



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

"ARAGON"

98

**Criterios para la Selección de los Elementos
de Líneas de Transmisión en Alta
y Extra Alta Tensión.**

Sist. 29246

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICO
P R E S E N T A**

ARTURO OSORIO SANCHEZ

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIDAD ACADÉMICA DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGÓN
INGENIERÍA

San Juan de Aragón, Edo. de Méx., 19 de Mayo de 1983

Tesis que desarrollará el Sr. (la Srta.) OSORIO

SANCHEZ ARTURO

CARRERA ING. MECANICA ELECTRICA

TITULO:

CRITERIOS PARA LA SELECCION DE LOS ELEMENTOS DE LINEAS DE
TRANSMISION EN ALTA Y EXTRA ALTA TENSION

CAPITULOS:

INTRODUCCION

I.-DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS DE UNA LINEA DE TRANSMISION

II.-DISPOSICIONES BASICAS PARA SELECCION DE AISLAMIENTO

III.-CONDUCTORES

IV.-ELEMENTOS DE SUJECION Y SOPORTE

V.-BLINDAJE

CONCLUSIONES

UNIDAD ACADÉMICA
ENGE. ARAGÓN
U. N. A. M.

JUL 1 4 53 PM '83

ING. JUAN A. GOMEZ VELAZQUEZ
COORDINADOR DE INGENIERIA

ING. PASCUAL RIVERA MUÑOZ
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

A mis padres.

Omar Osorio Ramírez

Guadalupe Sánchez de Osorio

Por darme la oportunidad y el apoyo
para estudiar.

A mis tíos.

Benjamín Ledezma Ramírez

Hermila Sánchez de Ledezma

Manuel Ayala Benítez

Yolanda Sánchez de Ayala

Por su valiosa ayuda y consideración
durante mi estancia en la Cd. de México.

A mi esposa

Laura

Por su apoyo y ayuda durante la
elaboración de esta Tesis.

A mi director de Tesis

Ing. Pascual Rivera Muñoz

Por sus vallosos consejos e información.

C O N T E N I D O

INTRODUCCION

CAPITULO I DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS DE UNA LINEA DE TRANSMISION

- 1.-GENERALIDADES
- 2.-CONDUCTORES
 - 2.1.-VIBRACION EOLICA
 - 2.2.-VIBRACION DE SUBCONDUCTORES
 - 2.3.-VIBRACION CORONA
 - 2.4.-VIBRACION GALOPANTE
- 3.-AISLADORES
- 4.-SOPORTES
- 5.-ELEMENTOS DE SUJECION O HERRAJES
- 6.-BLINDAJE O HILO DE GUARDA
- 7.-DERECHO DE VIA

CAPITULO II DISPOSICIONES BASICAS PARA SELECCION DE AISLAMIENTO

- 1.-GENERALIDADES
- 2.-SOBRETENSIONES ORIGINADAS POR DESCARGAS ATMOSFERICAS
- 3.-SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS DE INTERRUPTORES
- 4.-TENSIONES A FRECUENCIA NOMINAL
- 5.-CARACTERISTICAS DE LA CONTAMINACION EN EL MEDIO AMBIENTE
- 6.-SELECCION DE LAS DISTANCIAS DE AISLAMIENTO Y CADENAS DE AISLADORES

CAPITULO III CONDUCTORES

- 1.-GENERALIDADES
- 2.-CARACTERISTICAS MECANICAS
- 3.-PERDIDAS DE ENERGIA POR CAIDAS DE TENSION EN LAS IMPEDANCIAS DE LINEA
- 4.-PERDIDAS DE ENERGIA POR EFECTO CORONA

CONTENIDO

Capítulo IV

ELEMENTOS DE SUJECION Y SOPORTE

1.-GENERALIDADES

2.-ELEMENTOS DE SUJECIÓN

2.1.-ABRAZADERAS

2.2.-YUGOS

2.3.-CONECTORES

2.4.-SEPARADORES DE CONDUCTORES

3.-SELECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE

3.1.-DIMENSIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

3.1.1.-DISTANCIAS MÍNIMAS DE AISLAMIENTO

3.1.2.-DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE FASES

3.1.3.-CARGAS MECÁNICAS

3.1.4.-LIBRAMIENTOS NECESARIOS ENTRE LOS CONDUCTORES Y EL PLANO DE TIERRA

3.1.5.-RESISTENCIA DEL PIE DE LA ESTRUCTURA

3.2.-LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE

3.2.1.-MÉTODO MANUAL

3.2.1.1.-TRAZO DEL PERFIL TOPOGRÁFICO DE LA RUTA

3.2.1.2.-CÁLCULO DE FLECHAS Y TENSIONES

3.2.1.3.-DETERMINACIÓN DEL CLARO REGULADOR

3.2.1.4.-ELABORACIÓN DE LA PLANTILLA

3.2.1.5.-LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS Y ALTURAS DE LAS MISMAS

3.2.2.-MÉTODO COMPUTACIONAL

Capítulo V

BLINDAJE

1.-GENERALIDADES

2.-DISPOSICIÓN DE LOS CABLES DE GUARDA PARA UN BLINDAJE ADECUADO

3.-CÁLCULO DE CONTRA-ANTENAS

INTRODUCCION

LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA SE DA POR LO REGULAR EN LUGARES LEJANOS A LAS ZONAS DE CONSUMO, TAL ES EL CASO, POR EJEMPLO, DE LA PLANTA HIDROE--
LÉCTRICA "ING. MANUEL MORENO TORRES" EN CHICOASÉN, CHIS., O EL TOBAYÍA EN --
CONSTRUCCIÓN PROYECTO HIDROELÉCTRICO "ING. CARLOS RAMÍREZ ULLOA" EN EL CA--
RACOL GRO., LOS CUALES POR SU LOCALIZACIÓN EN REGIONES MONTAÑOSAS Y CON --
DIFÍCIL ACCESO HACEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA UN PROBLEMA GRANDE.

LA RED DE TRANSMISIÓN VA COBRANDO UNA IMPORTANCIA CAPITAL, TODA VEZ QUE --
LAS FUENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA SE VAN LOCALIZANDO EN ZONAS APARTADAS Y
LAS DEMANDAS DE LOS CONSUMIDORES SE VAN DIVERSIFICANDO.

LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN FORMAN LA PARTE MEDULAR DE UNA RED DE TRANSMI--
SIÓN, EN SU DISEÑO SE CONTEMPLAN MUCHOS ASPECTOS TANTO TÉCNICOS COMO ECO--
NÓMICOS Y UNA ADECUADA COMPENSACIÓN DE ELLOS DARÁ COMO RESULTADO UNA FUN--
CIONAL Y COSTEABLE RED DE TRANSMISIÓN.

EL TÍTULO DE ESTE TRABAJO DE RECOPIACIÓN ES POR DEMÁS SUGESTIVO, EN ÉL SE
HAN AGRUPADO LOS CRITERIOS EMPLEADOS POR LOS INGENIEROS DE DISEÑO DE LAS --
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE LA RED NACIONAL, UN ANÁLISIS DETALLADO DE ESTOS --
CRITERIOS DARÁ LA PAUTA A SEGUIR EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS FUTURAS LÍNEAS
DE TRANSMISIÓN EN EL PAÍS.

EN EL PRIMER CAPÍTULO SE DA UNA DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE FORMAN --
UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, QUIZÁ MUY GENERAL PERO BÁSICA PARA EL ENTENDIMI--
ENTO FUTURO DE LOS SIGUIENTES CAPÍTULOS.

EN EL CAPÍTULO II, SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS MEDIANTE LOS CUALES SE OB--
TIENEN LAS DISTANCIAS DE AISLAMIENTO ADECUADAS A LAS TENSIONES QUE SE TEN--
GAN QUE MANEJAR.

EL CAPÍTULO III, SE DEDICA A LOS CONDUCTORES Y LOS CRITERIOS QUE SE SIGUEN
PARA LOGRAR UNA BUENA ELECCIÓN DEL TIPO DE CONDUCTOR Y LAS CONFIGURACIONES
DE LOS HACES Y DE LAS FASES DE LA LÍNEA.

EN EL CAPÍTULO IV, SE DAN A CONOCER LOS DIFERENTES ELEMENTOS DE SUJECIÓN -- DE UTILIDAD EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN ASÍ COMO LOS CRITERIOS MEDIANTE -- LOS CUALES SON SELECCIONADOS, DE IGUAL MANERA SE ANALIZAN LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN Y LA FORMA DE LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE.

POR ÚLTIMO, EN EL CAPÍTULO V SE HACE REFERENCIA AL BLINDAJE DE LA LÍNEA, - SE DAN LAS FORMAS EN QUE ÉSTE SE LOGRA Y LOS CRITERIOS A SEGUIR EN SU REALIZACIÓN.

CAPITULO I

DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS DE UNA LINEA DE TRANSMISION

1.-GENERALIDADES

LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS ESTÁN COMPUESTAS DE CONDUCTORES, AISLADORES, ELEMENTOS DE SUJECIÓN, SOPORTES Y EL BLINDAJE O PROTECCIÓN CONTRA DES CARGAS ATMOSFÉRICAS. HAY ADEMÁS OTRO ELEMENTO QUE DEBE TOMARSE EN CUENTA, Y ES EL DERECHO DE VÍA, EL CUAL SE CONSIDERA COMO PARTE DE LA LÍNEA, YA -- QUE DE UNA U OTRA FORMA, CUALQUIER ACTIVIDAD DESARROLLADA EN EL ÁREA CER-- CANA A ÉSTA, PUEDE AFECTAR LA TRANSMISIÓN. ES TAMBIÉN UNO DE LOS ASPECTOS QUE MÁS SE TOMAN EN CUENTA PARA EL DISEÑO Y TRAZO DE LA RUTA.

2.-CONDUCTORES

LOS CONDUCTORES SON LA PARTE MÁS ESENCIAL DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, INCLUSO SE PUEDE DECIR QUE ÉLLOS SON LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN Y LOS DEMÁS ELE MENTOS ACCESORIOS DE AISLAMIENTO, SOPORTE Y SEGURIDAD.

