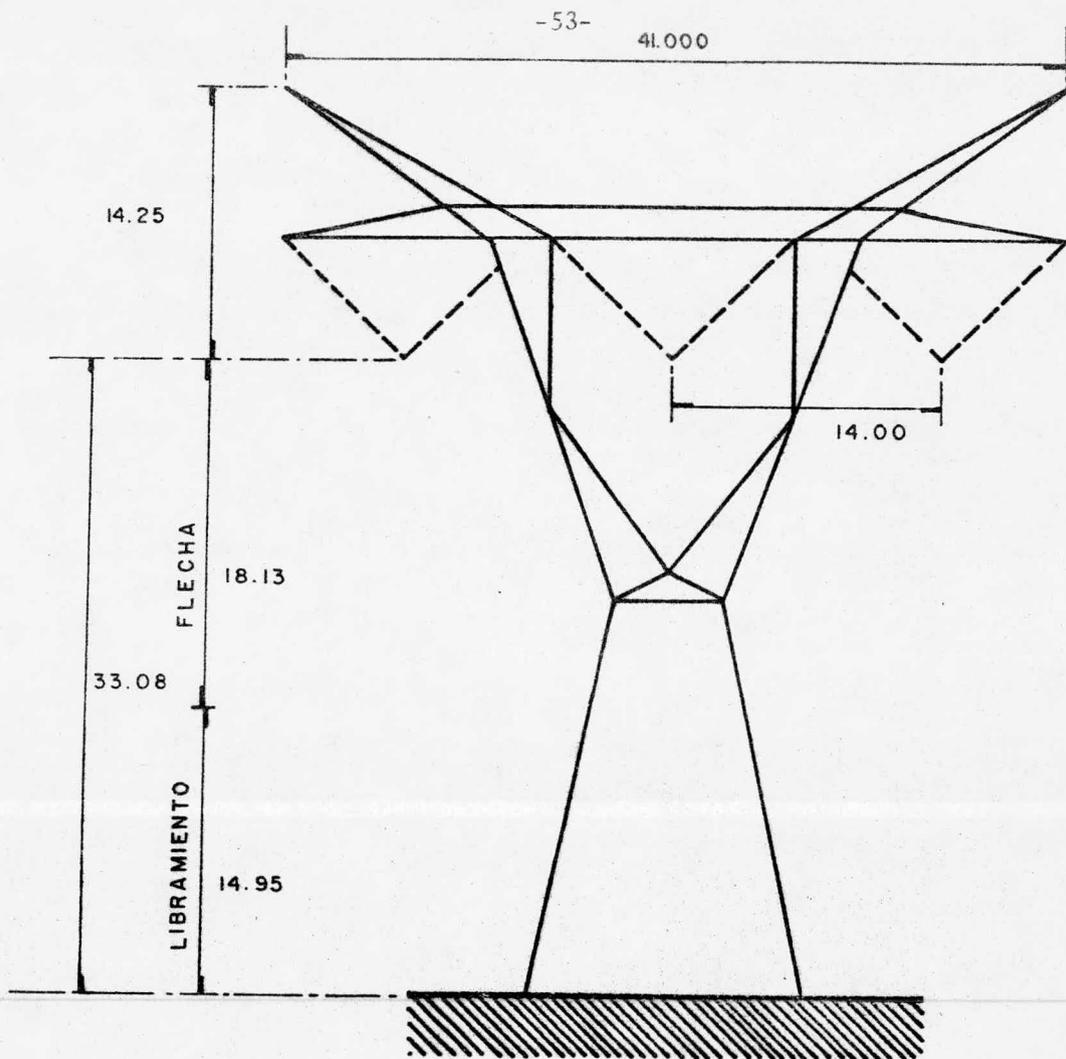


FIGURA: 6.4 LINEA DE 750 KV

ALTERNATIVA 4

NOTA: LA FLECHA INDICADA ES PARA UN CLARO DE 500 m

ACOTAMIENTO EN METROS

Las alturas de las torres se determinarán en base a una tensión mecánica máxima de 3900 kg. por conductor y un claro de 500 metro. Las otras dimensiones son aproximadas.

CAPITULO 7

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Las tablas siguientes muestran las características eléctricas de la línea de 750 KV según las distintas alternativas de torres en base a los cuatro conductores por fase ACSR 1113 MCM Bluejay e hilos de guarda de 9.5 mm. (3/8") de diámetro. Los valores indicados se calcularon manualmente en base al capítulo 4 del Analysis of Faulted Power Systems de Paul J. Anderson. Se considera que no hay transposiciones en la línea.

