

24.31



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"LIMITACIONES ELECTROMECHANICAS PARA LA LOCALIZACION OPTIMA DE ESTRUCTURAS EN LINEAS DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION"

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A N :

JOSE JAVIER CAZARES ARELLANO  
JOSE ANTONIO LOPEZ HERNANDEZ  
JORGE HECTOR OSORIO ALVAREZ

DIRECTOR: ING. RODOLFO LORENZO BAUTISTA



## **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.

LIMITACIONES ELECTROMECANICAS PARA LA LOCALIZACION OPTIMA DE-  
ESTRUCTURAS EN LINEAS

	Pág.
INTRODUCCION - - - - -	1
CAPITULO I TIPOS DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES - - - - -	10
1.1 CABLES PARA LINEAS AEREAS - - - - -	11
1.1.1 SELECCION DE CABLES PARA LINEAS AEREAS - - - - -	11
1.1.2 APLICACION - - - - -	11
1.1.3 DISEÑO DEL CABLE - - - - -	12
1.2 ALAMBRES Y CABLES DE COBRE DESNUDO - - - - -	15
1.2.1 APLICACION - - - - -	15
1.2.2 TABLAS - - - - -	17
1.3 ALAMBRES Y CABLES DE ALUMINIO TIPO AAC - - - - -	23
1.3.1 APLICACION - - - - -	23
1.3.2 TABLAS - - - - -	24
1.4 CABLES ACSR DE ALUMINIO CON REFUER- ZO DE ACERO CALVANIZADO - - - - -	27
1.4.1 APLICACION - - - - -	27
1.4.2 TABLAS - - - - -	29
1.5 CABLE ACSR-AW DE ALUMINIO CON RE- FUERZO DE ACERO CON ALUMINIO - - - - -	33
1.5.1 APLICACION - - - - -	33
1.5.2 TABLAS - - - - -	34
1.6 ENSAMBLES DE CADENA DE AISLADORES - - - - -	41
1.7 ESTRUCTURAS DE DISTRIBUCION - - - - -	46
1.8 ESTRUCTURAS DE TRANSMISION - - - - -	56

CAPITULO 2	CALCULO ELECTRICO DE LINEAS DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION - - - - -	60
2.1	CALCULO ELECTRICO - - - - -	61
2.1.1	CONTINUIDAD DEL SERVICIO - - - - -	61
2.1.2	REGULACION DEL VOLTAJE - - - - -	62
2.1.3	CONTROL DE LA FRECUENCIA - - - - -	63
2.2	CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION AEREAS - - - - -	64
2.2.1	RESISTENCIA - - - - -	64
2.2.2	RESISTENCIA OHMICA - - - - -	65
2.3	RESISTENCIA EFECTIVA - - - - -	70
2.4	REACTANCIA INDUCTIVA - - - - -	72
2.4.1	CORRECCION DE LA INDUCTANCIA INTERNA POR EFECTO SUPERFICIAL - - - - -	74
2.4.2	INDUCTANCIA DE UN CIRCUITO TRIFASICO - - - - -	76
2.4.3	RADIO MEDIO GEOMETRICO - - - - -	77
2.5	CAPACITANCIA Y REACTANCIA CAPACITIVA - - - - -	81
2.5.1	CAPACITANCIA Y REACTANCIA CAPACITIVA DE UN CIRCUITO TRIFASICO - - - - -	82
2.5.2	CAPACITANCIA Y REACTANCIA CAPACITIVA EN FUNCION DE LAS DISTANCIAS MEDIAS GEOMETRICAS Y LOS RADIOS MEDIOS GEOMETRICOS - - - - -	84
2.5.3	TABLAS DE REACTANCIAS CAPACITIVAS - - - - -	86
2.5.4	CAPACITANCIA DE UNA LINEA MONOFASICA DE UN CONDUCTOR CON RETORNO POR TIERRA - - - - -	87
2.5.5	CAPACITANCIA DE UNA LINEA MONOFASICA DE DOS CONDUCTORES IGUALES Y PARALELOS, TOMANDO EN CUENTA EL EFECTO DE LA TIERRA - - - - -	88

	pág.
2.5.6 CAPACITANCIA DE UN CIRCUITO TRIFASICO TOMANDO EN CUENTA EL EFECTO DE LA TIERRA - - - - -	_91
2.6 EFECTO CORONA - - - - -	_92
2.6.1 GRADIENTE SUPERFICIAL CRITICO DE UN CONDUCTOR CILINDRICO - - - - -	_92
2.6.2 INFLUENCIA DEL FACTOR DENSIDAD DEL AIRE EN EL GRADIENTE SUPERFICIAL CRITICO - - - - -	_94
2.6.3 INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE DEL CONDUCTOR EN EL GRADIENTE SUPERFICIAL CRITICO - - - - -	_96
2.7 VOLTAJE CRITICO DISRUPTIVO - - - - -	_98
2.7.1 VOLTAJE CRITICO DISRUPTIVO DE UNA LINEA TRIFASICA CON CONDUCTORES MULTIPLES POR FASE - - - - -	_102
2.7.2 PERDIDAS POR EFECTO CORONA - - - - -	_103
2.8 CIRCUITO EQUIVALENTE MONOFASICO DE UN SISTEMA POLIFASICO SIMETRICO EQUILIBRADO - - - - -	_105
2.8.1 LINEAS CORTAS - - - - -	_106
2.8.2 REGULACION DEL VOLTAJE - - - - -	_109
2.8.3 CALCULO APROXIMADO DE LA CAIDA DE VOLTAJE EN LA LINEA Y DE LA REGULACION - - - - -	_110
2.8.4 EFECTO DE LA CIRCULACION DE POTENCIA REACTIVA SOBRE LA REGULACION DEL VOLTAJE Y SOBRE LAS PERDIDAS - - - - -	_111
2.9 LINEAS DE LONGITUD MEDIA - - - - -	_113
2.9.1 CIRCUITO EQUIVALENTE $\pi$ - - - - -	_114
2.9.2 CIRCUITO EQUIVALENTE T - - - - -	_116
2.9.3 CONSTANTES GENERALIZADAS ABCD - - - - -	_120
2.10 LINEAS LARGAS - - - - -	_123

2.10.1	CIRCUITO EQUIVALENTE DE LINEAS LARGAS - - - - -	125
2.10.2	POTENCIA CARACTERISTICA - - - - -	126
2.11	CALCULO DE AISLAMIENTO EN LINEAS- DE TRANSMISION - - - - -	128
2.11.1	SOBRETENSIONES EN LOS SISTEMAS -- ELECTRICOS - - - - -	128
2.11.2	SOBRETENSIONES DE ORIGEN INTERNO- -	128
2.11.3	SOBRETENSIONES DE ORIGEN EXTERNO- -	129
2.11.4	CRITERIOS PARA LA DETERMINACION - DE LAS DISTANCIAS DIELECTRICAS -- DEL AIRE - - - - -	129
2.11.5	DISTANCIA DE FUGA - - - - -	131
2.11.6	DISTANCIA DE FLAMEO EN SECO - - - -	132
2.11.7	DISTANCIA DE FLAMEO EN HUMEDO - - -	132
2.11.8	EFFECTOS METEOROLOGICOS - - - - -	136
2.11.9	SECUENCIA A SEGUIR PARA EL CALCULO DEL NUMERO DE AISLADORES - - - -	138
2.11.10	EJEMPLO DE CALCULO DE NUMERO DE- AISLADORES - - - - -	141
2.11.11	COORDINACION DE AISLAMIENTO - -- (TABLAS) - - - - -	144
2.11.12	COORDINACION DE AISLADORES (TABLA) - - - - -	150

CAPITULO	3 CALCULO DE TENSIONES MECANICAS EN CONDUCTORES E HILOS DE GUARDA - - - - -	151
3.1	CALCULO DE TENSIONES MECANICAS EN LINEAS DE DISTRIBUCION - - - - -	152
3.1.1	CONDICIONES INICIALES Y FINALES - - -	152
3.2	CALCULO DE TENSIONES MECANICAS EN- LINEAS DE TRANSMISION - - - - -	154

	Pág.
3.2.1 METODO DE LA EC. DE CAMBIO DE ESTADO - - - - -	-154
3.3 CLAROS DE APOYOS A DISTINTO NIVEL - - - - -	_162
3.4 VARIACIONES DE LA FLECHA Y LA TENSION DE UN CABLE EN FUNCION DE LA TEMPERATURA Y DE LA CARGA - - - - -	_169
3.4.1 ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO - - - - -	169
<b>CAPITULO 4 LIMITACIONES MECANICAS Y ELECTRICAS -</b>	
EN ESTRUCTURAS TIPO - - - - -	173
4.1 RESISTENCIA MECANICA DEL POSTE - - - - -	-174
4.2 ESTRUCTURAS TIPO T - - - - -	180
4.3 ESTRUCTURAS TIPO HA y HS (SIN CON TRAVIENTO) - - - - -	183
4.4 ESTRUCTURAS TIPO HA y HS (CON CON TRAVIENTO) - - - - -	185
4.5 CRUCETA - - - - -	_187
4.5.1 CARGAS VERTICALES - - - - -	_187
4.5.2 CARGAS LONGITUDINALES - - - - -	_191
4.6 SEPARACION ELECTRICA - - - - -	_194
4.7 ALFILER - - - - -	_198
4.7.1 ALFILER-AISLADOR, DEFLEXIONES MAXIMAS - - - - -	200
<b>CAPITULO 5 APOYO DE LA COMPUTADORA PARA DIBUJO DE PERFILES Y LOCALIZACION DE ESTRUCTURAS - - - - -</b>	<b>202</b>
5.1 PROGRAMA: LOCALIZACION OPTIMA DE TORRES PARA EL TENDIDO DE LINEAS DE TRANSMISION - - - - -	203
5.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO - - - - -	204
5.1.2 EJEMPLO DE APLICACION - - - - -	208

	Pág.
5.2 PROGRAMA: SOLUCION DE LA ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO - - - - -	213
5.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO - - - - -	214
5.2.2 EJEMPLO DE APLICACION - - - - -	216
CONCLUSIONES - - - - -	218
REFERENCIAS - - - - -	219

## INTRODUCCION

Para el inicio del proyecto de una línea de transmisión, es de suma importancia la definición precisa de las características básicas, para un mejor desarrollo.

A fin de evitar en lo más mínimo modificaciones posteriores que sólo ocasionarían gastos y pérdidas de tiempo, se deben tener en cuenta las siguientes características:

1.- Determinación de carga actual necesaria y la estimación de carga que en un futuro se requiera alimentar.

Muchas veces, por falta de una completa información o una inadecuada investigación de la zona, la línea puede resultar insuficiente para satisfacer las necesidades de los consumidores. Para evitar esta situación, es importante dedicar tiempo suficiente en las investigaciones de futuras cargas y aplicar con criterio y holgura, los incrementos anuales de cargas obtenidos de datos estadísticos reales anteriores, o bien en caso de duda, estimar con prudencia la carga de sobra ya que la experiencia obtenida anteriormente en otros casos se han quedado cortos.

2.- Determinación de los puntos, tanto de envío, como de recepción de la energía a transmitir.

Es importante tomar en cuenta que la línea pasará cerca de poblados o zonas industriales que posteriormente se deseen electrificar, y también es importante prever las posi

bilidades de interconexiones, con otros sistemas y la necesidad que en un futuro la línea se prolongue.

3.- Longitud probable de la línea.

Este dato se toma directamente de los planos geográficos después de seleccionar el trazo de la línea.

4.- Número de circuitos.

Es muy importante establecer el número exacto de circuitos antes de iniciar el proyecto, ya que un cambio de este tipo modificará el diseño de las estructuras y del tipo de material seleccionado.

5.- Voltaje.

Es muy importante determinar si los voltajes se di señan, ya sea para una carga actual (voltaje actual) o para una carga a futuro (voltaje futuro) para diseño de las estruc turas y los aislamientos.

#### OBTENCION DE DATOS METEOROLOGICOS

Como datos para el diseño del proyecto, es de suma importancia contar con la información de datos meteorológicos anuales y entre los principales tenemos:

- a). La velocidad máxima de los vientos.
- b). La velocidad media de los vientos.
- c). Temperatura ambiente máxima.
- d). Temperatura ambiente mínima.
- e). Formación de hielo en los cables y espesor - del recubrimiento.
- f). Número de días en que se registran tormentas eléctricas durante el año.

#### MATERIAL MAS ADECUADO

- a) Pueden ser cables de: Cobre desnudo, AAC, ACSR, ACSR/AW, dependiendo de las condiciones particulares del diseño (nivel de corrosión, existencia de contaminantes, etc.)
- b) Cables de acero desnudo galvanizado (hilo de guarda)
- c) Cadena de Aisladores. Estará formada por varios aisladores en un número que dependerá de las condiciones particulares del diseño.
- d) Cadena de suspensión y tensión. También están determinadas por las condiciones particulares del diseño.
- e) Horrajes. Serán de un material que resista los esfuerzos de ruptura de las cadenas de suspen--

- sión y tensión y del hilo de guarda.
- f) Estructuras. Estarán condicionadas de acuerdo al tipo de terreno y esfuerzos mecánicos (flechas y tensiones de los conductores).

#### SELECCION DEL TRAZO DE LA LINEA

Antes de empezar el proyecto y cálculo de la línea es necesario un trabajo de reconocimiento general de la región y estudio de la ruta más conveniente, por medio de fotografías en serie, tomadas desde un avión generalmente; identificación de los predios afectados; convenio con sus propietarios de venta o permiso de paso; levantamiento topográfico detallado, dibujo del plano y perfil a escalas reglamentarias.

Reconocido el terreno, se procede a limpiar el espacio que forma el derecho de vía y librar a la línea de cualquier interferencia y facilitar el paso a las máquinas escavadoras, tractores, gruas, etc.

#### LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

Este aspecto es de suma importancia, ya que éste es prácticamente la base sobre la cual se guía para la elaboración del proyecto.

Durante el reconocimiento y el estudio del trazo, el topógrafo tomará en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) Realizar alineamiento lo más largo posible y evitar deflexiones en lugares bajos o ángulos mayores a los -

permisibles por las torres.

- b) Al localizar las deflexiones es importante tener presente el tipo de estructuras, con el fin de dejar espacio necesario para las retenidas - si la estructura es de este tipo, y evitar su interferencia con cercas, líneas de potencial, telecomunicaciones, etc., previniendo un espacio libre, definido por un círculo con radio mínimo de 20 metros.
- c) Por seguridad de la línea, mantener el trazo a una distancia suficiente de cantera, fuentes de productos corrosivos, explotaciones minerales, etc.
- d) Todos los cruzamientos de la línea con vías férreas, caminos, carreteras y líneas de comunicación deben efectuarse en ángulo recto como sea posible y evitar que sea a menos de 45°.
- e) Pasar cuando menos a 150 metros de conjunto de casas y a 40 metros de cualquier construcción aislada.

Se considerará en el levantamiento topográfico de reconocimiento cuando sea factible, el paralelismo del trazo a diversas vías de comunicación y otros, tales como:

Carreteras:

Cuando el trazo sigue una dirección paralela a una carretera, la distancia entre ejes será de 35 metros como mínimo.

Ferrocarriles:

Si el trazo sigue una dirección paralela a una vía de ferrocarril, la distancia entre el trazo y el eje de la vía será de 35 metros como mínimo. Pero en el caso de ir una línea telefónica o telegráfica paralelamente a la vía, se preferirá la distancia mínima de 80 metros, que es la distancia necesaria para evitar interferencia inductiva en cualquier zona expuesta.

Líneas de transmisión:

La distancia entre ejes no será menor a 30 metros.

En el trazo de las líneas se evitará en todo lo posible, las siguientes áreas:

- a) Terreno con bosque espeso o con derecho de vía muy costoso.
- b) Áreas que estén expuestas a fuertes escurrimientos fluviales o deslizamientos de nieve.
- c) Edificios de toda clase.
- d) Zonas inundables o pantanosas.

En cruces con ríos, lagos y otras zonas con agua, se debe marcar en los planos el nivel de agua existente cuando se hizo el levantamiento, pero sobre todo el nivel de agua máxima que es el que servirá para lo relativo a libramientos.

En cruzamientos con una vía de ferrocarril se recabarán los siguientes datos:

- a) Nombre del ferrocarril y su sentido
- b) Estación y kilometraje de la línea de transmisión en el eje de la vía.
- c) Angulo de intersección.
- d) Elevación del hongo del riel.
- e) Kilometraje de la vía férrea en el punto de cruce.
- f) Altura superior e inferior de los conductores telegráficos o telefónicos cruzados.
- g) Cuando la línea siga paralela al ferrocarril, se debe marcar la distancia entre el eje del levantamiento y el de la vía.

En los cruces con caminos o carreteras se registrarán los siguientes datos:

- a) Nombre de la carretera.
- b) Kilometraje del trazo en el cruce con el eje del camino.
- c) Angulo de la intersección.
- d) Ancho del derecho de vía.
- e) Tipo de superficie de rodamiento (asfalto, terracería, tierra, etc.).  
No se considerarán veredas, brechas, caminos temporales ocasionados por cultivos, que fácilmente cambien de lugar.
- f) Cuando el trazo vaya en paralelo a un camino o carretera, se anotará su distancia entre ejes.

Se deben localizar todos los cruzamientos con lí-

neas de energía o de comunicación, registrandose para cada caso la siguiente información:

- a). Nombre de la línea.
- b) Angulo de intersección.
- c) Localización de las estructuras adyacentes a la intersección, acotando su distancia.
- d) Tipo y descripción de las estructuras de la línea que se cruza y su altura.
- e) Número de alambres que se cruzan.
- f) Voltaje y tipo de servicio de la línea que se cruza.
- g) Altura de los conductores superiores y de los cables de guarda en la intersección.

Se deben localizar todos los ríos, canales, lagos, represas, drenos y cauces de avenidas, incluyendo los normalmente secos, registrándose la siguiente información:

- a) Cota hasta donde han llegado las aguas máximas extraordinarias.
- b) Cota del nivel del agua, donde se encuentra al efectuar el levantamiento.
- c) Dirección de la corriente.
- d) Anotar cuando sea navegable.

Derechos de vía de la línea de transmisión:

El derecho de vía es una faja de terreno cuyo eje-corresponde al trazo de la línea, dentro del cual no debe existir ninguna construcción adicional a la propia línea. Por

tanto es necesario que dicha faja, al efectuar el levanta- --  
miento no invada otros derechos de vía o bien construcciones-  
de cualquier índole, salvo casos extremos, los que se locali-  
zarán en los planos del trazo para que el personal técnico de  
línea juzgue si es más conveniente indemnizar o cambiar la di  
rección del trazo.

(1)

**TIPOS DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES**

## 1.1 CABLES PARA LINEAS AEREAS

### 1.1.1 SELECCION DE CABLES PARA LINEAS AEREAS

Para seleccionar el cable más adecuado a utilizar en una línea aérea se debe previamente realizar el estudio técnico analizando si las características que éste ofrece, cumplen con los requerimientos de la instalación.

En el caso en que se tengan varias alternativas a elegir, entonces se recurren a otros factores como son costo inicial, costo de mantenimiento y vida útil.

### 1.1.2 APLICACION

Los cables para líneas aéreas son utilizados principalmente para la distribución, subtransmisión y transmisión de energía eléctrica en zonas urbanas, rurales y costeras.

Estos cables son instalados sobre aisladores que pueden ser de porcelana o sintéticos, los que determinan la tensión de operación del conductor.

Debido a su construcción, algunos de estos cables representan un gran ahorro en su instalación, ya que por el re

fuerzo a base de hilos de acero resisten una mayor tensión me  
cánica y los claros interpostales son mayores, necesitando me  
nor número de estructuras de aisladores y de herrajes.

### 1.1.3 DISEÑO DEL CABLE

Cuando un cable va a ser seleccionado, se deberá tener en cuenta las condiciones de instalación a las que va a estar sujeto, ya que los cables van a diferir en sus propiedades -- eléctricas y mecánicas, en su configuración, en el método de ensamble y en su resistencia a la corrosión según lo establezca el medio ambiente para el cual ha sido diseñado. Por esto es importante que el diseño del cable cumpla con los requisitos de operación que establece el medio donde va a ser instalado, con lo que se asegura una mayor eficiencia y una vida -- prolongada, dándole al consumidor el producto adecuado a sus necesidades con la gran calidad que caracteriza a ConduMex.

Los cables para líneas aéreas están formados por -- un conductor sólido o cableado, que en la mayoría de los ca-- sos va desnudo, salvo en algunas ocasiones que se le aplica -- un forro de polietileno o policloruro de vinilo (PVC) como -- protección.

a) Conductor

Para seleccionar el tipo de conductor en cuanto a material se refiere, se debe conocer el grado de contaminación o de corrosión en la zona en que se localizará la línea, a fin de utilizar el material más adecuado.

El conductor está formado por uno o varios alambres de cobre o de aluminio, y éstos últimos a su vez, pueden tener fuerza de hilos de acero, que son reunidos con un paso de cableado determinado.

Un conductor redondo es un alambre o cable cuya sección transversal es sustancialmente circular. Cuando los alambres son de mayor diámetro, el torcido de los mismos se efectúa generalmente en capas concéntricas alrededor de un núcleo central de 1 ó más alambres, recibiendo el nombre de cable concéntrico que es el más empleado en cables desnudos para líneas aéreas.

Es conveniente considerar las ventajas y desventajas de los conductores de aluminio, aluminio con alma de acero (ACSR) y cobre, con el objeto de marcar un criterio para su elección.

1.-) El empleo de cables de aluminio con alma de acero (ACSR) en líneas aéreas, permite distancias interpostales mayores . . que con el empleo de conductores de cobre, debido al bajo peso del aluminio, reforzado con el alto esfuerzo a la ruptura del acero.

2.-) Los cables de aluminio con alma de acero (ACSR) no deben emplearse en zonas de contaminación fuerte o con atmósfera sa lobre ni en lugares próximos al mar, ya que los efectos de la corrosión electroquímica entre los hilos de acero y de aluminio los destruyen rápidamente.

3.-) En redes de distribución el empleo de alambres y cables de aluminio, por lo general no reporta ventajas sobre el uso de conductores de cobre, ya que éste último tiene un precio - de recuperación (como chatarra) superior al del aluminio.

4.-) Los alambres y cables de cobre se recomienda usarlos en líneas de transmisión, subtransmisión y distribución de energía eléctrica en zonas con atmósfera salobre (lugares próximos al mar) o bien en donde se tiene una corrosión fuerte.

## 1.2 ALAMBRES Y CABLES DE COBRE DESNUDO

### DESCRIPCION:

Alambre ó cables concéntrico formados por 7, 19 ó 37 hilos de cobre desnudo. El material empleado en la manufactura de estos conductores es cobre electrolítico y puede fabricarse en tres temple: duro, semiduro y suave.

### 1.2.1 APLICACION

Líneas de transmisión, subtransmisión y distribución de energía eléctrica. Se recomienda su uso especialmente en ambientes salobres (cerca del mar, esteros, etc) y en ambientes corrosivos. Los cables de cobre suave se emplean también para redes de tierra en sistemas de potencia.

### TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

75°C Temperatura usual de diseño en líneas aéreas.

### PROPIEDADES:

- 1) Alta conductividad, ductilidad y resistencia a la tracción y a la fatiga.
- a) Altamente resistentes a la corrosión en ambientes salobres

o contaminados.

3) Varios tipos de cableado: A, AA, y B.

ESPECIFICACIONES:

Alambres: ASTM-B1, ASTM- B2, ASTM-B3

Cables: NOM J12

DATOS PARA PEDIDO:

Alambre ó cable de cobre desnudo, temple (duro, semiduro o suáve), calibre, número de hilos peso en Kg. y número de producto.

## 1.2.2 TABLAS

## ALAMBRES DE COBRE DESNUDOS

Calibre AWG	Diámetro nominal mm	Area mm	Peso kg/km	Temple Duro		Temple Semiduro		Temple Suave	
				Número de producto	Carga de ruptura kg	Número de producto	Carga de ruptura kg	Número de producto	Carga de ruptura kg
18	1.02	0.81	7.32	020032	39	020024	35	020036	22
17	1.14	0.90	8.24	020034	49	020026	44	020038	28
16	1.29	1.01	11.60	020034	61	020046	55	020039	35
14	1.63	1.29	15.50	020034	97	020048	86	020062	56
12	2.05	3.31	29.40	020030	154	020044	135	020060	90
10	2.59	5.26	46.77	020028	239	020043	212	020058	143
9	2.91	6.63	58.95	020511	301	020042	267	020057	175
8	3.26	8.37	74.35	020027	375	020041	333	020056	216
7	3.67	10.55	93.80	020510	468	020040	419	020055	275
2	4.12	13.10	118.20	020509	583	020039	522	020054	341
4	5.19	21.20	188.00	020026	897	020038	821	020052	551
3	5.83	26.67	237.15	020025	1102	020944	1033	020051	694
2	6.54	33.62	298.90	020024	1353	020037	1267	020050	876
1/0	8.25	55.50	475.50	020030	2045	020047	1963	021282	1355

NOTA: Estos datos son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura.

## CABLES DE COBRE DESNUDOS.

Calibre AWG-KCM	Número y diámetro de hilos (mm)	Diámetro cable mm	Area mm	Clase de cableado	Peso kg/km	Temple Duro		Temple Semiduro		Temple Suave	
						Número de producto	Carga de ruptura kg	Número de producto	Carga de ruptura kg	Número de producto	Carga de ruptura kg
12	7 x 0.77	2.34	4.30	B	30	021242	141	020120	112	020155	90
10	7 x 0.95	2.91	5.53	B	47	021243	223	020119	177	020154	143
8	7 x 1.23	3.71	10.61	B	75	020589	353	020118	277	020562	227
6	7 x 1.55	4.67	17.13	B	120	020244	558	020117	435	020153	350
4	7 x 1.96	5.89	27.25	A y B	191	020102	860	020116	683	020151	573
2	7 x 2.47	7.42	43.24	A y B	303	020101	1362	020114	1072	020149	948
1/0	7 x 3.12	9.35	77.13	A	482	020103	2125	020121	1.682	020157	1.392
1/0	19 x 1.87	9.47	70.44	B	482	020107	2.225	020127	1.727	020172	1.451
2/0	7 x 3.50	10.52	86.92	A	608	020104	2.690	020122	2.107	020158	1.750
2/0	19 x 2.13	10.64	88.91	B	608	020108	2.743	020128	2.163	020173	1.827
3/0	19 x 2.39	11.94	111.97	B	767	020578	3.495	020123	2.710	020174	2.304
4/0	7 x 4.42	13.26	135.09	AA y A	967	020105	4.156	020124	3.304	020973	2.792
4/0	19 x 2.68	13.41	141.24	B	967	021245	4.366	020130	3.395	020175	2.792
500	19 x 2.91	14.55	155.25	A	1142	020146	5.157	020131	4.080	020176	3.428
250	37 x 2.09	14.61	167.64	B	1142	020110	5.248	020137	4.064	020183	3.432
300	19 x 3.19	15.95	200.56	A	1371	020579	6.134	020132	4.781	021448	3.958
500	19 x 4.12	20.60	333.29	AA	2285	020582	9.965	020135	7.863	020177	6.597
500	37 x 2.95	20.65	334.91	A y B	2285	021246	10.220	020141	7.968	020187	6.557
750	37 x 3.62	25.32	503.52	AA	3428	021247	15.164	020142	11.872	021249	9.893
1000	57 x 4.18	29.24	671.50	AA	4570	020585	19.899	020143	15.618	020950	13.192

NOTA: Estos datos son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura.

Resistencia eléctrica de alambres de cobre

CALIBRE AWG	RESISTENCIA CD A 20°C en ohm/km		
	DURO	SEMIDURO	SUAVE
	CONDUCTIVIDAD (% IACS)		
	96.16	96.66	100.0
18	21.81	21.69	21.00
17	17.28	17.15	16.60
16	13.74	13.67	13.20
14	8.63	8.58	8.28
12	5.42	5.39	5.21
10	3.41	3.39	3.28
9	2.70	2.69	2.60
8	2.14	2.13	2.06
7	1.70	1.69	1.63
6	1.35	1.34	1.30
4	0.848	0.843	0.815
3	0.672	0.669	0.647
2	0.533	0.531	0.513
1/0	0.335	0.333	0.322

Resistencia eléctrica de cables de cobre

CALIBRE AWG-KCM	RESISTENCIA CD A 20°C en Ohm / Km		
	DURO	SEMIDURO	SUAVE
	CONDUCTIVIDAD (% IACS)		
	96.16	96.66	100.0
12	5.53	5.50	5.31
10	3.48	3.46	3.34
8	2.19	2.17	2.10
6	1.38	1.37	1.32
4	0.865	0.860	0.832
2	0.544	0.541	0.523
1/0	0.342	0.340	0.329
2/0	0.271	0.270	0.261
3/0	0.215	0.214	0.207
4/0	0.171	0.170	0.164
250	0.144	0.143	0.139
300	0.120	0.119	0.116
500	0.072	0.072	0.069
750	0.048	0.048	0.046
1000	0.036	0.036	0.035

Resistencia a la corriente alterna de alambres y cables de cobre con temple duro

CALIBRE AWG/kCM	RESISTENCIA CA		
	25 C	50 C	75 C
18	22.26	24.40	26.53
17	17.63	19.77	21.02
16	14.02	15.37	16.72
14	8.51	9.65	10.50
12	5.53	6.06	6.59
10	3.48	3.81	4.15
9	2.76	3.02	3.28
8	2.18	2.39	2.60
7	1.73	1.90	2.07
6	1.38	1.51	1.64
4	0.87	0.95	1.03
3	0.69	0.75	0.82
2	0.54	0.60	0.65
1/0	0.34	0.37	0.41
2/0	0.28	0.30	0.33
3/0	0.23	0.25	0.27
4/0	0.17	0.19	0.21
250	0.15	0.16	0.18
300	0.12	0.13	0.15
500	0.08	0.08	0.09
750	0.05	0.06	0.06
1000	0.04	0.04	0.05

Resistencia a la corriente alterna de alambres y cables de cobre con temple semiduro.

CALIBRE AWG, kCM	RESISTENCIA CA		
	25 C	50 C	75 C
18	22.13	24.26	26.38
17	17.53	19.66	20.90
16	13.94	15.28	16.63
14	8.76	9.60	10.44
12	5.50	6.03	6.55
10	3.45	3.79	4.13
9	2.74	3.00	3.26
8	2.17	2.36	2.59
7	1.72	1.89	2.06
6	1.37	1.50	1.63
4	0.87	0.95	1.02
3	0.686	0.746	0.815
2	0.537	0.597	0.646
1/0	0.333	0.366	0.408
2/0	0.278	0.298	0.328
3/0	0.229	0.249	0.268
4/0	0.169	0.189	0.209
250	0.149	0.159	0.179
300	0.119	0.129	0.149
500	0.080	0.080	0.080
750	0.050	0.060	0.060
1000	0.040	0.040	0.050

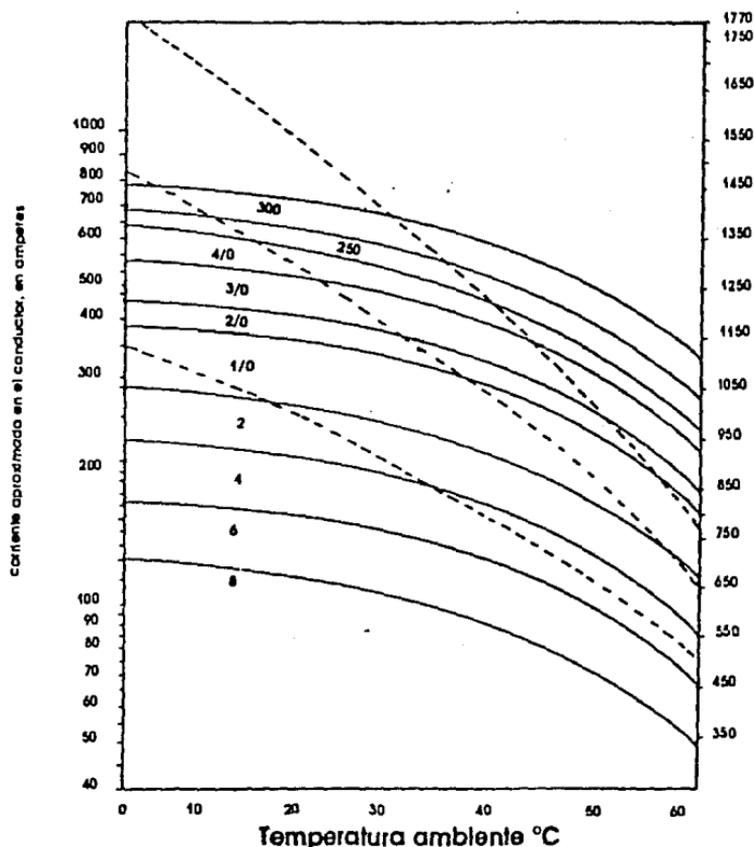
Resistencia a la C.A. de alambres y cables de cobre con temple suave.