TOMANDO EN CUENTA QUE EN LA TRANSMISIÓN DE ENERGÍA EN ALTAS Y EXTRA-ALTAS TENSIONES, LOS CLAROS ENTRE TORRES SON BASTANTE GRANDES, LA ELECCIÓN DEL - MATERIAL CONDUCTOR QUE SE HA DE UTILIZAR SE HACE EN BASE A SU RAZÓN DE - FORTALEZA-PESO, SIN OLVIDAR QUE DICHO MATERIAL DEBERÁ SER ECONÓMICO Y DE - BAJA RESISTENCIA ELÉCTRICA. EL ALUMINIO CUMPLE CON MUCHA EFECTIVIDAD ESTOS REQUISITOS Y ES EN LA ACTUALIDAD EL MATERIAL MÁS COMUNMENTE USADO.

EN LOS LUGARES QUE NO TIENEN PROBLEMAS DE VIENTO, NIEVE O HIELO, SE LE HA ESTADO DANDO PREFERENCIA A LOS CONDUCTORES DE ALUMINIO PURO (ACC).POR OTRA PARTE, EN ÁREAS DE CONDICIONES CLIMÁTICAS ADVERSAS, SE UTILIZA EL CONDU--

TOR DE ALUMINIO REFORZADO CON ACERO (ACSR). ESTOS SON CONDUCTORES FORMADOS CON ALAMBRES DE ALUMINIO TRENZADOS ALREDEDOR DE UN NÚCLEO DE REFUERZO HECHO CON ALAMBRES DE ACERO, LO QUE DA UNA MAYOR RESISTENCIA A LA TENSIÓN MECÁNICA AUMENTANDO LA RAZÓN DE FORTALEZA-PESO.

EXISTE UNA GRAN VARIEDAD DE CALIBRES NORMALIZADOS PARA LOS CONDUCTORES ACSR LOS CUALES SE ELIGEN TOMANDO EN CUENTA LAS DISTANCIAS ENTRE TORRES, LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL LUGAR, LOS NIVELES DE TENSIÓN DE TRANSMISIÓN, ETC. LAS VIBRACIONES EXCESIVAS QUE SE PRESENTAN EN LOS CONDUCTORES PUEDEN PROVOCAR SU ROMPIMIENTO, POR ESTA RAZÓN SE HACE NECESARIO EL AJUSTE DE UNA TENSIÓN MECÁNICA ADECUADA Y MUCHAS VECES EL USO DE AMORTIGUADORES DE VIBRACIÓN EN LOS LUGARES DE VIENTOS EXTREMOSOS.

SE PRESENTAN CUATRO TIPOS DE VIBRACIÓN EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y SON LAS SIGUIENTES.

2.1.-VIBRACIÓN EÓLICA

ESTA VIBRACIÓN SE DEBE AL VÓRTICE VON KARMAN DIFUNDIDO SOBRE EL LADO DE SOTAVENTO DE UN OBJETO CILÍNDRICO EN EL VIENTO Y PUEDE SER DISMINUIDA USANDO AMORTIGUADORES DE CONTRAPESO, LOS CUALES SON PÉNDULOS ARREGLADOS DE TAL MANERA QUE DETIENEN LA VIBRACIÓN DEL CONDUCTOR ABSORVIENDO LA ENERGÍA QUE LE DA EL VIENTO.

OTRO MEDIO PARA REDUCIR ESTE TIPO DE VIBRACIÓN ES LA DE CONSTRUIR EL CABLE DE TAL FORMA QUE TENGA UNA ALTA FRICCIÓN INTERNA.

2.2.-VIBRACIÓN DE SUBCONDUCTORES

SON VIBRACIONES QUE SE PRESENTAN SOLO EN LÍNEAS CON HACES DE CONDUCTORES, ES PROVOCADA POR EL DESLIZAMIENTO DEL VIENTO SOBRE UN CONDUCTOR DE SOTAVENTO, ÉSTE ROMPE EL FLUJO LAMINAR DEL VIENTO AFECTANDO A LOS CONDUCTORES ADYACENTES DÁNDOLES MOVIMIENTOS, TANTO VERTICALES COMO HORIZONTALES. LAS VIBRACIONES SUELEN SER TAN SEVERAS QUE PUEDEN CAUSAR LA ROTURA DE LOS ESPACIADORES E INCLUSIVE EL ROMPIMIENTO DEL CONDUCTOR EN LOS PUNTOS DE SUSPENSIÓN.

2.3.-VIBRACIÓN CORONA

SE PRESENTA EN LUGARES HÚMEDOS, DONDE LAS GOTAS ADHERIDAS AL CONDUCTOR EN LA PARTE BAJA SON FORZADAS A SEPARARSE POR UNA ACCIÓN DE EXPULSIÓN DEL CAMPO ELECTROSTÁTICO DEL FONDO, ESTO CREA DESPLAZAMIENTOS DE Poca AMPLITUD QUE NO AFECTAN EN GRAN MEDIDA A LA LÍNEA.

2.4.- VIBRACIÓN GALOPANTE

SE ORIGINA CUANDO LA SUPERFICIE DEL CONDUCTOR EN CONTACTO CON EL AIRE ES NO UNIFORME, LO QUE OCURRE SI SE LE ADHIEREN CAPAS DE HIELO. TAMBIÉN SE PRESENTA CUANDO EL VIENTO SOPLA EN CONTRA DEL HELICOIDAL FORMADO POR LOS HILOS -- DEL CONDUCTOR DE TAL FORMA QUE SE DESPLAZA DE ARRIBA HACIA ABAJO Y VICEVERSA CREANDO SEVEROS MOVIMIENTOS.

LA RADIOINTERFERENCIA Y LAS PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA TAMBIÉN SON PROBLEMAS FRECUENTES EN LAS LÍNEAS DE ALTAS TENSIONES; SE PRESENTAN CUANDO EL GRADIENTE DE TENSIÓN EN LA SUPERFICIE DEL CONDUCTOR ES DEMASIADO ALTO. SE CONSIDERA ACEPTABLE UN GRADIENTE DE TENSIÓN MENOR DE 23 KV/CM.

PARA MINIMIZAR LOS EFECTOS DE ESTE FENÓMENO ES POSIBLE UTILIZAR CONDUCTORES DE CONSTRUCCIÓN ESPECIAL CON DIÁMETROS GRANDES. CON ESTA FINALIDAD SE HAN DISEÑADO LOS CONDUCTORES CON RELLENOS DE PAPEL TRATADO O LOS CABLES DE CONSTRUCCIÓN HUECA. SIN EMBARGO, TIENEN LA DESVENTAJA DE QUE SU MANEJO DEBE HACERSE CON MUCHO CUIDADO PARA EVITAR TORSIONES QUE LES HAGAN PERDER SUS CARACTERÍSTICAS FAVORABLES, POR ESTA RAZÓN NO SE HA HECHO COMÚN SU UTILIDAD A PESAR DE TENER LA VENTAJA DE REQUERIR HERRAJES MÁ S IMPLES QUE LOS AGRUPAMIENTOS DE CONDUCTORES.

LA SOLUCIÓN QUE GENERALMENTE SE LE DA A ESTOS PROBLEMAS, ES EL USO DE DOS O MÁ S CONDUCTORES POR FASE CON LO QUE SE OBTIENE UNA DISMINUCIÓN EN EL GRADIENTE DE TENSIÓN.

EN LOS AGRUPAMIENTOS DE CONDUCTORES SE DEBEN INSTALAR SEPARADORES PARA MANTENER EL ESPACIAMIENTO ENTRE ELLOS. ESTO SE HACE A INTERVALOS DE 50 A 75 -- MTS. EN CADA CLARO, DE ESA MANERA SE PREVIENEN LOS BAÑOS QUE SE PODRÍAN OCASIONAR AL CHOCAR ENTRE SÍ EMPUJADOS POR LA FUERZA DEL VIENTO.

LOS HACES DE CONDUCTORES ESTÁN SUJETOS A LAS MISMAS CARGAS DE HIELO Y VIENTO QUE UN SOLO CONDUCTOR DE SECCIÓN TRANSVERSAL EQUIVALENTE, POR LO QUE SE

REQUIEREN TORRES MÁS RESISTENTES Y DE MAYORES DIMENSIONES ASÍ COMO HERRAJES MÁS COMPLEJOS.

AUNQUE SE ESTÁ HACIENDO PRÁCTICA COMÚN EL USO DE HAZ DE CONDUCTORES, AÚN NO ES POSIBLE DECIR CON UNA EXACTITUD DEL 100%, CUAL ES EL NÚMERO DE CONDUCTORES POR FASE ADECUADO PARA UN DETERMINADO NIVEL DE TENSIÓN.

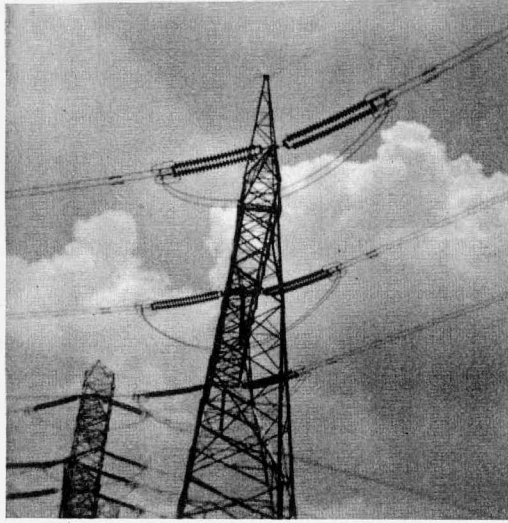
SIN EMBARGO, SE HA VISTO QUE EN LÍNEAS CON TENSIONES MENORES A 230 KV, ES MÁS ECONÓMICO UTILIZAR SOLO UNO O DOS CONDUCTORES POR FASE. EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE 400 KV, NORMALMENTE SE USAN DOS O MÁS CONDUCTORES POR FASE Y ES FACTIBLE QUE A MEDIDA QUE SE INCREMENTEN LAS TENSIONES DE TRANSMISIÓN, EL NÚMERO DE CONDUCTORES TENGA QUE AUMENTARSE. EN LA FIGURA 1.1.A, SE OBSERVAN TORRES PARA LÍNEAS DE 400 KV, EN LA ZONA DE CHICHOASEN, CHIS., EN LAS QUE SE TIENEN DOS CONDUCTORES POR FASE. EN LA FIGURA 1.1.B, SE MUESTRA UNA PRUEBA SOBRE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 1500 KV CON 12 CONDUCTORES POR FASE.