7.1 SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA

p.u./km, KV_{base} = 750, MVA_{base} = 100

Alter-

nativa

R_1

X_1

1	0.02709×10^{-4}	0.60448×10^{-4}
2	0.02012×10^{-4}	0.59721×10^{-4}
3	0.026051×10^{-4}	0.60860×10^{-4}
4	0.027253×10^{-4}	0.59717×10^{-4}

7.2 SECUENCIA CERO

$$\underline{\text{p.u./km, KV}_{\text{base}} = 750, \text{MVA}_{\text{base}} = 100}$$

Alter-

nativa	R_0	X_0
1	0.52229×10^{-4}	1.9617×10^{-4}
2	0.52124×10^{-4}	1.9780×10^{-4}
3	0.51301×10^{-4}	1.9636×10^{-4}
4	0.4946×10^{-4}	2.0010×10^{-4}

7.3 IMPEDANCIA Y POTENCIA CARACTERISTICAS (SIL)

$$\underline{\text{Impedancia Característica} \quad \text{SIL}}$$

Alter-

nativa	OHMS (Z_0)	MW
1	269.1	2090
2	265.8	2116
3	270.9	2076
4	265.8	2116

CAPITULO 8

PROTECCION CONTRA RAYOS

Las tormentas eléctricas ocurren siempre que hay una separación de carga eléctrica en gran escala en la atmósfera. A medida que el aire caliente se eleva, el aire frío de las capas superiores lo enfría, ocasionando que la humedad se condense, en gotas de agua o partículas de hielo, dependiendo de la temperatura del aire circundante. La carga positiva se acumula cerca de la parte superior de la nube, mientras que en su base, se distribuye principalmente la carga negativa. El resultado final de esta acción, es una región de la nube cargada de manera similar a un dipolo. Debido a que en la base de la nube está presente la carga negativa y en la tierra carga positiva la descarga puede tener lugar de nube a tierra.

La magnitud de la diferencia de potencial entre la gufa y tierra es del orden de decenas de megavolts. La distancia de

Flameo se puede definir como la distancia entre la punta de la guía a tierra, cuando el gradiente de flameo es excedido y se forman los canales de carga ascendente.

El canal de la guía experimente temperaturas del orden de $30 \times 10^3 \text{°K}$ debido a la neutralización antes descrita. Este canal, tiene un radio de unos cuantos centímetros y es ionizado térmicamente, radiando luz que uno ve e identifica como rayo.

Una descarga puede consistir de uno ó más rayos siendo el promedio 3 aunque se han llegado a medir hasta 40.

La cantidad de carga negativa disponible en la nube determina la cantidad de carga positiva de la descarga de regreso, mientras mayor sea la carga negativa en la nube, mayor es la magnitud de la corriente de la descarga de regreso.

Los rayos negativos son aproximadamente el 95% de todos los rayos a tierra. El 5% restante son rayos que bajan carga positiva, transfieren 3 veces más carga que los negativos, y normal

mente son de un solo rayo. El trueno que se oye después de ver la luz, se debe a la onda de choque producida por la rápida expansión del aire que rodea a la descarga de regreso.

La falla de blindaje ocurre cuando el rayo incide directamente en el conductor de fase. La razón principal de la falla de blindaje es la localización impropia del cable de guarda.

Cuando el rayo incide en la torre o cable, estos quedan momentáneamente sometidos a una tensión que en caso de ser mayor al nivel de aislamiento, establece un flameo que va de la torre al conductor. Este tipo de flameo se llama flameo inverso (backflash).

La impedancia que se opone a la corriente del rayo (corriente de la descarga de regreso) está formada por la resistencia de tierra y la impedancia transitoria de la torre.

Existen 3 factores principales para la protección de las líneas de transmisión contra los rayos y son: el nivel básico

de aislamiento, el blindaje por medio de los hilos de guarda y la puesta a tierra de las torres.

En un principio, se definió el nivel básico de aislamiento y las características de los hilos de guarda. A continuación, se hacen algunas consideraciones respecto al ángulo de protección, la resistencia del pie de torre a tierra y el número probable de salidas.

8.1 ANGULO MAXIMO DE PROTECCION

En el capítulo 12 inciso 3 del UHV Transmission Line Reference Book se habla del método utilizado para calcular el ángulo máximo de protección. Como breve resumen se describirá el procedimiento de dicho método, para después continuar con las características del ángulo antes mencionado:

El método para calcular el ángulo máximo de protección consiste en:

- a) Calcular la impedancia de fase al impulso del blindaje.
- b) Examinar el aislamiento de la torre.

c) Evaluar la intensidad crítica de descarga al impulso.

De estos valores se calcula la corriente de salida sobre la fase del conductor a cualquier descarga; parte del método es también determinar la distancia al punto de descarga con la corriente ya establecida y la fig. 12.3.10, dentro del mismo se debe calcular la distancia que existe entre el hilo de guarda y el conductor para conocer el espacio horizontal ya que en base a esto se obtiene el ángulo máximo de protección por medio de trigonometría.

Para nuestro estudio, se calculó el ángulo de protección despreciando las fallas de blindaje.

En estos cálculos se tomó lo siguiente:

- i) Arreglo de los conductores.
- ii) Distancias entre conductores.
- iii) Impedancia característica de la línea.
- iv) Aislamiento de la torre.
- v) La intensidad de descarga crítica de un impulso negativo.

vi) El espacio horizontal entre el hilo de guarda y el conductor.

La amplia experiencia y los datos obtenidos en algunos países respecto a líneas de ultra alta tensión, indica que a medida que aumenta la altura de la torre se requiere que el ángulo deba disminuir. Este ángulo debe ser menor de 30° .

La tabla siguiente muestra el ángulo de protección para las distintas alternativas de torres.