CALIBRE AWG/kCM	RESISTENCIA C.A.		
	25 C	50 C	75 C
18	21.41	23.47	25.61
17	16.96	19.01	20.22
16	13.48	14.78	16.08
14	8.47	9.28	10.10
12	5.32	5.83	6.34
10	3.35	3.66	3.99
9	2.65	2.90	3.15
8	2.10	2.30	2.50
7	1.66	1.83	1.99
6	1.33	1.45	1.58
4	0.84	0.91	0.99
3	0.66	0.72	0.79
2	0.52	0.58	0.63
1/0	0.327	0.356	0.394
2/0	0.269	0.289	0.317
3/0	0.221	0.240	0.260
4/0	0.163	0.183	0.202
250	0.144	0.154	0.173
300	0.115	0.125	0.144
500	0.0763	0.0782	0.0804
750	0.0479	0.0581	0.0589
1000	0.0378	0.0422	0.0477

Características eléctricas de conductores de cobre

CALIBRE	NUMERO DE HILOS	RMG	REACTANCIA INDUCTIVA (X <sub>L</sub> ) A 30.48 cm. DE ESPACIAMIENTO
AWG-KCM		cm.	ohm/km
12	1	0.080	0.448
12	7	0.085	0.444
10	1	0.101	0.431
10	7	0.107	0.426
9	1	0.113	0.422
8	1	0.127	0.413
8	7	0.135	0.409
7	1	0.143	0.404
6	1	0.160	0.396
6	7	0.170	0.391
4	1	0.202	0.378
4	7	0.214	0.374
3	1	0.227	0.370
2	1	0.255	0.361
2	7	0.269	0.357
1/0	1	0.321	0.343
1/0	7	0.360	0.335
1/0	19	0.359	0.335
2/0	7	0.382	0.330
2/0	19	0.403	0.326
3/0	19	0.453	0.317
4/0	7	0.481	0.313
4/0	19	0.508	0.309
250	19	0.553	0.302
250	37	0.561	0.301
300	19	0.606	0.295
500	19	0.781	0.276
500	37	0.793	0.275
750	37	0.972	0.260
1000	37	1.123	0.249

## Capacidad de conducción de corriente para alambres y cables desnudos de cobre duro



La corriente que se obtiene de la gráfica corresponde a una temperatura de 75°C en el conductor de cobre duro con 97.3% de conductividad (IACS)

Se supone una velocidad del viento de aproximadamente 0.6 m/seg (2 pies/seg) en dirección perpendicular al eje de la línea y un factor de emisividad de 0.5 (cobre opaco)

### 1.3 ALAMBRES Y CABLES DE ALUMINIO TIPO AAC.

#### DESCRIPCION:

Alambres de aluminio en temple duro ó suave. Los cables AAC (All Aluminium Conductor) están formados por alambres de aluminio duro en capas concéntricas.

#### 1.3.1 APLICACION

Alambres de aluminio duro: en líneas aéreas cortas y de baja tensión. Alambres de aluminio suave: amarres de alambres o cables a los aisladores.

Cables de aluminio AAC: redes aéreas de distribución y transmisión.

#### TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

75°C Temperatura usual de diseño en líneas aéreas.

#### ESPECIFICACIONES:

ASTM-B230, ASTM- B231, ASTM-B232, L y F 2.0082

#### DATOS PARA PEDIDO:

Alambre de aluminio, temple, calibre, peso en kg., y número de producto.

### 1.3.2 TABLAS

#### ALAMBRES DE ALUMINIO TIPO AAC

Calibre	Diámetro nominal	Area	Peso	Temple Duro		Temple Suave	
				Número de producto	Carga de ruptura	Número de producto	Carga de ruptura
AWG	mm	mm	Kg/Km		kg		kg
16	1.29	1.31	3.5	250234	26.7	250046	13.8
14	1.63	2.09	5.6	250182	41.8	250014	22.0
12	2.05	3.31	8.9	250235	64.0	250237	34.9
10	2.59	5.26	14.1	250211	96.2	250238	55.5
8	3.26	8.37	22.5	250042	147.2	250013	88.3
6	4.12	13.30	35.7	250217	224.6	250012	140.4
4	5.19	21.15	56.8	250040	357.2	250007	223.2
2	6.54	33.62	90.4	250236	556.2	250008	354.9

NOTA: Estos datos son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura

#### CABLES DE ALUMINIO TIPO AAC

Número de producto	Calibre	Designación	No. de Hilos	Clase de cableado	Diámetro Nominal		Area	Peso	Carga de ruptura
					Hilos	Cable			
	AWG/KCM				mm	mm			
250019	6	Peachbell	7	A	1.55	4.67	13.29	36	256
250053	4	Rose	7	A	1.96	5.89	21.16	58	400
250018	2	Iris	7	A, AA	2.47	7.42	33.61	92	613
250058	1	Pansy	7	A, AA	2.78	8.33	42.39	116	745
250020	1/0	Poppy	7	A, AA	3.12	9.35	53.48	146	903
250021	2/0	Aster	7	A, AA	3.50	10.52	67.42	184	1140
250021	3/0	Phlox	7	A, AA	3.93	11.79	85.03	232	1380
250166	4/0	Orlip	7	A, AA	4.42	13.26	107.23	293	1739
250024	266.8	Daisy	7	A, AA	4.96	14.88	135.16	370	2193
250070	336.4	Tulip	19	A	3.38	16.92	170.45	466	2792
250072	397.5	Canna	19	A, AA	3.68	18.39	201.42	550	3228
250026	477.0	Cosmos	19	AA	4.03	20.14	241.68	661	3795
250077	556.5	Danlia	19	AA	4.35	21.74	282.00	770	4427

NOTA: Estos datos son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura

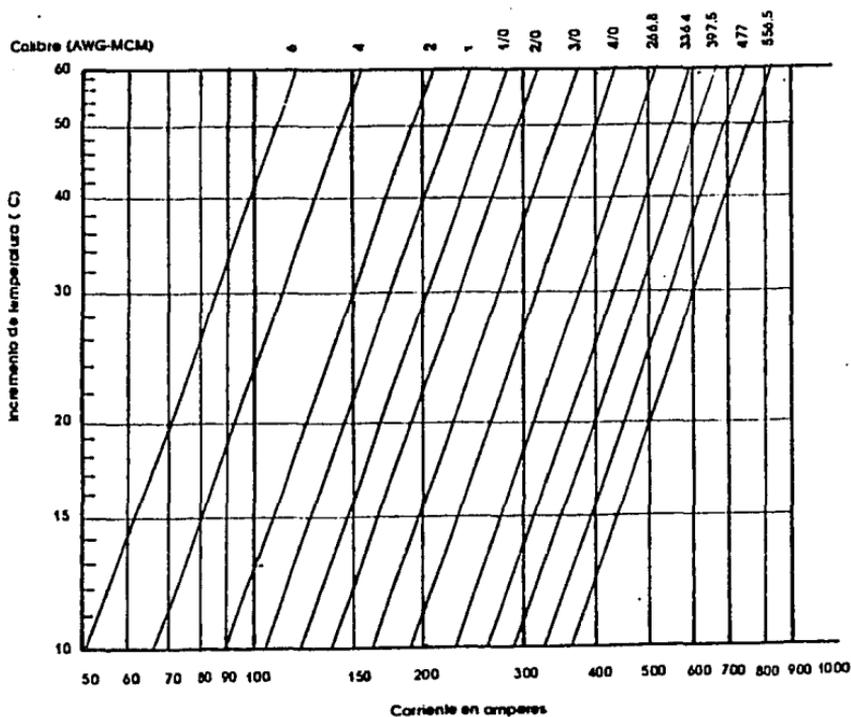
Resistencia eléctrica de  
cables de aluminio (AAC)

CALIBRE	RESISTENCIA CA A 20°C
AWG	Ohm/km
6	21.6
4	13.6
2	8.54
1	5.37
0	3.38
0	2.13
0	1.34
0	0.841

Resistencia eléctrica de cables de aluminio (AAC)

DESIGNACION	CALIBRE	RESISTENCIA				
		CD		CA		
		AWG-kCM	Ohm/km	Ohm/km.		
		20 C	25 C	50 C	75 C	
Peachell	6		2.170	2.213	2.431	2.650
Teese	4		1.364	1.392	1.521	1.611
Wis	2		0.857	0.878	0.961	1.049
Fans	1		0.650	0.664	0.721	0.767
Poppy	1/0		0.539	0.550	0.606	0.644
Aster	2/0		0.427	0.439	0.471	0.500
Phlox	3/0		0.339	0.347	0.361	0.411
Oxlip	4/0		0.269	0.275	0.300	0.325
Daisy	266.8		0.213	0.216	0.240	0.261
Tulip	336.4		0.169	0.173	0.190	0.209
Canna	397.5		0.143	0.147	0.161	0.176
Cosmos	447		0.119	0.122	0.135	0.147
Dahlia	556.5		0.102	0.106	0.116	0.126

Gráfica de corriente de conductores de aluminio (AAC), temperatura ambiente de 40°C, velocidad del viento de 0.6 m/seg. emisividad ( $\xi$ ) 0.5



## 1.4 CABLES ACSR DE ALUMINIO CON REFUERZO DE ACERO GALVANIZADO

### DESCRIPCION:

Los cables tipo ACSR (Aluminium Cable Steel Reinforced) están formadas por alambres de aluminio duro colocados en capas concéntricas sobre un núcleo de alambres de acero galvanizado.

### 1.4.1 APLICACION

Líneas de transmisión, subtransmisión, distribución y subestaciones.

### TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

75°C Temperatura usual de diseño en líneas aéreas.

### PROPIEDADES:

- 1).- Se obtienen claros interpostales mayores que para cables de cobre ó aluminio debido a su refuerzo de acero.
- 2).- Gran resistencia a la tensión mecánica.
- 3).- Fácil de tender e instalar

**ESPECIFICACIONES:**

**ASTM-B232, CFE-E0000-12**

**DATOS PARA PEDIDO:**

**Cable tipo ACRS, calibre, designación, peso en Kg., y-  
número de producto.**

## 1.4.2 TABLAS

CABLES ACSR DE ALUMINIO CON REFUERZO DE ACERO GALVANIZADO

Número de producto	Calibre	Designación	Número de Hilos		Diam. Nom.		Pesos		
			Aluminio	Acero	Núcleo	Cable	Aluminio	Acero	Cable
	AWG-KCM				mm	mm	kg/km	kg/km	kg/km
260003	6	Turkey	6	1	1.7	5.0	36	17	53
260002	4	Swan	6	1	2.1	6.4	58	27	85
260024	3	Swallow	6	1	2.4	7.1	73	35	108
260101	2	Sparrow	6	1	2.7	8.0	92	44	136
260025	1	Robin	6	1	3.0	9.6	116	55	171
260005	1/0	Raven	6	1	3.4	10.1	147	69	216
260006	2/0	Quail	6	1	3.8	11.4	185	87	272
260007	3/0	Pigeon	6	1	4.0	12.8	233	110	343
260008	4/0	Penguin	6	1	4.8	14.3	294	139	433
260010	266.8	Partridge	26	7	6.0	16.3	375	171	546
260011	336.4	Linnet	26	7	6.7	18.3	470	217	687
260026	336.4	Oriole	30	7	8.1	18.8	471	311	782
260027	397.5	Ibis	26	7	7.3	19.9	557	256	813
260028	397.5	Lark	30	7	8.8	20.5	557	366	923
260012	477	Hawk	26	7	8.0	21.8	667	308	975
260029	477	Hen	30	7	9.6	22.4	669	440	1109
260030	500	Heron	30	7	9.8	23.0	701	461	1162
260064	556.5	Dove	26	7	8.7	23.5	778	359	1137
260031	556.5	Eagle	30	7	10.4	24.2	780	513	1293
260032	605	Duck	54	7	8.1	24.2	849	310	1159
260023	636	Grusbeak	26	7	9.3	25.1	875	409	1284
260033	715.5	Starling	26	7	9.8	26.7	1005	460	1466
260034	715.5	Crow	54	7	8.8	26.3	1006	366	1377
260013	795	Drake	26	7	10.4	28.1	1117	512	1629
260035	795	Condor	54	7	9.2	27.8	1116	408	1524
260015	900	Canary	54	7	9.8	29.5	1252	461	1723
260065	954	Rail	45	7	7.4	29.3	1339	260	1599
260014	1113	Bluejay	45	7	8.0	32.0	1563	304	1867

NOTA: Estos datos son aproximados y están sujetos a ligeras variaciones de manufactura.

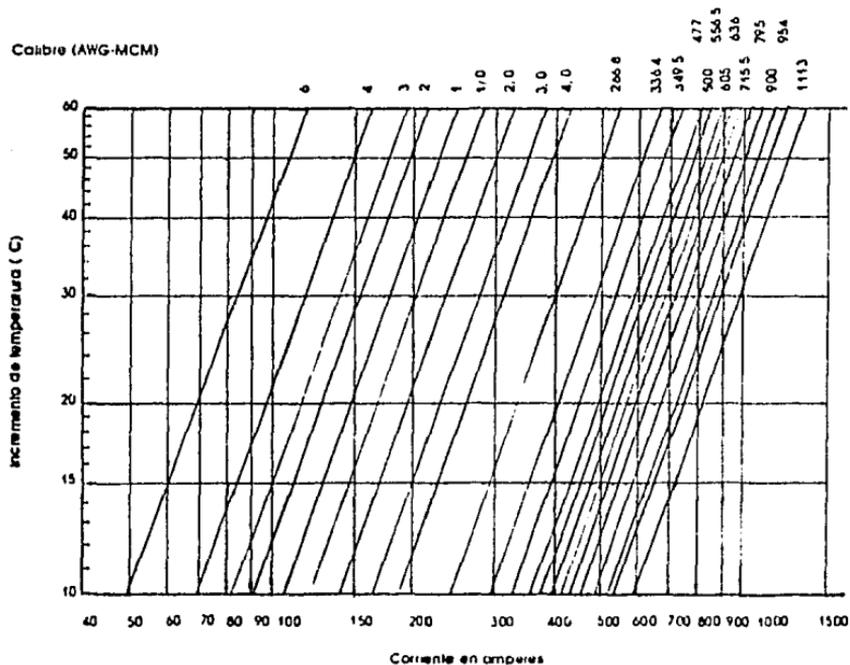
Características eléctricas de conductores ACSR

CALIBRE	NUMERO DE HILOS		RMG cm.	REACTANCIA INDUCTIVA
	Al	Ac		(X <sub>l</sub> ) A 30.48 cm. DE ESPACIAMIENTO ohm km
6	6	1	0.120	0.416
4	6	1	0.133	0.410
3	6	1	0.131	0.411
2	6	1	0.127	0.413
1	6	1	0.127	0.413
1/0	6	1	0.136	0.408
2/0	6	1	0.155	0.398
3/0	6	1	0.183	0.386
4/0	6	1	0.248	0.361
266.8	26	7	0.661	0.289
336.4	26	7	0.744	0.260
336.4	30	7	0.777	0.277
397.5	26	7	0.808	0.274
397.5	30	7	0.847	0.270
477	26	7	0.884	0.267
477	30	7	0.927	0.264
500	30	7	0.948	0.262
556.5	26	7	0.954	0.261
556.5	30	7	1.000	0.258
605	54	7	0.978	0.259
636	26	7	1.021	0.256
715.5	26	7	1.082	0.252
715.5	54	7	1.064	0.253
795	26	7	1.143	0.248
795	54	7	1.122	0.248
900	54	7	1.192	0.244
954	45	7	1.187	0.245
1113	45	7	1.296	0.238

Resistencia eléctrica de conductores ACSR

DESIGNACION	RESISTENCIA		RESISTENCIA CA			
	CD		Ohm/km			
	CALIBRE AWG #CM	Ohm/km	20 °C	25 °C	50 C	70 C
Turkey	6	2.114	2.150	2.440	2.685	
Swan	4	1.328	1.354	1.565	1.717	
Swallow	3	1.076	1.108	1.281	1.405	
Sparrow	2	0.834	0.853	1.012	1.108	
Rabin	1	0.582	0.577	0.811	0.891	
Raven	1/0	0.524	0.537	0.654	0.717	
Quail	2/0	0.416	0.426	0.530	0.580	
Pigeon	3/0	0.330	0.339	0.429	0.470	
Penguin	4/0	0.262	0.270	0.354	0.383	
Partridge	220.5	0.210	0.215	0.236	0.257	
Linnet	336.4	0.166	0.170	0.187	0.204	
Orate	336.4	0.165	0.169	0.186	0.202	
Ibis	397.5	0.141	0.144	0.159	0.173	
Lark	397.5	0.140	0.143	0.157	0.172	
Hawk	477	0.117	0.120	0.132	0.144	
Hen	477	0.116	0.119	0.131	0.143	
Heron	500	0.109	0.112	0.123	0.135	
Dove	556.5	0.100	0.103	0.113	0.124	
Eagle	556.5	0.100	0.103	0.113	0.123	
Duck	605	0.095	0.097	0.106	0.116	
Grasbeak	636	0.088	0.090	0.099	0.108	
Starling	715.5	0.079	0.080	0.088	0.096	
Crow	715.5	0.079	0.080	0.088	0.096	
Drake	795	0.071	0.073	0.080	0.087	
Condor	795	0.070	0.073	0.080	0.087	
Canary	900	0.062	0.065	0.071	0.077	
Rail	954	0.059	0.062	0.068	0.074	
Bluejay	1113	0.051	0.054	0.058	0.064	

**Gráfica de corriente de conductores de aluminio con refuerzo de acero (ACSR), temperatura ambiente de 40 C, velocidad del viento de 0.6 m/seg. emisividad ( $\xi$ ) 0.5**



1.5 CABLES ACSR-AW DE ALUMINIO  
CON REFUERZO DE ACERO CON ALUMINIO

DESCRIPCION:

Conductor formado por alambres de aluminio en capas --  
concéntricas sobre un núcleo de acero recubierto de aluminio.

1.5.1 APLICACION

Líneas aéreas de transmisión y distribución en zonas -  
costeras industriales ó contaminadas donde se requiera una ma  
yor resistencia a la corrosión que el ACSR.

TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

75°C Temperatura usual de diseño en líneas aéreas.

PROPIEDADES:

- 1).- Se obtienen claros interpostales mayores que para cables  
de cobre ó aluminio gracias a su refuerzo de acero.
- 2).- Alta resistencia a la corrosión.
- 3).- Fácil de tender e instalar
- 4).- Buena relación esfuerzo a peso.

ESPECIFICACIONES:

ASTM-B-549, CFE-E0000-18

DATOS PARA PEDIDO:

Cable ACSR-AW, calibre, designación, pero en kg. y número de producto.

1.5.2 TABLAS

Resistencia eléctrica de conductores ACSR/AW

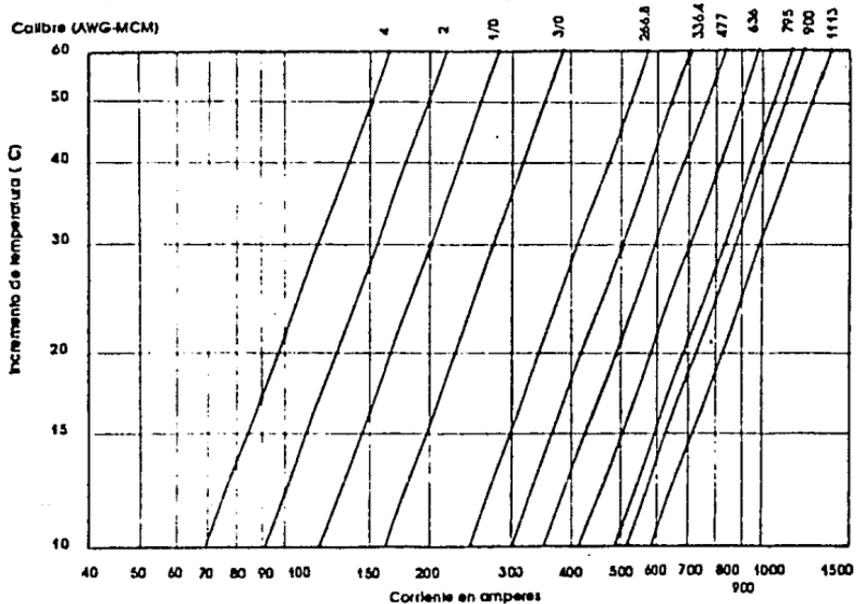
DESIGNACION	CALIBRE AWG-KCM	RESISTENCIA CD		RESISTENCIA CA		
		Ohm / km		Ohm / km		
		20°C	25°C	50°C	75°C	
Swan AW	4	1.285	1.311	1.348		1.552
Sparrow AW	2	0.808	0.824	0.854		1.083
Raven AW	1/0	0.506	0.518	0.535		0.618
Pigeon AW	3/0	0.320	0.326	0.335		0.390
Partridge AW	266.8	0.203	0.208	0.228		0.248
Chimney AW	336.4	0.161	0.165	0.181		0.197
Hickory AW	477	0.115	0.118	0.129		0.141
Hawk AW	477	0.114	0.116	0.125		0.139
Egret AW	636	0.084	0.086	0.094		0.103
Shrike AW	795	0.068	0.071	0.077		0.084
Carolina AW	900	0.061	0.063	0.071		0.078
Bull Terrier AW	1113	0.050	0.053	0.058		0.064

**CABLE ACSR / AW DE ALUMINIO CON REFUERZO DE ACERO CON ALUMINIO**

Número de producto	Calibre	Designación	Número de hilos		Diámetro nominal		Peso	Carga de ruptura
	AWG/kCM		Aluminio	Acero	Núcleo	Cable		
					mm	mm	kg/km	kg
260059	4	SWAN AW	6	1	2.1	6.4	81	808
260056	2	SPARROW AW	6	1	2.7	8.0	129	1,253
260061	1/0	RAVEN AW	6	1	3.4	10.1	205	1,930
260054	3/0	PIGEON AW	6	1	4.0	12.8	325	2,860
260066	4/0	PENGUIN AW	6	1	4.8	14.3	410	3,491
260048	266.8	PATRIDGE AW	26	7	6.0	16.3	517	4,903
260052	336.4	LINNET AW	26	7	6.7	18.3	653	6,129
260019	477	FLICKER AW	24	7	7.2	21.5	872	7,582
260060	477	HAWK AW	26	7	8.0	21.8	925	8,626
260063	636	EGRET AW	30	19	11.1	25.9	1,375	13,575
260020	795	DRAKE AW	26	7	10.4	28.1	1,542	13,847
260022	900	CANARY AW	54	7	9.8	29.3	1,644	14,074
260021	1113	BLUEJAY AW	45	7	8.0	32.0	1,812	13,302

NOTA: Estos datos son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura

**Gráfica de corriente de conductores de aluminio con refuerzo de acero con aluminio soldado (ACSR/AW), temperatura ambiente de 40°C, velocidad de viento de 0.6 m/seg. emisividad ( $\epsilon$ ) 0.5**



TABLAS COMPLEMENTARIAS

Characteristics of Aerial Lines

CHARACTERISTICS OF COPPER CONDUCTORS, HARD DRAWN, 97.3 PERCENT CONDUCTIVITY



Size of Conductor	No. of Strands	Diameter of Individual Strands, Inches	Outside Diameter, Inches	Breaking Strength, Pounds	Weight, Pounds per Mile	Approx. Current Carrying Capacity, Amperes	Geometric Mean Radius at 60 Cycles, Feet	Resistance						Inductive Reactance						Shunt Capacitive Reactance			
								Ohms per Conductor per Mile						Ohms per Conductor per Mile						At 1 Ft. Spacing		At 1 Ft. Spacing	
								25°C. (77°F.)			50°C. (122°F.)			25°C. (77°F.)		50°C. (122°F.)		25°C. (77°F.)		50°C. (122°F.)		25°C. (77°F.)	50°C. (122°F.)
000 000	37	0.184	1.51	43 830	14 300	300	0.0348	0.0340	0.1810	0.0630	0.0310	0.0640	0.0410	0.0720	0.0830	0.1650	3.33	0.402	0.218	0.10010	0.901		
000 000	37	0.156	0.92	39 210	14 670	220	0.0349	0.0650	0.1540	0.0630	0.0310	0.0710	0.0710	0.0730	0.1620	3.20	0.406	0.220	0.11000	0.918			
000 000	37	0.1470	0.79	35 170	13 040	190	0.0349	0.0710	0.1470	0.0630	0.0310	0.0800	0.0800	0.0830	0.1720	3.16	0.418	0.226	0.11000	0.934			
7 500 000	37	0.1470	0.77	33 400	12 230	0.90	0.0349	0.0743	0.1470	0.0630	0.0310	0.8330	0.8300	0.8780	0.8880	0.1750	3.48	0.417	0.228	0.11300	0.934		
700 000	37	0.13750	0.63	31 170	11 410	0.90	0.0308	0.0830	0.1375	0.0610	0.0310	0.9110	0.9070	0.9170	0.9470	0.1750	3.12	0.422	0.229	0.11400	0.934		
600 000	37	0.12750	0.51	27 050	9 780	0.90	0.0313	0.0910	0.1275	0.0590	0.0310	1.0040	1.0110	1.0650	1.0950	0.1750	3.60	0.428	0.233	0.11700	0.917		
500 000	37	0.11250	0.41	23 850	8 150	0.90	0.0320	0.1100	0.1125	0.0590	0.0310	1.2840	1.2810	1.2960	1.3030	0.1830	3.69	0.443	0.241	0.12500	1.004		
300 000	37	0.10250	0.31	21 850	8 150	0.90	0.0320	0.1170	0.1025	0.0590	0.0310	1.5780	1.5730	1.5860	1.6020	0.1830	3.71	0.445	0.241	0.12900	1.004		
450 000	19	0.13200	0.770	19 750	7 330	780	0.0243	0.1300	0.1320	0.1310	0.1320	1.4250	1.4200	1.4370	1.4410	0.1800	3.76	0.451	0.245	0.12710	1.030		
450 000	19	0.13100	0.726	17 560	6 520	730	0.0229	0.1420	0.1450	0.1370	0.140	1.6040	1.6030	1.6130	1.613	0.1900	3.82	0.458	0.247	0.12100	1.039		
450 000	19	0.13100	0.79	15 890	5 704	670	0.0244	0.1670	0.1670	0.1680	0.1680	1.8760	1.8710	1.8900	1.8940	0.1900	3.82	0.458	0.248	0.12900	1.038		
450 000	19	0.12600	0.710	13 160	5 704	670	0.0243	0.1670	0.1670	0.1680	0.1680	1.8160	1.8110	1.8300	1.8340	0.1900	3.81	0.458	0.251	0.12500	1.044		
600 000	19	0.12750	0.729	18 150	4 891	610	0.0287	0.1810	0.1830	0.1830	0.1830	1.9610	1.9570	1.970	1.970	0.1800	3.84	0.478	0.248	0.13000	1.080		
600 000	19	0.12600	0.637	13 170	4 891	610	0.0288	0.2020	0.1930	0.1930	0.1930	1.9610	1.9570	1.970	1.970	0.1800	3.82	0.470	0.250	0.12810	1.068		
600 000	19	0.11470	0.74	11 360	4 074	510	0.01813	0.234	0.234	0.234	0.234	2.16	2.16	2.16	2.16	0.200	4.08	0.487	0.264	0.13700	1.068		
600 000	19	0.11470	0.79	11 360	4 074	540	0.01902	0.234	0.234	0.234	0.234	2.56	2.56	2.56	2.56	0.200	4.01	0.481	0.263	0.14100	1.094		
811 600 4/0	7	0.10350	0.78	9 617	3 455	480	0.01669	0.278	0.277	0.277	0.278	3.302	3.303	3.303	3.303	0.207	4.14	0.497	0.272	0.13350	1.132		
811 600 4/0	7	0.10280	0.72	9 483	3 455	480	0.01750	0.278	0.277	0.277	0.278	3.303	3.303	3.303	3.303	0.200	4.09	0.491	0.270	0.13410	1.118		
811 600 4/0	7	0.10350	0.77	9 154	3 455	480	0.01579	0.278	0.277	0.277	0.278	3.303	3.303	3.303	3.303	0.210	4.20	0.503	0.273	0.12630	1.136		
187 800 3/0	3	0.11830	0.64	7 536	2 730	420	0.01400	0.319	0.319	0.319	0.320	3.381	3.381	3.382	3.382	0.218	4.31	0.518	0.281	0.14050	1.171		
187 800 3/0	3	0.11750	0.61	5 978	2 730	360	0.01210	0.440	0.440	0.440	0.441	4.481	4.481	4.481	4.481	0.221	4.53	0.526	0.282	0.14450	1.205		
83 800 1/0	1	0.12980	0.53	4 732	1 722	310	0.01140	0.535	0.535	0.535	0.536	6.226	6.226	6.226	6.226	0.221	4.53	0.526	0.282	0.14850	1.240		
83 800 1/0	1	0.10920	0.38	3 604	1 364	210	0.00909	0.699	0.699	0.699	0.699	8.099	8.099	8.099	8.099	0.210	4.67	0.500	0.306	0.15900	1.174		
83 800 1/0	1	0.10700	0.30	2 820	1 351	170	0.01011	0.699	0.699	0.699	0.699	8.099	8.099	8.099	8.099	0.232	4.64	0.537	0.299	0.14950	1.218		
66 370 3/8	3	0.07100	0.42	3 045	1 082	230	0.00835	0.841	0.841	0.841	0.842	8.842	8.842	8.842	8.842	0.238	4.78	0.574	0.316	0.15700	1.208		
66 370 3/8	3	0.07100	0.39	2 812	1 071	240	0.00835	0.841	0.841	0.841	0.842	8.842	8.842	8.842	8.842	0.238	4.78	0.574	0.316	0.15700	1.281		
66 370 3/8	3	0.06800	0.37	3 003	1 061	250	0.00835	0.841	0.841	0.841	0.842	8.842	8.842	8.842	8.842	0.238	4.78	0.574	0.316	0.16100	1.245		
52 620 3/8	3	0.06610	0.30	2 433	828	300	0.00787	1.102	1.102	1.102	1.102	1.102	1.102	1.102	0.245	4.90	0.588	0.322	0.16110	1.311			
42 630 3/8	3	0.05250	0.26	1 931	620	310	0.00710	1.501	1.501	1.501	1.501	1.501	1.501	1.501	0.248	4.88	0.583	0.318	0.16380	1.313			
42 630 3/8	3	0.05250	0.27	2 433	641	190	0.00710	1.501	1.501	1.501	1.501	1.501	1.501	1.501	0.248	4.88	0.583	0.321	0.16500	1.319			
41 740 4	4	0.05100	0.254	1 879	674	180	0.00710	1.501	1.501	1.501	1.501	1.501	1.501	1.501	0.250	4.96	0.579	0.324	0.16190	1.340			
41 740 4	4	0.04980	0.24	1 970	667	110	0.00643	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	0.248	5.07	0.608	0.339	0.16970	1.418			
33 300 4	4	0.04100	0.26	1 505	534	130	0.00670	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	0.258	5.21	0.613	0.332	0.16300	1.281			
33 300 4	4	0.04100	0.27	1 591	527	140	0.00670	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	0.258	5.21	0.613	0.348	0.17300	1.401			
28 250 4	4	0.03930	0.24	1 705	474	130	0.00584	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	0.262	5.23	0.628	0.341	0.17030	1.441			
28 250 4	4	0.04200	0.280	420	420	120	0.00584	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	0.263	5.231	0.637	0.350	0.17750	1.483			
20 890 5	5	0.04200	0.313	313	313	110	0.00584	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	0.271	0.547	0.631	0.343	0.18210	1.517			
16 310 8	8	0.02830	0.280	264	264	90	0.00417	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	0.277	0.554	0.643	0.373	0.18270	1.539			

The conductivity at 75°C., air at 25°C., wind 1.6 mile per hour (2 ft/sec), frequency 60 cycles.