3.- AISLADORES

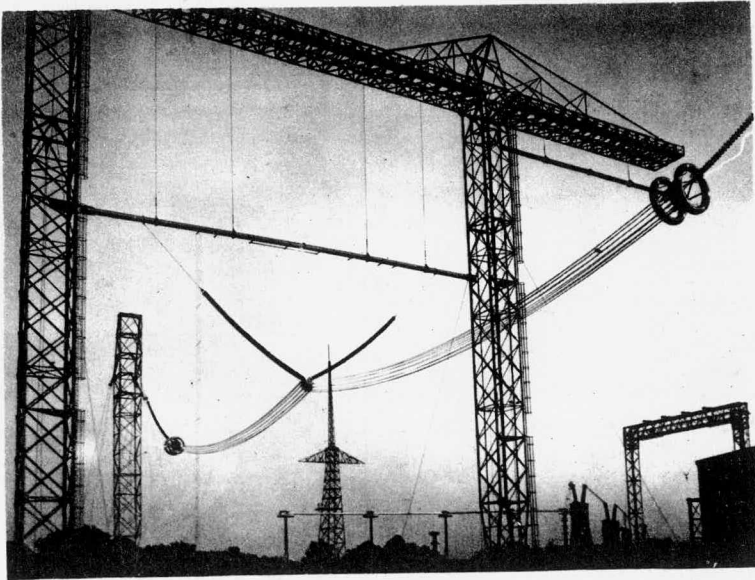
LOS AISLADORES PROPORCIONAN AISLAMIENTO Y SOSTÉN A LOS CONDUCTORES, MANTENIÉNDOLOS EN POSICIÓN APROPIADA Y A DISTANCIAS CONVENIENTES DE OTROS CONDUCTORES Y DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE.

LOS AISLADORES QUE SE UTILIZAN ACTUALMENTE EN ALTAS Y EXTRA-ALTAS TENSIONES SON LOS DEL TIPO DE SUSPENSIÓN CON UNIÓN POR CALAVERA Y BOLA O POR HORQUILLA Y PERNO, LOS CUALES SE FABRICAN DE MATERIAL PORCELANIZADO Y SE ENCADENAN UNOS A OTROS HASTA OBTENER LOS NIVELES DE AISLAMIENTOS REQUERIDOS. EN LA FIGURA 1.2, SE OBSERVAN LAS PARTES DE UN AISLADOR DE SUSPENSIÓN DEL TIPO DE UNIÓN CON CUENCA Y BOLA. EN LA FIGURA 1.3, SE MUESTRA UNO CUYA UNIÓN A OTRO SE HACE POR MEDIO DE UNA HORQUILLA. AMBOS UTILIZAN EL MISMO PRINCIPIO DE SUSPENSIÓN QUE CONSISTE EN HACER ACTUAR SOBRE ELLOS FUERZAS DE COMPRESIÓN Y NO DE TENSIÓN COMO EN LOS ANTIGUAMENTE USADOS.

LOS AISLADORES NORMALES DEBEN SER LO BASTANTE RESISTENTES PARA SOPORTAR EL PESO DE LOS CONDUCTORES DE CUALQUIER TRAMO DE LARGO NORMAL, LA FUERZA DEL VIENTO O CARGAS EXTRAS COMO SOBREPESO POR ACUMULACIÓN DE HIELO SOBRE EL CONDUCTOR. EN TORRES AMORTIGUADORAS ES NECESARIO UTILIZAR MÁS DE UNA CADENA DE AISLADORES EN PARALELO PARA QUE PUEDAN SOPORTAR LOS ESFUERZOS EXCESIVOS QUE OCASIONALMENTE SE PRESENTAN EN ELLAS. TAMBIÉN EN TRAMOS EXTRA LARGOS, COMO



(A)



(B)

FIG.1.1 LINEAS DE TRANSMISION CON HACES DE CONDUCTORES. (A), LINEA CON DOS CONDUCTORES POR FASE.(B), PRUEBAS SOBRE UN HAZ DE DOCE CONDUCTORES A UNA TENSION DE 1500 KV.

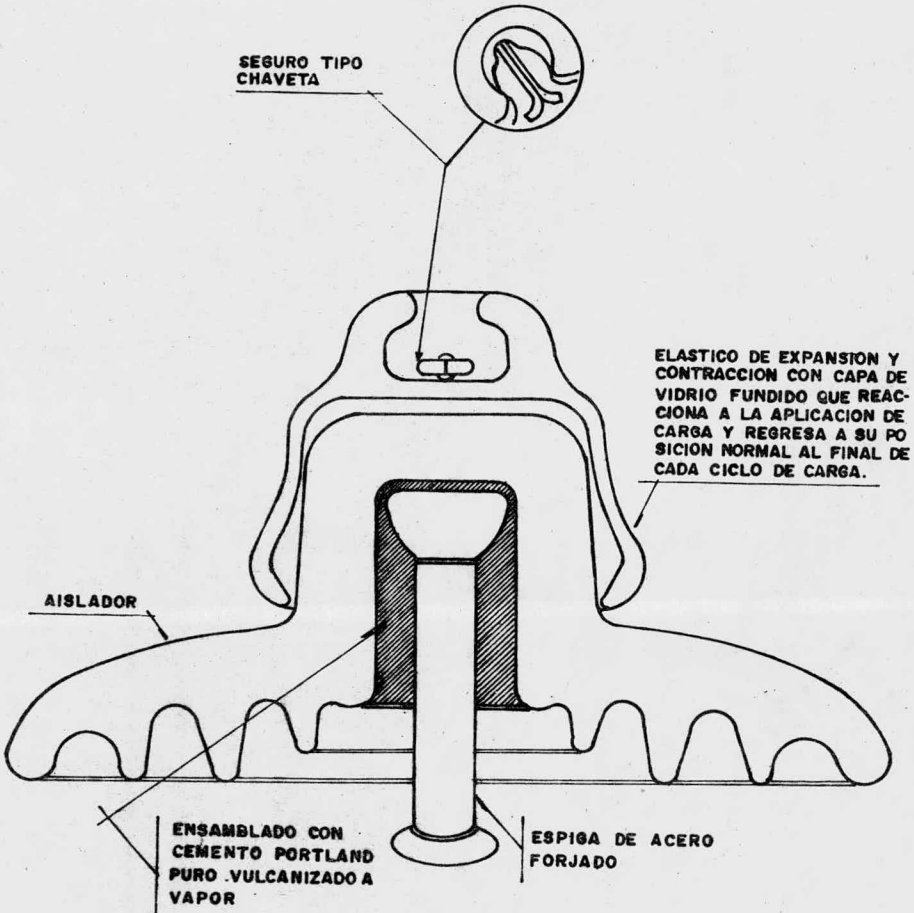


FIG. 1.2 PARTES PRINCIPALES DE UN AISLADOR DE SUSPENSION CON CONEXION POR CUENCA Y BOLA.

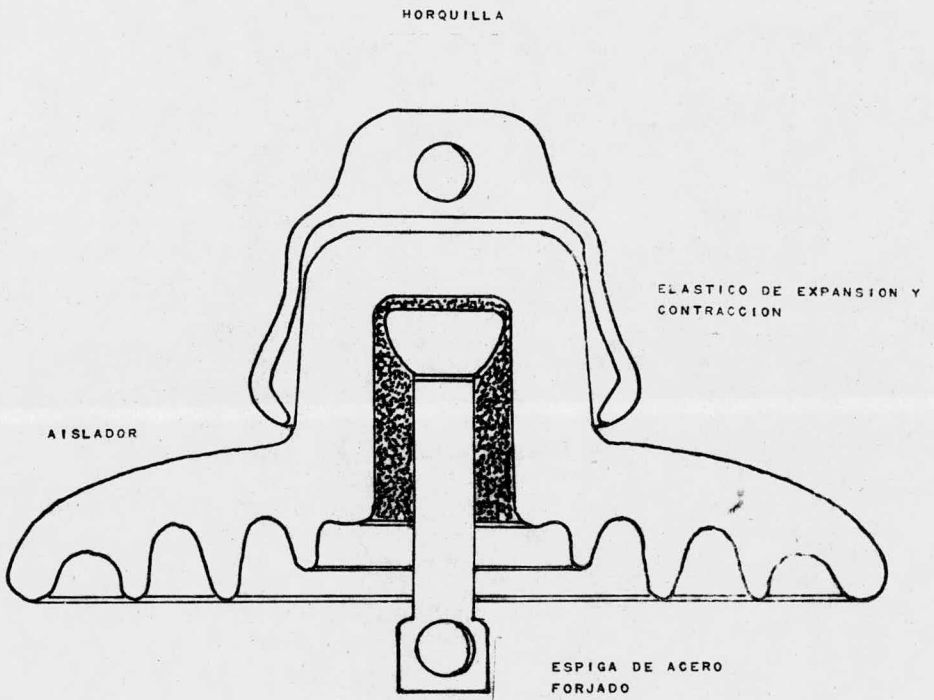


FIG. 1.3 PARTES PRINCIPALES DE UN AISLADOR DE SUSPENSION CON CONEXION POR PERNO Y HORQUILLA.

POR EJEMPLO: CRUCES DE RÍOS O PROFUNDIDADES, SE DEBEN REQUERIR VARIAS CADENAS EN PARALELO O CON ARREGLOS ESPECIALES, PARA IGUALAR LAS TENSIONES MECÁNICAS EN ELLOS.

EN AMBIENTES CONTAMINADOS ES NECESARIA LA UTILIDAD DE AISLADORES ESPECIALES COMO SON LOS AISLADORES DE ALTA DISTANCIA DE FUGA Y LOS AISLADORES "NIEBLA" LOS CUALES TIENEN CARACTERÍSTICAS QUE LOS HACEN MENOS VULNERABLES A LOS CONTAMINANTES.

SE ACEPTA GENERALMENTE QUE EL DETERIORO DEL AISLAMIENTO DE UN AISLADOR EN ATMÓSFERAS CONTAMINADAS, ES UNA FUNCIÓN DIRECTA DE LA DISTANCIA DE FUGA, -- POR ESTA RAZÓN SE LE DA A ESTOS TIPOS UNA ALTA DISTANCIA DE FUGA. EL USO DE ESTOS AISLADORES PROPORCIONA UN AISLAMIENTO SATISFACTORIO A LAS LÍNEAS EN AMBIENTES CONTAMINADOS DÁNDOLES MAYORES PERÍODOS DE UTILIDAD QUE LOS AISLADORES NORMALES. LAS FIGURAS 1.4, (A) Y (B), MUESTRAN DOS TIPOS DE ESTOS AISLADORES.

EL TAMAÑO Y FORMA DE LOS AISLADORES DEPENDE DE LA TENSIÓN DE OPERACIÓN Y -- DEBEN SER LO SUFICIENTEMENTE GRANDES PARA IMPEDIR QUE SE FORMEN ARCOS DESDE EL CONDUCTOR HASTA LA ESTRUCTURA.