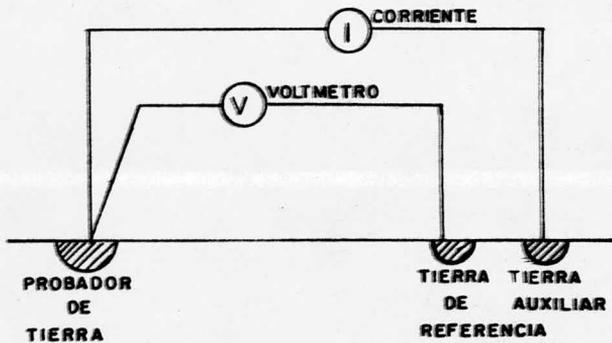
<u>ALTERNATIVA</u>	<u>ANGULO DE PROTECCION</u>
1	17°
2	17°
3	16°
4	18°

8.2 RESISTENCIA A TIERRA

Es muy útil conocer y entender los aspectos básicos de la resistencia de pie de torre para evaluar el funcionamiento de las descargas en la línea. La resistencia de tierra disminuye

con el incremento de corriente. La reducción proporcional es menor para terrenos de baja resistencia que para los de alta resistencia.

El método fundamental de medición de la resistencia del terreno se muestra en la siguiente figura (8.1):



Metodo Fundamental de Medicion de Resistencia de Tierra.

aquí se utilizan un amperímetro y un voltímetro y se aplica la ley de ohm, despejando la resistencia. También se mide la resistencia del terreno con el Megger. Las torres en pantano tienen más baja resistencia.

En la práctica, las líneas de transmisión no tienen un valor fijo de resistencia a tierra, ya que dicho valor depende del lugar donde se encuentren las torres. Si el terreno es rocoso se tendrá una resistencia alta.

Para coordinar la resistencia a tierra de las torres con el nivel básico de aislamiento se puede suponer que la corriente máxima de una descarga atmosférica es de 100 000 amperes.

$$R = \frac{BIL \times d}{A}$$

donde

BIL = nivel básico de aislamiento al impulso de las cadenas de aisladores.

A = Corriente máxima de un rayo.

d = Factor de densidad del aire.

Por lo tanto, la resistencia a tierra no deberá ser mayor de:

$$R = \frac{2455\ 000 \times 0.7512}{100\ 000} = 18.44 \text{ ohms.}$$

Dada la importancia de las líneas de 750 KV, se considera económico reducir la resistencia a tierra de las torres al valor calculado por medio de enrollamientos de cables, varillas,

contraantenas, etc. haciendo las mediciones pertinentes en el terreno durante la construcción.

8.3 PREDICCIÓN DEL NÚMERO DE SALIDAS

El procedimiento para predecir el número de salidas de líneas de transmisión producidas por descargas atmosféricas aparece en el capítulo 12 inciso 10 del UHV Transmission Line Reference Book. Dicho procedimiento consiste en los pasos siguientes: se calcula la altura efectiva de la línea, la amplitud efectiva de la sombra de la línea con la altura efectiva y la distancia entre los hilos de guarda; mediante estos valores se determina el total de descargas por 100 kms. por año.

También en dicho método se calcula la impedancia propia y mutua de la línea; parte de este método es calcular el coeficiente de acoplamiento de la fase exterior y así reducir el valor efectivo de la resistencia total a tierra a un 25% del valor medido con el Megger. Dentro del mismo se debe determinar la corriente crítica de descarga requerida para la descarga hacia la torre usando el voltaje crítico de descarga; con este valor

y la media de la corriente se obtiene un valor logarítmico y se determina la probabilidad de grandes amplitudes de descargas mediante una curva normal logarítmica basada en el estudio de datos disponibles.

De los valores anteriores se determina el promedio de salidas para líneas u.h.v. por 100 kms. por año.

La tabla siguiente muestra los valores calculados para el comportamiento de las diferentes alternativas.

<u>Alternativa</u>	<u>Número de salidas/100 km./año</u>
1	0.29075
2	0.29045
3	0.32571
4	0.36831

CAPITULO 9

DISTANCIAS REGLAMENTARIAS

En base a conductores ACSR 1113 MCM, claro promedio de 500 m. para el cálculo del incremento máximo de flecha y tensión máxima en 3900 kg. por conductor A - 5°C y presión de viento de 24 kg/m^2 , las distancias a 16°C sin viento según el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas son:

9.1 DISTANCIA MINIMA DE LOS CONDUCTORES AL PISO

a) En terrenos no transitados por vehículos

BASE - - - - - 5.00 m.

Por tensión en exceso de 50 KV:

(750-50) 1.25 cm. - - - - - 8.75

Por 75% del incremento máximo de flecha - - - $\frac{1.20}{14.95 \text{ m.}}$

b) A lo largo de calles

BASE - - - - - 6.50 m.

Por tensión en exceso de 50 KV - - - - - 8.75

Por 75% del incremento máximo de flecha - - - $\frac{1.20}{16.45 \text{ m.}}$

c) En cruzamientos de calles y carreteras

BASE - - - - -	7.00 m.
Por tensión en exceso de 50 KV - - - - -	8.75
Por 75% del incremento máximo de flecha - - - - -	<u>1.20</u>
	16.95 m.

d) En cruzamientos con vías férreas

BASE - - - - -	9.00 m.
Por tensión en exceso de 50 KV - - - - -	8.75
Por 75% del incremento máximo de flecha- - - - -	<u>1.20</u>
	18.95 m.