Characteristics of Aerial Lines

INDUCTIVE REACTANCE SPACING FACTOR ( $x_r$ ) OHMS PER CONDUCTOR PER MILE

50 CYCLES

SEPARATION		INCHES											
Feet	Inches	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		0	0	0.134	0.0976	0.0701	0.0531	0.0413	0.0326	0.0257	0.203	0.0145	0.0092
1	0	0.0406	0.0272	0.0193	0.0137	0.0100	0.00763	0.0058	0.00436	0.00324	0.00236	0.00169	
2	0	0.0195	0.0127	0.0088	0.0062	0.0046	0.0034	0.0025	0.0018	0.0013	0.0009	0.0006	
3	0	0.0115	0.0073	0.0051	0.0037	0.0027	0.0020	0.0014	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	
4	0	0.0071	0.0046	0.0032	0.0023	0.0017	0.0012	0.0008	0.0006	0.0004	0.0003	0.0002	
5	0	0.0048	0.0030	0.0021	0.0015	0.0011	0.0007	0.0005	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001	
6	0	0.0034	0.0020	0.0014	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	
7	0	0.0024	0.0014	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	
8	0	0.0017	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	
9	0	0.0012	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
10	0	0.0008	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
11	0	0.0006	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

$x_r$  at  
25 cycles  
 $x_r = 0.1144 \log_e d$   
 $d = \text{separation, feet.}$

**FUNDAMENTAL EQUATIONS**  
 $Z_p = Z_0 + j(x_p + x_r)$   
 $Z_m = Z_0 + j(x_m + x_r - 2x_p)$

60 CYCLES

SEPARATION		INCHES											
Feet	Inches	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		0	0	0.134	0.0976	0.0701	0.0531	0.0413	0.0326	0.0257	0.203	0.0145	0.0092
1	0	0.0406	0.0272	0.0193	0.0137	0.0100	0.00763	0.0058	0.00436	0.00324	0.00236	0.00169	
2	0	0.0195	0.0127	0.0088	0.0062	0.0046	0.0034	0.0025	0.0018	0.0013	0.0009	0.0006	
3	0	0.0115	0.0073	0.0051	0.0037	0.0027	0.0020	0.0014	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	
4	0	0.0071	0.0046	0.0032	0.0023	0.0017	0.0012	0.0008	0.0006	0.0004	0.0003	0.0002	
5	0	0.0048	0.0030	0.0021	0.0015	0.0011	0.0007	0.0005	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001	
6	0	0.0034	0.0020	0.0014	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	
7	0	0.0024	0.0014	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	
8	0	0.0017	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	
9	0	0.0012	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
10	0	0.0008	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
11	0	0.0006	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

$x_r$  at  
30 cycles  
 $x_r = 0.2174 \log_e d$   
 $d = \text{separation, feet.}$

60 CYCLES

SEPARATION		INCHES											
Feet	Inches	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		0	0	0.134	0.0976	0.0701	0.0531	0.0413	0.0326	0.0257	0.203	0.0145	0.0092
1	0	0.0406	0.0272	0.0193	0.0137	0.0100	0.00763	0.0058	0.00436	0.00324	0.00236	0.00169	
2	0	0.0195	0.0127	0.0088	0.0062	0.0046	0.0034	0.0025	0.0018	0.0013	0.0009	0.0006	
3	0	0.0115	0.0073	0.0051	0.0037	0.0027	0.0020	0.0014	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	
4	0	0.0071	0.0046	0.0032	0.0023	0.0017	0.0012	0.0008	0.0006	0.0004	0.0003	0.0002	
5	0	0.0048	0.0030	0.0021	0.0015	0.0011	0.0007	0.0005	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001	
6	0	0.0034	0.0020	0.0014	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	
7	0	0.0024	0.0014	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	
8	0	0.0017	0.0010	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	
9	0	0.0012	0.0007	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
10	0	0.0008	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
11	0	0.0006	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

$x_r$  at  
60 cycles  
 $x_r = 0.2794 \log_e d$   
 $d = \text{separation, feet.}$

Characteristics of Aerial Lines

SHUNT CAPACITIVE REACTANCE SPACING FACTOR ( $x_2$ ) MEGOHMS PER CONDUCTOR PER MILE

20 CYCLES

SEPARATION		INCHES											
Feet		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	-0.1746	-0.1776	-0.1787	-0.1788	-0.1783	-0.1774	-0.1759	-0.1738	-0.1713	-0.1684	-0.1651	-0.1616
2	0	0.0017	0.0110	0.0139	0.0200	0.0248	0.0289	0.0327	0.0364	0.0398	0.0429	0.0458	0.0484
3	0	0.0494	0.0773	0.0851	0.0877	0.0850	0.0829	0.0805	0.0778	0.0749	0.0717	0.0682	0.0645
4	0	0.0782	0.0922	0.0821	0.0638	0.0451	0.0275	0.0109	0.0054	0.0000	0.0049	0.0097	0.0144
5	0	0.0977	0.1022	0.1018	0.1020	0.1041	0.1058	0.1071	0.1084	0.1093	0.1099	0.1102	0.1104
6	0	0.1146	0.1158	0.1185	0.1187	0.1191	0.1191	0.1201	0.1211	0.1223	0.1234	0.1246	0.1256
7	0	0.1286	0.1290	0.1295	0.1305	0.1314	0.1324	0.1333	0.1342	0.1351	0.1360	0.1368	0.1377
8	0	0.1481	0.1494	0.1502	0.1511	0.1519	0.1527	0.1535	0.1543	0.1550	0.1558	0.1566	0.1573

$x_2'$  at  
25 cycles  
 $x_2'' = 1640 \log_{10} d$   
 $d =$  separation, feet

FUNDAMENTAL EQUATIONS

$x_2' = x_2 + x_2' + x_2''$   
 $x_2'' = x_2' + x_2'' - 2x_2'$

40 CYCLES

SEPARATION		INCHES											
Feet		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	-0.0881	-0.0638	-0.0486	-0.0391	-0.0312	-0.0247	-0.0189	-0.0144	-0.0102	-0.0063	-0.0031	-0.0017
2	0	0.0078	0.0034	0.0079	0.0102	0.0124	0.0144	0.0164	0.0182	0.0198	0.0218	0.0237	0.0257
3	0	0.0247	0.0218	0.0186	0.0148	0.0118	0.0088	0.0058	0.0028	0.0000	0.0071	0.0141	0.0211
4	0	0.0391	0.0340	0.0280	0.0215	0.0148	0.0081	0.0014	0.0043	0.0097	0.0151	0.0205	0.0259
5	0	0.0518	0.0463	0.0403	0.0338	0.0271	0.0204	0.0137	0.0070	0.0003	0.0076	0.0149	0.0222
6	0	0.0632	0.0577	0.0517	0.0452	0.0385	0.0318	0.0251	0.0184	0.0117	0.0050	0.0123	0.0196
7	0	0.0735	0.0680	0.0620	0.0555	0.0488	0.0421	0.0354	0.0287	0.0220	0.0153	0.0086	0.0159
8	0	0.0828	0.0773	0.0713	0.0648	0.0581	0.0514	0.0447	0.0380	0.0313	0.0246	0.0179	0.0252
9	0	0.0912	0.0857	0.0797	0.0732	0.0665	0.0598	0.0531	0.0464	0.0397	0.0330	0.0263	0.0336
10	0	0.0987	0.0932	0.0872	0.0807	0.0740	0.0673	0.0606	0.0539	0.0472	0.0405	0.0338	0.0411
11	0	0.1062	0.1007	0.0947	0.0882	0.0815	0.0748	0.0681	0.0614	0.0547	0.0480	0.0413	0.0486

$x_2'$  at  
50 cycles  
 $x_2'' = 0.6190 \log_{10} d$   
 $d =$  separation, feet

60 CYCLES

SEPARATION		INCHES											
Feet		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	-0.0737	-0.0532	-0.0411	-0.0330	-0.0265	-0.0208	-0.0158	-0.0114	-0.0073	-0.0033	-0.0018	-0.0010
2	0	0.0086	0.0046	0.0099	0.0129	0.0158	0.0186	0.0214	0.0241	0.0268	0.0294	0.0320	0.0346
3	0	0.0241	0.0218	0.0186	0.0148	0.0118	0.0088	0.0058	0.0028	0.0000	0.0071	0.0141	0.0211
4	0	0.0391	0.0340	0.0280	0.0215	0.0148	0.0081	0.0014	0.0043	0.0097	0.0151	0.0205	0.0259
5	0	0.0518	0.0463	0.0403	0.0338	0.0271	0.0204	0.0137	0.0070	0.0003	0.0076	0.0149	0.0222
6	0	0.0632	0.0577	0.0517	0.0452	0.0385	0.0318	0.0251	0.0184	0.0117	0.0050	0.0123	0.0196
7	0	0.0735	0.0680	0.0620	0.0555	0.0488	0.0421	0.0354	0.0287	0.0220	0.0153	0.0086	0.0159
8	0	0.0828	0.0773	0.0713	0.0648	0.0581	0.0514	0.0447	0.0380	0.0313	0.0246	0.0179	0.0252
9	0	0.0912	0.0857	0.0797	0.0732	0.0665	0.0598	0.0531	0.0464	0.0397	0.0330	0.0263	0.0336
10	0	0.0987	0.0932	0.0872	0.0807	0.0740	0.0673	0.0606	0.0539	0.0472	0.0405	0.0338	0.0411
11	0	0.1062	0.1007	0.0947	0.0882	0.0815	0.0748	0.0681	0.0614	0.0547	0.0480	0.0413	0.0486

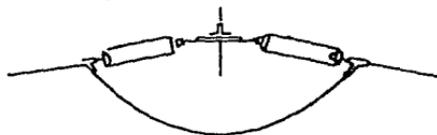
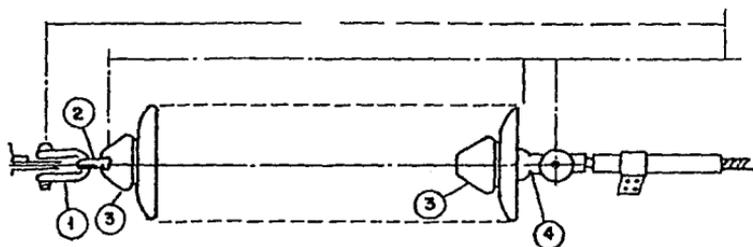
$x_2'$  at  
60 cycles  
 $x_2'' = 0.6190 \log_{10} d$   
 $d =$  separation, feet

80 CYCLES

SEPARATION		INCHES											
Feet		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	-0.0612	-0.0448	-0.0348	-0.0283	-0.0232	-0.0188	-0.0148	-0.0112	-0.0078	-0.0046	-0.0024	-0.0013
2	0	0.0096	0.0056	0.0111	0.0141	0.0170	0.0198	0.0226	0.0254	0.0281	0.0308	0.0335	0.0362
3	0	0.0241	0.0218	0.0186	0.0148	0.0118	0.0088	0.0058	0.0028	0.0000	0.0071	0.0141	0.0211
4	0	0.0391	0.0340	0.0280	0.0215	0.0148	0.0081	0.0014	0.0043	0.0097	0.0151	0.0205	0.0259
5	0	0.0518	0.0463	0.0403	0.0338	0.0271	0.0204	0.0137	0.0070	0.0003	0.0076	0.0149	0.0222
6	0	0.0632	0.0577	0.0517	0.0452	0.0385	0.0318	0.0251	0.0184	0.0117	0.0050	0.0123	0.0196
7	0	0.0735	0.0680	0.0620	0.0555	0.0488	0.0421	0.0354	0.0287	0.0220	0.0153	0.0086	0.0159
8	0	0.0828	0.0773	0.0713	0.0648	0.0581	0.0514	0.0447	0.0380	0.0313	0.0246	0.0179	0.0252
9	0	0.0912	0.0857	0.0797	0.0732	0.0665	0.0598	0.0531	0.0464	0.0397	0.0330	0.0263	0.0336
10	0	0.0987	0.0932	0.0872	0.0807	0.0740	0.0673	0.0606	0.0539	0.0472	0.0405	0.0338	0.0411
11	0	0.1062	0.1007	0.0947	0.0882	0.0815	0.0748	0.0681	0.0614	0.0547	0.0480	0.0413	0.0486

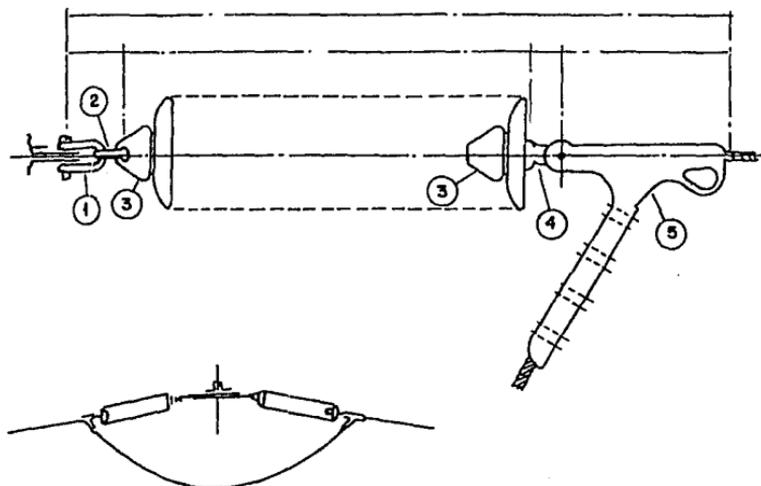
1.6 ENSAMBLES DE CADENA DE AISLADORES

CADENA DE TENSION



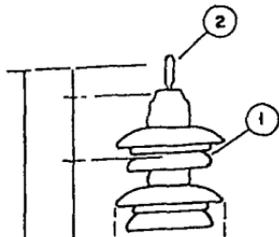
Nº	DESCRIPCION
1	HORQUILLA RECTA
2	BOLA CON OJO Mca DERVAUX
3	AISLADORES DE SUSPENSION Mca IUSA
4	CALAVERA CON OJO Mca DERVAUX
5	GRAPA DE TENSION Mca ANDERSON

## CADENA DE TENSION

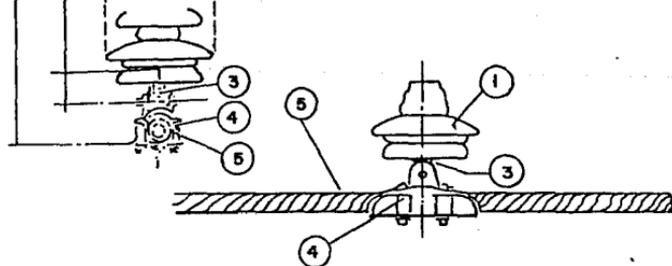


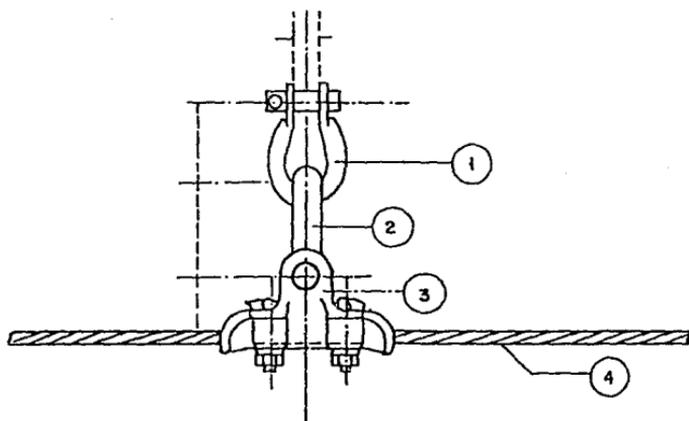
Nº	DESCRIPCION
1	HORQUILLA RECTA
2	BOLA CON OJO Mec. DERVAUX
3	AISLADORES DE SUSPENSION Mec. IUSA
4	CALAVERA CON OJO Mec. DERVAUX
5	GRAPA DE TENSION Mec. Anderson Mecanica

## CADENA DE SUSPENSION



Nº	DESCRIPCION
1	AISLADOR DE SUSPENSION Mca. IUSA N-120
2	OJO CON BOLA Mca. DERVAUX OR-17
3	CALAVERA Mca. DERVAUX
4	CLEMA DE SUSPENSION Mca. RGK

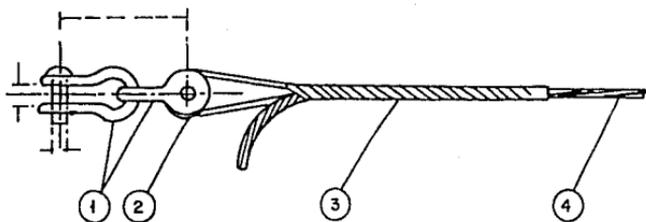




Nº	DESCRIPCION
1	GRILLETE DE ACERO Mca DERVAUX
2	ESLABON REDONDO Mca DERVAUX
3	CLEMA DE SUSPENSION Mca BÉTHEA
4	CABLE DE ACERO DE 3/8" 7H

LT 230 KV

DISPOSICION DE HERRAJES DE GUARDA



Nº	D E S C R I P C I O N
1	GRILLETE DE ACERO McO DERVAUX
2	GUARDACABO PARA CABLE 3/8" Ø
3	PREFORMADO PARA CABLE DE ACERO 3/8" Ø
4	CABLE DE ACERO 3/8" Ø 7H

LT. 230 K.V.

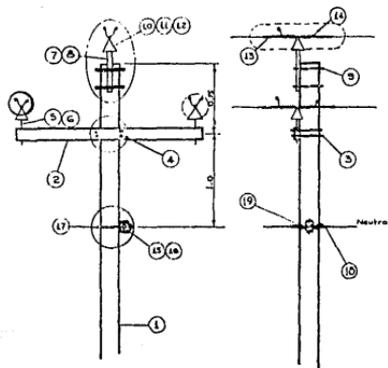
HERRAJE DE GUARDA

## 1.7 ESTRUCTURAS DE DISTRIBUCION

## ESTRUCTURA TIPO "P"

### LISTA DE MATERIALES PARA LINEAS

DESCRIPCION	CANTIDAD		
	13KV-22KV-33KV		
1 Poste de concreto	1	1	1
2 Cruzeta C4T	1	1	1
3 Abrazadera JU	2	2	2
4 Arandela 1AC	2	2	2
5 Alfiler 1A	2		
6 Alfiler 2A		2	2
7 Alfiler 1P	1		
8 Alfiler 2P		1	1
9 Abrazadera IRS	2	2	2
10 Aislador 13A (1)	3		
11 Aislador 22A		3	
12 Aislador 33A			3
13 Guarda líneas largo	3	3	3
14 Amarres, calibre y long.6	6	6	6
15 Bastidor BI	1	1	1
16 Aislador Carrete	1	1	1
17 Abrazadera 2 RS"	1	1	1
18 Varillas de Armar	1	1	1
19 Amarre, calibre, long.	1	1	1

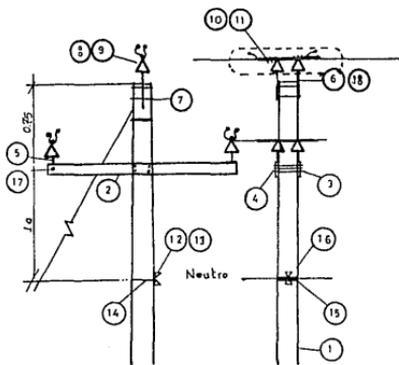


LISTA DE MATERIALES PARA LINEAS

DESCRIPCION	CANTIDAD		
	13KV	22KV	33KV
1 Poste de concreto	1	1	
2 Cruceta C4T	2	2	
3 Perno dehierroca	6	6	
4 Arandela IAC	4	4	
5 Alfiler 1A	4	0	
6 Alfiler LP	2	0	
7 Abrazadera IRD	2	2	
8 Aislador 13A	6	0	
9 Aislador 22A	0	6	
10 Guarda lineas S/R	3	3	
11 Amarres, calibre, long.	6	6	
12 Rastidor BL	1	1	
13 Aislador carrete.	1	1	
14 Abrazadera 2 RS	1	1	
15 Guardalneas. S/R	1	1	
16 Amarre calibre y long.	1	1	
17 Alfiler 2A.	1	4	
18 Alfiler 2P	0	2	

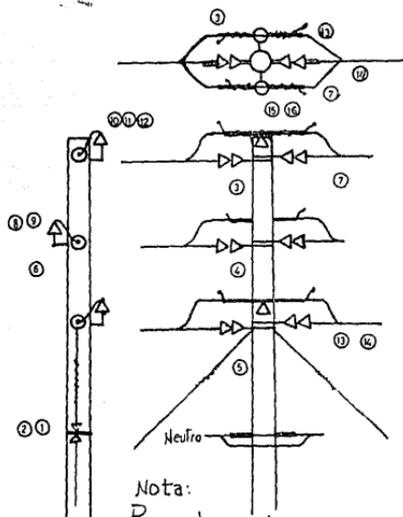
ESTA ESTRUCTURA NO SE UTILIZA EN ESTE VOLTAJE.

ESTRUCTURA TIPO "PP"



DESCRIPCION	CANTIDAD		
	13KV-22KV-33kv		
2 Poste de concreto	1	1	
3 Abrazadera 1AG	2	2	2
4 Abrazadera 2AG	2	2	2
5 Abrazadera 3AG	2	2	2
6 Horaula 1A	3	3	
7 Aislador 6S	12	18	24
8 Alfiler 1A	3		
9 Alfiler 2A	3	3	
10 Aislador 13A	3		
11 Aislador 22A	3		
12 Aislador 33A		3	
13 Horquilla con guardacabo	6	6	6

### ESTRUCTURA TIPO "A"



Nota:

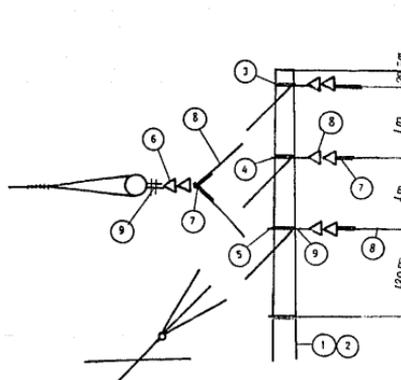
Para sistemas de 33 kv aumentar la distancia entre conductores a 1.50 m.

## DESCRIPCION

CANTIDAD  
13KV-22KV-33KV

2 Poste de concreto		1		
3 Abrazadera 1AG	1	1	1	
4 Abrazadera 2AG	1	1	1	
5 Abrazadera 3AG	1	1	1	
6 Aislador 6S (+)	6	9	12	
7 Crama de suspensión S/R 3	3	3		
8 Guarda líneas largo	3	3	3	
9 Grilletes	3	3	3	

## ESTRUCTURA TIPO "AM"



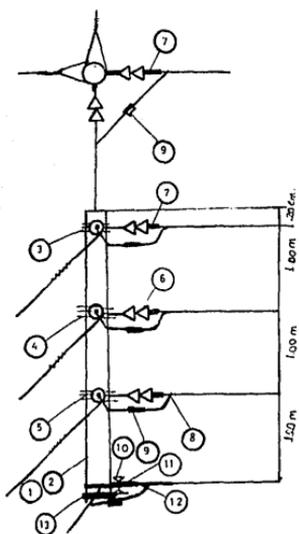
Nota: Para sistemas de 33KV aumentar la distancia entre conductores 1.50m.  
 Para sistemas de 13 y 22 KV con neutro corrido usese poste de 11 m. con claros normales.

## DESCRIPCION

CANTIDAD  
13KV-22KV-33KV

2 Poste de concreto			1
3 Abrazadera 1AG	2	2	2
4 Abrazadera 2AG	2	2	2
5 Abrazadera 3AG	2	2	2
6 Aislador 6S (+)	12	18	24
7 Horquilla con guarda-cabo	6	6	6
8 Remates Preformados S/R	6	6	6
9 Conectores S/R	3	3	3
10 Rastidor RI" (++)	2	2	2
11 Aislador carrete (++)	2	2	2
12 Remate preformado	2	2	2
13 Abrazadera JRS	2	2	2

## ESTRUCTURA TIPO "AG"



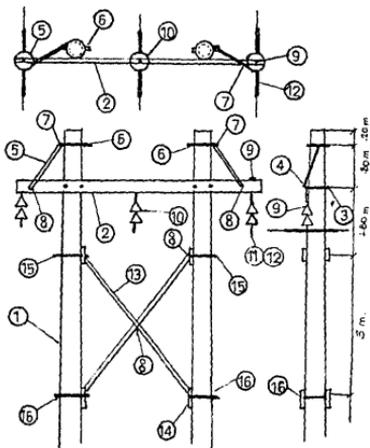
## DESCRIPCION

## CANTIDAD

13KV-22KV-33KV

1 Poste de concreto	2	2	2
2 Cruzeta C45"	1	1	1
3 Abrazadera IIII	2	2	2
4 Arandela IAC	2	2	2
5 Tirante HI	2	2	2
6 Abrazadera IAG	2	2	2
7 Tornillo máquina	2	2	2
8 Tornillo máquina 19x76	2	2	2
9 Perno OJO IPO	3	3	3
10 Aislador GS	6	9	12
11 Clema de suspensión S/R	3	3	3
12 Guardafina largo S/R	3	3	3

## ESTRUCTURA TIPO "HS"

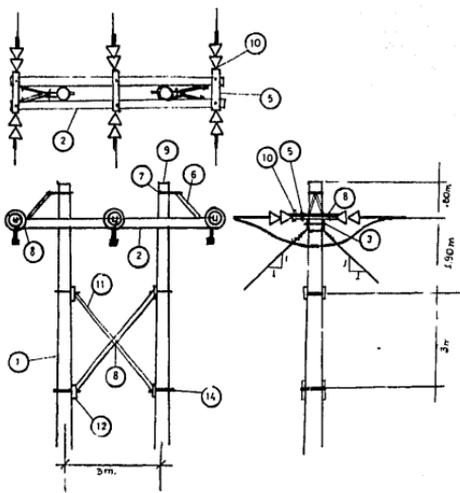


## DESCRIPCION

CANTIDAD  
13KV-22KV-33KV

## ESTRUCTURA TIPO "HA"

1 Poste de concreto	2	2	2
2 Cruceta A4R	2	2	2
3 Tornillo maquina de 19x305	4	4	4
5 Placa IIAI	3	3	3
6 Tirante III	4	4	4
7 Abrazadera IAG	2	2	2
8 Tornillo máquina de 19x76	15	15	15
9 Tornillo máquina 16x63	2	2	2
10 Grillete	6	6	6
11 Contraviento CVI	4	4	4
12 Soporte CVI	4	4	4

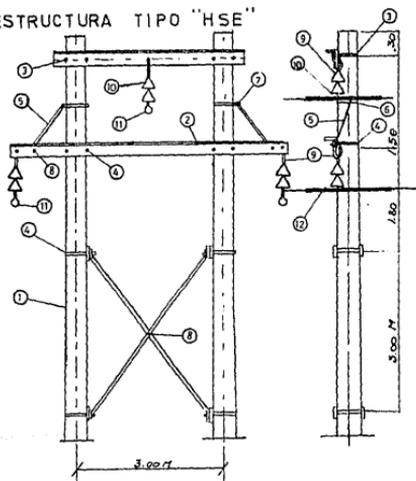


## DESCRIPCION

CANTIDAD  
13KV-22KV-33KV

1 Poste octagonal de concreto	2	2	2
2 Cruceta A4R	1	1	1
3 Abrazadera 1UH	2	2	2
4 Abrazadera 2UH	4	4	4
5 Tirante H1	2	2	2
6 Abrazadera 2AG	2	2	2
7 Tornillo máquina 16x63	2	2	2
8 Tornillo máquina 19x76	7	7	7
9 Grillete forjado	3	3	3
10 Aislador 6S	6	9	12

## ESTRUCTURA TIPO "HSE"

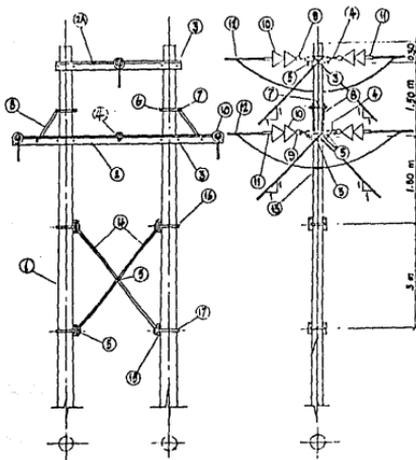


## DESCRIPCION

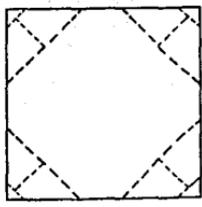
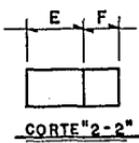
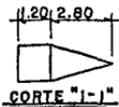
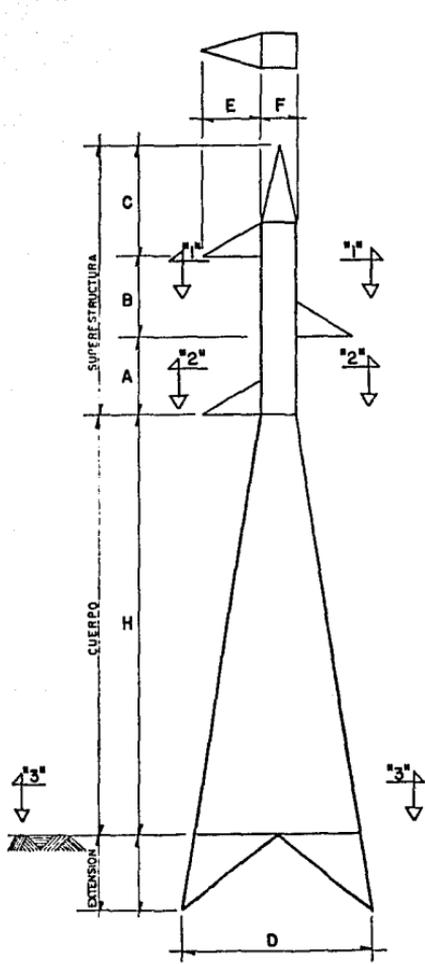
CANTIDAD  
13KV-22KV-33KV

1 Poste octagonal	2	2	2
2 Cruzeta A4R	2	2	2
3 Cruzeta A4G	2	2	2
4 Tornillo máquina 19x305	8	8	8
5 Placa HAI	4	4	4
6 Abrazadera IAG	2	2	2
7 tornillo maquina 16x63	2	2	2
8 Tirante HAI	4	4	4
9 Grillete	6	6	6
10 Aislador 6s	12	18	24
11 Horquilla c/guardacabo	6	6	6
12 Remate preformado	6	6	6
13 Conector	3	3	3
14 Contraviento CVI	2	2	2

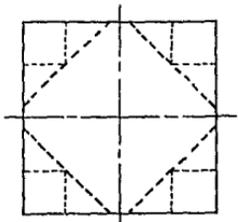
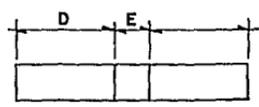
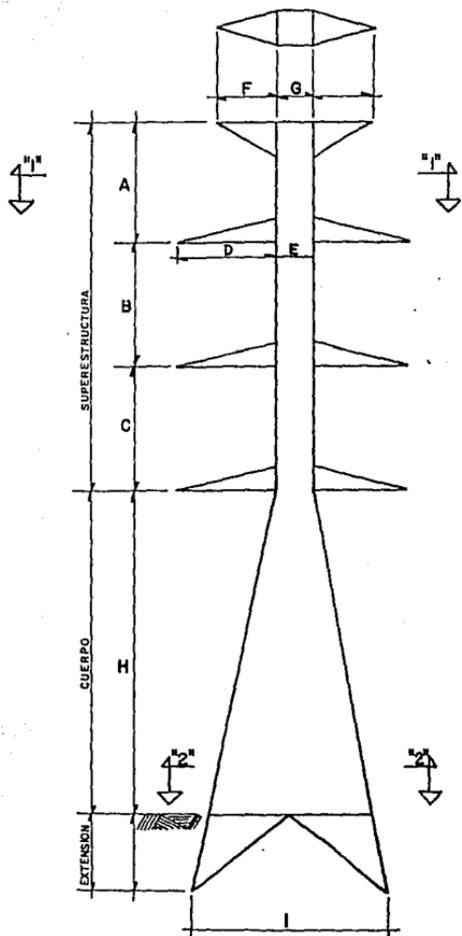
## ESTRUCTURA TIPO "HAE"



## 1.5 ESTRUCTURAS DE TRANSMISION

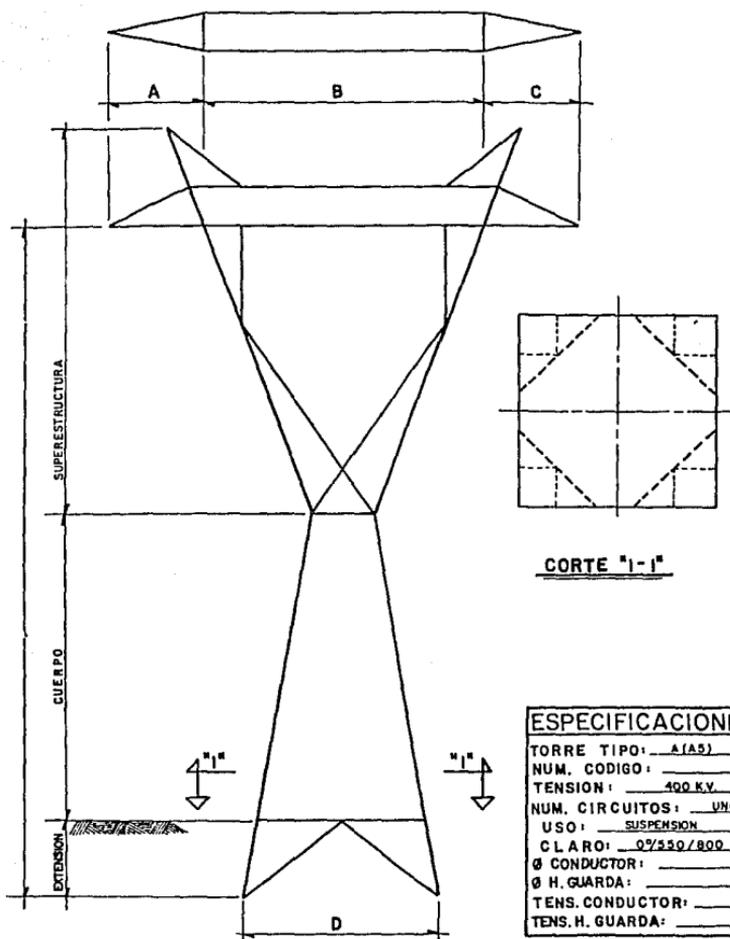


ESPECIFICACIONES.	
TORRE TIPO:	TAD. (60°)
NUM. CODIGO:	_____
TENSION:	115 K.V.
NUM. CIRCUITOS:	UNO
USO:	DEFLEXION
CLARO:	60°/450 M/750 M
Ø CONDUCTOR:	_____
Ø H. GUARDA:	_____
TENS. CONDUCTOR:	_____
TENS. H. GUARDA:	_____



CORTE "2-2"

ESPECIFICACIONES.	
TORRE TIPO:	AZ (90°)
NUM. CODIGO:	_____
TENSION:	230 K.V.
NUM. CIRCUITOS:	005
USO:	DEFLEXION DE 0°-90
CLARO:	0°-50/360/150
Ø CONDUCTOR:	_____
Ø H. GUARDA:	_____
TENS. CONDUCTOR:	_____
TENS. H. GUARDA:	_____



CORTE "1-1"

ESPECIFICACIONES.	
TORRE TIPO:	A (A5)
NUM. CODIGO:	_____
TENSION:	100 K.V.
NUM. CIRCUITOS:	UNO
USO:	SUSPENSION
CLARO:	0/250/800
Ø CONDUCTOR:	_____
Ø H. GUARDA:	_____
TENS. CONDUCTOR:	_____
TENS. H. GUARDA:	_____

(11)

CALCULO ELECTRICO DE LINEAS DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION.