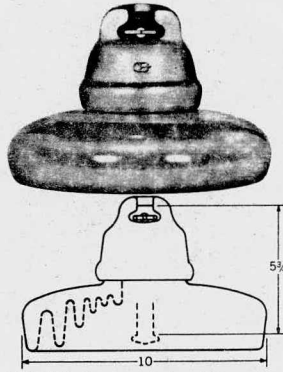
LAS CADENAS DE AISLADORES SE PUEDEN ARREGLAR EN DIVERSAS FORMAS, SEGÚN SEAN LOS REQUERIMIENTOS DE LAS LÍNEAS, PARA TORRES DE SUSPENSIÓN, POR EJEMPLO, -- SE PUEDEN SEGUIR LOS ARREGLOS EN "V" O EN HILERAS VERTICALES DE AISLADORES. DESDE EL PUNTO DE VISTA DE CONTAMINACIÓN, LAS HILERAS EN "V" SON MÁS EFECTIVAS QUE LAS CADENAS VERTICALES A CAUSA DE SUS POSIBILIDADES DE LIMPIEZA, YA QUE AMBOS LADOS DE CADA AISLADOR ESTÁN EXPUESTOS A LA LLUVIA LO QUE PERMITE A LOS CONTAMINANTES SER ESPARCIDOS MÁS FACILMENTE.

EN LA FIGURA 1.5.A, SE OBSERVAN ESTRUCTURAS DE SOPORTE CON CADENAS DE AISLADORES VERTICALES.

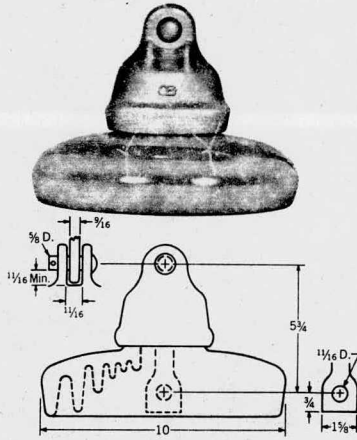
EL ARREGLO EN "V" HORIZONTAL DE LA FIGURA 1.5.B, REDUCE ADEMÁS EL ESPACIO -- DE LAS ESTRUCTURAS.

4.- SOPORTES

LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE PUEDEN SER TORRES O POSTES, CUALQUIERA DE ELLAS DEBE SER LO SUFICIENTEMENTE FUERTE PARA SOPORTAR EL PESO DE LOS CONDUCTORES E HILOS DE GUARDA, INCLUYENDO SUS RESPECTIVAS CARGAS PROVOCADAS POR LA FUER



(A)



(B)

FIG. 1.4 AISLADORES DE SUSPENSION CON ALTA DISTANCIA DE FUGA, ESPECIALES, DEL TIPO "SMOG" PARA ZONAS CON TAMINADAS. (A), CONEXION POR CUENCA Y BOLA; -- (a), CONEXION POR HORQUILLA.

ZA DEL VIENTO Y EL PESO DEL HIELO ACUMULADO. POR ESTO EN LA SELECCIÓN DE -- SOPORTES SE DEBERÁN CONSIDERAR LAS PEORES CONDICIONES DE HIELO Y VIENTO EN LA REGIÓN.

POR SU FUNCIÓN SE PUEDEN AGRUPAR LAS ESTRUCTURAS EN TRES TIPOS DIFERENTES: LAS TORRES O POSTES DE SUSPENSIÓN, LAS DE TENSIÓN Y LAS DE REMATE.

LAS TORRES O POSTES DE SUSPENSIÓN REÚNEN JUSTAMENTE LOS REQUISITOS MÍNIMOS DE FORTALEZA Y SON USADAS SOLO EN SECCIONES RECTAS DE LA LÍNEA; ALGUNAS VECES SE CONSTRUYEN ESTE TIPO DE ESTRUCTURAS DÁNDOLES UN MAYOR MARGEN DE RESISTENCIA COMO PARA SOPORTAR LA TENSIÓN PROVOCADA POR LA ROTURA DE UNO O -- DOS DE LOS ALAMBRES CONDUCTORES O HILOS DE GUARDA.

LAS TORRES DE TENSIÓN SE INSTALAN A DISTANCIAS APROPIADAS SEGÚN SEA LA CONFIGURACIÓN DEL TERRENO Y ESTÁN DISEÑADAS PARA RESISTIR LOS TIRONES ORIGINADOS POR EL ROMPIMIENTO DE DOS O MÁS CONDUCTORES O HILOS DE GUARDA. POR ESTA RAZÓN SU ESTRUCTURA ES DE MAYOR FORTALEZA Y SU BASAMENTO DE UNA GRAN SOLIDIDAD. ESTAS TORRES TAMBIÉN SON USADAS PARA SER INSTALADAS EN LOS PUNTOS DE CAMBIOS DE DIRECCIÓN EN LA TRAYECTORIA DE LA LÍNEA.

LAS TORRES DE REMATE SON LAS ESTRUCTURAS MÁS SÓLIDAS, PUES SOPORTAN LA TENSIÓN DE TODOS LOS CONDUCTORES EN UNO DE SUS LADOS, SE INSTALAN AL FINAL DE LA LÍNEA Y PUEDEN SOPORTAR EL TIRÓN EN CASOS DE ROMPIMIENTO DE TODOS LOS -- CONDUCTORES E HILOS DE GUARDA JUNTOS.

EL MATERIAL USADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE TORRES ES EL ACERO GALVANIZADO, AUNQUE EN ALGUNAS TORRES DE SUSPENSIÓN ESTE MATERIAL ES SUSTITUIDO POR ALUMINIO PARA DISMINUIR EL PESO.

LAS TORRES METÁLICAS SON MÁS FUERTES Y RÍGIDAS QUE LOS POSTES DE ACERO Y -- COMO ESTÁN CONSTITUIDAS POR UN NÚMERO RELATIVAMENTE PEQUEÑO DE ELEMENTOS UNIDOS POR TORNILLOS Y REMACHES, EL COSTO DE MANO DE OBRA ES BAJO. LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS MONTANTES LES PERMITE RESISTIR LOS ELEVADOS ESFUERZOS DE TORSIÓN QUE SE PRODUCEN CUANDO SE ROMPEN LOS CONDUCTORES.

LOS ASIENTOS DEBEN SER DE ZAPATAS DE HORMIGÓN, LO QUE ES NECESARIO SOBRE -- TODO SI EL TERRENO ES PANTANOSO. EL ANCLAJE SE HACE CON CONECTORES ESPECIALES PARA LOGRAR UN PERFECTO CONTACTO CON TIERRA. EN ALGUNOS LUGARES CON SUELOS DE RELATIVA DUREZA, SE PUEDEN REMACHAR PLACAS DE ASIENTO A LOS PIES DE LOS MONTANTES Y ENTERRARLOS DIRECTAMENTE EN FORMA DE CLAVOS.

EN LA ELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEBE RECONOCERSE QUE UNA CADENA DE AISLADORES EN SUSPENSIÓN, ES UN TANTO FLEXIBLE; ESTA FLEXIBILIDAD PERMITE AL CONDUCTOR CUMPLIARSE AL INCIDIR SOBRE ÉL UN VIENTO TRANSVERSO, CUANDO LA CA--

DENA DE AISLADORES ESTÁ AL MÁXIMO ÁNGULO POSIBLE DESDE LA VERTICAL, LA DIS TANCIA DESDE EL MIEMBRO DE LA TORRE MÁ S CERCA AL CONDUCTOR O A CUALQUIER -- PARTE METÁLICA CONECTADA ALLÍ, DEBERÁ SER SUFICIENTE PARA RESISTIR POR LO - MENOS TANTO COMO LA TENSION DE IMPULSO DE LOS MISMOS AISLADORES. ESTE REQUE RIMIENTO FIJA EL MÍNIMO ESPACIO HACIA LA CIMA DE LA TORRE, EL ESPACIAMIENTO ENTRE CONDUCTORES Y CONSECUENTEMENTE, LAS DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA.

PARA ALCANZAR UNA ECONOMÍA RENTABLE DE LA LÍNEA Y CONSIDERANDO LOS COSTOS - DE LAS TORRES, ES DESEABLE QUE LLEVE TAN POCAS COMO SEA POSIBLE.

SE DEBE LOGRAR UN BALANCE ADECUADO, YA QUE ENTRE MÁ S LARGOS SEAN LOS CLAROS MÁ S ALTAS DEBEN SER LAS TORRES PARA MANTENER LAS DISTANCIAS MÍNIMAS DE LAS CATENARIAS HACIA TIERRA. PARA TAL EFECTO SE TOMAN EN CUENTA FACTORES COMO - SON LA CONFIGURACIÓN DEL TERRENO, LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS, TENSION DE LA LÍNEA, ETC.

LOS POSTES PARA LÍNEAS DE ALTA TENSION SON POR LO GENERAL FABRICADOS DE - - ACERO Y VAN EMPOTRADOS SOBRE ZAPATAS DE HORMIGÓN. ESTE TIPO DE POSTE ES RE SISTENTE Y SI SE LE DA EL MANTENIMIENTO ADECUADO, TIENE UNA LARGA VIDA ÚTIL. NO REQUIERE DE MUCHO ESPACIO POR LO QUE SE EMPLEA EN ÁREAS URBANAS, A LO -- LARGO DE VÍAS FÉRREAS Y EN GENERAL EN LUGARES DONDE EL ESPACIO ES REDUCIDO. EN LAS FIGURAS 1.5, (A) Y (B), SE APRECIAN DOS ESTRUCTURAS DE SUSPENSIÓN, -- TORRE Y POSTE RESPECTIVAMENTE.

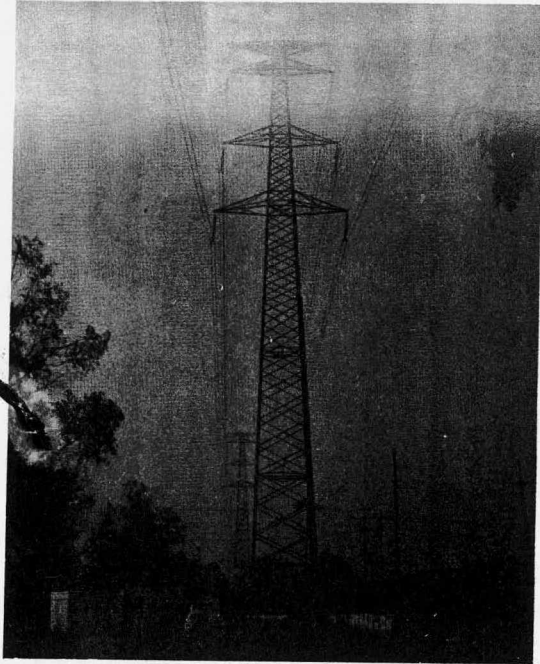
EN LAS FIGURAS 1.6, (A) Y (B), SE OBSERVAN UNA TORRE DE TENSION Y UNA DE RE MATE RESPECTIVAMENTE.