9.2 DISTANCIA MINIMA EN CRUZAMIENTOS CON OTRAS LINEAS

a) De comunicación

BASE - - - - -	1.80 m.
Por tensión en exceso de 50 KV - - - - -	8.75
Por 75% del incremento máximo de flecha- - - - -	<u>1.20</u>
	11.75 m.

b) Líneas suministradoras de 750 a 50 000 volts

BASE - - - - -	1.20 m.
Por tensión en exceso de 50 KV - - - - -	8.75
Por 75% del incremento máximo de flecha- - - - -	<u>1.20</u>
	11.15 m.

c) Líneas suministradoras de 85 KV

BASE - - - - - 1.20 m.

Por tensión en exceso de 50 KV:

8.75 + (35 x 0.0125) - - - - - 9.19

Por 75% del incremento máximo de flecha - - - - 1.20
11.59 m.

d) Líneas suministradoras de 161 KV

BASE - - - - - 1.20 m.

Por tensión en exceso de 50 KV:

8.75 + 1.39 - - - - - 10.14

Por 75% del incremento máximo de flecha - - - - 1.20
12.54 m.

e) Líneas suministradoras de 230 KV

BASE - - - - - 1.20 m.

Por tensión en exceso de 50 KV:

88.75 + 2.25 - - - - - 11.00

Por 75% del incremento máximo de flecha - - - - 1.20
13.40 m.

f) Líneas suministradoras de 400 KV

BASE - - - - - 1.20 m.

Por tensión en exceso de 50 KV:

8.75 + 4.38 - - - - - 13.13

Por 75% del incremento máximo de flecha - - - - - $\frac{1.20 \text{ m.}}{15.53 \text{ m.}}$

g) Líneas suministradoras de 750 KV

BASE - - - - - 1.20 m.

Por tensión en exceso de 50 KV:

8.75 + 8.75 - - - - - 17.50 m.

Por 75% del incremento máximo de flecha - - - - - $\frac{1.20}{19.90 \text{ m.}}$

9.3 DISTANCIAS DE LOS CONDUCTORES AL BORDE DEL DERECHO DE VIA

BASE - - - - - 3.00 m.

Por tensión en exceso de 50 KV - - - - - 8.75

Por claro en exceso de 50 m. (claro = 500 m.) - - - - - $\frac{4.50}{16.25 \text{ m.}}$

Las distancias calculadas anteriormente están basadas en los artículos:

44 tabla No. 4.

45 tabla No. 6.

47 tabla No. 7.

estos artículos están dentro del capítulo VIII del Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas.

CAPITULO 10

DERECHO DE VIA

Derecho de Vfa es la separación mínima de conductores su ministradores a edificios.

Los anchos del Derecho de Vfa especificados en seguida están en base a dimensiones aproximadas de las torres.

1.- Torre para un circuito en disposición horizontal alter_{nativa} 1.

Torre, entre extremos de crucetas - - - - 42.56 m.

Distancias al borde del derecho de vía

2 x 16.5 m. - - - - - $\frac{32.50 \text{ m.}}{75.06 \text{ m.}}$

2.- Torre para un circuito en disposición horizontal alter_{nativa} 2.

Torre, entre extremos de crucetas - - - - - 41.00 m.

Distancias al borde del derecho de vía:

$$2 \times 16.25 \text{ m.} - - - - - \frac{32.50 \text{ m.}}{73.50}$$

3.- Torre para un circuito en disposición horizontal alternativa 3.

Torre entre extremos de crucetas - - - - - 43.38 m.

Distancias al borde del derecho de vía -

$$2 \times 16.25 \text{ m.} - - - - - \frac{32.50 \text{ m.}}{75.98 \text{ m.}}$$

4.- Torre para un circuito en disposición horizontal alternativa 4.

Torre entre extremos de crucetas - - - - - 41.00 m.

Distancias al borde del derecho de vía:

$$2 \times 16.25 \text{ m.} - - - - - \frac{32.50 \text{ m.}}{73.50 \text{ m.}}$$