## 2.1 CALCULO ELECTRICO

1.- La representación esquemática de un sistema de energía eléctrica es la siguiente:



2.- Calidad del Servicio:

Para que los aparatos que utilizan energía eléctrica funcionen correctamente la energía eléctrica debe tener una calidad adecuada la cual queda definida por los siguientes tres factores: continuidad del servicio, regulación del voltaje y control de la frecuencia.

### 2.1.1 CONTINUIDAD DEL SERVICIO

Para asegurar la continuidad del servicio de suministro de energía eléctrica deben tomarse las disposiciones necesarias para hacer frente a alguna falla en algún elemento del sistema. A continuación se mencionan las principales disposiciones:

- a) Disponer de la reserva de generación adecuada para hacer frente a la posible salida de servicio, o indisponibilidad, de cierta capacidad de generación.
  
- b) Disponer de un sistema de protección automático que permita eliminar con rapidez necesaria cualquier elemento del sistema que ha sufrido una avería.
  
- c) Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor repercusión posible sobre el resto del sistema.
  
- d) Disponer de los circuitos de alimentación de emergencia para hacer frente a una falla en la alimentación normal.
  
- e) Disponer de los medios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones, cuando éstas no han podido ser evitadas.

#### 2.1.2 REGULACION DE VOLTAJE

Los aparatos que funcionan con energía eléctrica están diseñados para operar a un voltaje determinado y su funcionamiento será satisfactorio siempre que el voltaje aplicado no

varía más allá de ciertos límites.

Una variación de  $\pm 5\%$  del voltaje en los puntos de utilización, con respecto al voltaje nominal, se considera satisfactoria; una variación de  $\pm 10\%$  se considera tolerable.

### 2.1.3 CONTROL DE LA FRECUENCIA

Los sistemas de energía eléctrica funcionan a una frecuencia determinada, dentro de cierta tolerancia.

El rango de las variaciones de frecuencia que pueden tolerarse en un sistema depende tanto de las características de los aparatos de utilización, como del funcionamiento del sistema mismo.

Para el conjunto de la carga de un sistema eléctrico - un 1% de disminución de la frecuencia causa una disminución del orden de 1.5% a 2% de la carga.

Tomando en cuenta estos factores puede decirse que desde el punto de vista del buen funcionamiento de los aparatos de utilización es suficiente controlar la frecuencia con una precisión del uno por ciento.

## 2.2 CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION AEREAS

Una línea de transmisión aérea está constituida por -- los conductores, las estructuras de soporte los aisladores y accesorios para sujetar los conductores a las estructuras de soporte y, en la mayor parte de los casos de las líneas de alta tensión, cables de guarda para proteger la línea de las - descargas directas de rayos.

### 2.2.1 RESISTENCIA

Los conductores eléctricos presentan una resistencia - al paso de la corriente eléctrica que causa la conversión de una parte de la energía eléctrica que circula por el conductor en calor, en proporción directa a la resistencia del conductor y al cuadrado del valor eficaz de la intensidad de corriente que - circula por el conductor.

Las pérdidas de energía por segundo están dadas por la siguiente expresión:

$$P = R_e I_e^2 \quad \text{watts}$$

donde:

P = pérdidas de energía por segundo en un conductor.

$R_e$  = resistencia efectiva del conductor en ohms

$I_e$  = valor eficaz de la corriente en amperes

La energía consumida en  $t$  segundos es:

$$W = pt = R_e I_e^2 t \quad \text{Joules}$$

Las relaciones anteriores, que son la expresión matemática de la ley de Joule, determinan la conveniencia de utilizar voltajes de transmisión más elevados, para disminuir la magnitud de la corriente y disminuir así las pérdidas por efecto Joule.

La resistencia de un conductor es directamente proporcional a la resistividad del material de que está hecho y a la longitud del conductor e inversamente proporcional a su sección. Por lo tanto la resistencia es uno de los factores determinantes en la elección del material y del calibre de los conductores.

### 2.2.2 RESISTENCIA OHMICA

La resistencia ohmica o resistencia al paso de la corriente continua de un conductor puede expresarse de la si-

guiente forma:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Donde:

R = resistencia ohmica

$\rho$  = resistividad volumétrica

$l$  = longitud del conductor

A = área de la sección recta del conductor.

Multiplicando y dividiendo el lado derecho de la expresión anterior por  $l$  :

$$R = \rho \frac{l l}{A l} = \rho \frac{l^2}{V}$$

$$R = \rho \frac{l^2}{V}$$

donde: V = Volúmen del conductor

Ahora, multiplicando y dividiendo el lado derecho de la expresión anterior por la masa específica  $\delta$  del material del que está hecho el conductor.

$$R = \rho \frac{l^2 \delta}{V \delta}$$

$$R = \rho \frac{l}{M}$$

donde  $M = \rho l$  = masa del conductor.

Haciendo  $\rho' = \rho l$

$$R = \rho' \frac{l^2}{M}$$

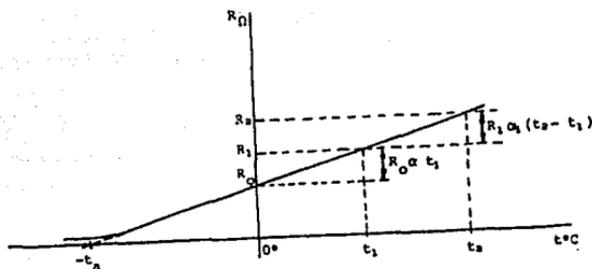
donde  $\rho'$  = resistividad por masa.

La resistividad es una característica del material del que está hecho el conductor.

Variación de la resistencia ohmica con la temperatura.

La resistencia en la mayoría de los metales aumenta con la temperatura.

Si se hacen mediciones de la resistencia de un conductor a distintas temperaturas y se traza una gráfica, se obtiene una curva como la siguiente:



Conociendo la resistencia a cero grados  $R_0$  puede calcularse la resistencia  $R_1$  a otra temperatura  $t$  de la siguiente forma:

$$R_1 = R_0 + R_0 \alpha_0 t,$$

$$R_1 = R_0 (1 + \alpha_0 t_1)$$

donde:  $\alpha_0$  = coeficiente de variación de la resistencia con

la temperatura.

Para determinar el valor de  $\alpha_c$  consideremos el caso del cálculo de la resistencia a la temperatura  $(-t_a)$ , que es la temperatura a la que teóricamente la resistencia es cero.

Para  $t_1 = -t_a$  tenemos  $R_1 = R_a = 0$

$$R_a = 0 = R_0 \left[ 1 + \alpha_0 (-t_a) \right] \quad \text{Por lo cual}$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{t_a}$$

Puede también calcularse la resistencia a una temperatura cualquiera  $t_2$  de la resistencia a una temperatura  $t_1$  distinta de cero:

$$R_2 = R_1 \left[ 1 + \alpha_1 (t_2 - t_1) \right]$$

El valor de  $\alpha_1$  puede determinarse de la siguiente --

forma:

$$\alpha_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0} + t_1}$$

$$\text{Como se tiene que } t_a = \frac{1}{\alpha_0}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{t_a + t_1}$$

Ref (1) Pág. 55

### 2.3 RESISTENCIA EFECTIVA

Si se hace circular una corriente alterna por un conductor, la pérdida de energía por resistencia es algo mayor que la pérdida que se produce cuando circula una corriente continua de magnitud igual al valor eficaz de la corriente alterna.

Para explicar este fenómeno, podemos imaginar el conductor compuesto por una serie de filamentos paralelos al eje del conductor, todos ellos de la misma sección y de la misma longitud y por lo tanto de la misma resistencia.

Supongamos primero que circula una corriente continua. La diferencia de potencial aplicada a cada filamento es la misma; como la resistencia de todos los filamentos es igual, la corriente en cada filamento será igual a la de los otros filamentos, o lo que es lo mismo la densidad de corriente es uniforme en toda la sección del conductor.

Supongamos ahora que circula por el conductor una corriente alterna. El flujo magnético que producirá esta corriente será también un flujo alterno, que al cortar los filamentos de que consideramos compuesto, el conductor inducirá -

una fuerza electromotriz en cada filamento opuesta a la diferencia de potencial aplicada entre los extremos del conductor. los filamentos de la parte central del conductor se eslabonan con más líneas de fuerza que los filamentos de la parte superficial del conductor y por lo tanto la fuerza contra-electromotriz inducida en los filamentos centrales será mayor que la inducida en los filamentos superficiales.

Como la diferencia de potencial entre los extremos de todos los filamentos tienen que ser iguales, ya que están conectados en paralelo, tendrá que verificarse que las caídas de potencial en cada filamento sean iguales y por lo tanto -- las corrientes en los filamentos centrales, en los que la fuerza contraelectromotriz inducida es mayor, tendrán que ser menores que las corrientes en los filamentos superficiales, o en otras palabras, la densidad de corriente será mayor en la superficie del conductor que en el centro.

Este fenómeno es el llamado efecto superficial, ó pelicular o efecto Kelvin.

El efecto superficial equivale a una disminución de la sección del conductor y por lo tanto a un aumento de la resistencia. Esta nueva resistencia se llama resistencia efectiva y se define como el cociente de la pérdida de energía en el conductor, en un segundo,  $p$ , dividida por el cuadrado del va los eficaz de la corriente.

$$R_e = \frac{P}{I_{ef}^2}$$

#### 2.4 REACTANCIA INDUCTIVA

Inductancia de un sistema monofásico de dos hilos.

La inductancia de un circuito puede definirse como la primera derivada del flujo que se eslabona con el circuito - con respecto a la corriente que circula por el circuito.

$$e = - N \frac{d\phi}{dt}$$

$$e = - L \frac{di}{dt}$$

Igualando tenemos que

$$L \frac{di}{dt} = N \frac{d\phi}{dt}$$

$$L = N \frac{d\phi}{di}$$

Si  $N = 1$  y si consideramos en lugar de los valores instantáneos del flujo y de la corriente, los valores eficaces:

$$L = \frac{d\tilde{\phi}}{d\tilde{i}}$$

En donde  $\tilde{\phi} = \tilde{i} \left( \frac{\mu}{2} + 2 \ln \frac{d}{r} \right) 10^{-7}$  Webers por metro de conductor (1)

y por lo cual:  $L = \left( \frac{\mu}{2} + 2 \ln \frac{d}{r} \right) 10^{-7}$  Henrys/m/conductor.

Expresando la inductancia en función del logaritmo decimal.

$(\ln a = 2.3026 \log_{10} a)$  y por km. de conductor.

$$L = (0.5 \mu + 4.605 \log_{10} \frac{d}{r}) 10^{-4} \text{ Henrys/Km}$$

/conductor

donde:  $\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0} = \text{Permeabilidad relativa del material}$

$\mu_a$  = permeabilidad absoluta del material =  $4\pi \times 10^{-7}$  pa  
ra el aire

$\mu_o$  = permeabilidad del espacio vacío ó constante magné  
tica del espacio =  $4\pi \times 10^{-7}$

(1) ref (1) pág. 62 a 68

La reactancia inductiva por Km. de conductor es:

$$X_L = 2\pi f L \text{ ohms por km y por conductor}$$

La inductancia de cada conductor será la inductancia -  
por unidad de longitud multiplicada por la longitud del con--  
ductor. La inductancia total de la línea monofásica (conduc  
tor de ida más conductor de regreso) será el doble de la in--  
ductancia de uno de los conductores.

#### 2.4.1 CORRECCION DE LA INDUCTANCIA INTERNA POR EFECTO SUPERFICIAL

Debido al efecto superficial, la densidad de corriente  
en la parte central del conductor es ligeramente inferior, pa  
ra corrientes de baja frecuencia, a la densidad de corriente  
en las zonas más próximas a la periferia. Por esta razón la  
inductancia debida al flujo interno al conductor es algo me--

nor que la calculada.

Sea  $X_{li}$  la inductancia interna del conductor calculador sin tomar en cuenta el efecto superficial.

La inductancia interna corregida por efecto superficial  $X_{li}^1$  es igual a:

$$X_{li}^1 = k^1 X_{li}$$

donde  $k^1$  es una función de  $X$

$$x = 0.05013 \sqrt{\frac{f \mu}{R_1}}$$

Siendo:

$f$  = frecuencia

$\mu$  = permeabilidad relativa del material

$R_1$  = resistencia del conductor en  $\Omega/\text{km}$ .

X	K <sup>1</sup>
1.0	0.99741
1.1	0.99621
1.2	0.99465
1.3	0.99266
1.4	0.99017
1.5	0.98711
1.6	0.98342
1.7	0.97904
1.8	0.97390
1.9	0.46795

#### 2.4.2 INDUCTANCIA DE UN CIRCUITO TRIFASICO.

Sea un circuito trifásico, de tres hilos, cilíndricos, rectos e iguales en el que se verifica que  $\check{y}_a + \check{y}_b + \check{y}_c = 0$ . Y sea, por definición:

$$3\sqrt{d_{I-II} \times d_{I-III} \times d_{II-III}} = DMG = \text{distancia media geométrica entre conductores.}$$

El flujo activo por m de conductor es:

$$\phi = \dot{I}_a \left( \frac{\mu}{2} + 2 \ln \frac{DMG}{r} \right) \times 10^{-7} \text{ webers por m. de conductor (1)}$$

Derivando esta expresión con respecto a la corriente obtenemos la inductancia.

$$L = \left( \frac{\mu}{2} + 2 \ln \frac{DMG}{r} \right) \times 10^{-7} \text{ henrys por m. de conductor}$$

$$L = \left( \frac{\mu}{2} + 4.605 \log_{10} \frac{DMG}{r} \right) \times 10^{-4} \text{ henrys por km. de conductor}$$

#### 2.4.3 RADIO MEDIO GEOMETRICO

Puede definirse el radio medio geométrico para un conductor no magnético de cualquier forma como el radio exterior de un conductor tubular de espesor infinitesimal (de manera que todo el flujo sea exterior al conductor) que, para la misma corriente, produce el mismo flujo total que el conductor real al cual substituye.

Si se tienen  $n$  conductores por fase dispuestos simétricamente sobre un círculo de radio  $R$ , el radio medio geométrico del grupo de  $n$  conductores es:

$$RMG = \sqrt[nr]{nrR^{n-1}}$$

En la tabla siguiente se da el radio medio geométrico-  
de diversos conductores en función de su radio exterior  $r$ .

Alambre cilíndrico      0.779  $r$

Cable de un solo material:

7 hilos	0.726 $r$
19 hilos	0.758 $r$
37 hilos	0.768 $r$
61 hilos	0.772 $r$
91 hilos	0.774 $r$
127 hilos	0.776 $r$

Conductor de aluminio con alma de acero (ACSR):

30 hilos (2 capas)	0.826 $r$
26 hilos (2 capas)	0.809 $r$
54 hilos (3 capas)	0.810 $r$
1 capa	0.55 $r$ a 0.70 $r$

Sección rectangular  $\alpha \times \beta$       0.2235 ( $\alpha + \beta$ )

La expresión de la inductancia en función del radio-  
medio geométrico, del logaritmo decimal y por Km. de conduc-  
tor es:

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

$L = (4.605 \log_{10} \frac{DMG}{RMG}) \times 10^{-4}$  henrys por km. de conductor.

La reactancia inductiva es  $X_L = 2 \pi f L$

$X_L = 0.00289 f \log_{10} \frac{DMG}{RMG}$  ohms por km. de conductor.

#### TABLAS DE REACTANCIAS INDUCTIVAS

La expresión de la reactancia inductiva.

$X_L = 0.00289 f \log_{10} \frac{DMG}{RMG}$   $\Omega$ /km. /conductor

Puede escribirse en la siguiente forma:

$X_L = 0.00289 f \log_{10} \frac{1}{RMG} + 0.00289 f \log_{10} \frac{DMG}{1}$   $\Omega$ /km/  
/conductor.

El primer término  $0.00289 f \log_{10} \frac{1}{RMG}$ , puede interpretarse como la reactancia debida al flujo interno del conductor, más el flujo externo hasta una distancia de una unidad (un cm. un pie, etc., dependiendo de en que unidades está expresado el RMG). Este término es función, para una frecuencia

cia dada, el radio geométrico del conductor.

El segundo término:  $0.00259 f \log_{10} \frac{DMG}{1} \quad \Omega / \text{km} / \text{conductor}$ , puede interpretarse como la reactancia debida al flujo externo al conductor desde una distancia unidad (un cm., - un pie, etc.) dependiendo de en que unidades esté expresada la DMG, que deben ser las mismas que las del RMG), hasta una distancia igual a la DMG. Este segundo término es función, - para una frecuencia dada, de la distancia entre conductores.

En éste principio de considerar la reactancia inductiva de un conductor de una línea, compuesta de dos sumandos, - uno función del radio medio geométrico del conductor y otro - función de la separación entre conductores, se basan las tablas de reactancias inductivas.

Las tablas de que se dispone dan las reactancias en -- ohms por milla por conductor; por lo tanto se parte de la expresión:

$$X_L = 0.004657 \quad f \log_{10} \frac{DMG}{RMG} \quad \Omega / \text{milla} / \text{conductor}.$$

El término  $X_a = 0.004657 \quad f \log_{10} \frac{1}{RMG} \quad \Omega / \text{milla} / \text{conductor}$ , que es función del radio medio geométrico del conductor, aparece en la tabla características de los conductores.

El término  $X_1 = 0.004657 f \log_{10} \frac{DMG}{1} \Omega / \text{milla} / \text{conductor}$ , que es función de la distancia media geométrica entre los conductores, esta tabulado en otras tablas para distintos valores de la distancia media geométrica.

La reactancia total del conductor es:

$$X_L = X_a + X_d \quad \Omega / \text{milla} / \text{cond.}$$

## 2.5 CAPACITANCIA Y REACTANCIA CAPACITIVA

Al aplicar una diferencia de potencial entre los extremos de dos conductores separados por un dieléctrico, éstos conductores adquieren una carga eléctrica, "q", que es proporcional al voltaje "v" aplicado y a una constante de proporcionalidad "C" llamada capacitancia, que dependen de la naturaleza del dieléctrico, de las dimensiones de los conductores y de su separación.

$$q = CV$$

Si el voltaje aplicado V es una función armónica del tiempo, la carga eléctrica será también una función armónica del tiempo, produciéndose una corriente de carga y descarga -

de la misma frecuencia que el voltaje aplicado y adelantada 90° con respecto a este.

### 2.5.1 CAPACITANCIA Y REACTANCIA CAPACITIVA DE UN CIRCUITO TRIFASICO

Sea una línea trifásica de 3 conductores cilindricos iguales, de radio  $r$ .

Se tiene que:

Para distancias iguales entre conductores, la capacitancia al neutro de un conductor es: (1)

$$C_n = \frac{\tilde{q}_A}{\tilde{V}_{Ao}} = \frac{1}{\frac{18 \times 10^9}{k} \ln \frac{d}{r}} \text{ Farads /m de conductor.}$$

Donde:

$\tilde{q}_A$  = carga eléctrica del conductor A

$\tilde{V}_{Ao}$  = Diferencia de potencial entre un punto de la superficie del conductor A y aquel punto del campo eléctrico donde el potencial es cero, o sea el neutro, real o ficticio.

(1) Ref. 1 págs. 96-100

$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$  = constante dieléctrica ó coeficiente dieléctrico

$\epsilon$  = permitividad del dieléctrico ó capacidad específica de inducción

$\epsilon_0$  = permitividad ó capacidad específica de inducción del espacio vacío.

$k = 1$  para el aire

$d$  = distancia entre centros de los conductores

$r$  = radio del conductor

Expresando la capacitancia en función del logaritmo decimal y en microfarads por Km :

$$C_n = \frac{10^6 \times 10^3 K}{18 \times 10^9 \times 2.3026 \log_{10} \frac{d}{r}} \text{ microfarads /km/conductor.}$$

$$C_n = \frac{0.02412 K}{\log_{10} \frac{d}{r}} \text{ micro farads/km/conductor}$$

La reactancia capacitiva será:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{\log_{10} \frac{d}{r}}{2\pi f \times 0.02412 k} \text{ megohms X km./cond.}$$

$$X_c = \frac{6.596}{f k} \log_{10} \frac{d}{r} \text{ megohms x km/cond.}$$

Si las distancias entre conductores son desiguales pero han hecho transposiciones a la tercera y a las dos terceras partes de la línea, la capacitancia por conductor es, muy aproximadamente la dada por la expresión  $C_n = \frac{0.02412 k}{\log_{10} \frac{d}{r}}$  sus tituyendo d por la distancia media geométrica.

$$DMG = \sqrt[3]{d_{ab} \times d_{ac} \times d_{bc}} \quad \text{ó sea:}$$

$$C_n = \frac{0.02412 k}{\log_{10} \frac{DMG}{r}} \quad \text{microfarads / km/ conductor}$$

La reactancia capacitiva es, consecuentemente:

$$X_c = \frac{6.596}{f k} \log_{10} \frac{DMG}{r} \quad \text{Megohms x km/cond.}$$

## 2.5.2 CAPACITANCIA Y REACTANCIA CAPACITIVA EN FUNCION DE LAS DISTANCIAS MEDIAS GEOMETRICAS Y LOS RADIOS MEDIOS GEOMETRICOS

En este caso, al calcular el radio medio geométrico de un grupo de conductores, se utilizará el radio exterior de cada conductor y no el radio medio geométrico de cada conductor, ya que la carga eléctrica de los conductores está en la superficie de éstos.

$$RMG = \sqrt[n]{n \cdot re \cdot R^{n-1}}$$

donde: re es el radio exterior de cada conductor.

En cambio para calcular la inductancia y la reactancia inductiva se utilizará el radio medio geométrico de cada conductor.

Las expresiones para la capacitancia y la reactancia capacitiva serán:

$$C_n = \frac{0.02412 k}{\log_{10} \frac{DMG}{RMG_c}} \quad \text{micro farads /km/fase}$$

$$X_c = \frac{6.596}{f k} \log_{10} \frac{DMG}{RMG_c} \quad \text{megohms x km/ fase}$$

Estas fórmulas suponen una distribución uniforme de las cargas eléctricas en la superficie de los conductores, lo que no es totalmente exacto. Debido a esto, los resultados que se obtienen son de una a dos por ciento menores que los reales.

### 2.5.3 TABLAS DE REACTANCIAS CAPACITIVAS

La expresión de la reactancia capacitiva de un conductor de un circuito trifásico en el aire ( $k = 1$ ), con un solo conductor por fase puede expresarse en la siguiente forma:

$$X_c = \frac{6.596}{f} \log_{10} \frac{1}{r} + \frac{6.596}{f} \log_{10} \frac{DMG}{1} \text{ megohms x km/cond.}$$

Puede verse que, expresada en esa forma, la reactancia capacitiva es la suma de dos términos: uno que es función, para una frecuencia dada, del radio del conductor y otro que es función, para una frecuencia dada, de la distancia media geométrica entre conductores.

Las tablas de reactancias capacitivas de que se dispone están calculadas en megohms - milla, o sea que parten de la expresión:

$$X_c = \frac{4.098}{f} \log_{10} \frac{DMG}{r} \text{ megohms x Mi/cond.}$$

El primer término:

$$X_d = \frac{4.098}{f} \log_{10} \frac{1}{r} \text{ megohms x Mi/cond.}$$

aparece en la tabla de características de los conductores y

el segundo término:  $X'_d = \frac{4.098}{f} \log_{10} \frac{DMG}{1} \text{ megohms x Mi/cond.}$

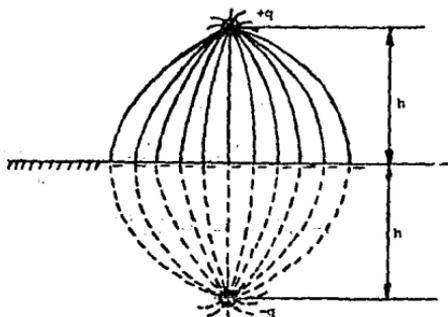
aparece en otras tablas donde se ha calculado  $X'_d$  para diferentes valores de la distancia media geométrica y para tres frecuencias: 25 ciclos, 50 ciclos y 60 ciclos.

El valor total de la reactancia capacitiva por conductor se obtiene sumando esos dos términos.

$$X_c = X_d + X'_d$$

#### 2.5.4 CAPACITANCIA DE UNA LINEA MONOFÁSICA DE UN CONDUCTOR -- CON RETORNO POR TIERRA

Supóngase un sistema monofásico de un hilo con retorno por tierra, como el que se indica en la figura siguiente:



El conductor tiene una carga + q coulombs/m, que induce en el plano de tierra una carga negativa. La superficie de la tierra es una superficie equipotencial y las líneas de fuerza entrarán a este plano normalmente.

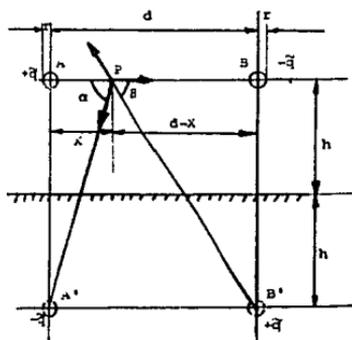
La distribución del flujo electrostático será como se indica en la figura con línea llena. Se obtiene la misma distribución del flujo en la región del espacio superior al plano de tierra, si se substituye la tierra por un conductor ficticio a una distancia h bajo la superficie de la tierra igual a la altura del conductor sobre dicha superficie y con una carga - q.

Aplicando la expresión para la capacitancia en un circuito monofásico, a este constituido por el conductor y su imagen, se tiene:

$$C_n = \frac{0.02412}{\log_{10} \frac{2h}{r}} \quad \text{microfarads /km/cond.}$$

### 2.5.5 CAPACITANCIA DE UNA LINEA MONOFASICA DE DOS CONDUCTORES IGUALES Y PARALELOS, TOMANDO EN CUENTA EL EFECTO DE LA TIERRA

Sea una línea monofásica de dos conductores como la que se indica en la siguiente figura:



La diferencia de potencial entre A y B es: (1)

$$\tilde{V}_{AB} = \frac{36 \times 10^9}{k} \tilde{q} \ln \frac{d}{r} \times \frac{2h}{\sqrt{4h^2 + d^2}} \text{ Volts.}$$

$$C_{AB} = \frac{q}{V_{AB}} = \frac{k}{36 \times 10^9 \times \ln \frac{d}{r} \times \frac{2h}{\sqrt{4h^2 + d^2}}} \text{ farads / m}$$

El voltaje al neutro de los conductores A y B es:

$$\tilde{V}_n = \frac{V_{AB}}{2} = \frac{18 \times 10^9}{k} \tilde{q} \ln \frac{d}{r} \times \frac{2h}{\sqrt{4h^2 + d^2}} \text{ Volts.}$$

La capacitancia al neutro es:

$$C_n = \frac{k}{18 \times 10^9 \times \ln \frac{d}{r} \times \frac{2h}{\sqrt{4h^2 + d^2}}} \text{ Farads/m/cond.}$$

(1) Ref. (1) págs. 107-109

Expresando la capacitancia al neutro en función del logaritmo decimal y en microfarads por Km.

$$C_n = \frac{0,02412 k}{\log_{10} \frac{d}{r} \times \sqrt{4 \frac{h^2}{2} + d^2}} \text{ microfarads/km/cond.}$$

La reactancia capacitiva al neutro es:

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f c}$$

$$X_c = \frac{6,596}{f k} \log_{10} \frac{d}{r} \times \frac{2h}{\sqrt{4 \frac{h^2}{2} + d^2}} \text{ megohms x km/cond.}$$

Como la altura del conductor sobre el piso no es constante, debido a la catenaria del conductor, el valor h que se emplea en la fórmula debe ser la altura media, que puede calcularse aproximadamente con la siguiente expresión:

$$\text{Altura media} = h = h_s - 0,70 F$$

donde:

$h_s$  = altura del conductor en el punto de soporte

F = flecha del conductor

### 2.5.6 CAPACITANCIA DE UN CIRCUITO TRIFASICO TOMANDO EN CUENTA EL EFECTO DE LA TIERRA

Las fórmulas para el caso de una línea monofásica de dos hilos se aplican también al cálculo de la capacitancia y la reactancia capacitiva al neutro de un circuito trifásico, substituyendo  $d$  por la distancia media geométrica los tres conductores DMG,  $h$  por la altura media geométrica de los tres conductores sobre el piso HMG ( $HMG = \sqrt{h_1 \times h_2 \times h_3}$ ), donde  $h_1, 2h, h_3$  son las alturas medias de los tres conductores  $y$ , en caso de que haya varios conductores por fase,  $r$  por el radio medio geométrico del haz de conductores de cada fase, RMGc.

Las fórmulas quedan en la siguiente forma:

$$C_n = \frac{0.02412 \quad k}{\log_{10} \frac{DMG}{RMGc} \times \sqrt{4 (HMG)^2 + (DMG)^2}} \quad \text{microfarads/km/fase}$$

$$X_c = \frac{6.596}{F \quad k} \log_{10} \frac{DMG}{RMGc} \times \frac{2 \quad HMG}{\sqrt{4 \cdot (HMG)^2 + (DMG)^2}} \quad \text{megohms} \times \text{km.}$$

## 2.6 EFECTO CORONA

Si se somete un dieléctrico a un campo eléctrico cuyo gradiente de potencial ( $\frac{dV}{dx}$ ) se va aumentando, se llegará a un valor del gradiente de potencial que exceda la rigidez dieléctrica del dieléctrico y este se perforará. Este valor del gradiente se llama gradiente disruptivo.

En particular, si se somete un conductor de una línea de transmisión a un voltaje creciente, el gradiente de potencial en la superficie del conductor crece y llega un momento en que es mayor que el gradiente disruptivo del aire. Se produce entonces una ionización del aire que rodea al conductor y que se manifiesta por una crepitación y por una luminosidad azulada que puede percibirse en la oscuridad.

Este fenómeno de ionización se explica de la siguiente manera. En la atmósfera existen siempre cierto número de iones libres; estos, acelerados por el campo eléctrico, pueden producir la ionización de moléculas neutras por choque.

### 2.6.1 GRADIENTE SUPERFICIAL CRITICO DE UN CONDUCTOR CILINDRICO.

Si el campo eléctrico fuese perfectamente uniforme, la

ionización por choque aparecería en el aire, para una temperatura de 25°C y una presión atmosférica de 760 mm. de columna de mercurio, al alcanzar la intensidad del campo eléctrico o gradiente de potencial un valor de cresta de 30 KV/cm. que corresponde a un valor eficaz de 21.21 KV/cm para una onda sinusoidal. En el caso de un conductor de una línea de transmisión el campo eléctrico en la proximidad del conductor no es uniforme; por el contrario, varía muy rápidamente en función de la distancia, aún para distancias del orden del recorrido medio de los iones libres. Debido a esto la ionización por choque no aparece más que cuando el gradiente de potencial en la superficie del conductor alcanza un valor superior a 30 KV/cm y tanto mayor cuanto más pequeña es el radio del conductor.

El valor del gradiente de potencial en la superficie del conductor para el cual se inicia la ionización por choque se llama gradiente superficial crítico y se representa por  $g_c$ .

De acuerdo con las investigaciones de Peek,  $g_c$  está dado, para las condiciones atmosféricas de 25°C de temperatura ambiente y de una presión atmosférica de 760 mm. de mercurio, por la siguiente expresión:

$$g_0 = 30 \left( 1 + \frac{0.3}{\sqrt{r}} \right) \text{ KV/cm (valor de cresta)}$$

donde  $r$  es el radio del conductor en centímetros y  $g_0$  está en KV (Valor de cresta) por centímetros.

De acuerdo con pruebas realizadas en la estación experimental de Chevilly, de Electricidad de Francia,  $g_0$  está dado, para las condiciones atmosféricas antes citadas y para conductores de radio comprendido entre 0.7 cm. y 2.5 cm., por la siguiente expresión:

$$g_0 = 30 (1 - 0.07 r) \text{ KV/cm (valor eficaz)}$$

donde  $r$  es el radio del conductor en centímetros y  $g_0$  está en KV (valor eficaz) por centímetro.

## 2.6.2 INFLUENCIA DEL FACTOR DENSIDAD DEL AIRE EN EL GRADIENTE SUPERFICIAL CRÍTICO

Las condiciones atmosféricas influyen en el valor del gradiente superficial crítico. Este varía en proporción directa a una potencia de la presión atmosférica y en proporción inversa a una potencia de la temperatura absoluta. Estos dos factores pueden combinarse para formar lo que se llama

ma el factor de densidad del aire  $\delta$ .

$$\delta = \frac{3.92 b}{273 + t}$$

donde:

b = presión barométrica en cm. de columna de mercurio.

t = temperatura ambiente en grados centígrados.

Según Peek el gradiente superficial crítico para unas condiciones atmosféricas definidas por un factor de densidad del aire  $\delta$ , está dado por la siguiente expresión:

$$g'_0 = 30 \delta \left( 1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta} r} \right) \text{ KV/cm (Valor de cresta)}$$

De acuerdo con investigaciones posteriores de Peterson el gradiente superficial crítico varía en proporción directa a  $\delta^{2/3}$ :

$$g'_0 = g_0 \delta^{2/3}$$

donde  $g_0$  es el gradiente superficial crítico a una temperatura ambiente de 25°C y una presión atmosférica de 760 mm de columna de mercurio.