5.- ELEMENTOS DE SUJECIÓN O HERRAJES

LOS ELEMENTOS DE SUJECIÓN O HERRAJES SON TODOS LOS ELEMENTOS MENORES QUE SU JETAN LOS CONDUCTORES A LAS CADENAS DE AISLADORES Y ÉSTAS A LOS PUNTOS DE - APOYO DE LAS ESTRUCTURAS, LOS QUE FIJAN LOS HILOS DE GUARDA Y LOS SEPARADO RES DE HACES DE CONDUCTORES.

HAY UNA GRAN VARIEDAD DE ELEMENTOS DE SUJECIÓN, ALGUNOS DE ELLOS SE MUES TRAN EN LAS FIGURAS 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, Y 1.11.

PARA SUJETAR LOS CONDUCTORES SE DEBE EVITAR QUE EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO ENTRE CABLE Y HERRAJES, EXISTAN FRICCIONES QUE PUEDAN CAUSAR DESGASTES TAN TO EN UNO COMO EN OTRO, ESTO SE LOGRA USANDO ABRAZADERAS O GRAPAS DE SUSPEN



(A)

(B)

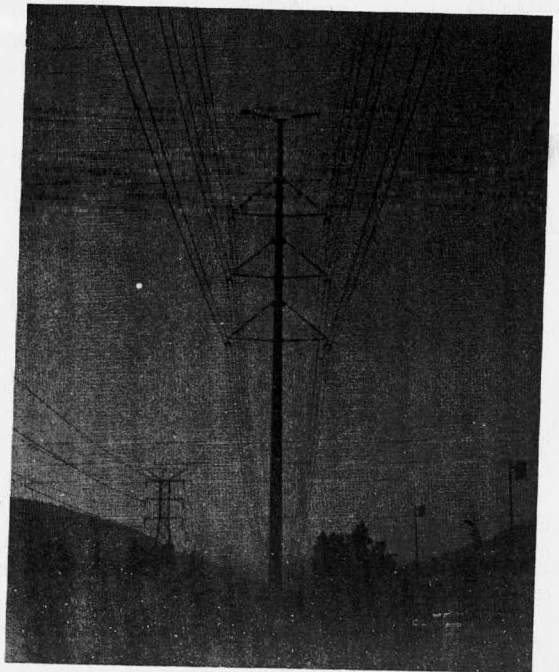
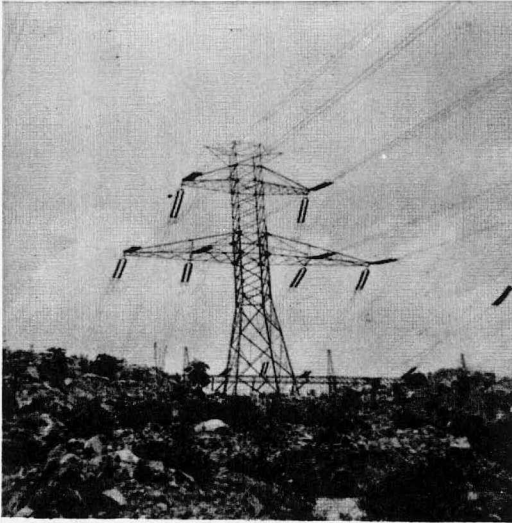
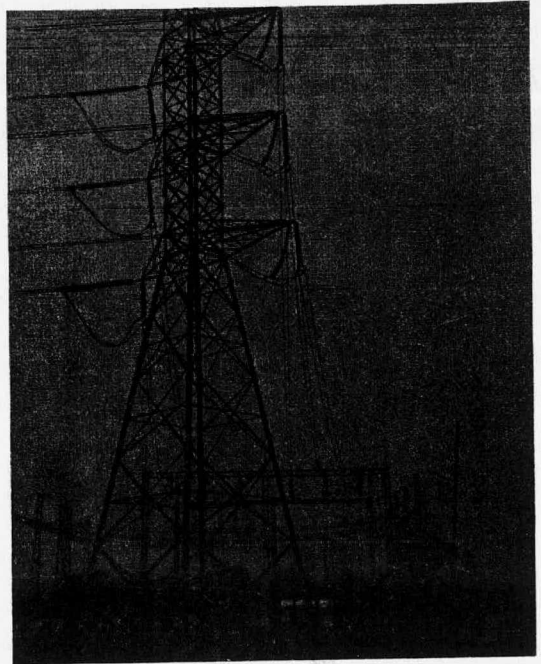


FIG.1.5. ESTRUCTURAS DE SOPORTE. (A), TORRE DE SUS PENSION; (B), POSTE - DE SUSPENSION.



(A)



(B)

FIG. 1.6. TORRE DE TENSION
(A); Y DE REMA
TE (B).

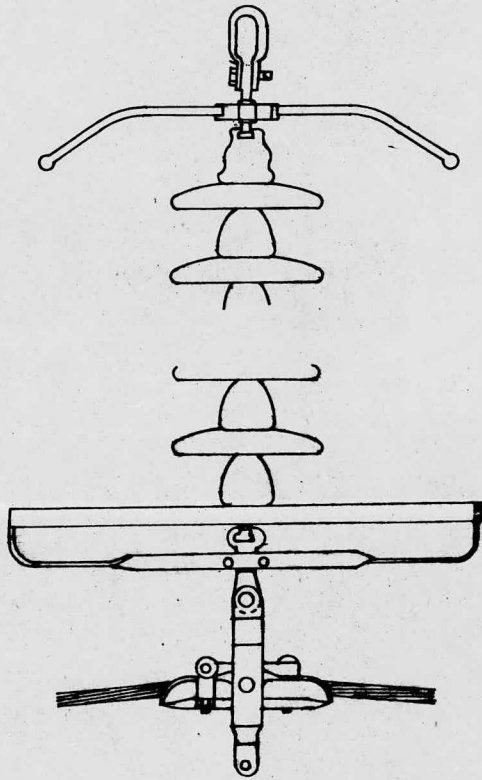


FIG. 1.7 HERRAJES PARA CADENA DE SUSPENSION SIMPLE Y UN SOLO CONDUCTOR.

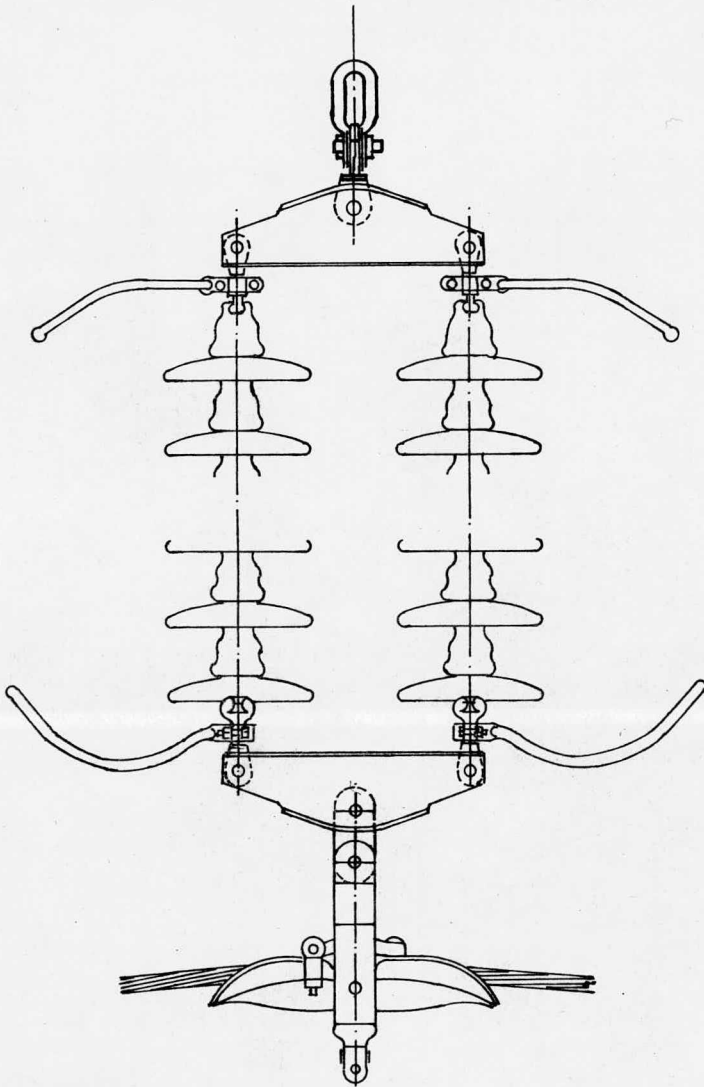


FIG. 1.8 HERRAJES PARA CADENA DE SUSPENSION DOBLE
Y UN SOLO CONDUCTOR.