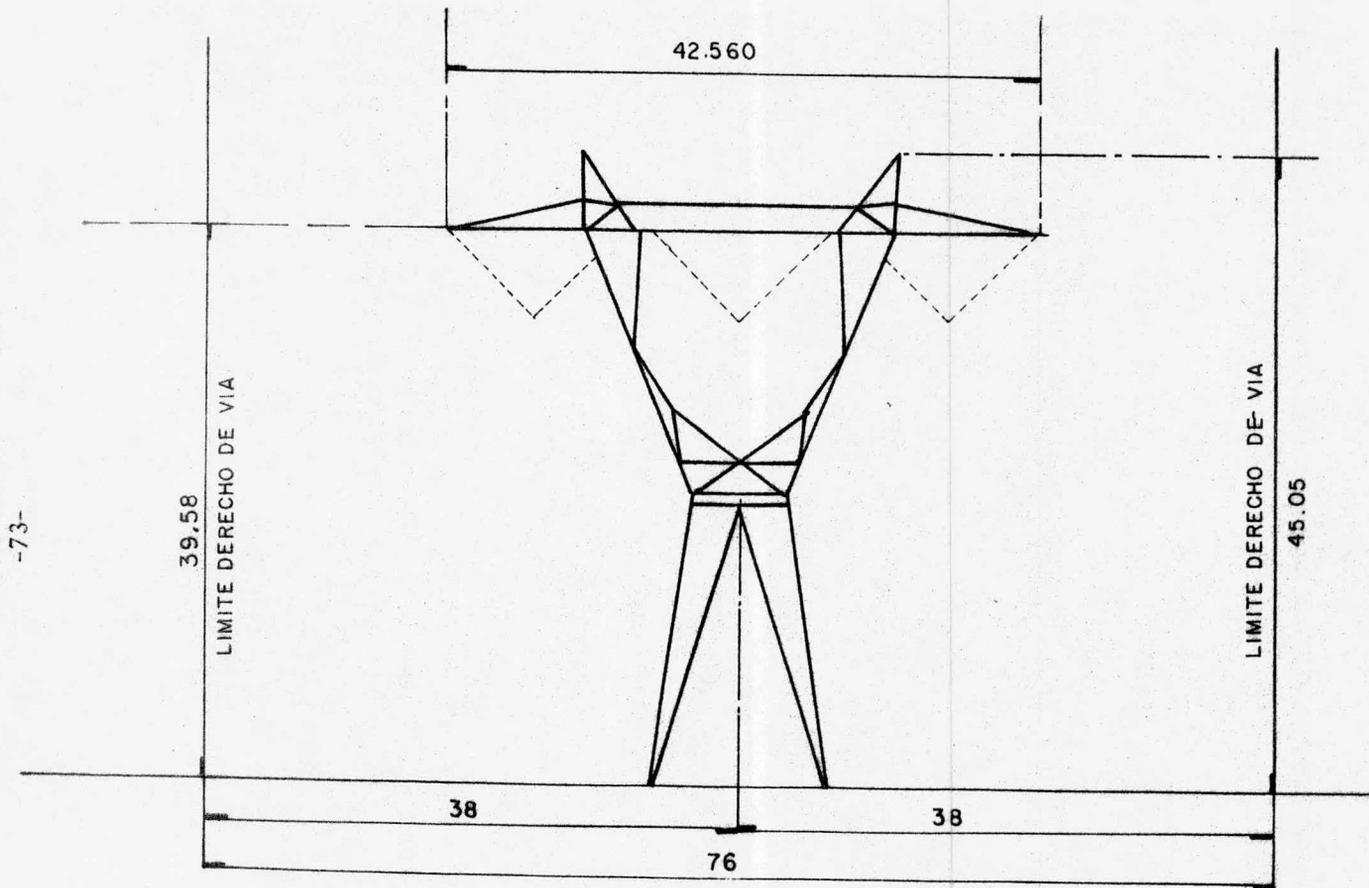


FIGURA: 10.1 LINEA DE 750 KV
DERECHO DE VIA
ALTERNATIVA I

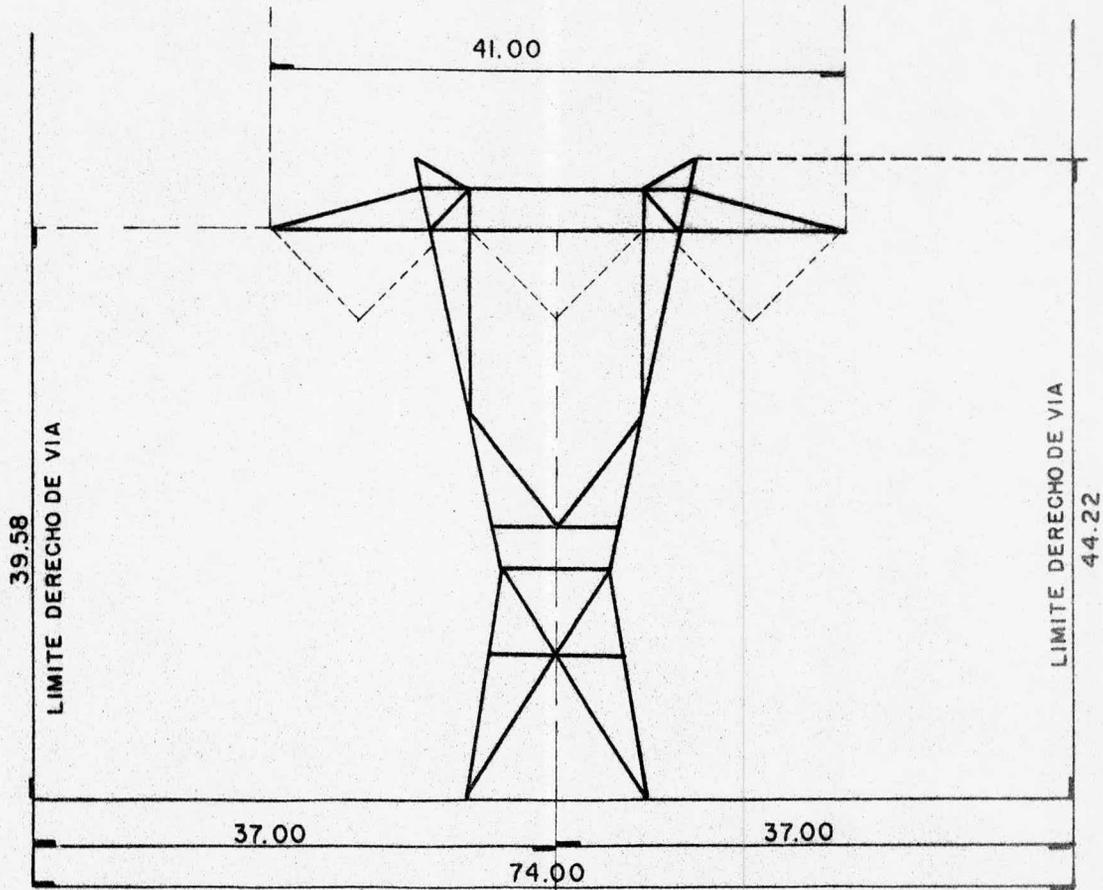


FIGURA: 10.2 LINEA DE 750 KV
DERECHO DE VIA
ALTERNATIVA 2
ACOTACION EN METROS

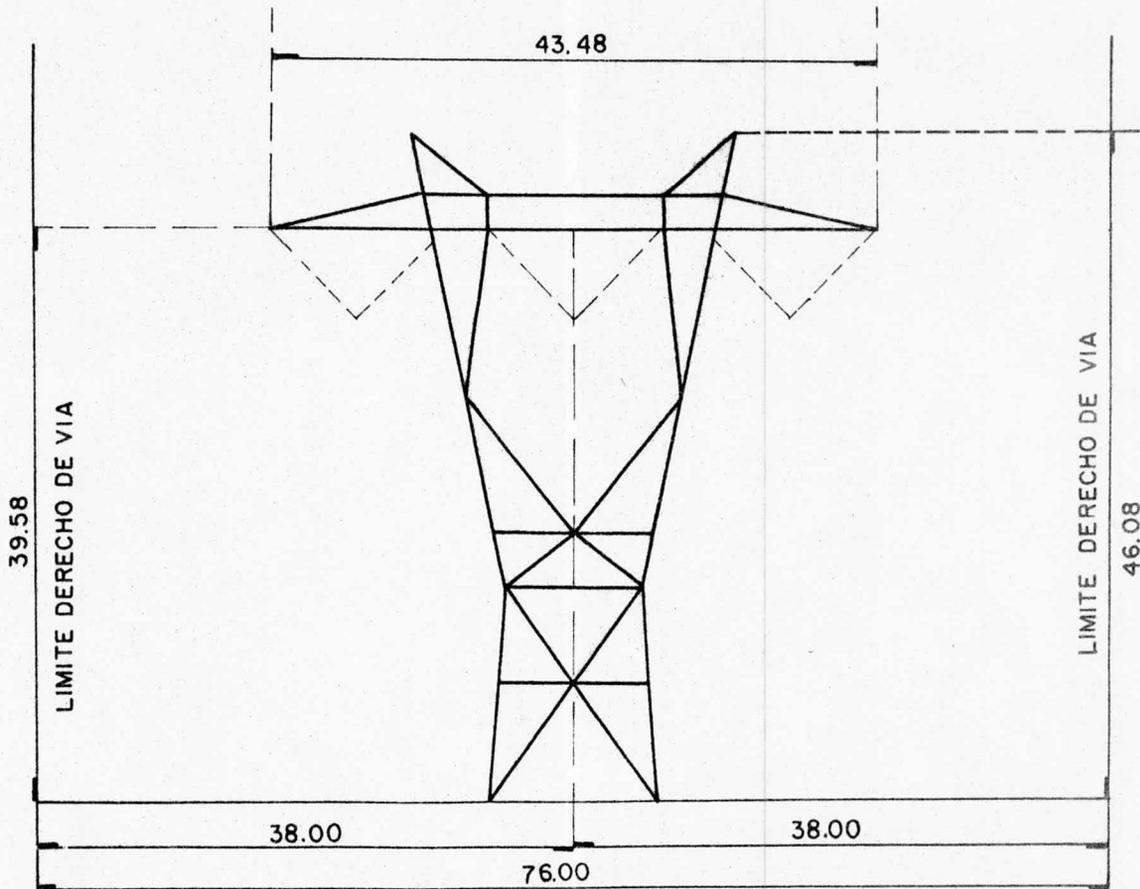


FIGURA: 10.3 LINEA DE 750 KV
DERECHO DE VIA
ALTERNATIVA 3
ACOTACION EN METROS

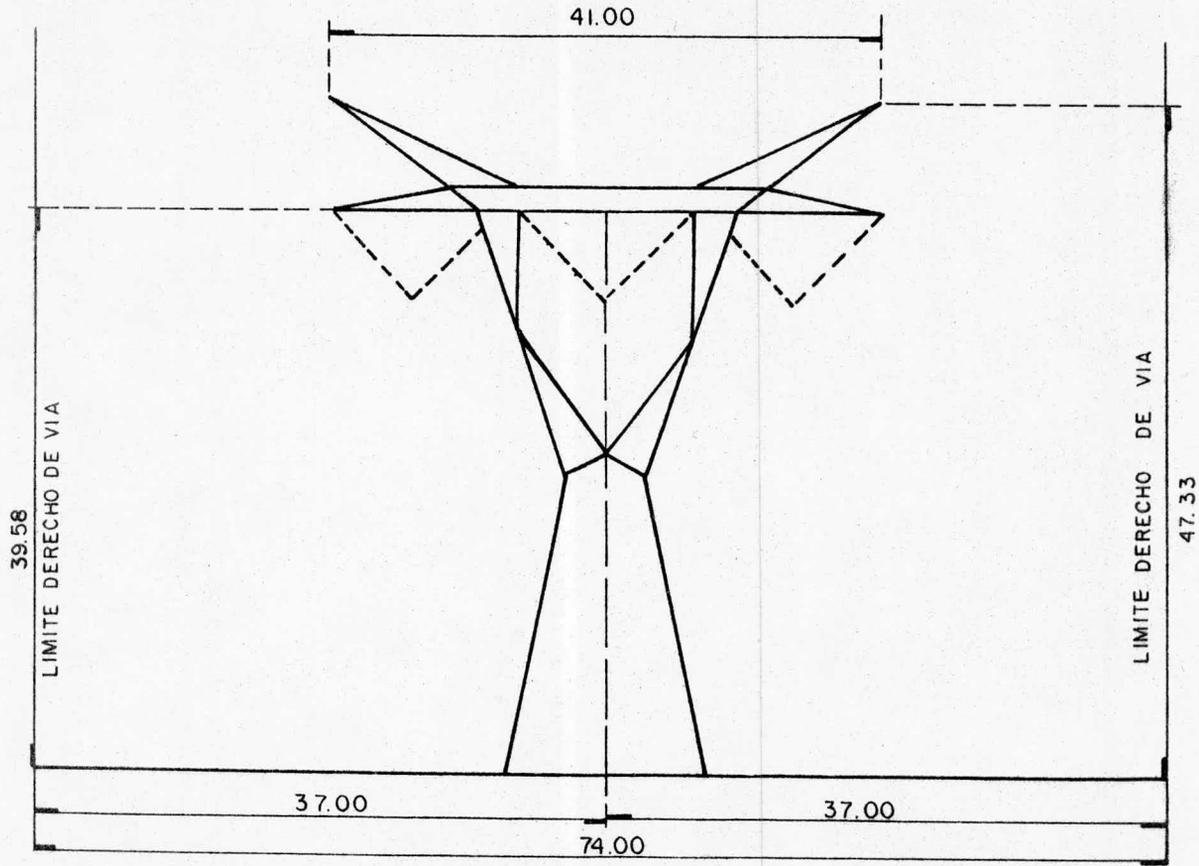


FIGURA 10.4 LINEA DE 750 KV
DERECHO DE VIA
ALTERNATIVA 4

CONCLUSIONES

1. AISLAMIENTO

1.1 El nivel básico de aislamiento al impulso para una altitud de 2500 metros sobre el nivel del mar es: 2396 KV.

1.2 La sobretensión máxima esperada de fase a tierra ocasionada por la operación de interruptores es 1.7 veces la tensión nominal de fase a tierra valor de cresta, es decir, 1041 KV.

1.3 Para obtener el nivel de aislamiento demandado por la operación de interruptores se requiere de 37 x 2 aisladores para cadenas de suspensión en "V", que proporcionan un nivel de aislamiento de:

para una fase central : 1044.58 KV

para una fase lateral : 1096.81 KV

1.4 En el análisis para determinar el aislamiento para ten-

sión a frecuencia nominal se observa que a 37 aisladores corresponde una tensión de flameo a la frecuencia nominal en condiciones críticas de densidad relativa del aire y humedad de 1560 KV superior a 612.37 KV que corresponde a la tensión nominal de fase a tierra, por lo que no se requiere ningún cambio por este concepto.

1.5 El aislamiento para contaminación atmosférica, para las zonas con atmósfera limpia no es necesario determinarlo. Para zonas con contaminación ligera requiere para el caso de 37 aisladores con distancia de fuga de 304.8 mm. (12 plg.). Para las zonas con contaminación atmosférica moderada, contaminación alta y precipitación salina es necesario hacer nuevos cálculos y determinar la distancia de fuga necesaria para el medio ambiente de que se trate.

2. CONDUCTORES

2.1 Se utilizarán cuatro conductores por fase ACSR 1113 MCM en circuito simple y horizontal, para estas condiciones se espera

un gradiente superficial sea aproximadamente: 19.31 KV(rms)/cm. para una fase central y 17.9 KV (rms)/cm. para una fase lateral.

3. CABLES DE GUARDA

3.1 Para la protección contra descargas atmosféricas se requiere de dos cables de acero extragalvanizado de 9.5 mm.(3/8") de diámetro.

4. CADENAS DE AISLADORES

4.1 Las cadenas de aisladores se formarán de aisladores de 30.48 cm. (12") para las zonas con atmósfera ligeramente contaminada, para las zonas con atmósfera limpia se pueden usar con 292 mm. (11.5") de distancia de fuga.

4.2 Las cadenas de suspensión serán en "V" y se formarán de 2 x 37 aisladores. Las cadenas de tensión serán cuádruples y se formarán de 4 x 38 aisladores.