De acuerdo con experiencias recientes en las líneas experimentales de Leadville (Colorado, E. U.) el gradiente superficial crítico varía en proporción directa a la raíz cuadrada de  $d$  :

$$g'_0 = g_0 d^{\frac{1}{2}}$$

### 2.6.3 INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE DEL CONDUCTOR EN EL GRADIENTE SUPERFICIAL CRITICO

Lo expuesto anteriormente se aplica en forma rigurosa a conductores cilíndricos de sección perfectamente circular, con superficies perfectamente limpias y sin ninguna aspereza. En realidad los conductores de las líneas de transmisión están generalmente constiuidas por cables formados por varios hilos enrollados en hélice, además los conductores nunca están perfectamente limpios y, al ser manejados, especialmente durante la instalación, se raspan y arañan en cierto grado.

Las irregularidades de la superficie, ya sean constituidas por los hilos individuales del cable, la suciedad depositada sobre el cable a las partes raspadas, hacen que aumente la intensidad de campo localmente. La ionización se produce en esos puntos para un gradiente de potencial superficial-

menor que el necesario para producirla si la superficie del conductor fuese lisa y limpia. Para tomar en cuenta esta reducción del gradiente superficial crítico se utiliza un factor de superficie  $m$ , que es el producto de dos coeficientes: un coeficiente que toma en cuenta la forma general de la sección del cable  $m_f$  y un coeficiente que toma en cuenta el estado de la superficie del cable,  $m_s$ .

VALORES DEL COEFICIENTE DE FORMA,  $m_f$ .

$m_f = 1$  Para una sección perfectamente circular.

$m_f = 0.55$  Para un cable con 6 hilos en la capa exterior.

$m_f = 0.9$  Para un cable de 12 a 30 hilos en la capa exterior.

VALORES DEL COEFICIENTE DE SUPERFICIE,  $m_s$ .

$m_s = 0.9$  Para cables limpios o envejecidos.

$m_s = 0.8$  Para cables nuevos.

$m_s = 0.7$  Para cables sucios o engrasados.

$m_s = 0.5$  a  $0.3$  para cables recubiertos de gotas de agua.

Con estos datos el valor del factor de superficie  $m$  es igual a:

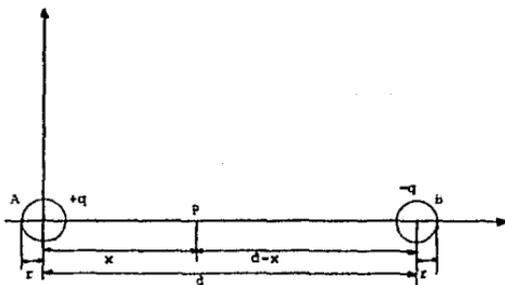
$$m = m_f \times m_s$$

y el gradiente superficial crítico afectado por  $m$  es:

$$g'_0 = m g_0 \delta^{\frac{1}{3}} \quad (\text{según la fórmula de Peterson})$$

## 2.7 VOLTAJE CRÍTICO DISRUPTIVO

Consideremos primero el caso de una línea de transmisión aérea, monofásica, de dos hilos:



El gradiente de potencial o intensidad de campo eléc--

trico en un punto P. entre los dos conductores es:

$$-\frac{dV}{dx} = E = \frac{\rho}{kE_0} = 36\pi \times 10^9 \frac{q}{2\pi x} + \frac{q}{2\pi(d-x)} \text{ Volts/cm}$$

Donde:  $D$  = densidad de flujo eléctrico.

$$E_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9} \text{ (Sistema MKS. racionalizado)}$$

$$E = 18 \times 10^9 \left( \frac{q}{x} + \frac{q}{d-x} \right) \text{ Volts/cm.}$$

Estando  $q$  en coulombs y " $d$ " y " $x$ " en cm.

$E$  es máximo para  $x=r$ , o sea cuando P es un punto de la superficie del conductor. A este valor del gradiente de potencial se le representa por  $g$ .

$$g = 18 \times 10^9 q \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{d-r} \right) \text{ volts/cm.}$$

El término  $\frac{1}{d-r}$  es mucho menor que  $\frac{1}{r}$  y puede despreciarse

$$g = 18 \times 10^9 q \frac{1}{r} \text{ Volts/cm.}$$

estando  $q$  en coulombs y  $r$  en cm.

La expresión anterior se aplica también al gradiente - de potencial en la superficie de un conductor de una línea -- trifásica.

La diferencia de potencial entre los dos conductores - debida a las cargas  $+q$  y  $-q$ , es:

$$V = 36 \times 10^9 q \ln \frac{d}{r} \text{ volts.}$$

y el voltaje al neutro:

$$V_n = 18 \times 10^9 q \ln \frac{d}{r} \text{ Volts.}$$

La expresión anterior se aplica también a una línea tri - fásica substituyendo  $d$  por la distancia media geométrica, en - tre los tres conductores.

$$V_n = 18 \times 10^9 q \ln \frac{DMG}{r} \text{ Volts.}$$

$$V_n = q r \ln \frac{DMG}{r} \text{ Volts.}$$

Si el gradiente de potencial en la superficie del conductor alcanza el valor del gradiente superficial crítico:

$$g'_0 = 30 \text{ m } \delta^{2/3} (1 - 0.07 r) \text{ k v/cm}$$

el voltaje al neutro correspondiente se llama "voltaje crítico disruptivo" y se representa por "Vo."

$$V_0 = 30 \text{ m } \delta^{2/3} (1 - 0.07 r) r \text{ Ln } \frac{DMG}{r} \text{ KV (Valor eficaz)}$$

o sea Vo es aquel valor eficaz del voltaje al neutro, en KV, para el cual se inicia la ionización por choque del aire que rodea al conductor.

Expresada en logaritmo decimal

$$V_0 = 69.078 \text{ m } \delta^{2/3} (1 - 0.07 r) r \log_{10} \frac{DMG}{r} \text{ KV}$$

El cociente resultante de dividir el voltaje crítico disruptivo por el voltaje al neutro de operación de la línea se llama "coeficiente de seguridad".

$$\text{Coeficiente de seguridad} = \frac{V_0}{V_n}$$

### 2.7.1 VOLTAJE CRITICO DISRUPTIVO DE UNA LINEA TRIFASICA CON CONDUCTORES MULTIPLES POR FASE

En el caso de un haz de conductores de radio  $r$  colocados simétricamente sobre un círculo de radio  $R$ , el gradiente de potencial en la superficie de cada conductor no puede considerarse uniforme, ya que la presencia de cargas eléctricas del mismo signo en los otros conductores del haz, a una distancia relativamente pequeña, distorsiona el campo eléctrico.

En general, para un haz de  $n$  conductores el gradiente superficial crítico está dado por:

$$g'_0 = 30 \text{ m } \rho^{2/3} (1-0.07 r) \left[ 1 - \frac{(n-1)r}{R} \right] \text{ KV/cm}$$

El voltaje crítico disruptivo está dado por la siguiente expresión:

$$V_0 = 69.078 \text{ m } \rho^{2/3} (1-0.07 r) \left[ 1 - \frac{(n-1)r}{R} \right] n r \log_{10} \frac{DMG}{RMG_c} \\ \times \frac{2 (HMG)}{\sqrt{4(HMG)^2 + (DMG)^2}}$$

donde  $n$  es el número de conductores por fase.

### 2.7.2 PERDIDAS POR EFECTO CORONA

Las pérdidas por efecto corona pueden calcularse aproximadamente mediante la siguiente fórmula debida a Pattersen:

$$P = \frac{20.96 \times 10^{-6} f (KV_n)^2}{\left(\log_{10} \frac{DMG}{r}\right)^2} F \quad \text{KW/km/1 fase}$$

donde:

P = pérdidas por efecto corona

f = frecuencia en ciclos por segundo

KV<sub>n</sub> = Voltaje (valor eficaz) al neutro, en KV

DMG = distancia media geométrica entre los conductores

r = radio del conductor

$$F = \left(\frac{V_n}{V_o}\right)$$

V<sub>n</sub> = voltaje al neutro valor eficaz

V<sub>o</sub> = voltaje crítico disruptivo.

A continuación se dan algunos valores de F en función

de  $\frac{V_n}{V_o}$  :

$\frac{V_n}{V_o}$	F
0.6	0.011
0.7	0.014
0.8	0.018
0.9	0.025
1.0	0.036
1.1	0.053
1.2	0.085
1.3	0.150
1.5	0.950
2.0	7.000
10.0	28.000

La fórmula de Peterson se utiliza para calcular las -- pérdidas por efecto corona con buen tiempo. Las condiciones atmosféricas influyen considerablemente en la magnitud del -- efecto corona. La lluvia hace aumentar las pérdidas por efecto corona a valores unas diez veces mayores de los que se obtienen con buen tiempo.

## 2.8 CIRCUITO EQUIVALENTE MONOFASICO DE UN SISTEMA POLIFASICO SINETRICO EQUILBRADO

Si el sistema es simétrico el efecto total de la reactancia inductiva propia de cada conductor  $X_p$  y la reactancia inductiva mutua entre conductores  $X_m$  es equivalente a una reactancia propia ficticia  $X_L = (X_p - X_m)$ .

También si el sistema es simétrico, el potencial al neutro de cada conductor puede expresarse en función exclusivamente de la carga eléctrica de ese conductor.

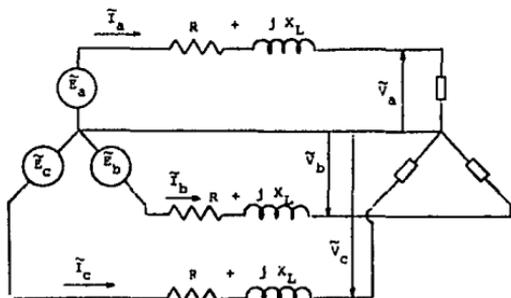
Lo anterior indica que se puede representar por separado cada fase de la línea mediante un circuito equivalente monofásico, referido al neutro, real o ficticio, del sistema.

Por otra parte los generadores, cualquiera que sea su conexión, pueden representarse por una conexión estrella equivalente para la cual puede definirse una fuerza electromotriz al neutro para cada fase. Igualmente las cargas equilibradas cualquiera que sea su conexión, pueden representarse por una-

carga equivalente conectada en estrella.

### 2.8.1 LINEAS CORTAS

En líneas cortas (no más de 60 km. de longitud y de voltaje no mayores de 40 KV, aproximadamente) la capacitancia de la línea puede generalmente despreciarse y entonces cada fase de la línea puede ser representada por una impedancia en serie igual a la impedancia por unidad de longitud multiplicada por la longitud de la línea.

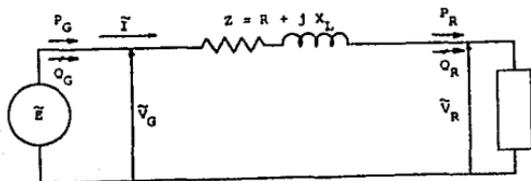


$$\tilde{V}_b = \tilde{V}_a e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\tilde{V}_c = \tilde{V}_a e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\tilde{I}_b = \tilde{I}_a e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\tilde{I}_c = \tilde{I}_a e^{j\frac{2\pi}{3}}$$



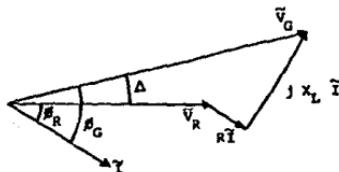
Circuito monofásico equivalente a una de las fases del circuito trifásico equivalente,  $R$  es la resistencia efectiva en serie total de la línea,  $X_L$  es la reactancia inductiva en serie total de la línea,  $I$  es la corriente en una fase,  $V_G$  es el voltaje al neutro en el extremo generador de la línea y  $V_R$  es el voltaje al neutro en el extremo receptor de la línea.

En este circuito se verifica que:

$$\tilde{V}_G = \tilde{V}_R + Z \tilde{I} \quad , \quad \text{como: } Z = R + j X_L$$

$$\tilde{V}_G = \tilde{V}_R + R \tilde{I} + j X_L \tilde{I}$$

La ecuación anterior está representada por el diagrama fasorial:



La potencia compleja por fase en el extremo receptor -

es:

$$S_R = P_R + j Q_R = \tilde{V}_R \tilde{I}^*$$

La potencia compleja por fase en el extremo generador es:

$$S_G = P_G + j Q_G = \tilde{V}_G \tilde{I}^*$$

Las pérdidas reales o pérdidas por efecto Joule, por fase, están dadas por la siguiente expresión:

$$p = P_G - P_R = R I^2$$

Las pérdidas reactivas están dadas por la siguiente expresión:

$$q = Q_G - Q_R = X_L I^2$$

EFICIENCIA: La eficiencia  $\eta$  de la línea se define como el cociente de la potencia real que sale de la línea en el extremo receptor dividida por la potencia real que entra a la línea en el extremo generador.

$$\eta = \frac{P_R}{P_G}$$

2.8.2 REGULACION DEL VOLTAJE: Se define la regulación de --- voltaje de una línea, como el porcentaje de aumento del voltaje receptor cuando se desconecta la carga plena, permaneciendo constante el voltaje generador y estando referido ese porcentaje de aumento al voltaje receptor con plena carga.

$$\% \text{ Reg.} = \frac{V_{R_0} - V_R}{V_R} \times 100$$

Donde:

$V_{R_0}$  = módulo del voltaje en vacío en el extremo receptor

$V_R$  = módulo del voltaje a plena carga en el extremo receptor.

En el caso de una línea corta, en la que se desprecia la capacitancia al neutro de la línea, el voltaje en vacío en el extremo receptor es igual al voltaje aplicado en el extremo generador. Para este caso la expresión de la regulación de voltaje queda:

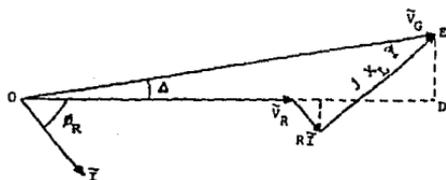
$$\% \text{ Reg} = \frac{V_G - V_R}{V_R} \times 100$$

Donde:

$V_G$  = módulo del voltaje en el extremo generador.

### 2.8.3 CALCULO APROXIMADO DE LA CAIDA DE VOLTAJE EN LA LINEA Y DE LA REGULACION

Supónganse conocidos los módulos del voltaje y de la corriente en el extremo receptor y el factor de potencia en el extremo receptor.



En el diagrama fasorial se verifica, tomando en cuenta que la corriente está atrasada con respecto al voltaje receptor y que por lo tanto el ángulo  $\phi_R$  es negativo: <sup>1</sup>

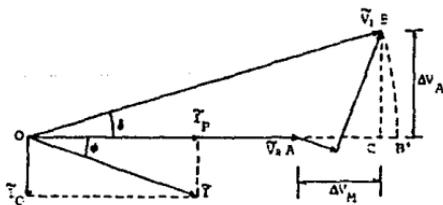
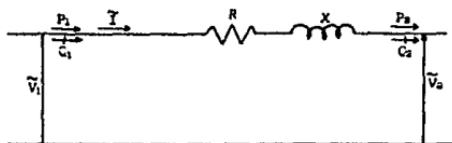
$$V_G \cong V_R + R I \cos \phi_R - X_L I \sin \phi_R$$

(1) Ref: 1 págs. 184 y 185.

La regulación está dada por :

$$\% \text{ Reg} = \frac{V_G - V_R}{V_R} \times 100 = \frac{R I \cos \varphi_R - X_L I \sin \varphi_R}{V_R} \times 100$$

#### 2.8.4 EFECTO DE LA CIRCULACION DE POTENCIA REACTIVA SOBRE LA REGULACION DEL VOLTAJE Y SOBRE LAS PERDIDAS.



$$\Delta V_M = RI \cos \phi_2 - XI \sin \phi_2$$

$$\Delta V_R = XI \cos \phi_2 + RI \sin \phi_2$$

$$I \cos \phi_2 = I_P = \frac{P_2}{V_2}; \quad I \sin \phi_2 = -I_Q = \frac{Q_2}{V_2}$$

$$\Delta V_M = \frac{RP_2 + XQ_2}{V_2} \quad \Delta V_A = \frac{XP_2 - RQ_2}{V_2} \quad \Delta V_M = V_1 - V_2$$

La regulación del voltaje de esta línea corta es:

$$\text{Reg} = \frac{\Delta V_M}{V_2} = \frac{R P_2 + X Q_2}{V_2^2}$$

Donde:

$V_1$  = voltaje al neutro al principio de la línea,

$V_2$  = voltaje al neutro al final de la línea.

$R$  = resistencia por fase de la línea.

$X$  = reactancia inductiva por fase de la línea.

$P_2$  = potencia real y por fase al final de la línea.

$Q_2$  = potencia reactiva por fase al final de la línea.

$$P = RI^2 = R (I_P^2 + I_Q^2)$$

$$P = \frac{R P_2^2 + R Q_2^2}{V_2^2}$$

Donde:  $p$  = pérdidas por fase en la línea

o sea que la potencia reactiva, al circular por las líneas y transformadores, produce una pérdida al cuadrado de esa potencia reactiva.

## 2.9 LINEAS DE LONGITUD MEDIA

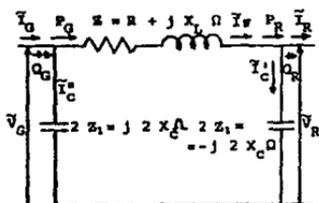
Tienen longitudes comprendidas entre 60 km y 250 km. y voltajes comprendidos entre 40 KV y 220 KV, aproximadamente.

En estas líneas no se puede, en general, despreciar la capacitancia al neutro de los conductores sin cometer un error excesivo, pero se tiene una buena aproximación si se representa la línea mediante un circuito equivalente monofásico, en el que la capacitancia al neutro de una fase se considere concentrada en uno ó dos puntos.

En cuanto a la resistencia de aislamiento, puede, en general considerarse como infinita, especialmente en líneas aéreas.

### 2.9.1 CIRCUITO EQUIVALENTE $\pi$

Si se considera la mitad de la capacitancia concentrada en cada extremo de la línea, el circuito equivalente queda como se indica en la siguiente figura:



La impedancia:  $Z = R + jX_L$   $\Omega$

que aparece en serie en el circuito equivalente es la impedancia total en serie de una fase. Por lo tanto:

$$R = r l \quad \Omega$$

$$jX_L = j X_L l \quad \Omega$$

Donde:

$r$  = resistencia efectiva por unidad de longitud de una fase

$jX_L$  = reactancia inductiva por unidad de longitud de una fase

$l$  = longitud de la línea.

La corriente en el condensador del extremo receptor es:

$$\tilde{I}_c^1 = \frac{\tilde{V}_R}{-j 2X_c}$$

La corriente que circula por la impedancia en serie de la línea es:

$$\tilde{I}_\pi = \tilde{I}_R + \tilde{I}_c^1$$

La caída de voltaje en la impedancia en serie es:

$$\tilde{I}_\pi Z = \tilde{I}_\pi (R + jX_L)$$

El voltaje en el extremo generador es:

$$\tilde{V}_G = \tilde{V}_R + \tilde{I}_\pi (R + jX_L)$$

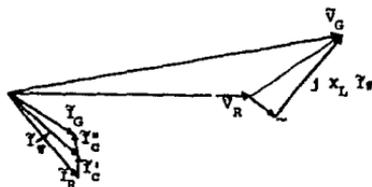
La corriente en el condensador del extremo generador es:

$$I_c'' = \frac{\tilde{V}_G}{-j 2 X_c}$$

La corriente en el extremo generador es:

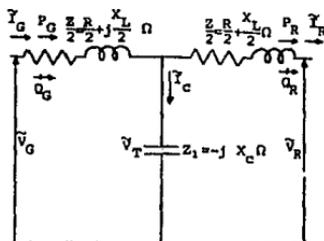
$$\tilde{I}_G = \tilde{I}_R + \tilde{I}_c = \tilde{I}_R + \tilde{I}'_c + \tilde{I}''_c$$

Las ecuaciones anteriores están representadas por el diagrama vectorial siguiente:



### 2.9.2 CIRCUITO EQUIVALENTE T

Se puede también representar una línea de longitud media mediante un circuito equivalente como el que se muestra en la siguiente figura:



La caída de voltaje en la primera mitad del circuito equivalente T es:

$$\tilde{I}_R \left( \frac{R}{2} + j \frac{X_L}{2} \right)$$

El voltaje en el centro del circuito equivalente T es:

$$\tilde{V}_T = \tilde{V}_R + \tilde{I}_R \left( \frac{R}{2} + j \frac{X_L}{2} \right)$$

La corriente que toma el condensador es:

$$\tilde{I}_C = \frac{\tilde{V}_T}{-jX_C}$$

La corriente en el extremo generador es:

$$\tilde{I}_G = \tilde{I}_R + \tilde{I}_C$$

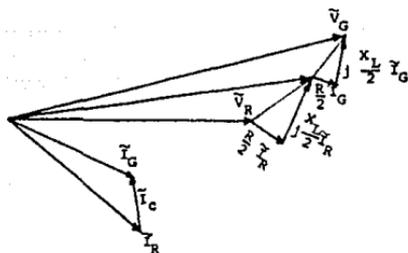
La caída de voltaje en la segunda mitad del circuito equivalente T es:

$$\tilde{I}_G \left( \frac{R}{2} + j \frac{X_L}{2} \right)$$

El voltaje al neutro en el extremo generador es:

$$\tilde{V}_G = \tilde{V}_R + \tilde{I}_R \left( \frac{R}{2} + j \frac{X_L}{2} \right) + \tilde{I}_G \left( \frac{R}{2} + j \frac{X_L}{2} \right)$$

Las ecuaciones anteriores están representadas por el diagrama vectorial:



Tanto para el circuito  $\pi$  como para el circuito T se tiene - que la potencia compleja por fase en el extremo receptor es:

$$S_R = P_R + j Q_R = \tilde{V}_R \tilde{I}_R^*$$

La potencia compleja por fase en el extremo generador es:

$$S_G = P_G + j Q_G = \tilde{V}_G \tilde{I}_G^*$$

Las pérdidas reales o pérdidas por efecto Joule, por fase, es tán dadas por:

a)  $P = P_G - P_R = R I_{\pi}^2$  para el circuito  $\pi$

b)  $P = P_G - P_R = \frac{R}{2} ( I_R^2 + I_G^2 )$  para el circuito T

Las pérdidas reactivas por fase están dadas por:

$$q = Q_G - Q_R$$

La eficiencia de la línea es:

$$\eta = \frac{P_R}{P_G}$$

La regulación de voltaje de la línea es:

$$\% \text{ Reg.} = \frac{V_{R_0} - V_R}{V_R} \times 100$$

donde:

$\tilde{V}_{R_0}$  = Voltaje en vacío en el extremo receptor

$$\tilde{V}_{R_0} = -j 2 X_L \tilde{I}_0$$

Para el circuito  $\pi$

$$\tilde{I}_0 = \frac{\tilde{V}_G}{R + jX_L - j2X_C}$$

$$\tilde{V}_{R_o} = -j X_c \tilde{I}_o$$

$$\tilde{I}_o = \frac{\tilde{V}_G}{\frac{R}{2} + j \frac{X_L}{2} - j X_c}$$

Para el circuito T

### 2.9.3 CONSTANTES GENERALIZADAS ABCD

Las constantes generalizadas de circuitos de la línea de transmisión, en general, son números complejos.

La expresión en forma general es:

$$V_s = A V_R + B I_R$$

$$I_s = C V_R + D I_R$$

A y D son sin dimensiones e iguales entre sí, si la línea es la misma cuando se ve desde cualquier terminal. Las dimensiones de B y C están en ohmios y mhos, respectivamente. Las constantes se aplican a circuitos lineales, pasivos y bilaterales de cuatro terminales; tienen dos pares de terminales. En una línea de transmisión nos referimos a los terminales de transmisión donde la potencia entra a la red y los terminales de recepción donde la potencia abandona, la red.

Las constantes ABCD se analizan en textos de teoría de circuitos, los cuales incluyen la demostración de que:

$$AD - BC = 1$$

para valores de A, B, C y D de líneas de longitud media. Estas relaciones son útiles para encontrar  $V_R$ ,  $I_R$  si  $V_S$  e  $I_S$  son conocidas.

$$V_R = \frac{DV_S - BI_S}{AD - BC}$$

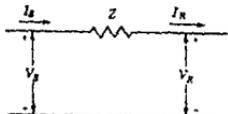
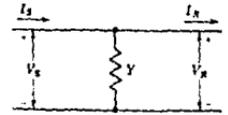
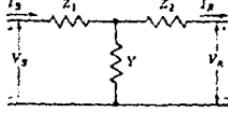
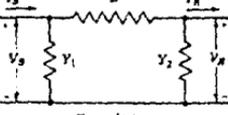
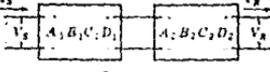
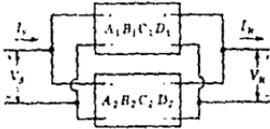
$$I_R = \frac{AI_S - CV_S}{AD - BC}$$

De donde aceptando la relación  $AD - BC = 1$ ,

$$V_R = DV_S - BI_S$$

$$I_R = -CV_S + AI_S$$

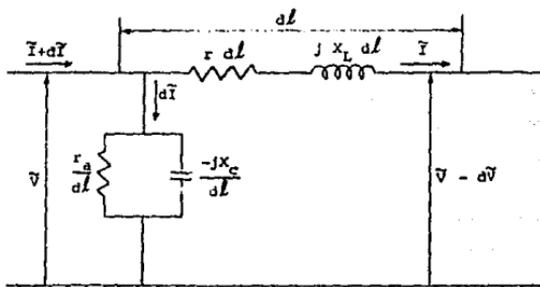
Constantes ABCD para distintas redes

 <p>Impedancia en serie</p>	$\begin{aligned} A &= 1 \\ B &= Z \\ C &= 0 \\ D &= 1 \end{aligned}$
 <p>Admitancia en paralelo</p>	$\begin{aligned} A &= 1 \\ B &= 0 \\ C &= Y \\ D &= 1 \end{aligned}$
 <p>T asimétrico</p>	$\begin{aligned} A &= 1 + YZ_1 \\ B &= Z_1 + Z_2 + YZ_1Z_2 \\ C &= Y \\ D &= 1 + YZ_2 \end{aligned}$
 <p>pi asimétrico</p>	$\begin{aligned} A &= 1 + Y_2Z \\ B &= Z \\ C &= Y_1 + Y_2 + ZY_1Y_2 \\ D &= 1 + Y_1Z \end{aligned}$
 <p>Redes en serie</p>	$\begin{aligned} A &= A_1A_2 + B_1C_2 \\ B &= A_1B_2 + B_1D_2 \\ C &= A_2C_1 + C_2D_1 \\ D &= B_2C_1 + D_2D_1 \end{aligned}$
 <p>Redes en paralelo</p>	$\begin{aligned} A &= (A_1B_2 + A_2B_1)/(B_1 + B_2) \\ B &= B_1B_2/(B_1 + B_2) \\ C &= C_1 + C_2 + (A_1 - A_2)(D_1 - D_2)/(B_1 + B_2) \\ D &= (B_1D_2 + B_2D_1)/(B_1 + B_2) \end{aligned}$

## 2.10 LINEAS LARGAS

En líneas largas (más de 250 km. y más de 220 KV) es necesario considerar las constantes distribuidas a lo largo de la línea.

La representación de una sección infinitesimal de una línea larga es:



Donde :

$r$  = resistencia efectiva por unidad de longitud

$X_L$  = reactancia inductiva por unidad de longitud

$z = r + j X_L$  = impedancia en serie por unidad de longitud

$r_a$  = resistencia de aislamiento por unidad de longitud

$X_c$  = reactancia capacitiva por unidad de longitud

$$Z_1 = \frac{-jX_c r_a}{r_a - jX_c} = \frac{1}{Y} = \text{impedancia en paralelo por unidad de longitud}$$

$Y$  = admitancia en paralelo por unidad de longitud

$dl$  = longitud del tramo diferencial de línea

$Z dl$  = impedancia en serie del tramo de línea de longitud  $dl$

$\frac{Z_1}{dl}$  = impedancia en paralelo del tramo de línea de longitud  $dl$

El voltaje y la corriente en el extremo generador de la línea pueden expresarse en función del voltaje y la corriente en el extremo receptor de la línea y de las impedancias en serie y en paralelo totales de la línea en la siguiente forma: (1)

$$\tilde{V}_G = \tilde{V}_R \cosh \sqrt{\frac{Z}{Z_1}} + \tilde{I}_R \sqrt{Z Z_1} \sinh \sqrt{\frac{Z}{Z_1}}$$

al término:  $\sqrt{Z Z_1} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = Z_c$

se le llama impedancia característica de la línea.

$$\tilde{I}_G = \tilde{I}_R \cosh \sqrt{\frac{Z}{Z_1}} + \tilde{V}_R \frac{1}{\sqrt{Z Z_1}} \sinh \sqrt{\frac{Z}{Z_1}}$$

Las cantidades receptores pueden definirse en función-

(1) Ref. 1 págs. 212 - 222

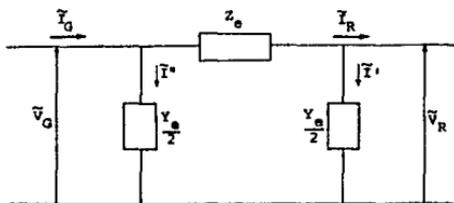
de las cantidades generadas, tomando en cuenta, que en este caso la corriente de referencia entra a la línea y la que se va a definir sale de la línea.

$$\tilde{V}_R = \tilde{V}_G \cosh \sqrt{\frac{Z}{Z_1}} - \tilde{I}_G \sqrt{Z Z_1} \sinh \sqrt{\frac{Z}{Z_1}}$$

$$\tilde{I}_R = -\tilde{V}_G \frac{1}{\sqrt{Z Z_1}} \sinh \sqrt{\frac{Z}{Z_1}} + \tilde{I}_G \cosh \sqrt{\frac{Z}{Z_1}}$$

### 2.10.1 CIRCUITO EQUIVALENTE DE LINEAS LARGAS

Partiendo de las ecuaciones de la línea larga puede derivarse un circuito equivalente que reproduzca exactamente las condiciones terminales de una línea larga. Este circuito equivalente es una modificación del circuito equivalente considerando las constantes de la línea concentrada.



En el circuito de la figura se verifica:

$$\tilde{V}_G = \tilde{V}_R \left( 1 + \frac{-e Y_e}{2} \right) + \tilde{I}_R Z_e$$

Donde:

$$Z_e = Z \frac{\sinh \sqrt{Z Y}}{\sqrt{Z Y}}$$

$$\frac{Y_e}{2} = \frac{Y}{2} \times \frac{\tanh \frac{\sqrt{Z Y}}{2}}{\frac{\sqrt{Z Y}}{2}}$$

### 2.10.2 POTENCIA CARACTERISTICA

La potencia consumida en el extremo receptor, si se tiene conectada una carga igual a la impedancia característica es:

$$P_c = \frac{V^2}{Z_c}$$

Donde:

$P_c$  = potencia natural o característica trifásica

$V$  = voltaje entre hilos en el extremo receptor

$Z_c$  = impedancia característica de la línea

Para las líneas aéreas con un conductor por fase:

$$P_c = \frac{(KV)^2 \times 1000^2}{400 \times 1000} = 2.5 (KV)^2 \quad \text{Kilowats}$$

Para las líneas aéreas con dos conductores por fase:

$$P_c = \frac{(KV)^2 \times 1000^2}{300 \times 1000} = 3.3 (KV)^2 \quad \text{kilowats}$$

La potencia característica depende, prácticamente, unicamente del voltaje (suponiendo la impedancia característica puramente resistiva).

## 2.11 CALCULO DE AISLAMIENTO EN LINEAS DE TRANSMISION

La coordinación de aislamiento es la correlación de los esfuerzos dieléctricos en los aislamientos de los distintos componentes de un sistema eléctrico de potencia en alta tensión, con el objeto de hacer mínimo el riesgo de pérdida del suministro de energía eléctrica causado por sobretensiones transitorias que pudieran causar daños en el equipo y a los distintos elementos de una instalación.

### 2.11.1 SOBRETENSIONES EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS

La elección del nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI) para el diseño del aislamiento del equipo, esta condicionado por la magnitud y la forma de las sobretensiones que pueden producirse en el sistema.

Estas sobretensiones pueden clasificarse en dos grupos:

- a) Sobretensiones de origen interno
- b) Sobretensiones de origen externo

### 2.11.2 SOBRETENSIONES DE ORIGEN INTERNO

Estas sobretensiones se pueden clasificar en dos clases:

- Sobretensiones internas de alta frecuencia.- Se presentan cuando ocurre un transitorio en la red por operaciones de maniobra de interruptores o por una falla.

-Sobretensiones internas de baja frecuencia.- Se presentan a la frecuencia nominal del sistema, producidas por la desconexión de carga.

### 2.11.3 SOBRETENSIONES DE ORIGEN EXTERNO

Estas sobretensiones son las causadas por las descargas eléctricas atmosféricas.