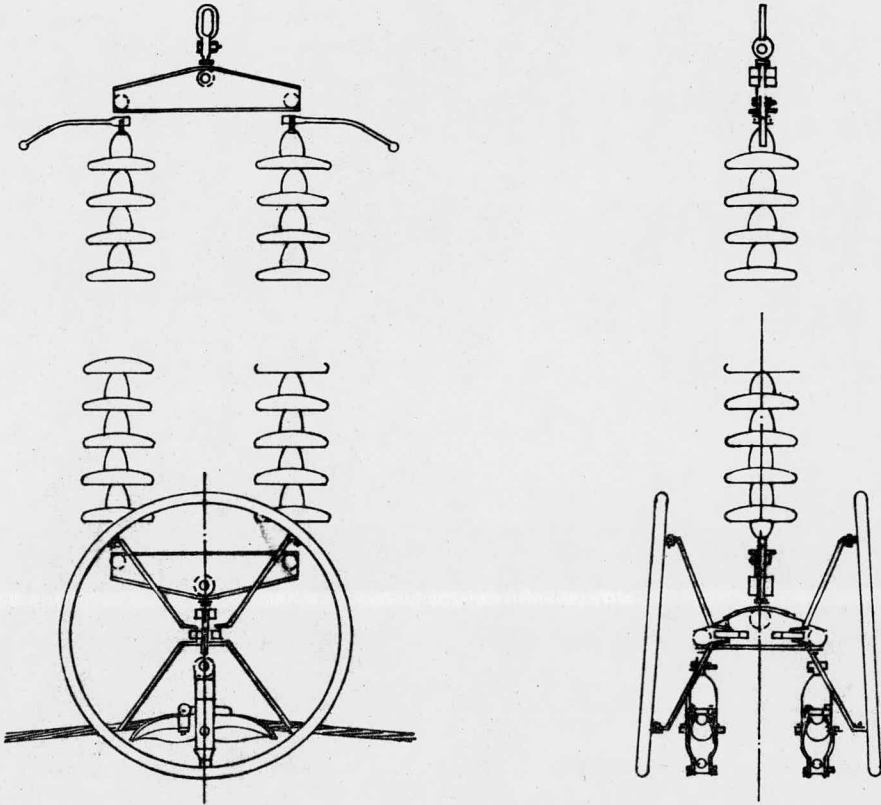


FIG. 1.9 HERRAJES PARA CADENA DE SUSPENSION DOBLE
Y DOS CONDUCTORES

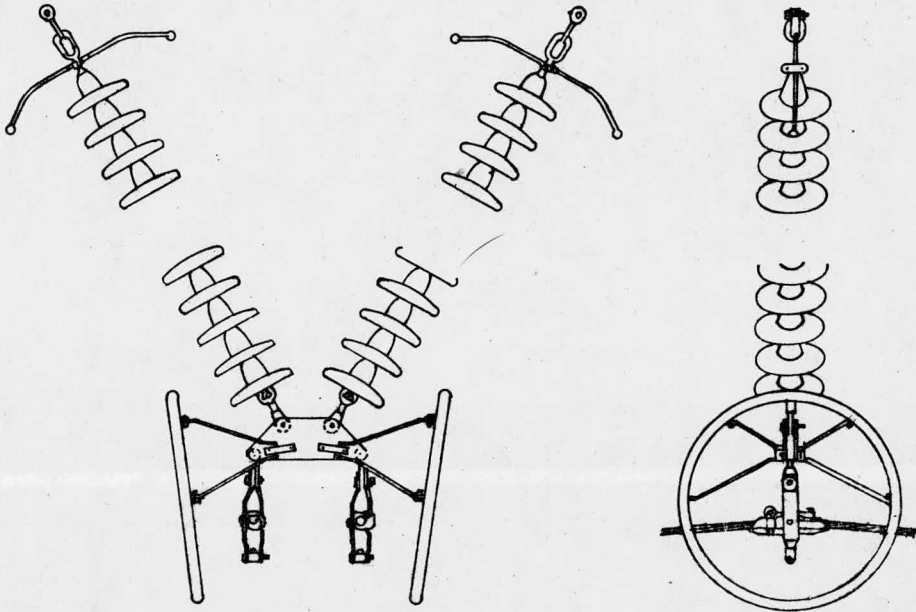


FIG. 1.10. HERRAJES PARA CADENAS DE SUSPENSION EN "V"
Y DOS CONDUCTORES.

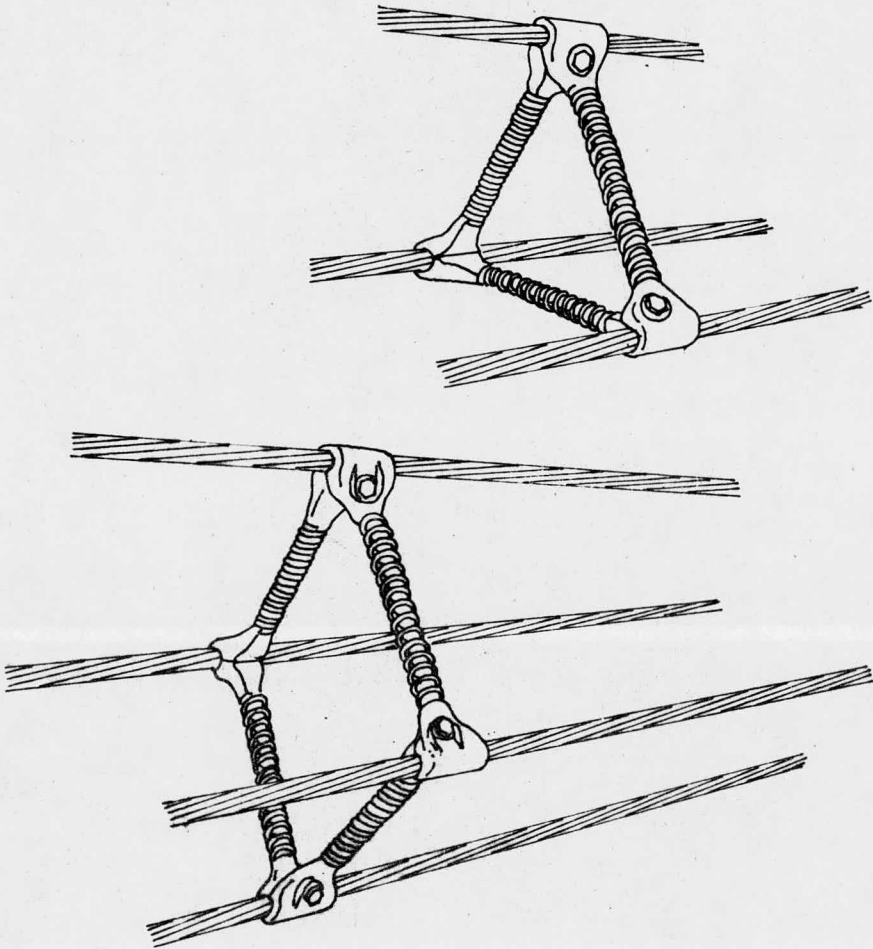


FIG. 1.11. SEPARADORES PARA LINEAS CON HAZ DE TRES Y CUATRO CONDUCTORES POR FASE.

SIÓN, DE TENSIÓN, VARILLAS PROTECTORAS PREFORMADAS, POLEAS, ETC.

LAS CADENAS DE AISLADORES SE SUJETAN POR MEDIO DE GANCHOS Y HORQUILLAS DE LAS CUALES HAY UNA GRAN VARIEDAD SEGÚN LAS NECESIDADES.

LOS SEPARADORES DE CONDUCTORES MANTIENEN LAS DISTANCIAS ENTRE LOS CONDUCTORES DE UNA MISMA FASE Y SE SUJETAN A ELLOS POR MEDIO DE ABRAZADERAS QUE SE FIJAN SIN MALTRATAR AL CONDUCTOR.

6.- BLINDAJE O HILO DE GUARDA

LOS HILOS DE GUARDA SE UTILIZAN PARA PROTEGER A LOS CONDUCTORES ENERGIZADOS DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS. CON UNA ADECUADA LOCALIZACIÓN DEL HILO DE GUARDA, PRACTICAMENTE TODOS LOS RAYOS DEBEN INCIDIR SOBRE ÉL ANTES QUE SOBRE UN CONDUCTOR DE LA LÍNEA.

EL MATERIAL USUAL EN LOS HILOS DE GUARDA ES EL ACERO EXTRAGALVANIZADO, SIN EMBARGO, ES POSIBLE USAR TAMBIÉN EL MISMO MATERIAL DE LOS CONDUCTORES DE FASE.

7.- DERECHO DE VÍA

EL DERECHO DE VÍA ES UNA FRANJA DE TERRENO UBICADA A LO LARGO DE TODA LÍNEA DE TRANSMISIÓN AÉREA, CUYO EJE LONGITUDINAL COINCIDE CON EL TRAZO TOPOGRÁFICO DE LA LÍNEA Y TIENE UNA DIMENSIÓN TRANSVERSAL QUE VARÍA DE ACUERDO AL TIPO DE ESTRUCTURA, CON LA MAGNITUD Y DESPLAZAMIENTO LATERAL DE LA FLECHA Y CON LA TENSIÓN ELÉCTRICA DE OPERACIÓN.

DENTRO DEL ÁREA QUE OCUPA EL DERECHO DE VÍA, NO DEBERÁN DE EXISTIR OBSTÁCULOS DE NINGUNA NATURALEZA PARA EVITAR FALLAS POR CONTACTO U OTROS ACCIDENTES.

EL DERECHO DE VÍA PUEDE SER ADQUIRIDO COMPLETAMENTE O RENTADO, EN EL SEGUNDO CASO, LA RENTA DARÁ DERECHO AL ACCESO DE LA LÍNEA TANTAS VECES COMO PUEBA SER NECESARIO PARA LAS MANIOBRAS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO.

LA ELECCIÓN DEL DERECHO DE VÍA SE HACE TOMANDO EN CUENTA LA RUTA MÁS ECONÓMICA, TANTO POR GASTOS DE CONSTRUCCIÓN Y DESMONTE COMO POR LAS INDEMNIZACIONES A LAS LOCALIZACIONES AFECTADAS.

CAPITULO II

DISPOSICIONES BASICAS PARA SELECCION DE AISLAMIENTO

1.-GENERALIDADES

LA SELECCIÓN DEL AISLAMIENTO DEBE HACERSE TOMANDO EN CUENTA QUE EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN SE PUEDEN PRESENTAR, ADEMÁS DE LAS VARIACIONES DE TENSION A FRECUENCIA NOMINAL, OTROS DOS TIPOS DE SOBRETENSIONES, LAS ORIGINADAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS Y LAS CAUSADAS POR MANIOBRAS DE INTERRUPTORES, LAS CUALES POR SU AMPLITUD Y DURACIÓN, EN ALGUNOS CASOS LLEGAN A PROVOCAR DAÑOS IRREVERSIBLES EN LOS ELEMENTOS DE LA LÍNEA.

LAS CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN EN EL AMBIENTE, SON TAMBÉN UN FACTOR QUE DETERMINARÁ LAS CARACTERÍSTICAS ADECUADAS PARA DAR UN AISLAMIENTO EFICAZ Y POR UN LARGO PERÍODO DE TIEMPO.