4.3 Los herrajes serán del tipo "Corona Free" para eliminar en lo posible el efecto corona.

5. ACCESORIOS

NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

5.1 Para mantener la separación entre conductores de la misma fase se utilizarán separadores con resistencia mecánica suficiente para soportar, sin que se deformen permanentemente, los esfuerzos electrodinámicos de compresión producidos por corrientes de corto circuito asimétricos y con dispositivos de sujeción que limiten en lo posible el deterioro de los conductores.

5.2 La conexión a tierra se llevará a cabo con enrollamientos de cable del calibre No. 3/0 AWG, contraantenas de cobre del mismo calibre y varillas Copperweld de 16 mm. de diámetro unidos por medio de conectores convencionales. La combinación y la longitud de los elementos mencionados dependerá de la resistividad del terreno en cada caso.

6. TORRES

6.1 La distancia mínima de las partes vivas al cuerpo de la torre es: 6.484 metros, para el caso de 37 aisladores.

6.2 La distancia mínima entre fases es 13.97 metros.

6.3 Las alturas de las torres se determinaron en base a una tensión máxima de 3900 kg. por conductor y un claro de 500 metros. Las otras dimensiones son aproximadas.

7. CARACTERISTICAS ELECTRICAS

7.1 La impedancia de secuencia positiva y negativa para las diferentes alternativas son:

$$1) (0.02709 + 0.60448) \times 10^{-4} \text{ p.u./km.}$$

$$2) (0.02012 + 0.59721) \times 10^{-4} \text{ p.u./km.}$$

$$3) (0.02605 + 0.60860) \times 10^{-4} \text{ p.u./km.}$$

$$4) (0.02725 + 0.59717) \times 10^{-4} \text{ p.u./km.}$$

7.2 La impedancia de secuencia cero para las diferentes alter

nativas son:

- 1) $(0.52229 + 1.9617) \times 10^{-4}$ p.u./km.
- 2) $(0.52124 + 1.9780) \times 10^{-4}$ p.u./km.
- 3) $(0.51301 + 1.9636) \times 10^{-4}$ p.u./km.
- 4) $(0.49460 + 2.0010) \times 10^{-4}$ p.u./km.

7.3 La impedancia y potencia características de cada una de ellas son:

- 1) $Z_0 = 269.1$ ohms, SIL = 2090 Mw
- 2) $Z_0 = 265.8$ ohms, SIL = 2116 Mw
- 3) $Z_0 = 270.9$ ohms, SIL = 2076 Mw
- 4) $Z_0 = 265.8$ ohms, SIL = 2116 Mw

8. PROTECCION CONTRA RAYOS

8.1 El ángulo máximo de protección para cada caso será:

- 1) - - - - - 17°
- 2) - - - - - 17°
- 3) - - - - - 16°
- 4) - - - - - 18°

8.2 La resistencia de las torres deberá limitarse a un máximo de 18 ohms, ya que dada la importancia de las líneas de 750 KV, se considera económico reducir la resistencia a tierra al valor calculado.

8.3 El valor calculado para predecir el número de salidas producidas por descargas atmosféricas para cada alternativa son:

- 1) 0.29073 salidas/100 km./año
- 2) 0.29045 salidas/100 km./año
- 3) 0.32571 salidas/100 km./año
- 4) 0.36831 salidas/100 km./año

9. DISTANCIAS REGLAMENTARIAS

9.1 Las distancias reglamentarias fueron calculadas con base a los artículos 44, 45 y 47 del Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas. Las distancias que se calcularon son las siguientes:

- 1) Distancia mínima de los conductores al piso.
- 2) Distancia mínima con cruzamientos con otras líneas.

- 3) Distancia de los conductores al borde del derecho de vía.

10. DERECHO DE VIA

10.1 La amplitud del derecho de vía estará en función de las especificaciones del Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas.

BIBLIOGRAFIA

- I. Anderson, Paul J., 1978, Analysis of Faulted Power Systems, United States of North America, The Iowa State University Press.
- II. Comisión Federal de Electricidad, 1977, Evolución del Sector Eléctrico en México, México.
- III. Comisión Federal de Electricidad, 1978, Plan de Expansión del Sector Eléctrico al año 2000, Tomo 1, México.
- IV. Cruz Galindo, Pedro Luis, 1981, Tesis, Estudio del Efecto Corona y Radiointerferencia en Líneas de Ultra Alta Tensión, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México, San Juan de Aragón, Edo. de México.
- V. Enríquez Harper, Gilberto, 1978, Líneas de Transmisión y Redes de Distribución de Potencia Eléctrica, Volúmen 1, México, Ed. Limusa.
- VI. General Electric Company, 1969, E.H.V. Transmission Line Reference Book, New York, Ediso Electric Institute.

- VII. General Electric Company, 1975, U.H.V. Transmission Line Reference Book 345 KV and Above, New York, Edison Electric Institute.
- VIII. International Electrotechnical Commission, 1976, Publicación 71.
- IX. Stevenson, William D., 1978, Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, México, Ed. Mc Gray-Hill de México, S.A.
- X. Viqueira Landa, Jacinto, 1975, Redes Eléctricas 1a. Parte- Redes Eléctricas en Régimen Permanente Equilibrado, México, D.F., Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.