### 2.11.4 CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS DISTANCIAS DIELECTRICAS DEL AIRE

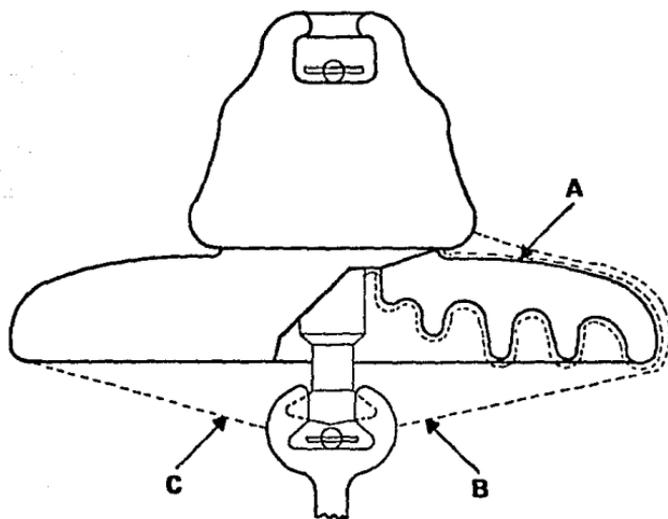
Las distancias en el aire de fase a tierra (f-t) y de fase (f-f) deben garantizar una probabilidad de flameo tal, que resulte baja desde el punto de vista de los criterios de diseño adoptados. Esto conduce al establecimiento de distancias mínimas de no flameo entre fase y tierra o entre fase y fase, y que se determina principalmente para los impulsos por rayo y por maniobra, según los niveles de aislamiento.

El concepto de distancia dieléctrica en aire es gene--

ral y desde el punto de vista de diseño parte de la relación entre la tensión crítica del flameo por rayo (TCF), o por maniobra (TCM) y el nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI), o por maniobra (NBAM).

La (TCF) es el valor de tensión al cual se tiene una probabilidad de flameo del 50% y los valores usados para diseño, corresponden a los NBAI ó NBAM ( al impulso por rayo o por maniobra) que son cantidades inferiores a la TCF ó TCM y quedarían probabilidades de flameo del 10%, ó sea que no produzcan flameo en un 90% de las veces.

### 2.11.5 DISTANCIA DE FUGA



#### A. DISTANCIA DE FUGA

La distancia de fuga en un aislador de suspensión, es la longitud total de las superficies de aislamiento, entre terminales, esto representa la suma de las distancias más cortas medidas a través de la superficie de aislador entre las partes conductoras, cuando es probado al flameo en seco.

#### 2.11.6 B. DISTANCIA DE FLAMEO EN SECO

La distancia de flameo en seco o "distancia golpeadora" en el aislador de suspensión representa la suma de las distancias mas cortas a través del aire o sobre la superficie entre las partes metálicas vivas, alrededor de la porcelana del aislador, cuando este es arreglado para probarse al flameo en seco.

#### 2.11.7 C. DISTANCIA DE FLAMEO EN HUMEDO

La distancia de flameo en humedo en el aislador de suspensión representa la suma de las distancias a través del aire entre los puntos secos de la superficie, cuando ha sido aplicada a 45°grados con la vertical una precipitación pluvial y el aislador ha sido arreglado para flamearse en humedo

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

a) Para impulso por rayo

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

donde  $\sigma$  es la desviación estándar referida al va-- lor de TCF.

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

Con lo que:

$$NBAI = 0.961 TCF$$

b) Para impulso por maniobra

$$NBAM = TCM (1.0 - 1.3 \sigma)$$

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

con lo que:

$$NBAM = 0.922 TCM$$

En tensiones nominales hasta 230 KV las distancias die léctricas de fase a tierra, hasta 1000 msnm y en condiciones estándar, se calculan básicamente por efecto de impulso por - rayo.

Estas distancias se calculan de acuerdo con la siguiente expresión:

$$TCF = K_3 d \text{ (KV)}$$

donde:  $d$  = distancia entre electrodos expresada en m.

$K_3$  = Factor de electrodos (factor de "gaps") (ver - tabla 4)

En tensiones nominales superiores a 230 KV las distancias eléctricas de fase a tierra hasta 1000 msnm y en condiciones estándar se calculan básicamente por efecto de impulso -- por maniobra de acuerdo con:

a) Cuando no se considera el tiempo de retardo en la onda de impulso por maniobra, se emplea la siguiente fórmula:

$$TMC = 500 K_2 d^{0.6} \text{ (KV)}$$

donde: TCM = tensión crítica de flameo al impulso por maniobra en KV

$K_2$  = factor de electrodos

$d$  = distancia de fase a tierra en m.

b) La siguiente fórmula se emplea cuando se considera el tiempo de retardo de la descarga de onda de impulso por -- maniobra.

$$TCM = \frac{3400 K_2}{1 + (S/d)}$$

La determinación de distancias mínimas de fase a fase-- se hace con un procedimiento semejante al indicado anterior-- mente, para el cálculo de las distancias de fase a tierra por impulsos por rayo y por maniobra. Estas distancias se calculan para una altitud de hasta 1000 msnm, de acuerdo con las -- siguientes expresiones:

a) Para impulso por rayo para tensiones nominales hasta 230 KV

$$TCF = 520.29 d$$

donde:

TCF = tensión crítica de flanco de fase a fase, en KV.

d = distancia entre fases, en m.

Siendo:

$$TCF = \frac{NBA1_{\text{fase-fase}}}{0.961}$$

b) Para impulso por maniobra para tensiones superiores a 230 KV.

$$d f-f = 1.8 TCM^{1.6} \quad (\text{Configuraciones simétricas})$$

$$d f-f = 2.0 TCM^{1.7} \quad (\text{Configuraciones asimétricas})$$

donde: TCM está expresada en MV.

Nota: Las configuraciones simétricas son por ejemplo: conductor a conductor en paralelo, conductor a conductor cruzados y punta a punta.

Las configuraciones asimétricas son por ejemplo: punta-conductor, o bien cuando la simetría se neutraliza por efecto de irregularidades de electrodos como es el caso de las barras soportadas de aisladores con herrajes.

#### 2.11.8 EFECTOS METEOROLOGICOS

Los aislamientos externos (autorrecuperables) se ven afectados por los efectos meteorológicos como son: presión barométrica, temperatura y humedad, de tal forma que la tensión crítica de flameo en condiciones estándar se modifica de -- acuerdo con la siguiente expresión:

$$TCF \text{ no estándar} = \frac{d^n}{K_h} \quad TFC \text{ estándar (para prueba)}$$

Siendo:

$K_h$  = factor de corrección por humedad. (Ver gráfica 1)

$f$  = factor de corrección por presión barométrica. (Ver tabla 6).

Se obtiene de la expresión:

$$f = \frac{0.392 b}{273 + t}$$

Siendo:

$b$  = La presión barométrica en mm de mercurio,

$t$  = temperatura en °C, (media).

$n$  = exponente que depende de la configuración de electrodos teniendo un valor máximo de 1.0, (se recomienda usar este valor).

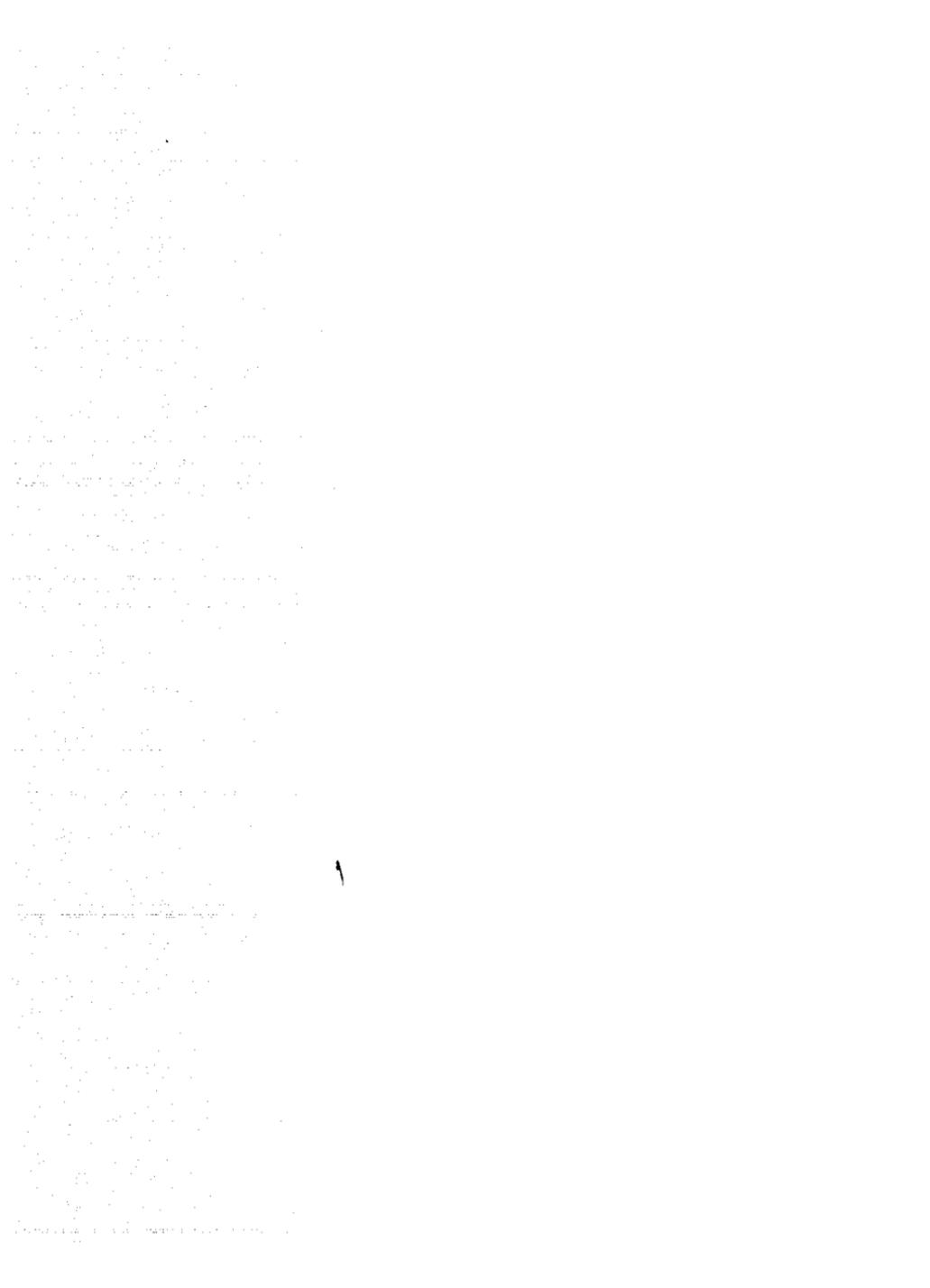
Las condiciones estándar son:

Humedad absoluta : 11 g/m<sup>3</sup>

$b$  = 760 mm. de mercurio a 0 msnm.

$t$  = 25°C, (media).

Tomando como referencia el nivel del mar y la temperatura ambiente de 25°C, los factores de correcciones para diferentes altitudes se indican en la tabla 6.



Donde:  $K_h$  se obtiene de la gráfica 1

$f$  se obtiene de la tabla 6

$$n = 1.0$$

Con ésto se calcula la distancia de fase a tierra

$$d = \frac{\text{TCF diseño}}{k_3}$$

donde:  $k_3$  Se obtiene de la tabla 4

Después de la tabla 7 se encuentra una distancia de fuga base en CM/KV al neutro, de acuerdo a la zona de contaminación en donde se encuentre.

De la tabla 1, 2 ó 3, se encuentra la tensión máxima de diseño de acuerdo a la tensión nominal empleada.

La distancia de fuga total requerida es:

$$D = \frac{\text{Tensión Máxima de diseño}}{\sqrt{3}} \times \text{distancia de fuga base}$$

Por distancia de fase a tierra el número de aisladores estándar es:

$$n = \frac{d_{\text{fase-tierra}}}{\text{Altura del aislador}}$$

donde: Altura del aislador se encuentra en las características (Dimensiones) del aislador a usar.

Por distancia de fuga el número de aisladores estándar

es:

$$n = \frac{\text{Distancia de fuga total}}{\text{Distancia de fuga del aislador}}$$

2.11.10

Ejemplo para la obtención del número de aisladores en una línea de transmisión:

Una línea de transmisión de 115 KV opera en una zona de contaminación alta. Que cantidad de aisladores deberán tener las cadenas si se usa un NBAI de 550 KV y aisladores de 254 mm. de diámetro y 146 mm de altura con distancia de fuga igual a 11.5 pulgadas

a) A 900 MSNM

b) A 2000 MSNM

Solución:

$V = 115 \text{ KV}$      $\text{NBAI} = 550 \text{ KV}$     Aisladores 254 X 146 mm.

Distancia de fuga = 11.5 pulgadas = 287.5 mm.

$$\text{TFC estandar} = \frac{\text{NBAI}}{0.961} = \frac{550}{0.961} = 572.32 \text{ KV}$$

$$\text{TCF diseño} = \frac{Kh}{\delta^n} \text{ TFC estandar}$$

Tomando como humedad absoluta la estandar = 11 g/m<sup>3</sup>

de la gráfica 1

$$Kh = 1$$

con  $n = 1.0$

$\delta$  se obtiene de la tabla 6

$$\text{a) A } 900 \text{ mm} \quad \delta = 0.897 \quad \text{TCF diseño} = \frac{572.32}{0.897} = 638.038 \text{ KV}$$

$$\text{b) A } 2000 \text{ mm} \quad \delta = 0.784 \quad \text{TCF diseño} = \frac{572.32}{0.784} = 730. \text{ KV}$$

Calculando la distancia de fase a tierra

$$d = \frac{\text{TCF diseño}}{K_3}$$

De la tabla 4, para la configuración conductor-estructura,  $K_3 =$

550

$$\text{a) } d = \frac{638.038}{550} \quad d_{f-t} = 1.16 \text{ metros } d_{f-t} = 1160. \text{ mm}$$

$$\text{b) } d = \frac{730}{550} \quad d_{f-t} = 1.3272 \text{ metros } d_{f-t} = 1327.2 \text{ mm}$$

De la tabla 7, para contaminación alta, la distancia de fuga-base es = 5.0 cm/KV al neutro.

Para una tensión nominal de 115 KV entre fases, la tensión máxima de diseño entre fases es (de la tabla 2) = 123 KV

$$D = \frac{\text{Tensión máxima de diseño}}{3} \times \text{distancia de fuga base}$$

$$= \frac{123}{\sqrt{3}} \times 5.0 = 355.07 \text{ cm.}$$

$$D = 3550.7 \text{ mm}$$

Por distancia de fase a tierra el número de aisladores es:

$$a) n = \frac{d_f - t}{\text{Altura del aislador}} = \frac{1160}{146} = 7.9452 \text{ aisladores}$$

$$b) n = \frac{1327.2}{146} = 9.09 \text{ aisladores}$$

Por distancia de fuga el número de aisladores es:

$$a) n = \frac{D \text{ fuga total}}{\text{Dist. fuga del aislador}} = \frac{3550.7}{287.5} = 12.35 \text{ aisladores}$$

$$b) n = \frac{3550.7}{287.5} \quad n = 12.35 \text{ aisladores}$$

TABLA 1 - Niveles de aislamiento normalizados para equipo de la categoría "A"

Tensión nominal del sistema kV (eficaz)	Tensión máxima de diseño kV (eficaz)	Nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI) de fase a tierra <sup>6)</sup> kV (cresta)		Tensión resistente nominal a 60 Hz de fase a tierra kV (eficaz)
		hasta 500 kVA	arriba de 500 kVA	
4,4 <sup>1)</sup>	4.4	60	75	19
6,9 <sup>1)</sup>	7.2	75	95	26
13,8 <sup>2)</sup>	15.5	95	110	34
24 <sup>2)</sup>	26.4	150 <sup>4)</sup>		50
34,5 <sup>1)</sup>	36	200 <sup>5)</sup>		70
52 <sup>3)</sup>	52	250		95

## NOTAS

- 1) Tensiones congeladas según especificación CFE L0000-02
- 2) Tensiones normalizadas preferentes según especificación CFE L0000-02
- 3) Tensión no normalizada en la especificación CFE L0000-02.
- 4) Para sistemas de 3 fases, 4 hilos (sistema multiterrestado) úsese 125 kV.
- 5) Para sistemas de 3 fases, 4 hilos (sistema multiterrestado) úsese 150 kV.
- 6) Para esta categoría los niveles básicos de aislamiento al impulso de fase a fase son los mismos que los niveles básicos de aislamiento al impulso de fase a tierra.

## COORDINACION DE AISLAMIENTO

ESPECIFICACION

CFE L0000-06

TABLA 2 - Niveles de aislamiento normalizados para equipos de la categoría "B"

Tensión nominal del sistema kV (eficaz)	Tensión máxima de diseño kV (eficaz)	Nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI) de fase a tierra kV (cresta)	Nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI) de fase a fase kV (cresta)	Tensión resistente nominal a 60 Hz de fase a tierra kV (eficaz)
69 <sup>1)</sup>	72.5	325 350	325 350	140
115 <sup>1)</sup>	123	450 550	450 550	185 230
138 <sup>2)</sup>	145	450 550 650	550 550 650	185 230 275
161 <sup>2)</sup>	170	550 650 750	550 650 750	230 275 325
230 <sup>1)</sup>	245	650 750 850 950 1050	750 850 950 1050 1125	275 325 360 395 460

## NOTAS

- 1) Tensiones normalizadas preferentes según especificación CFE L0000 02.
- 2) Tensiones restringidas según especificación CFE L0000 02.

## COORDINACION DE AISLAMIENTO

ESPECIFICACION

CFE L0000-06

TABLA. 3 - Niveles de aislamiento normalizados para equipos de la categoría "C"

Tensión nominal del sistema kV (eficaz)	Tensión máxima de diseño kV (eficaz)	Nivel básico de aislamiento al impulso (NBAII) de fase a tierra kV (cresta)	Nivel básico de aislamiento por maniobra (NBAM) de fase a tierra kV (cresta)	Nivel básico de aislamiento por maniobra (NBAM) de fase a fase kV (cresta)
40 <sup>1)</sup>	420	1050 1175 1350 1425	950 1050	1425 1550
765 <sup>2)</sup>	800	1800 1950 2100 2400	1425 1550	2400 3500

## NOTAS

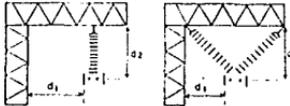
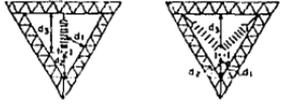
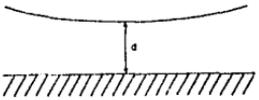
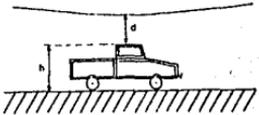
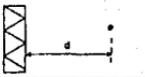
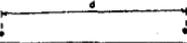
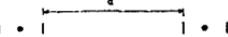
- 1) Tensiones normalizadas preferentes según especificación CFE L0000-02.
- 2) Tensiones no normalizadas según especificación CFE L0000-02.

## COORDINACION DE AISLAMIENTO

ESPECIFICACION

CFE L0000-06

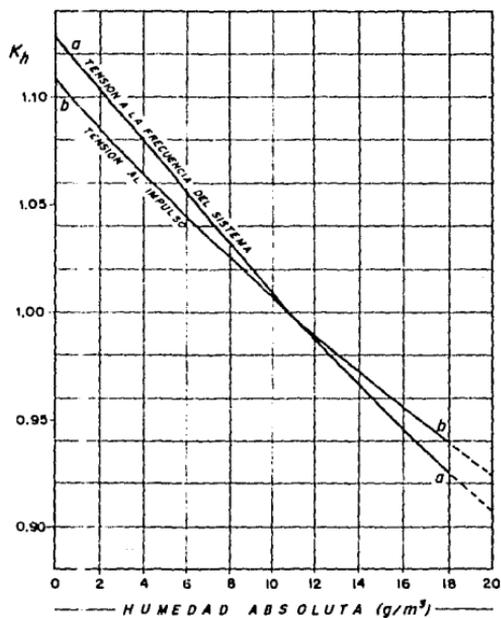
TABLA 4 - Constantes para diferentes configuraciones de electrodos

Tipo de configuración (sobretensión fase-tierra)	Ilustraciones	$K_1^{1)}$	$K_2^{2)}$	$K_3^{3)}$
Conductor estructura (línea de transmisión)		1.40	1.25	550
Conductor ventana		1.30	1.20	550
Conductor-solo		1.30	1.10	550
Conductor-objeto a tierra (vehículos, equipo mecánico, de maniobras, e...)		1.45	1.35	550
Varilla-varilla		1.20	1.40	480
Punta-plano		1.20	1.00	480
Conductor-estructura		1.45	1.35	550
Conductor-conductor (sobretensión fase-fase)		....	1.50	550
Anillo equipotencial-anillo equipotencial		....	1.60	550

1)  $K_1$  Factor de electrodos ("apex") para sobretensiones a la frecuencia del sistema (60 Hz).2)  $K_2$  Factor de electrodos ("apex") para sobretensiones de magnitud de interruptores.3)  $K_3$  Factor de electrodos ("apex") para sobretensiones por rayo.

TABLA 6 - Factor de corrección por presión a distintas altitudes

Altitud en m	Presión		Factor de corrección $\delta$	Altitud en m	Presión		Factor de corrección $\delta$
	kPa	mm Hg			kPa	mm Hg	
0	101,3	760	1,000	2500	74,7	560	0,737
100	100,1	751	0,988	2600	73,9	554	0,728
200	98,9	742	0,976	2700	72,8	546	0,718
300	97,7	733	0,965	2800	72,0	540	0,710
400	96,8	726	0,954	2900	70,8	531	0,698
500	96,5	716	0,942	3000	70,1	526	0,692
600	96,3	707	0,931	3100	69,2	519	0,683
700	93,2	699	0,919	3200	68,3	512	0,674
800	92,1	691	0,908	3300	67,5	506	0,665
900	90,9	682	0,897	3400	66,5	499	0,656
1000	89,5	679	0,893	3500	65,6	492	0,647
1100	88,8	666	0,876	3600	64,8	486	0,639
1200	87,7	658	0,866	3700	63,9	479	0,629
1300	86,7	650	0,855	3800	62,9	472	0,621
1400	85,6	642	0,845	3900	62,1	466	0,613
1500	84,5	634	0,834	4000	61,3	460	0,605
1600	83,6	627	0,824	4100	60,5	454	0,597
1700	82,5	619	0,814	4200	60,7	448	0,590
1800	81,5	611	0,804	4300	60,1	443	0,583
1900	80,5	604	0,794	4400	58,4	438	0,576
2000	79,5	596	0,784	4500	57,7	433	0,569
2100	78,5	589	0,774	4600	57,1	428	0,562
2200	77,5	581	0,765	4700	56,3	422	0,555
2300	76,5	574	0,756	4800	55,6	417	0,549
2400	75,6	567	0,746	4900	54,9	412	0,542



Humedad absoluta ( $\text{g/m}^3$ )

GRAFICA 1 - Factor de corrección  $K_h$  por humedad

NOTA: El valor de humedad de  $11 \text{ g/m}^3$  corresponde al 100% de humedad relativa.

TABLA 7 - Niveles de contaminación

Nivel de contaminación	Características ambientales	Distancia de fuga <sup>1)</sup> recomendada en/kV fase a neutro	Observaciones <sup>2)</sup>
L i g e r a	Áreas sin industria, zonas rurales sin que en el horizonte haya áreas que estén situadas lejos del mar o a grandes alturas sobre el nivel del mar y que estén expuestas a la polsidad normal de una zona rural. El viento al ser fuerte puede causar los efectos de levitación de las partículas que hacen que se deposite sobre las superficies de los aisladores y líneas eléctricas.	2.0 a 2.5	No se han observado fallas en condiciones de alta humedad (niebla, lluvia, etc.) en líneas de 145 kV aun cuando éstas sólo equipadas con menos de 12 unidades del tipo normal <sup>3)</sup> o con líneas de 245 kV equipadas con menos de 15 de dichos aisladores.
M e d i a	Áreas con actividades que no producen las condiciones anteriores, o áreas con industrias pero que están expuestas a vientos fuertes y a líneas, áreas expuestas a vientos marinos pero no directamente a las costas. Las condiciones a 1 km de la distancia de la zona rural son normales, zonas rurales con uso de fertilizantes y plaguicidas.	3.0 a 3.5	Ocurren fallas en condiciones de niebla en líneas de 145 kV con menos de 12 unidades del tipo normal <sup>3)</sup> y en líneas de 245 kV equipadas con menos de 15 de dichos aisladores.
A l t a	Áreas con alta densidad industrial, áreas cercanas al mar (menos de 1 km de la costa) o expuestas a brisas marinas, zonas expuestas a la acción de los polvos de cemento, carbonos finos y otras características de algunas características anteriores con o sin zonas urbanas de alta densidad de población con fuentes de niveles de ruido, tráfico y lluvia ácida.	4.0 a 5.0	Ocurren fallas en condiciones de niebla o cuando el viento sopla del mar, en líneas de alta tensión equipadas con aisladores del tipo normal <sup>3)</sup> a menos que el número de unidades por cada línea sea excepcionalmente grande, más de 11-12 unidades en líneas de 145 kV y más de 15 unidades en líneas de 245 kV.
E x t r a  A l t a	Áreas de estas clases o distancias sujetas a fuertes productos de procesos industriales de tipo contaminante, áreas de extensión moderada cercanas a las costas y expuestas a brisas marinas muy fuertes, o áreas de baja densidad industrial pero expuestas a brisas marinas.	Mayores de 6.0	Ocurren fallas en condiciones de niebla o durante tormentas cuando en líneas de alta tensión, aun cuando éstas sólo están equipadas con aisladores tipo normal, contaminación <sup>3)</sup> menos que el número de unidades por cada línea sea excepcionalmente alto, más de 12 unidades anticontaminación en líneas de 145 kV y a más de 15 unidades anticontaminación en líneas de 245 kV.

## NOTAS

- 1) Los valores de distancia de fuga recomendados se establecen para mediciones hechas en aisladores de suspensión tipo normal por lo que se pueden tener ligeras variaciones en los aisladores de equinos. Para mayor detalle véase las características de los aisladores véase especificación: CFE 52200-02 Aisladores de Suspensión, 52000-03 Aisladores de Alfiler.
- 2) Las observaciones indicadas fueron tomadas de la norma internacional IEC 71-2, por lo que las tensiones mencionadas tienen un valor distinto a las usadas en CFE, pero se dejaron a manera de ejemplo.
- 3) Se hace referencia a aislador normal con las siguientes características: altura 146 mm, diámetro 254 mm.
- 4) La referencia a los aisladores anticontaminación es algo imprecisa debido a la gran variedad de sus áreas anticontaminación que actualmente están en servicio en líneas de alta tensión.

(III)

CALCULO DE TENSION MECANICA EN CONDUCTORES E HILOS DE GUARDA

### 3.1 CALCULO DE TENSIONES MECANICAS EN LINEAS DE DISTRIBUCION

#### 3.1.1 CONDICIONES INICIALES Y FINALES

##### CONDICIONES INICIALES.-

El Módulo de elasticidad de un cable nuevo (módulo de elasticidad inicial) es diferente del módulo que tendrá este cable cuando haya sido tendido al esfuerzo correspondiente -- a la tensión máxima.

Para la construcción, se deberá calcular las tensiones de los conductores con el módulo de elasticidad inicial a partir de la tensión máxima en el conductor con módulo de elasticidad final.

##### CONDICIONES FINALES.-

Las tensiones finales de los conductores se calcularán a partir del módulo de elasticidad final, en función de los - claros, de la temperatura y presión de viento que se consideren.

Las condiciones en las variaciones de temperatura y -- presión de viento que deben tomarse en cuenta en la determinación de  $c/u$  de las limitaciones necesarias para el diseño de las estructuras tipo.

- 1.- Temperatura máxima sin presión de viento, permite determinar la limitación por libramiento y la plantilla a utilizar en la localización de postes sobre el perfil del recorrido de la línea.
  
- 2.- Temperatura media sin viento, permite verificar que las tensiones alcanzadas en este caso estén de acuerdo con las tensiones admitidas para limitar las vibraciones.
  
- 3.- Temperatura mínima sin viento: Permite verificar el libramiento en caso de cruce abajo de una línea existente.
  
- 4.- Temperatura mínima con viento máximo, sin hielo o bien temperatura mínima con hielo y viento reducido. Permite obtener la tensión final máxima resultante de los conductores, cuyo valor es necesario para determinar el coeficiente de seguridad mínima en los conductores y así como para calcular las deflexiones máximas permisibles en las estructuras tipo. Las tensiones finales, se calcularán a partir de la ecuación de cambio de Estado.

### 3.2 CALCULO DE TENSIONES MECANICAS EN LINEAS DE TRANSMISION

#### 3.2.1 METODO DE LA EC. DE CAMBIO DE ESTADO

Para determinar las tensiones iniciales y finales en una línea de transmisión se hace uso de la ecuación de cambio de estado.

Esta ecuación establece que a partir de ciertas condiciones dadas, es posible obtener el comportamiento de los parámetros de la línea de transmisión, para condiciones diferentes de las anteriores, corresponde a una ecuación de tercer grado de la forma:

$$X^3 - P X^2 - Q = 0 \text{ --- (1)}$$

Su solución puede obtenerse por dos métodos: el primero es el método de Cardan y el segundo es el método iterativo de Newton.

Deducción de la Ec. de Cambio de estado:

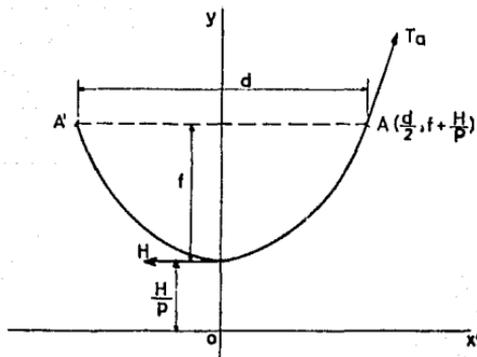


fig 3-1

De la fig. 3-1 se deduce que:

$d$  = claro o vano

$f$  = flecha

$T_a$  = Tensión mecánica en los apoyos A y A'

$H$  = Tensión mecánica en el punto más bajo de la catenaria

$p$  = peso del cable por unidad de longitud

$l$  = longitud del arco de catenaria A A'

de la ecuación, cartesiana de la catenaria tenemos que:

$$y = \frac{H}{p} \cosh \frac{p x}{H} \text{ - - - - - (2)}$$

Para la obtención de la longitud del arco de catenaria se obtiene la siguiente ec:

$$\hat{x} = \frac{H}{p} \sinh \frac{Px}{H} \quad \text{--- (3)}$$

La tensión mecánica T en un punto P de la catenaria, de coordenadas x, y, está dada por la ec.:

$$T = H \cosh \frac{Px}{H} \quad \text{--- (4)}$$

Las expresiones 2, 3 y 4 dan respectivamente, la flecha, la longitud del arco de catenaria entre los puntos de apoyo y la tensión mecánica en los puntos de apoyo en función del peso propio del cable, del claro y de la tensión mecánica en el punto inferior de la catenaria (que es igual a la componente horizontal de la tensión en cualquier punto de la catenaria).

En general, el valor conocido es la tensión de los puntos de soporte  $T_a$  y no la tensión en el punto inferior H. por lo que nos conviene hallar una expresión que nos de H en función  $T_a$ .

Aplicando las ecuaciones 2, 3 y 4 para el caso en que:

$$x = \frac{d}{2}$$

$$y = f + \frac{H}{p}$$

se tiene que:

$$f = \frac{H}{p} \left[ \left( \cosh \frac{Pd}{2H} \right) - 1 \right] \text{----- (5)}$$

$$L = \frac{2H}{p} \operatorname{senh} \frac{Pd}{2H} \text{----- (6)}$$

$$T_a = H \cosh \frac{Pd}{2H} \text{----- (7)}$$

Despejando de la EC. (7), la tensión mecánica nos queda:

$$\frac{T_a}{H} = \cosh \frac{Pd}{2H}$$

Desarrollando el coseno hiperbólico en una serie infinita nos queda:

$$\operatorname{cosh} a = 1 + \frac{a^2}{2!} + \frac{a^4}{4!} + \dots$$

$$\frac{T_a}{H} = 1 + \frac{P^2 d^2}{8 H^2} + \frac{P^4 d^4}{384 H^4} + \dots$$

En la práctica H es mucho mayor que Pd, por lo tanto pueden despreciarse, sin cometer un error apreciable, todos los términos de la serie a partir del tercero, por lo que nos queda.

$$\frac{T_a}{H} = 1 + \frac{P^2 d^2}{8 H^2}$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado para H:

$$H^2 - T_a H + \frac{P^2 d^2}{8} = 0$$

$$H = \frac{T_a + \sqrt{T_a^2 - \frac{p^2 d^2}{2}}}{2}$$

$$H = \frac{T_a}{2} + \frac{T_a}{2} \left[ 1 - \frac{p^2 d^2}{2 T_a^2} \right]^{1/2}$$

Recordando que  $(1 + a)^n = 1 + n \times a + \frac{n(n-1)}{2!} a^2 + \dots$

$$\left[ 1 - \frac{p^2 d^2}{2 T_a^2} \right]^{1/2} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{p^2 d^2}{2 T_a^2} + \dots$$

Se pueden despreciar los términos siguientes al segundo, ya que, en la práctica,  $T_a$  es mucho mayor que  $Pd$ . Haciendo esta simplificación se obtiene la siguiente expresión de  $H$  en función de  $T_a$ .

$$H = \frac{T_a}{2} + \frac{T_a}{2} \left[ 1 - \frac{p^2 d^2}{4 T_a^2} \right]$$

$$H = T_a - \frac{p^2 d^2}{4 T_a} \quad \text{---(8)}$$

Fórmulas de la parábola:

La ecuación cartesiana de la catenaria es.

$$y = \frac{H}{P} \cosh \frac{Px}{H}$$

Desarrollando el coseno hiperbólico en una serie infinita:

$$y = \frac{H}{P} \left[ 1 + \frac{P^2 X^2}{2H^2} + \frac{P^4 X^4}{24 H^4} + \dots \right]$$

Tomando los dos primeros términos de la serie, lo que en el caso de un cable de una línea de transmisión puede hacerse sin cometer un error apreciable, siempre que la flecha sea menor que el 10% del claro:

$$y = \frac{H}{P} + \frac{PX^2}{2H} \text{ ----- (9)}$$

Que es la ecuación de la parábola.