POR LO TANTO SE TENDRÁN QUE ANALIZAR LOS CUATRO FACTORES SIGUIENTES:

- SOBRETENSIONES ORIGINADAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
- SOBRETENSIONES CAUSADAS POR MANIOBRAS DE INTERRUPTORES
- TENSIONES A FRECUENCIA NOMINAL
- CARACTERÍSTICAS DE LA CONTAMINACIÓN EN EL MEDIO AMBIENTE

UN ESTUDIO RAZONABLE DE ESTOS FACTORES DARÁ EL CRITERIO SUFICIENTE PARA HACER UNA BUENA ELECCIÓN DE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO Y DE LOS TIPOS DE AISLADORES REQUERIDOS.

LAS NECESIDADES DE AISLAMIENTO DEBIDAS A LAS SOBRETENSIONES TRANSITORIAS SE ESTABLECEN COMPARANDO LAS DOS CAUSAS DE SOBRETENSIÓN, POR OPERACIÓN DE INTERRUPTORES Y POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS.

EN LUGARES DONDE LAS PROBABILIDADES DE QUE EXISTAN DESCARGAS ATMOSFÉRICAS -

SON BAJAS O DONDE LOS TRANSITORIOS ORIGINADOS AL IMPULSO DEL RAYO SON DE POC A AMPLITUD, EL NIVEL DE AISLAMIENTO SE ESTABLECE TOMANDO EN CUENTA LAS SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS DE INTERRUPTORES; EN CAMBIO, EN LOS LUGARES EN QUE LA INCIDENCIA DE RAYOS ES ALTA O DONDE LAS RESISTENCIAS A TIERRA SON GRANDES, SE TOMARÁN MÁS EN CUENTA LAS SOBRETENSIONES POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

DADO QUE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS SON GENERALMENTE MUY VARIABLES Y PUESTO QUE LAS MANIOBRAS DE INTERRUPTORES SON IMPREDECIBLES, EL PROBLEMA DE SELECCIONAR LOS NIVELES DE AISLAMIENTO EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, ES SUMAMENTE COMPLICADO, PARA ELLO SE HAN PERFECCIONADO DOS PROCEDIMIENTOS BÁSICOS EN EL DISEÑO, UNO DE ELLOS ES EL LLAMADO MÉTODO ANALÍTICO O MANUAL Y EL OTRO ES EL MÉTODO PROBABILÍSTICO, EN EL CUAL ES NECESARIO HACER USO DE COMPUTADORAS. EN EL PRIMERO SE SELECCIONA UN VALOR ALTO DE LA SOBRETENSIÓN Y UNA COMBINACIÓN REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y DE LAS ESTRUCTURAS. EN EL SEGUNDO MÉTODO SE HACE UN ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LAS CONDICIONES TANTO ATMOSFÉRICAS COMO ESTRUCTURALES CON LO QUE SE FIJAN LOS VALORES PROBABLES DE SOBRETENSIONES Y EN BASE A ELLOS SE TRABAJA; ES TAN ALTO EL NÚMERO DE DATOS QUE ES NECESARIO MANEJARLOS CON UNA COMPUTADORA.

PARA CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTAMINANTES DE LAS ÁREAS ALEDAÑAS A LA LÍNEA, SE HACEN PREVIAMENTE ESTUDIOS COMO SON ANÁLISIS DEL POLVO Y DEMÁS PARTÍCULAS EN EL AIRE.

2.-SOBRETENSIONES ORIGINADAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS SON ORIGINADAS POR LA IONIZACIÓN DEL AIRE DEBIDA A LAS ALTAS TENSIONES ELECTROSTÁTICAS QUE SE PRODUCEN CON LA FRICCIÓN DEL VIENTO SOBRE LAS NUBES Y TIERRA.

LA DESCARGA PUEDE PARTIR DESDE UNA NUBE HACIA TIERRA, DESDE TIERRA HACIA UNA NUBE O SE PUEDE FORMAR ENTRE NUBES. DE ESTOS TRES TIPOS, LAS PRIMERAS SON LAS QUE INCIDEN SOBRE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y NORMALMENTE VAN PRECEDIDAS DE LA FORMACIÓN DE UN CANAL GUÍA, EL CUAL PUEDE SER ASCENDENTE O DESCENDENTE, SEGÚN SEA QUE SE FORME DE LA NUBE HACIA TIERRA O VICEVERSA RESPECTIVAMENTE.

DEPENDIENDO DE LA POLARIDAD DEL CENTRO DE CARGA DE LA NUBE, LOS RAYOS PUEDEN SER POSITIVOS O NEGATIVOS, ES NORMAL QUE POR LO MENOS UN 80% DE LOS QUE SE OBSERVAN SON NEGATIVOS.

LOS RAYOS POSITIVOS ESTÁN FORMADOS POR LO GENERAL DE UNA DESCARGA ÚNICA CON UNA DURACIÓN DEL FRENTE DE ONDA QUE PUEDE SER DE 20 A 50 MICROSEGUNDOS Y UNA AMPLITUD QUE ES MUY VARIABLE. EN CAMBIO UN RAYO DE POLARIDAD NEGATIVA ESTÁ FORMADO POR VARIAS DESCARGAS SUCESIVAS SOBRE EL MISMO CANAL GUÍA, CON UNA DURACIÓN DEL FRENTE DE ONDA Y UNA AMPLITUD PARA LA PRIMERA DE ELLAS QUE POR LO GENERAL SON MENORES A LAS QUE SE ALCANZAN CON LOS RAYOS DE POLARIDAD POSITIVAS. EN LA GRÁFICA DE LA FIGURA 2.1, SE DA LA CURVA CON EL PORCENTAJE DE INCIDENCIA DE UN RAYO RESPECTO A LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE.

CUANDO UN RAYO CAE SOBRE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, PUEDE INCIDIR SOBRE UN CONDUCTOR ENERGIZADO, SOBRE EL HILO DE GUARDA O SOBRE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE.

SI SE DA EL PRIMER CASO, ES MUY PROBABLE QUE SE PRESENTEN FALLAS QUE DEJEN FUERA DE SERVICIO LA LÍNEA, YA QUE LAS SOBRETENSIONES QUE SE ORIGINAN EN LOS CONDUCTORES DE FASE SON TAN ALTAS QUE ROMPEN LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AISLAMIENTO PROVOCANDO EL FLAMEO Y LA CONSECUENTE INTERRUPTIÓN DE LA TRANSMISIÓN. EN ALGUNAS OCASIONES PUEDEN LLEGAR A PRODUCIRSE ARCOS ELÉCTRICOS ENTRE DOS CONDUCTORES ENERGIZADOS. SI SE TOMAN EN CUENTA ESTAS SOBRETENSIONES PARA ELEGIR LOS NIVELES DE AISLAMIENTO REQUERIDOS, RESULTAN TAN ALTOS QUE SON INCOSTEABLES; ES POR ESTA RAZÓN QUE SE DESECHA ESTE CRITERIO PARA ELEGIR DICHOS NIVELES, ADEMÁS DE QUE CON UNA BUENA PROTECCIÓN LAS POSIBILIDADES DE QUE UN RAYO INCIDA SOBRE UN CONDUCTOR DE FASE SON MUY REMOTAS.

SI EL RAYO CAE SOBRE UN HILO DE GUARDA, LA CORRIENTE VIAJA EN LAS DOS DIRECCIONES HACIA LAS TORRES MÁS CERCANAS, ALLÍ UNA PARTE SE VA HACIA TIERRA A TRAVÉS DE LA RESISTENCIA DEL PIÉ DE LA TORRE Y LA OTRA CONTINÚA SOBRE EL HILO DE GUARDA, LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE SE DIVIDE DE ACUERDO CON LAS IMPEDANCIAS CARACTERÍSTICAS DE AMBOS, NORMALMENTE CUANDO LA RESISTENCIA DEL PIÉ DE TORRE ES MENOR DE 30 OHMS, LA MAYOR PARTE DE LA CORRIENTE FLUYE A TRAVÉS DE LA TORRE, LO QUE CAUSA QUE LAS TENSIONES MÁS SEVERAS CON PROBABILIDADES DE ORIGINAR FLAMEOS SE PRESENTEN EN LAS CADENAS DE AISLADORES DE LAS TORRES CERCANAS AL PUNTO DE LA DESCARGA.

EN LA FIGURA 2.2.A, SE APRECIA LA FORMA EN QUE SE DISTRIBUYE LA CORRIENTE DE IMPULSO DEL RAYO SOBRE UN CABLE DE GUARDA. EN LA FIGURA 2.2.B, SE PRESENTA EL CIRCUITO EQUIVALENTE DEL CABLE DE GUARDA Y TORRE CON SUS IMPEDANCIAS CARACTERÍSTICAS.

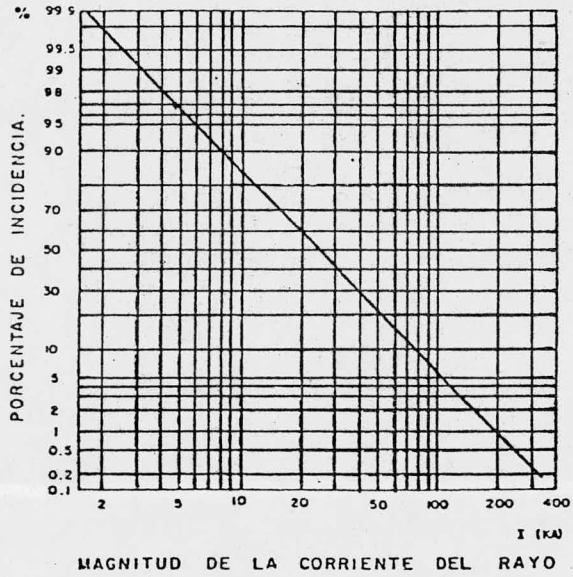


FIG. 2.1 GRAFICA QUE DA LA DISTRIBUCION PROBABILISTICA DE LAS CORRIENTES DE RAYO.