Las expresiones de la flecha, la longitud del cable y la tensión en el punto de soporte, suponiendo que el cable adopta la forma de una parábola, quedan de la siguiente forma:

La flecha está dada por la expresión:

$$f = y - \frac{H}{P}$$

Sustituyendo en la expresión anterior el valor de "Y" dado por la EC. (9) y haciendo  $X = \frac{d}{2}$

$$f = \frac{P d^2}{8H} \text{ ----- (10)}$$

La longitud del cable puede deducirse de la siguiente

forma:

Partiendo de la Expresión:

$$L = \frac{2 H}{P} \operatorname{senh} \frac{Pd}{2H}$$

Desarrollando el seno hiperbólico es una serie infinita:

$$\operatorname{senh} a = a + \frac{a^3}{9!} + \frac{a^5}{5!} + \dots$$

Y tomando únicamente los 2 primeros términos de la serie:

$$L = \frac{2 H}{P} \left[ \frac{Pd}{2H} + \frac{p^3 d^3}{48H^3} \right]$$

$$L = d + \frac{p^2 d^3}{24 H^2} \dots \dots \dots (11)$$

La longitud del cable puede expresarse también en función de la fecha, partiendo de la ecuación 11 y teniendo en cuenta que:

$$\frac{p^2 d^3}{24 H^2} = \left[ \frac{p^2 d^4}{64 H^2} \cdot \frac{5}{3d} \right]$$

y de acuerdo con la EC. (10)

$$\frac{p^2 d^4}{64 H^2} = f^2$$

Resulta:

$$L = d + \frac{8 f^2}{3d}$$

La tensión mecánica en los apoyos se deduce de la siguiente manera partiendo de la expresión,

$$T_a = H \cosh \frac{pd}{2H}$$

Desarrollando el coseno hiperbólico en una serie infinita y tomando únicamente los 2 primeros términos,

$$T_a = H \left[ 1 + \frac{p^2 d^2}{8H^2} \right]$$

$$T_a = H + \frac{p^2 d^2}{8H}$$

Como las expresiones anteriores están dadas en función de la tensión horizontal H y el dato que generalmente se conoce es la tensión en los apoyos  $T_a$ , puede calcularse H a partir de  $T_a$  aplicando la ecuación:

$$H = T_a - \frac{p^2 d^2}{8 T_a}$$

### 3.3 CLAROS DE APOYOS A DISTINTO NIVEL.

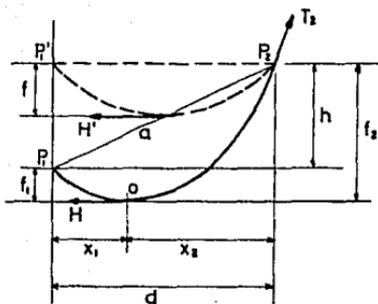


Fig. 3-2

$a =$  claro entre apoyos a distinto nivel  $= \sqrt{d^2 + h^2}$

$d =$  proyección horizontal del claro "a"

$h =$  diferencia de nivel entre los apoyos

$p =$  peso del cable por unidad de longitud

$T_2 =$  Tensión mecánica en el soporte superior

El problema puede resolverse, siempre que el desnivel - sea pequeño comparado con el claro, calculando primero la fle

cha  $F$  (haciendo uso de las fórmulas de la catenaria o de la parábola) para un claro con apoyos al mismo nivel de la longitud igual a la proyección horizontal del claro inclinado y a partir de " $F$ " calcular las flechas  $f_1$  y  $f_2$  haciendo uso de fórmulas de la parábola como se deduce a continuación :

$OP_1$  es la mitad del arco de la catenaria, para un claro igual a  $2 X_1$ , con apoyos al mismo nivel

$OP_2$  es la mitad del arco de la catenaria para un claro igual a  $2 X_2$  con apoyos al mismo nivel.

Aplicando las fórmulas de la parábola pueden establecerse las siguientes ecuaciones:

$$h = f_2 - f_1 = \frac{pX_2^2}{2H} - \frac{pX_1^2}{2H}$$

$$h = \frac{p}{2H} (X_2^2 - X_1^2)$$

$$h = \frac{p}{2H} (X_2 + X_1)(X_2 - X_1)$$

Pero tenemos que  $(X_2 + X_1) = d$  de acuerdo a la figura 3-2

si sustituimos "d" en la ec. anterior tenemos:

$$h = \frac{Pd}{2H} (x_2 - x_1)$$

Resolviendo ahora el sistema de dos ecuaciones simultáneas:

$$x_2 - x_1 = \frac{2Hh}{Pd}$$

$$x_2 + x_1 = d$$

Se obtiene que:

$$x_2 = \frac{d}{2} + \frac{Hh}{pd} \text{ ----- (12)}$$

$$x_1 = \frac{d}{2} - \frac{Hh}{Pa} \text{ ----- (13)}$$

Para el caso con apoyo al mismo nivel  $P'_1, P_2$  se verifica --  
que:

$$f = \frac{Pd^2}{8H'}$$

En la práctica puede considerarse que  $H' = H$  (Ver Fig. 3 - 2)

$$f = \frac{P d^2}{8H} \therefore \frac{H}{P} = \frac{d^2}{8f}$$

Sustituyendo la expresión anterior de  $\frac{H}{P}$  en las ecuaciones (12)  
y (13) tendremos que:

$$x_2 = \frac{d}{2} + \frac{d^2}{8f} \cdot \frac{h}{d}$$

$$X_2 = \frac{d}{2} \left( 1 + \frac{h}{4f} \right) \text{-----} (14)$$

$$X_1 = \frac{d}{2} \left( 1 - \frac{h}{4f} \right) \text{-----} (15)$$

Sustituyendo estos valores de  $X_2$  y  $X_1$  en las expresiones:

$$F_2 = \frac{P \left( \frac{d}{2} X_2 \right)^2}{8 H}$$

$$F_1 = \frac{P \left( \frac{d}{2} X_1 \right)^2}{8 H}$$

Se obtiene:

$$F_2 = F \left[ 1 + \frac{h}{4f} \right]^2 \text{-----} (16)$$

$$F_1 = F \left[ 1 - \frac{h}{4f} \right]^2 \text{-----} (17)$$

"Aumento de la carga del cable debido al viento y al hielo"

De acuerdo al reglamento de obras e instalaciones eléctricas, en su artículo 55, establece que, para calcular la tensión mecánica de los conductores, se considera como carga total la resultante del peso de conductor y de la fuerza producida por el viento actuando ésta horizontalmente y en ángulo recto con la dirección de la línea.

En aquellas regiones donde pueda depositarse hielo sobre los conductores, habrá que considerar el peso del hielo y el aumento de la fuerza ejercida por el viento debido al aumento de superficie expuesta a causa de la acumulación de hielo.

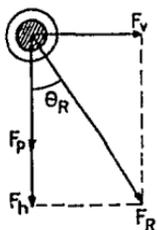


fig. 3-3

Si llamamos:

$F_p$  = Fuerza debida al peso propio del cable

$F_v$  = Fuerza ejercida por el viento sobre el conductor.

$F_h$  = Fuerza debida al peso del hielo acumulado sobre el conductor.

La fuerza resultante está dada, como se indica en la Fig. 3-3, analizando las fuerzas que se presentan obtenemos que:

$$F_R = \sqrt{(F_p + F_h)^2 + F_v^2}$$

$$\theta_R = \text{TAN}^{-1} \frac{F_v}{F_p + F_h}$$

La presión dinámica producida por el viento sobre una superficie, está dada por la siguiente expresión:

$$P_v = C F \frac{G V^2}{2g} \quad \text{Kg/m}^2 \quad \text{--- (18)}$$

Donde:

$G$  = peso volumétrico del aire = 1.225 Kg/m<sup>3</sup>

$V$  = velocidad del viento en m./seg.

$g$  = aceleración debido a la gravedad = 9.81 m/seg<sup>2</sup>

$CF$  = constante que depende de la forma de la superficie.

$CF$  = dos para superficies planas.

$CF$  = 1.2 para superficies cilíndricas lisas.

$CF$  = 1.45 para cables.

Sustituyendo los valores de  $G$  y  $g$  en la Ec. (18) tendremos lo siguiente:

$$P_v = CF \frac{1.225 V^2}{2 \times 9.81}$$

$$P_v = CF \times \frac{V^2}{16} \quad \text{Kg/m}^2$$

Para analizar las fuerzas ejercidas por el viento sobre

los conductores de una línea de transmisión, hay que tener en cuenta que las ráfagas de viento tienen un frente reducido que no abarca todo un tramo entre apoyos. Por lo tanto debe considerarse un segundo coeficiente CL que depende de la longitud del claro, de acuerdo con los estudios hecho en varios países, este coeficiente varía entre 0.4 y 0.6.

En consecuencia, las fórmulas para calcular la presión del viento en las siguientes líneas de transmisión quedan de la siguiente manera. Tomando CL = 0.55:

Por lo tanto la presión sobre los conductores:

$$P_{vc} = 0.55 \times 1.45 \frac{v^2}{16} \text{ Kg/m}^2$$

$$P_{vc} = 0.050 v^2 \text{ Kg/m}^2$$

La presión que se ejerce sobre la estructura de celosía está dada por:

$$P_{vt} = 2 \frac{v^2}{16} \text{ Kg/m}^2$$

$$P_{vt} = 0.125 v^2 \text{ Kg/m}^2 \text{ - - - - - (19)}$$

Las velocidades máximas que en la práctica suelen, considerarse varían entre 50 m/seg. (180 km/h) y 20 m/seg., se-

gún las regiones:

Para encontrar la fuerza total ejercida por el viento, debe multiplicarse la presión del viento por el área total -- proyectada normalmente a la dirección del viento.

### 3.4 VARIACIONES DE LA FLECHA Y LA TENSION DE UN CABLE EN FUNCION DE LA TEMPERATURA Y DE LA CARGA

#### 3.4.1 ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO

En la primera parte de este capítulo se han establecido varias expresiones que dan la flecha "f", la tensión en -- los apoyos "ta" y la longitud del cable "L" en función de la tensión horizontal H, el peso por unidad de longitud "P" y el claro o distancia entre apoyos "d".

Hasta ahora se ha supuesto que la temperatura y la carga unitaria permanecen constantes.

Supóngase ahora que se tiene un cable suspendido entre 2 apoyos al mismo nivel y que la temperatura varía. El cable se dilatará o contraerá según que la temperatura aumente o disminuya. Esta variación de la longitud produce una variación de la tensión mecánica del cable; la variación de la ten

sión produce, a su vez, debido a las propiedades, elásticas - del cable una contracción o una extensión, según que la tensión disminuya o aumente.

Por otra parte puede ocurrir que la carga del cable varíe, por efectos del viento o de depósitos de hielo. como consecuencia la tensión mecánica del cable a la flecha varían:

De acuerdo a lo anteriormente dicho se va a establecer una ecuación del cambio de estado, que partiendo de una situación inicial para la que se conoce la tensión de cable " $T_0$ ", - la carga por unidad de longitud  $P_0$  y la temperatura  $\theta_0$ , permite calcular la nueva tensión del cable  $T_1$ , para una nueva carga  $P_1$ , y una nueva temperatura  $\theta_1$ .

Para simplificar la deducción se hará uso de las fórmulas de la parábola y se supondrá que  $H = T_a$ , (FIG. 3-1).

Supóngase un estado inicial en el que se tenga:

$p = p_0$ , peso por unidad de longitud

$\theta = \theta_0$ , temperatura del cable

$T = T_0$ , tensión mecánica del cable

$L = L_0$ , longitud del cable

Y un estado final en el que:

$$P = P_1$$

$$\theta = \theta_1$$

$$T = T_1$$

$$L = L_1$$

La diferencia de longitud entre un estado final y un estado inicial está dada por (EC. (11)):

$$\Delta L = L_1 - L_0 = d + \frac{P_1^2 d^3}{24 T_1^2} - \left[ d + \frac{P_0^2 d^3}{24 T_0^2} \right]$$
$$\Delta L = \frac{d^3}{24} \left[ \frac{P_1^2}{T_1^2} - \frac{P_0^2}{T_0^2} \right] \text{----- (20)}$$

Esta diferencia de longitud se debe al efecto combinado de la dilatación o contracción producida por la variación de temperatura y al alargamiento o acortamiento producido por la variación de la tensión mecánica.

La variación de longitud debida a la variación de temperatura está dada por:

$$\Delta L_\theta = L_0 \alpha (\theta_1 - \theta_0)$$

siendo  $\alpha$  el coeficiente de dilatación lineal.

La variación de la longitud debida a la variación de la tensión mecánica, está dada, de acuerdo con la ley de Hooke por lo que:

$$\Delta L_t = L_o \frac{T_1 - T_o}{EA}$$

Siendo E el módulo de elasticidad y A el área de la sección recta del cable:

Sustituyendo

$$\Delta L = \Delta L_e + \Delta L_t = L_o \alpha (\theta_1 - \theta_o) + L_o \frac{T_1 - T_o}{EA}$$

en la ecuación (20) se tiene:

$$\frac{d^3}{24} \left[ \frac{P_1^2}{T_1^2} - \frac{P_o^2}{T_o^2} \right] = L_o \left[ \alpha (\theta_1 - \theta_o) + \frac{T_1 - T_o}{EA} \right]$$

Ordenando términos:

$$T_1^3 + \left[ \frac{d^2 P_o^2 AE}{24 T_o^2} + AE \alpha (\theta_1 - \theta_o) - T_o \right] T_1^2 - \frac{d^2 P_1^2 AE}{24} = 0$$

Que es la ecuación del cambio de estado o ecuación de Blondel.

Ref. (1) pags. 439-458

(IV)

LIMITACIONES MECANICAS Y ELECTRICAS EN ESTRUCTURAS TIPO.

#### 4.1 RESISTENCIA MECANICA DEL POSTE

Los claros máximos por resistencia mecánica del poste se calculan partiendo de las cargas transversales provocadas por la presión del viento sobre los conductores, aisladores y poste; también se hará necesario considerar la tensión resultante de los conductores cuando se presentan pequeñas deflexiones.

Debido a las diferentes estructuras tipo, se tienen -- que tomar en cuenta diferentes consideraciones y parámetros -- para cada una de ellas.

Para considerar las condiciones más reales de presión de viento se ha dividido a la REPUBLICA MEXICANA en cuatro zonas en las que se establecieron las condiciones mas desfavarales de temperatura y cargas de hielo:

- Zona I Comprende los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Baja California Norte.
- Zona II Región central delimitada por la Sierra Madre - - Oriental y Occidental.

Zona III Región de los Litorales, incluyendo el estado de Baja California Sur.

Zona IV Región del Istmo de Tehuantepec y Cozumel.

Zona	Temperatura °C	Velocidad de -- Viento (Km/hora)	Carga de Hielo
I	- 10	75	de 6 a 8 mm espesor
II	- 5	60	- -
III	5	75	- -
IV	5	90	- -

Para alturas mayores de 2,500 m.s.n.m. en las zonas II y III se deberán considerar espesores de hielo similares a los establecidos en la zona I, temperaturas de -5°C y presiones de viento correspondientes a cada zona.

Se deberá investigar el comportamiento de las estructuras en condiciones severas (eventuales), considerando velocidades de viento del doble del valor indicado en la tabla ante

rior.

En la determinación de la presión ( $P_v$ ) en función de la velocidad de viento se hará a partir de las siguientes expresiones:

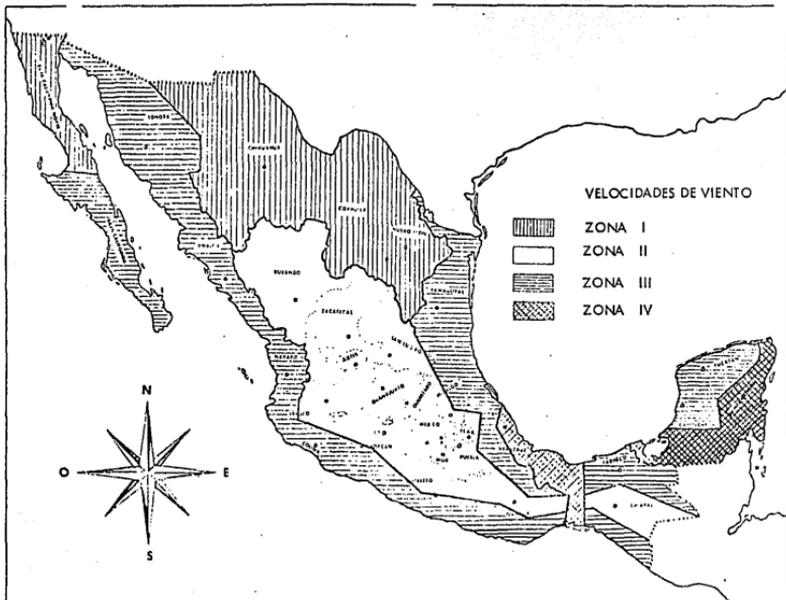
$$P_v = 0.0047124 V^2 \text{ (Para áreas cilíndricas)}$$

$$P_v = 0.0074074 V^2 \text{ (Para áreas planas)}$$

En donde:

V - Velocidad de viento (km/hora)

$P_v$  - Presión debida a la velocidad del viento ( $\text{kg/m}^2$ ).



N O M E N C L A T U R A

- Cvcf Carga debida a la presión de viento sobre el conductor de fase.
- Cvaf Carga debida a la presión del viento sobre el aislador de fase.
- Cvan Carga debida a la presión de viento sobre el soporte - del hilo neutro.
- Cvcn Carga debida a la presión de viento sobre el hilo neutro.
- Cvp Carga de viento sobre el poste.
- Ctp Carga de trabajo del poste.
- TF Tensión mecánica del conductor de fase.
- Tn Tensión mecánica del hilo neutro.
- $\beta$  Angulo total de deflexión.
- $\theta$  Angulo de la semi-deflexión.
- A,B,C,D,E, Parámetros- Derivados de la configuración de la estructura. (m)
- Fs Factor de seguridad (El factor de seguridad establecido para postes de madera es de 3 y de 2 para concreto).
- G Base mayor del poste (m).
- H Base menor del poste (m).
- I Resistencia mecánica del poste (Kg).
- dF Diámetro de los conductores de fase (m).

$d_n$  Diámetro del hilo neutro (m)

$P_v$  Presión de Viento.

$C_{va}$  Carga de viento sobre los aisladores (Se considera 1 Kg por norma tanto para los aisladores de alfiler como de-- suspensión).

$\theta$  Angulo total de la deflexión (°/)

$T_f$  Tensión del conductor de fase. (Kg)

$T_n$  Tensión del hilo neutro (Kg)

(Las tensiones a - 10°C, con presión de viento y módulo de elasticidad final)

$L$  Claro Máximo interpostal por resistencia mecánica del -- poste (m)

4.2 ESTRUCTURA TIPO T

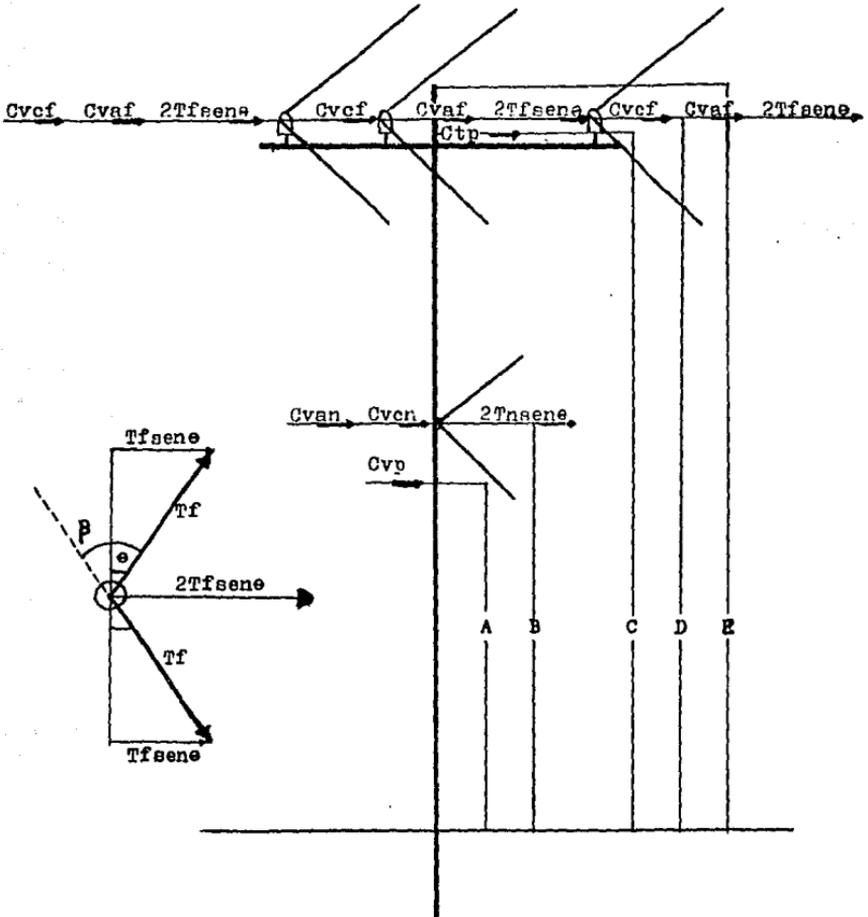


fig. 2

### ESTRUCTURA TIPO T

En este tipo de estructura se analizarán básicamente - las cargas transversales debidas a la presión del viento que actúan sobre la misma, así como las tensiones resultantes debidas a la deflexión y tomando al poste como elemento de falla.

Planteamiento de la ecuación: con la finalidad de cubrir la aplicación de este tipo de estructura se consideró una pequeña deflexión.

Las Fuerzas que intervienen en el cálculo del claro máximo por resistencia mecánica del poste, están en la figura 2.

De la figura 2

$$M_o = 0 = 6Tf \operatorname{sene}(D) + 3Cvf(D) + 3Cva(D) + 2T \operatorname{sene}(B) + Cvcn(B) + Cvsn(B) + Cvp(A) + Ctp(C)$$

$$M_o = 6Tf \operatorname{sene}(D) + 3(PvdFL)(D) + 3Cva(D) + 2T \operatorname{sene}(B) + PvdnL(B) +$$

$$+ \frac{G + H}{2} EP_v(A) + \frac{1}{FS} (C)$$

DESPEJANDO L SE OBTIENE:

$$L = \frac{1}{FS(C) - 6Tf \operatorname{sene}(D) - 3Cva(D) - 2Tns \operatorname{sene}(B) - \frac{G+H}{2} EPv(A)}$$
$$3Pvdf(D) + Pvdn(B)$$

4.3 ESTRUCTURAS TIPO HA y HS  
(sin contra vientos)

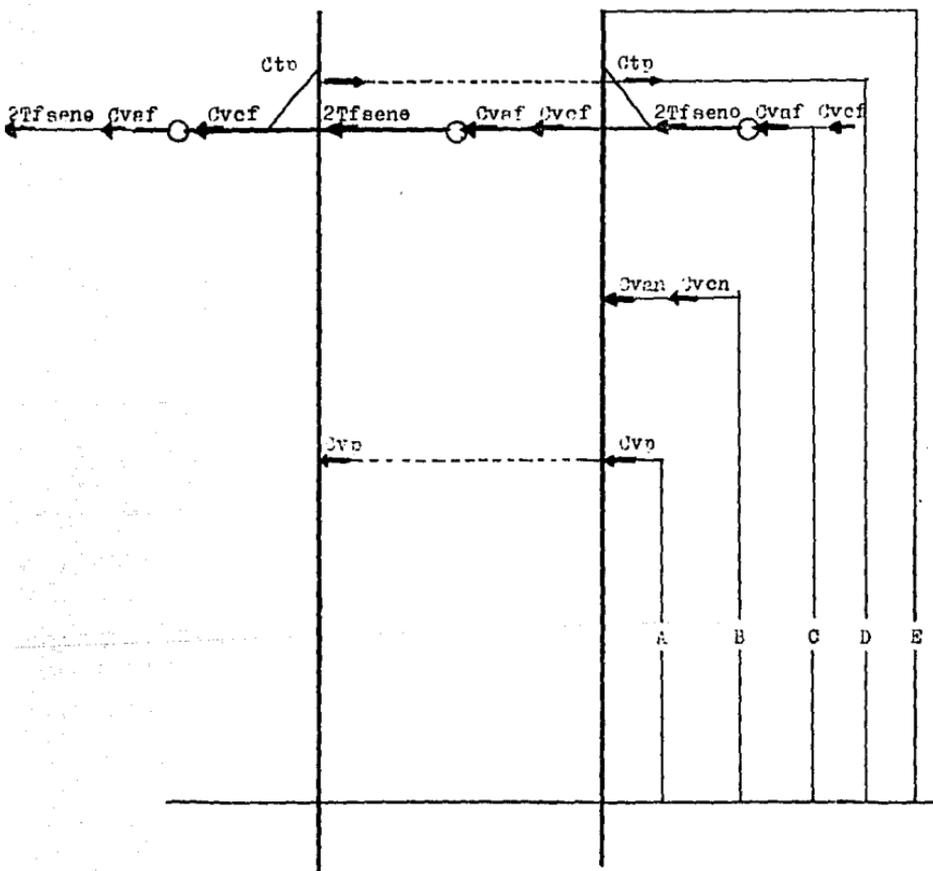


fig. 3

ESTRUCTURAS TIPO HA y HS

En el cálculo del claro máximo por resistencia mecánica del poste, para este tipo de estructuras, se analizarán las dos variedades, los cuales consideran la aplicación de contravientos (C/Cv), con aplicación definitiva en cuanto al claro máximo interpostal y al anclaje de conductores ligeros y pesados respectivamente.

De la figura 3

$$M_o = \overset{\#}{S}Cv_a F(C) + 3Cv_c F(C) + 6Tf \text{seno}(C) + Cv_{an}(B) + \overset{\#\#}{C}v_{cn}(B) + 2Cv_p(A) - 2Ctp(D)$$

$$M_o = \overset{\#}{S}Cv_a(C) = 3PvdFL(c) + 6TfdnL(B) + 2 \frac{G+H}{2} EP_v(A) - 2 \frac{I}{FS} (D)$$

≡ esta cantidad dependerá del tipo de aislador y de los Kv del sistema

$\overset{\#\#}{\#}$  Se considera despreciable la carga de viento sobre el soporte

Despejando L

$$L = \frac{2 \frac{I}{FS} (D) - 8Cv_a(C) - (G+H)EP_vA - 6Tf \text{seno}(C)}{2PvdF(C) + Pvdn(B)}$$

#### 4.4 ESTRUCTURA TIPO HA y HS (con contravientos)

En la determinación del claro máximo por resistencia mecánica del poste para este tipo de estructuras en postes de concreto, se parte del hecho que el punto crítico de falla para la estructura se encuentra localizado en el extremo superior de los contravientos, (Punto G) y cuya magnitud será la carga de trabajo del poste referido a dicho punto.

Las fuerzas que intervienen en el cálculo de la resistencia mecánica del poste se encuentran en la figura 4.

$F_x$  (referidas a la cruceta)=0

$$F_x = 6Tf_s \text{ seno} + 3C_{vc} f + 8 \overset{\#}{C_{va} f} + C_{vn} \frac{B}{C} + C_{va} \frac{B}{C} - 2 \frac{C_{tp}}{F_s} \frac{G l - X}{G l - B l} + 2C_{vp} \frac{A}{C}$$

#. Esta cantidad dependerá del tipo de aislador y de los KV -- del sistema

& Se desprecia la carga a la presión de viento sobre el soporte del hilo neutro.

Despejando L

$$L = \frac{2 \frac{C_{tp}}{F_s} \frac{G l - X}{G l - B l} - 8C_{va} - (G+H)(D)P_v \frac{A}{C} - 6 T f_s \text{ seno}}{2P_{vdf} + P_{vdn} \frac{B}{C}}$$

ESTRUCTURA TIPO HA y HS  
(Con contravientos)

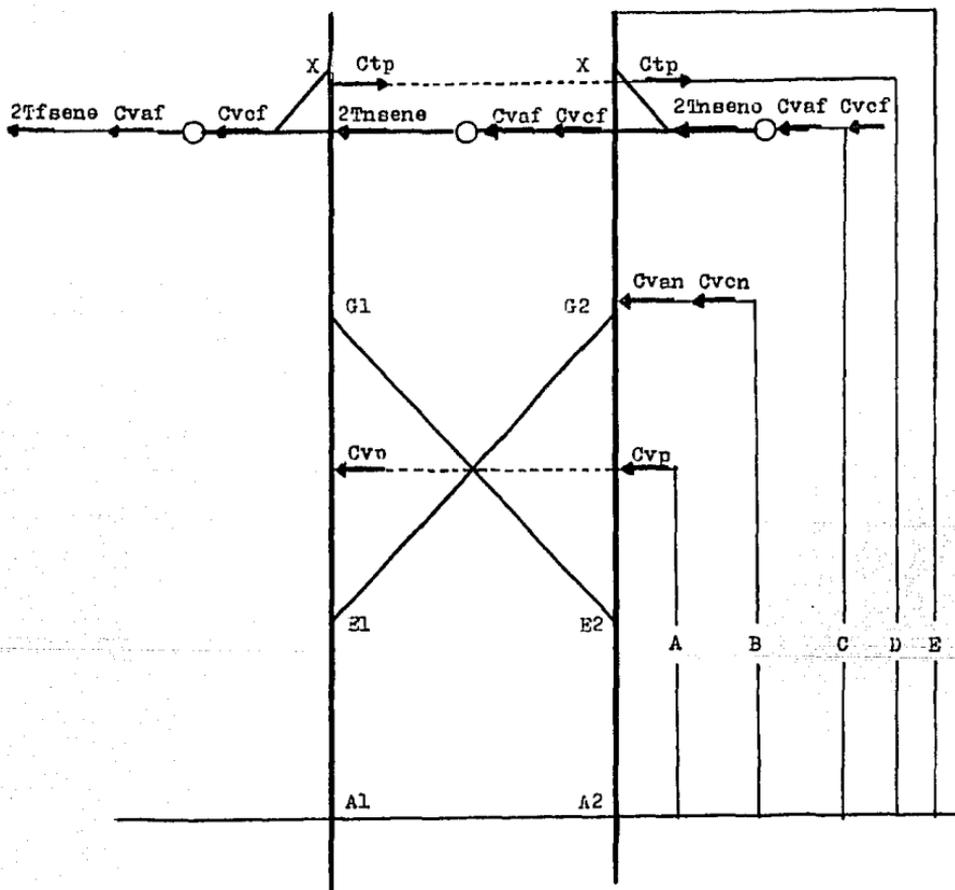


fig. 4

#### 4.5 CRUCETA

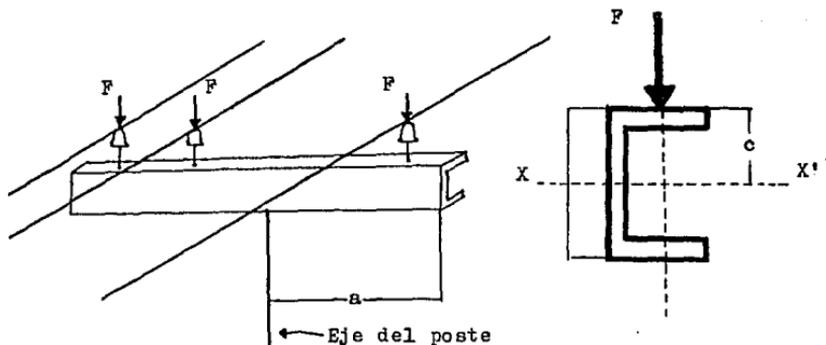
Para los claros máximos por resistencia mecánica de la cruceta se toma en cuenta las cargas verticales y las cargas longitudinales.

##### 4.5.1 CARGAS VERTICALES

Este tipo de cargas se determinan considerando la cruceta como una viga en "cantilever" o "voladiza" o "empotrado" (4) sometido a un esfuerzo flexionante por el conductor y - una carga que por norma es de 100 Kg, correspondiente al peso del trabajador o liniero más sus herramientas.

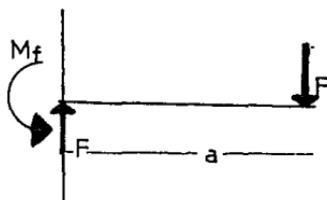
##### ESTRUCTURA TIPO T

Las fuerzas que intervienen en el claro máximo por Resistencia Mecánica de la Cruceta sometida a cargas verticales está en la figura 6.



F = Peso del conductor + peso del liniero (100 Kg)  
ref. (4) pags. 38-54 fig. 6

Para una fuerza:



$$Mf = (w+100)a$$

$$Mf = (M(L) + 100)a \quad \text{----- (1)}$$

Partiendo de la escuadrilla ó Fórmula de la flexión. (5)

$$S_x = \frac{Mf(c)}{I_{x-x'}} \quad \text{----- (2)}$$

Donde

w= Peso unitario del conductor (Kg)

a= Distancia del eje del poste al punto de aplicación

L= Claro máximo, interpostal por resistencia mecánica de la -  
crucecita (m)

S<sub>x</sub>= Esfuerzo a la flexión

I<sub>x-x'</sub>= Momento de inercia respecto al eje x-x'

Sustituyendo (1) en (2)

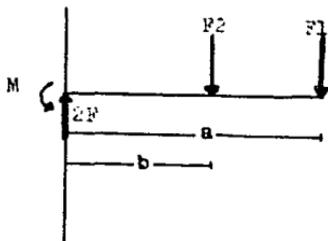
Ref. (5) pag. 147

$$Sx = \frac{(w(L) + 100)a(c)}{1x-x'}$$

Despejando L

$$L = \frac{Sx(1x-x') - 100(a)(c)}{w(a)(c)}$$

Para dos fuerzas:



$$M = (W_1 + 100)a + (W_2(L) + 100)b$$

$$M = (W_1(L) + 100)a + (W_2(L) + 100)b \quad \dots (1)$$

Partiendo de la ecuación de la escuadrilla

$$S_x = \frac{M(c)}{|x-x'|} \quad \dots \dots \dots (2)$$

Sustituyendo (1) en (2)

$$S_x = \frac{(W_1(L) + 100)a + W_2(L) + 100)b)(c)}{(W_1(a) + W_2(b))c}$$

Despejando L

$$L = \frac{S_x(|x-x'|) - (100(a) + 100(b))c}{(W_1(1) + W_2(b))c}$$

#### 4.5.2 CARGAS LONGITUDINALES

Fuerza que intervienen en el cálculo de comprobación del esfuerzo flexionante de la cruceta bajo cargas longitudinales.

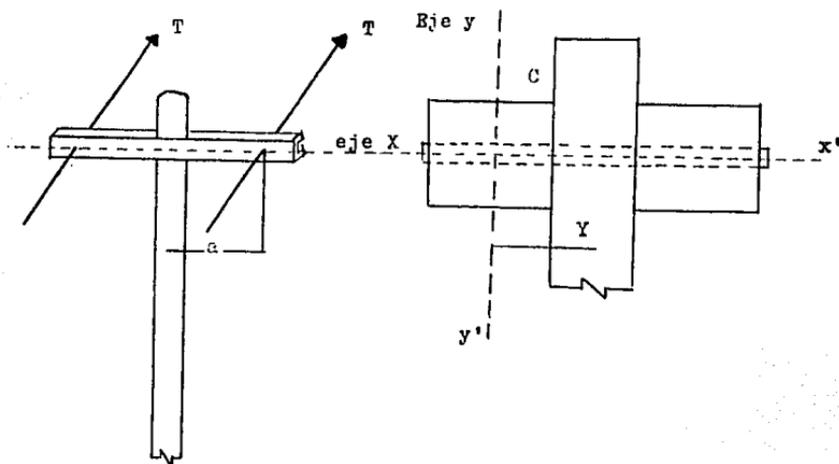


fig. 7

Estructuras tipo R y RR

Al trabajar la cruceta con cargas longitudinales en estructuras de remate, se considera que se encuentra sometida a un esfuerzo flexionante, debido a la tensión final del conductor, determinado bajo las condiciones críticas ( - 10°C de temperatura, Presión de viento) y con un claro regla dominante, de acuerdo al calibre del conductor.

De la figura 7

$$M_{\max} = T_f(a) \text{ --- (1)}$$

$$S_y = \frac{M_{\max}(c)}{I_t} \text{ --- (2)}$$

Donde:

$S_y$  = Esfuerzo máximo a que está sometida la cruceta ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

$a$  = Distancia del eje del poste al punto de aplicación de  $T_f$   
(cm)

$T_f$  = Tensión final del conductor ( $-10^\circ\text{C}$  y con presión de viento)  
(kg)

$c$  = Distancia del punto más fatigado de la fibra neutra (cm)

$I_t$  = Momento de inercia de la sección formada por el poste y las estructuras ( $\text{cm}^4$ )

$$I_t = 2 (I_{y-y'} + AY^2) \text{ --- (3)}$$

$I_{y-y'}$  = Momento de inercia de la cruceta respecto al eje  $y-y'$   
( $\text{cm}^4$ )

$A$  = Área de la sección ( $\text{cm}^2$ )

$Y$  = Distancia del eje  $y-y'$  de la cruceta al eje del poste --  
(cm)

$M_{\max}$  = Momento flexionante máximo (Kg-cm)

Sustituyendo (1) y (3) en (2)

$$S_y = \frac{Tf(a)(c)}{2(l_y - y' + AY^2)}$$

Este valor deberá compararse con el esfuerzo flexionante del material de la cruzeta respectiva.

Para el cálculo de los claros máximos por separación eléctrica entre conductores, se parte del balanceo que tienen los conductores en el punto más bajo de la catenaria, formada por el conductor tomando en cuenta que en ese lugar, cuando cesa el viento que provoca el balanceo, este balanceo se torna irregular provocando acercamientos que pueden disminuir la distancia mínima entre fases, que está dada por el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas.

De la figura 7

S= Separación de los conductores entre puntos de apoyo (m)

f= Flecha máxima del conductor (m)

d= Distancia mínima entre fases, limitada por el ROIE (m)

Cvc= Carga debida a la presión de viento sobre el conductor -  
(m)

Wc= Peso unitario del conductor (Kg)

#### 4.6 SEPARACION ELECTRICA

Fuerzas que intervienen en el cálculo del claro por separación eléctrica ;

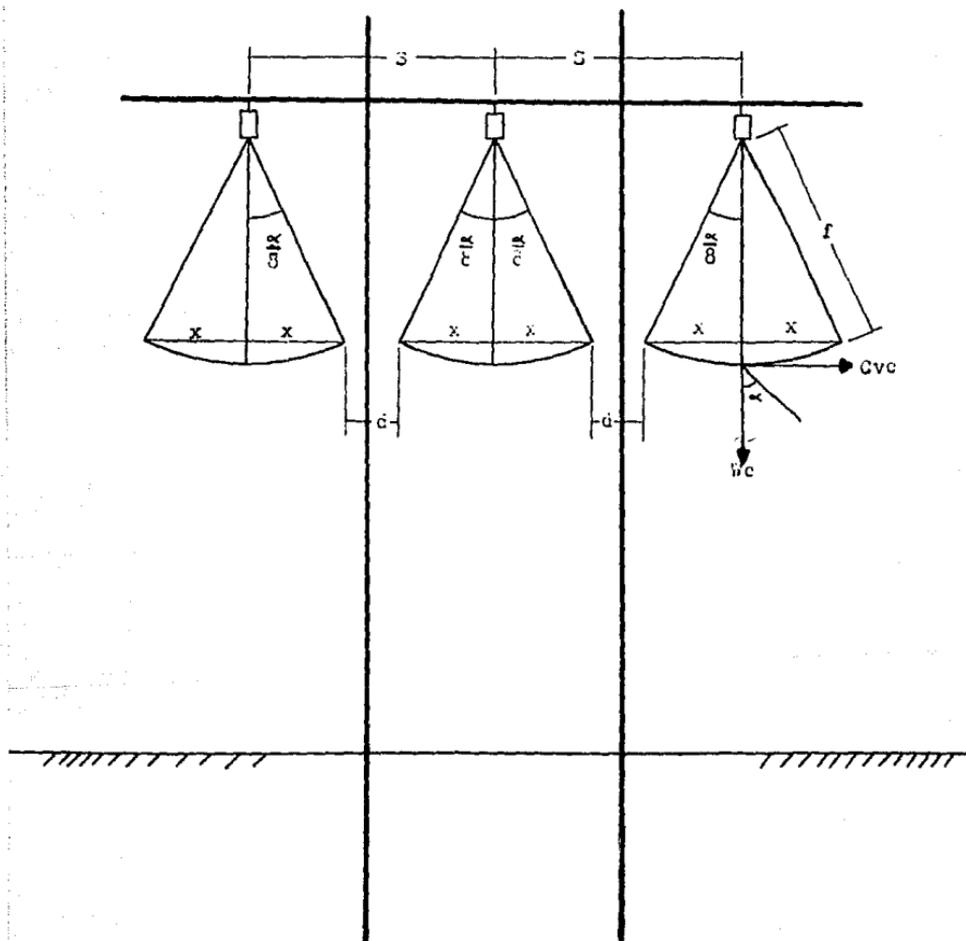


fig. 8

De la figura 8 podemos observar que el desplazamiento "X" del conductor a un ángulo  $\alpha/8$  (valor determinado por experiencias) acerca a los conductores a una distancia "d",-- estaremos en condiciones de conocer el valor del claro máximo, que llamaremos "L", con el siguiente procedimiento:

De la figura 8 se deduce:

$$S = d + 2X \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{sen}(\alpha/8) = \frac{X}{f} = f \text{ sen}(\alpha/8) \quad \text{--- (2)}$$

Sustituyendo (2) en (1)

$$S = d + 2f \text{ sen}(\alpha/8) \quad \text{----- (3)}$$

Sabiendo que:

$$f = \frac{WL^2}{8T}$$

Tenemos

$$s = d + 2 \left[ \frac{WL^2}{8T} \right] \text{ sen}(\alpha/8) \quad \text{--- (4)}$$

Despejando L encontramos:

$$L = \sqrt{\frac{4Tf (S'-d)}{Wc \operatorname{sen}(\alpha / S)}} \quad \text{--- (5)}$$

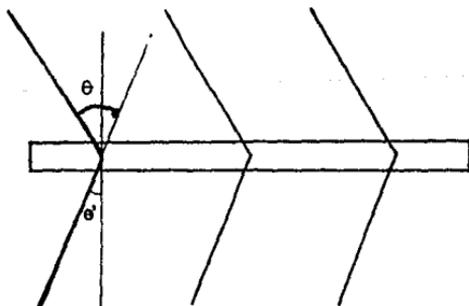
El valor del ángulo  $\alpha$  se obtiene de la siguiente manera:

$$\operatorname{Tg} \alpha = \frac{Cvc}{Wc}$$

Donde

$Tf$  = La tensión final del conductor a 50°C, sin viento (Kg)

Para el cálculo eléctrico por separación eléctrica --- con deflexión se tendrá:



$$\cos \theta' = \frac{S'}{S}$$

$$S' = S \cos \theta' \dots \dots \dots (6)$$

Sustituyendo (5) en (6)

$$L = \sqrt{\frac{4Tf(S \cos \theta' - d)}{W \cos \theta' (\alpha / 8)}}$$

donde  $\theta$  es el ángulo total de la deflexión.

#### 4.7 ALFILER

Los claros máximos por resistencia mecánica del alfiler, se determinan haciendo intervenir las cargas transversales provocadas por la presión de viento sobre los conductores, en un claro medio horizontal, considerando éste en terreno plano e igualar esta carga con la carga máxima de trabajo del alfiler.

La carga límite del conjunto alfiler-aislador, es proporcionada por el Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Fuerzas que intervienen en el cálculo del claro máximo por resistencia mecánica del conjunto Alfiler-aislador:

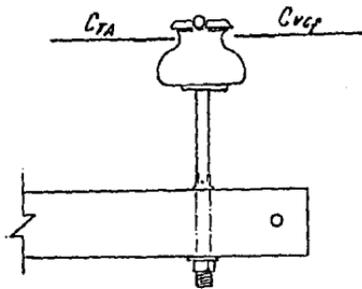


fig. 9

De la figura 9

$$C_{ta} = C_{vc}$$

Sabiendo que:

$$C_{ta} = P_{vc} \cdot df \cdot L$$

$$C_{vc} = \frac{CLA}{Fs}$$

Iguando

$$P_{vc} \cdot df \cdot L = \frac{CLA}{Fs}$$

Despejando L

$$L = \frac{C_{LA}}{Fs Pvc df}$$

Donde:

C<sub>ta</sub> Carga de trabajo del conjunto Alfiler-aislador.

C<sub>vcf</sub> Carga debida a la presión de viento sobre el conductor

P<sub>vc</sub> Presión de viento sobre el conductor (kg/m<sup>2</sup>)

df Diámetro del conductor de fase (m)

L Claro medio horizontal

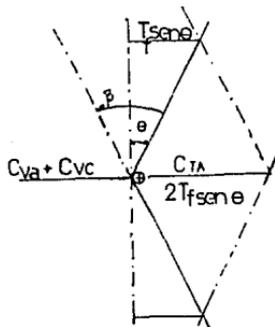
C<sub>la</sub> Carga límite del alfiler (kg)

F<sub>s</sub> Factor de seguridad (F=2 para cualquier tipo de alfiler).

#### 4.7.1 ALFILER-AISLADOR, DEFLEXIONES MAXIMAS.

La deflexión máxima que es posible dar en estructuras tipo "T" y "TT", tomando en cuenta el punto de falla del conjunto alfiler-aislador, analizándolo de la siguiente manera:

De la siguiente figura



Haciendo la sumatoria de fuerzas tenemos

$$C_{va} + C_{vc} + 2 T_f \text{ Sen } \theta = C_{ta}$$

$$C_{va} = P_v \cdot d_f \cdot L$$

Despejando  $\text{sen } \theta$  y sustituyendo  $C_{vc}$ , tenemos:

$$\text{Sen } \theta = \frac{C_{ta} - C_{va} - P_v \cdot d_f \cdot L}{2t_f}$$

Donde:

- Cva Carga de viento sobre el aislador (por norma I Kg)
- Cvc Carta de viento sobre el conductor (Kg)
- Tf Tensión final del conductor (Kg)
- $\theta$  Semiángulo de deflexión ( $^{\circ}$ )
- Cta Carga de trabajo del conjunto alfiler-aislador (normas III E) (Kg).
- Pv Presión de viento ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ )
- df Diámetro del conductor de fase (m)
- L Claro promedio, establecido para cada conductor y condiciones de terreno (m)
- $2\theta$  deflexión total ( $^{\circ}$ )

(v)

APOYO DE LA COMPUTADORA PARA DIBUJO DE PERFILES Y LOCALIZACION  
DE ESTRUCTURAS.

### 5.1 Programa localización óptima de torres para el tendido de líneas de transmisión

El propósito de este programa es el de realizar, en base a una serie de datos de perfil de terreno, un análisis comparativo con la plantilla (50°C sin presión de viento) la cual puede ser representada por medio de la ecuación de una parábola:

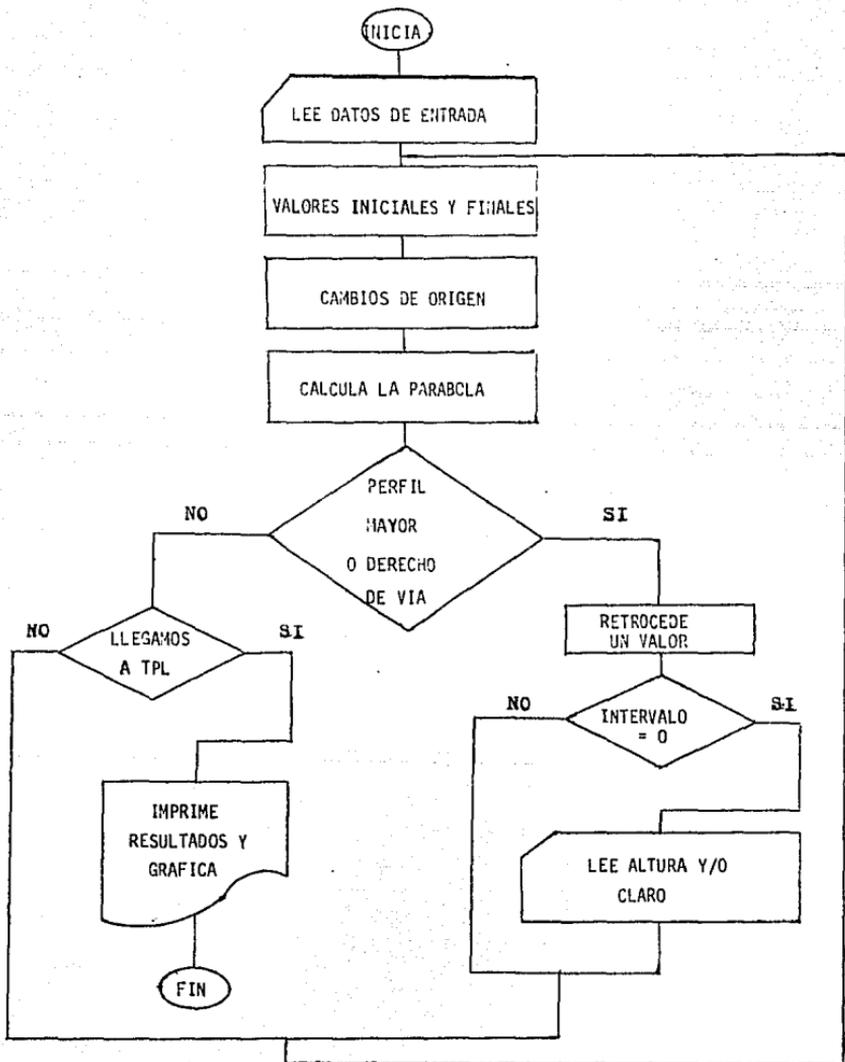
$$y = Kx^2$$

En esta ecuación K es una constante que resulta del cociente del peso por unidad de longitud (kg/m) entre el doble de la tensión final (Kg), del conductor.

El programa también detecta diferentes derechos de vía como son: vías férreas, carreteras, calles y callejones, espacios no transitados, en los cuales es necesaria una cierta altura de libramiento, la cual fué tomada del reglamento de obras e instalaciones eléctricas, de acuerdo a los voltajes de transmisión (hasta 50 KV).

El diagrama de flujo mostrado a continuación nos da una idea generalizada de cuáles son las etapas que hay que seguir para la solución del problema.

5.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO



En el diagrama de flujo se tiene:

Datos de entrada.- Todos los datos utilizados dentro - del programa son con formato libre, esto es, separados por comas o espacios libres.

El primer renglón lleva lo siguiente:

TPL, NCLN, CLM, LBR, V, PUL, TF, APC, PTP, DCAT

Donde:

TPL = Total de puntos a leer.

NCLN = Total de puntos considerados para las iteraciones dentro del claro máximo normal.

CLM = Claro máximo (metros)

LBR = Libramiento (metros)

V = Voltaje (volts)

PUL = Peso por unidad de longitud (kg/m)

TF = Tensión final (Kg)

APC = Altura del piso al cable (metros)

PTP = Profundidad de la torre al piso (metros)

DCAT = Distancia del cable a altura total de torre (metros)

En los siguientes renglones lee, de acuerdo al total - de puntos a leer (TPL) las alturas del perfil de terreno, una

vez terminados éstos, empieza a leer las longitudes correspondientes a cada perfil de terreno.

En el segundo bloque se calculan los valores iniciales y finales de la parábola que dependen: del claro máximo utilizado, de la altura del piso al cable, del libramiento y de la altura del perfil de terreno.

El tercer bloque nos dá el cambio de origen necesario para colocar la parábola (plantilla) en el lugar deseado.

El cuarto bloque calcula los valores de la parábola -- con su respectivo cambio de origen para los intervalos comprendidos dentro del claro.

El quinto es un bloque de comparación entre la parábola (curva de libramiento) contra valores de perfil de terreno, de este bloque se parte hacia dos direcciones dependiendo del resultado obtenido en la comparación:

1) Si las alturas del perfil son mayores que las alturas de la parábola o en el lugar donde se coloca la torre - existe derecho de vía entonces, retrocederá un valor dentro del intervalo y partirá (si el intervalo no es cero) a calcu-

lar nuevos valores, repitiendo el proceso. Cuando el intervalo es cero indica que no se libró el claro, por lo cual se -- tendrá que elevar la torre inicial sin aumentar el claro, o - aumentar el claro elevando también la torre final; regresando después a realizar los cálculos correspondientes.

a) Cuando las alturas de perfil son menores o iguales a las alturas de la parábola y se libre el derecho de vía entonces se podrá pasar al intervalo siguiente, repitiendo el - proceso, hasta llegar al total de puntos leídos, pasando así al bloque de impresión y graficación de los resultados.



\*\*\*\*\* R E S U L T A D O S \*\*\*\*\*

PERFIL DEL TIEMPO

VALORES DE PARABOLA

P( 1) =	10.00000	10	1) =	13.57000
P( 2) =	10.00000	10	2) =	14.24000
P( 3) =	10.00000	10	3) =	14.89000
P( 4) =	10.00000	10	4) =	15.52000
P( 5) =	10.00000	10	5) =	16.13000
P( 6) =	10.00000	10	6) =	16.72000
P( 7) =	10.00000	10	7) =	17.29000
P( 8) =	10.00000	10	8) =	17.84000
P( 9) =	10.00000	10	9) =	18.37000
P(10) =	10.00000	10	10) =	18.88000
P(11) =	10.00000	10	11) =	19.37000
P(12) =	10.00000	10	12) =	19.84000
P(13) =	10.00000	10	13) =	20.29000
P(14) =	10.00000	10	14) =	20.72000
P(15) =	10.00000	10	15) =	21.13000
P(16) =	10.00000	10	16) =	21.52000
P(17) =	10.00000	10	17) =	21.89000
P(18) =	10.00000	10	18) =	22.24000
P(19) =	10.00000	10	19) =	22.57000
P(20) =	10.00000	10	20) =	22.88000
P(21) =	10.00000	10	21) =	23.17000
P(22) =	10.00000	10	22) =	23.44000
P(23) =	10.00000	10	23) =	23.69000
P(24) =	10.00000	10	24) =	23.92000

LA NUEVA ALTURA DEL PISO AL CABLE= 10.70000

P( 20) =	10.00000	10	20) =	13.57000
P( 21) =	10.00000	10	21) =	13.89000
P( 22) =	10.00000	10	22) =	14.19000
P( 23) =	10.00000	10	23) =	14.47000
P( 24) =	10.00000	10	24) =	14.73000

LOS NUEVOS VALORES DE CLARO MÁXIMO 140.0000

P( 24) =	10.00000	10	24) =	14.95000	
P( 25) =	10.00000	10	25) =	15.20000	Vltro
P( 26) =	10.00000	10	26) =	15.43000	Vltro
P( 27) =	10.00000	10	27) =	15.64000	Vltro
P( 28) =	10.00000	10	28) =	15.83000	Vltro
P( 29) =	10.00000	10	29) =	16.00000	Vltro
P( 30) =	10.00000	10	30) =	16.15000	Vltro
P( 31) =	10.00000	10	31) =	16.28000	Vltro
P( 32) =	10.00000	10	32) =	16.39000	
P( 37) =	10.00000	10	37) =	14.95000	
P( 38) =	10.00000	10	38) =	15.20000	
P( 39) =	10.00000	10	39) =	15.43000	
P( 40) =	10.00000	10	40) =	15.64000	
P( 45) =	10.00000	10	45) =	16.28000	
P( 46) =	10.00000	10	46) =	16.49000	

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50



P(	67)	10,00000	10	67)	13,57000
P(	68)	10,00000	10	68)	14,44000
P(	69)	10,00000	10	69)	15,31000
P(	70)	10,00000	10	70)	16,18000
P(	71)	10,00000	10	71)	17,05000
P(	72)	10,00000	10	72)	17,92000
P(	73)	10,00000	10	73)	18,79000
P(	74)	10,00000	10	74)	19,66000
P(	75)	10,00000	10	75)	20,53000
P(	76)	10,00000	10	76)	21,40000
P(	77)	10,00000	10	77)	22,27000
P(	78)	10,00000	10	78)	23,14000
P(	79)	10,00000	10	79)	24,01000
P(	80)	10,00000	10	80)	24,88000

LA NUEVA ALTOA DEL PISO AL CABLE= 10,00000

P(	85)	10,00000	10	85)	13,57000
P(	86)	10,00000	10	86)	14,44000
P(	87)	10,00000	10	87)	15,31000
P(	88)	10,00000	10	88)	16,18000
P(	89)	10,00000	10	89)	17,05000

LOS NUEVOS VALORES DE CLARO REALIZO 140,00000

LA NUEVA ALTOA DEL PISO AL CABLE= 20,00000

P(	89)	10,00000	10	89)	11,57000
P(	90)	10,00000	10	90)	12,44000
P(	91)	10,00000	10	91)	13,31000
P(	92)	10,00000	10	92)	14,18000
P(	93)	10,00000	10	93)	15,05000
P(	94)	10,00000	10	94)	15,92000

LOS NUEVOS VALORES DE CLARO REALIZO 100,00000

P(	89)	10,00000	10	89)	24,25000
P(	90)	10,00000	10	90)	25,12000
P(	91)	10,00000	10	91)	25,99000
P(	92)	10,00000	10	92)	26,86000
P(	93)	10,00000	10	93)	27,73000
P(	94)	10,00000	10	94)	28,60000
P(	95)	10,00000	10	95)	29,47000
P(	96)	10,00000	10	96)	30,34000
P(	97)	10,00000	10	97)	31,21000
P(	98)	10,00000	10	98)	32,08000
P(	99)	10,00000	10	99)	32,95000
P(	100)	10,00000	10	100)	33,82000

VALOR INICIAL DEL (X) = 0,000000000000

INCREMENTO EN EL DEL (X) = 50,00000

VALOR INICIAL DEL (Y) = 0,000000000000

INCREMENTO EN EL DEL (Y) = 4,000000

A	LOS	280,0000	HAY	VIAS
A	LOS	285,0000	HAY	CABLE
A	LOS	289,0000	HAY	CABLE
A	LOS	293,0000	HAY	VIAS



5.2 | PROGRAMA: SOLUCION DE LA ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO.

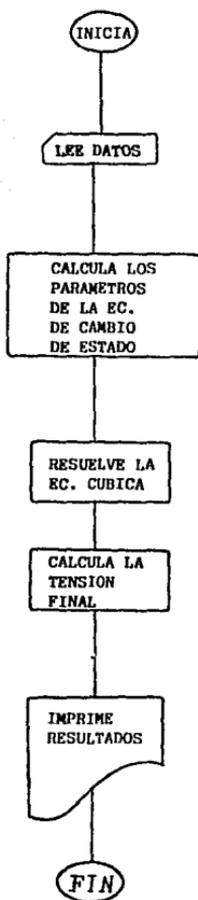
EL PROPOSITO DE ESTE PROGRAMA ES ENCONTRAR LA TENSION FINAL DEL CONDUCTOR. POR MEDIO DE LA ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO.

$$T_1^3 + \left[ \frac{d^2 P_0^2 AE}{24 T_0^2} + AE \alpha (\theta_1 - \theta_0) - T_0 \right] T_1^2 - \frac{d^2 P_1^2 AE}{24} = 0$$

CALCULADAS LAS CONSTANTES DE LA ECUACION CUBICA SE PROCEDIO MEDIANTE LA FORMULA DE CARDANO A RESOLVER DICHA ECUACION.

ENCONTRADAS LAS RAICES, SE TOMO LA RAIZ REAL DE DICHA ECUACION, SE CALCULA LA TENSION FINAL.

5.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO



EN EL DIAGRAMA DE FLUJO SE TIENE LO SIGUIENTE:

PRIMER BLOQUE, DATOS DE ENTRADA.- TODOS LOS DATOS UTILIZADOS DENTRO DEL PROGRAMA SON PEDIDOS EN EL ORDEN SIGUIENTE:

- TEMPERATURA INICIAL (GRADOS CENTIGRADOS)
- TEMPERATURA FINAL (GRADOS CENTIGRADOS)
- CARGA DE HIELO INICIAL (MILIMETROS)
- CARGA DE HIELO FINAL ( MILIMETROS)
- PRESION DE VIENTO INICIAL ( KG/M2)
- PRESION DE VIENTO FINAL ( KG/M2)
- CALIBRE DEL CONDUCTOR Y UNIDADES
- SECCION DEL CONDUCTOR (MILIMETROS CUADRADOS)
- DIAMETRO DEL CONDUCTOR (MILIMETROS)
- PESO POR UNIDAD DE LONGITUD DEL CONDUCTOR ( KG/M )
- PESO ESPECIFICO DEL CONDUCTOR ( KG./CM3 )
- MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONDUCTOR ( KG/MM2 )
- COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL (1/GRADOS CENTIGRADOS)
- CLARO ENTRE SOPORTES ( METROS )
- CLARO ENTRE SOPORTES ( METROS )
- TENSION DE TENDIDO (EXPRESADO COMO % DE LA TENSION DE RUPTURA, DADO EN DECIMALES).
- TENSION DE RUPTURA (KG)

EN EL SEGUNDO BLOQUE.- CALCULA LOS PARAMETROS DE LA ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO.

EN EL TERCER BLOQUE.- RESUELVE LA ECUACION CUBICA POR LA FORMULA DE CARDANO.

EN EL CUARTO BLOQUE.- UTILIZANDO LA RAIZ REAL DE LA ECUACION CUBICA, SE CALCULA LA TENSION FINAL.

EN EL QUINTO BLOQUE.- IMPRIME LOS RESULTADOS.

### 5.2.2 EJEMPLO DE APLICACION

\*\*\*\*\*

#### D A T O S :

CALIDAD Y TIPO DE PRODUCCION = 0 446 CORR

#### CONDICIONES INICIALES :

TEMPERATURA INICIAL = 10.000 GRADOS C  
PRESION DE VIENTO = 222.200 KILOGRAMOS  
TEMPERATURA DE PUNTO DE = 446.000 KILOGRAMOS  
PRESION DE VIENTO INICIAL = 0.000 KG / M<sup>2</sup>  
CARGA DE VIENTO SUPERIOR = 0.000 KILOGRAMOS  
CARGA DE VIENTO INICIAL = 0.000 KILOGRAMOS

#### CONDICIONES FINALES :

TEMPERATURA FINAL = -10.000 GRADOS C  
PRESION DE VIENTO FINAL = 34.000 KG / M<sup>2</sup>  
CARGA DE VIENTO FINAL = 0.000 KILOGRAMOS

\*\*\*\*\* R E S U L T A D O \*\*\*\*\*

TENSION FINAL = 561.097 KILOGRAMOS

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* R E S U L T A D O S \*\*\*\*\*

CONDICIONES INICIALES :

CALIBRE Y TIPO DEL CONDUCTOR = 0 A 80 CUBRE

CONDICIONES INICIALES :

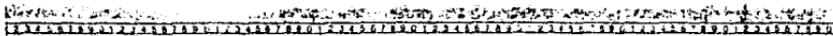
TEMPERATURA INICIAL = 10.000 GRADOS C  
LONGITUD DE HILO = 2,222.000 METROS  
PRESION DE VIENTO INICIAL = 0.000 KG / CM<sup>2</sup>  
CARGA DE HILO SUPUESTA = 05.000 KILOGRAMOS  
CARGA DE HILO INICIAL = 0.000 KILOGRAMOS

CONDICIONES FINALES :

TEMPERATURA FINAL = 50.000 GRADOS C  
PRESION DE VIENTO FINAL = 0.000 KG / CM<sup>2</sup>  
CARGA DE HILO FINAL = 0.000 KILOGRAMOS

\*\*\*\*\* R E S U L T A D O S \*\*\*\*\*

TENSION FINAL = 175.012 KILOGRAMOS



## CONCLUSIONES

En la planeación, proyecto, construcción y operación de los sistemas eléctricos de potencia, intervienen varios elementos, que van desde la decisión de las características principales de la línea de transmisión, basadas en los estudios de planeación, hasta las especificaciones de diseño, normalmente basadas en datos experimentales y la experiencia de operación expresada en forma estadística, pasando por la consideración de factores ambientales, como son, la corrosión, la contaminación, la presión barométrica, la velocidad del viento, etc. En términos generales, es necesario considerar los elementos que intervienen en la concepción global del sistema y que van desde los programas de expansión de la generación hasta los programas de estimación del costo de la producción, partiendo de que la base de la Ingeniería Eléctrica ha sufrido cambios notables en los últimos años, producto de un acelerado desarrollo tecnológico, particularmente en la generación y la transmisión de energía eléctrica.

En la actualidad, prácticamente todas las técnicas empleadas, están basadas en el desarrollo de modelos matemáticos y técnicas computacionales, ya que las computadoras, desempeñan un papel importante en la Ingeniería.

R E F E R E N C I A S

- 1.- REDES ELECTRICAS, Primera parte  
Jacinto Viqueira Landa  
Representaciones y servicios de ingeniería, S. A.
- 2.- ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA  
William D. Stevenson  
Mc. Graw Hill 2a. edición
- 3.- COORDINACION DE AISLAMIENTO  
Comisión Federal de Electricidad  
Especificación CFEL0000-06
- 4.- INTRODUCCION A LA MECANICA DE SOLIDOS  
Edgar P. Popov  
Limusa
- 5.- RESISTENCIA DE MATERIALES  
Fredd B. Steely  
Hispano Americana
- 6.- NORMAS DE DISTRIBUCION CONSTRUCCION  
Comisión Federal de Electricidad
- 7.- METODO PARA EL CALCULO DE LIMITACIONES MECANICAS  
Y ELECTRICAS DE ESTRUCTURAS TIPO EN DISTRIBUCION  
Comisión Federal de Electricidad

- 8.- METODOS NUMERICOS APLICADOS A LA COMPUTACION  
DIGITAL CON FORTRAN  
M.L. James, G.M. Smith J.C. Wolford  
Representaciones y servicios de ingenieria, S. A.  
International Textbook Company
  
- 9.- FORTRAN 77 UN ESTILO ESTRUCTURADO Y DISCIPLINADO  
Gordon B. Davis, Thomas R. Hoffman  
Mc. Graw. Hill
  
- 10.- GRAFICAS Y TABLAS PARA EL CALCULO DE LINEAS DE TRANSMI-  
SION y SUBESTACIONES  
Representaciones y servicios de ingenieria, S. A.\*
  
- 11.- ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION  
REFERENCE BOOK  
Westinghouse Electric Coporation
  
- 12.- CABLES PARA LINEAS AEREAS  
Condumex
  
- 13.- REGLAMENTO DE OBRAS E INSTALACIONES ELECTRICAS  
Ediciones Andrade