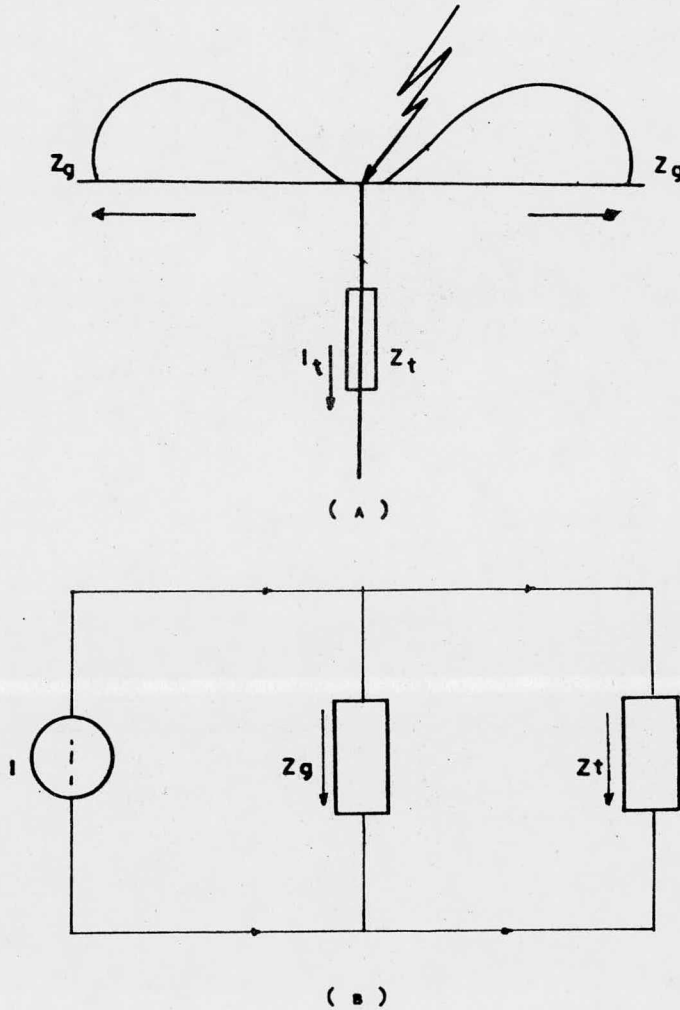


FIG. 2.2 LAS SOBRETENSIONES POR RAYO SE GENERAN DE LA CORRIENTE DEL RAYO AL ATRAVESAR LAS IMPEDANCIAS DE LA TORRE Y EL CABLE DE GUARDA. (A), LA CORRIENTE DEL RAYO SE DISPERSA EN LAS DOS DIRECCIONES HACIA LAS TORRES MAS CERCANAS. (B), CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA TORRE Y EL CABLE DE GUARDA.

SI EL RAYO CAE DIRECTAMENTE SOBRE LA TORRE, CASI TODA LA CORRIENTE SE VA A TIERRA A TRAVÉS DE LA IMPEDANCIA DE LA TORRE GENERÁNDOSE EN LA CIMA DE ELLA LA SOBRETENSIÓN AL IMPULSO DEL RAYO QUE PUEDE ROMPER LA RIGIDEZ DIELECTRICA DE LOS ESPACIOS DE AISLAMIENTO.

EXISTE LA POSIBILIDAD DE QUE SE PRESENTE UNA DESVIACIÓN DE LAS CADENAS DE AISLADORES, PRINCIPALMENTE CUANDO ÉSTAS SON VERTICALES, DEBIDO A QUE LAS TORMENTAS CASI SIEMPRE VAN ACOMPAÑADAS DE FUERTES VIENTOS. NO OBSTANTE ES MUY POCO PROBABLE QUE EN EL MOMENTO EXACTO EN QUE UN RAYO INCIDE SOBRE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, LA CADENA DE AISLADORES TENGA UNA INCLINACIÓN SIGNIFICATIVA. POR ESTA RAZÓN LA ELECCIÓN DE LAS DISTANCIAS ELÉCTRICAS NO SE HACE TOMANDO EN CUENTA ESTA SITUACIÓN.

COMO LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS CONSTITUYEN UN FENÓMENO DE NATURALEZA ALEATORIA EN ALGUNOS PARÁMETROS COMO SON LOS PUNTOS DE CAÍDA DE LOS RAYOS, LA INTENSIDAD, EL ÁNGULO DE INCIDENCIA, ETC., NO ES POSIBLE QUE SE DEFINA MEDIANTE UN VALOR CONCRETO PARA CUALQUIER INSTALACIÓN. POR ELLO SE VE LA NECESIDAD DE TRABAJAR CON FUNCIONES PROBABILÍSTICAS LAS CUALES POR LO GENERAL SON DEL TIPO DE DISTRIBUCIÓN NORMAL, CON UNA DESVIACIÓN ESTANDAR QUE SE ENCUENTRA EN EL RANGO DE UN 40 A UN 60% CON RESPECTO AL VALOR MEDIO.

LOS EFECTOS QUE PRODUCEN LAS SOBRETENSIONES POR RAYO EN LOS AISLAMIENTOS SE SIMULAN MEDIANTE ONDAS DE IMPULSO NORMALIZADO CON DURACIÓN QUE VA DESDE 1.2 A 50 MICROSEGUNDOS.

EN LA FIGURA 2.3, SE MUESTRA LA ENVOLVENTE PARA LAS DISTANCIAS ELÉCTRICAS DE AISLAMIENTO IDEALES DADA POR LAS SOBRETENSIONES POR RAYO. ÉSTA CONFIGURACIÓN GENERAL ESTÁ BASADA EN MUCHOS ESTUDIOS DE AISLAMIENTOS POR RAYO EN LÍNEAS DE EXTRA-ALTA TENSIÓN, DE LAS CUALES SE HAN OBTENIDO IMPORTANTES APORTACIONES.

LA FIGURA SE PUEDE INTERPRETAR DE LA MANERA SIGUIENTE:

SI TODOS LOS MIEMBROS ATERRIZADOS DE LA TORRE SE MANTIENEN FUERA DE LA ENVOLVENTE QUE CORRESPONDE AL NÚMERO 1, EL TOTAL DE FALLAS DE LA LÍNEA SERÁ MENOR DE UNA AL AÑO POR CADA 100 KM. SI LAS PARTES METÁLICAS DE LA TORRE QUEDAN FUERA DE LAS CURVAS 2 Y 3, LAS FALLAS ESPERADAS AL AÑO POR CADA 100 KM. SERÁN MENORES DE 2 Y 3 RESPECTIVAMENTE.

COMO SE PUEDE OBSERVAR, LA ENVOLVENTE ES CIRCULAR Y TENDRÁ UN DIÁMETRO QUE DEPENDERÁ DE LOS NIVELES BÁSICOS DE AISLAMIENTOS AL IMPULSO POR RAYO QUE SE HA FIJADO EN ESA REGIÓN.

POR LO GENERAL EL NÚMERO DE FALLAS DE AISLAMIENTO POR IMPULSO DEL RAYO QUE

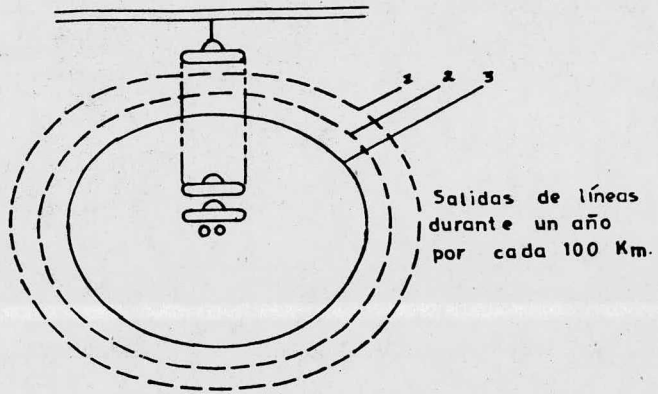


FIG. 2.3. DISTANCIAS ELECTRICAS IDEALES PARA AISLAMIENTO POR RAYO.

SE CONSIDERA RAZONABLE EN UN BUEN DISEÑO ES ENTRE 1 Y 3 AL AÑO POR CADA 100 KM. DE LÍNEA.

EN BASE A LAS CONSIDERACIONES ANTERIORES, SE HAN LLEGADO A DETERMINAR LOS NIVELES BÁSICOS DE AISLAMIENTO AL IMPULSO POR RAYO NORMALIZADOS (NBI), ADOPTADOS EN EL DISEÑO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE LA RED NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA. ESTOS NIVELES SE DAN PARA UNA ALTITUD AL NIVEL DEL MAR Y PUEDEN SER CORREGIDOS PARA CUALQUIERA OTRA ALTITUD TOMANDO EN CUENTA LA DENSIDAD DEL AIRE EN LAS CONDICIONES REQUERIDAS.

EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE PARA DIVERSAS ALTITUDES SE OBTIENE DE LA FÓRMULA SIGUIENTE.

$$D = \frac{.386 B}{273 + T}$$

EN LA TABLA 2.1, SE DAN LOS NIVELES BÁSICOS DE AISLAMIENTO AL IMPULSO POR RAYO NORMALIZADOS OBTENIDOS PARA UNA ALTITUD AL NIVEL DEL MAR, SE HACE TAMBIÉN UNA COMPARACIÓN CON LOS NIVELES DE AISLAMIENTO AL IMPULSO POR OPERACIÓN DE INTERRUPTORES.

1	2	3	4	5	6
VOLTAJE MAS-ALTO PARA EL EQUIPO. Vm (r.m.s.)	VALORES BASICOS EN p.u. $V_m = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (Pico)	VOLTAJE DE AISLAMIENTO RESISTENTE AL IMPULSO POR OPERACION DE INTERRUPTORES (NBS) (Pico)		RELACION ENTRE EL VOLTAJE DE AISLAMIENTO AL IMPULSO DE RAYO Y EL DE OPERACION DE INTERRUPTORES	VOLTAJE DE AISLAMIENTO RESISTENTE AL IMPULSO DE RAYO (NBI) (Pico)
Kv	Kv	p.u.	Kv		Kv
300	245	3.06	750	1.13	850
		3.47	850	1.27	950
362	296	2.86	850	1.12	950
		3.21	950	1.24	1050
420	343	2.76	950	1.11	1050
		3.06	1050	1.24	1175
525	429	2.45	1050	1.12	1175
		2.74	1175	1.24	1300
765	625	2.08	1300	1.11	1300
		2.28	1425	1.36	1425
		2.48	1550	1.21	1425
				1.10	1550
				1.32	1550
				1.19	1800
				1.09	1800
				1.38	1800
				1.26	1950
				1.16	1950
				1.26	2100
				1.47	2100
				1.55	2400

TABLA 2.1. NIVELES BASICOS DE AISLAMIENTO PARA TENSIONES MAYORES O IGUALES A 300 kV.

3.-SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS DE INTERRUPTORES

LAS SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS AL IGUAL QUE LAS SOBRETENSIONES POR RAYO, SON TRANSITORIOS DE DURACIÓN BREVE Y DE UNA AMPLITUD AMORTIGUADA. SE ORIGINAN POR LOS MOVIMIENTOS QUE SE REALIZAN CON LOS INTERRUPTORES, LOS CUALES SON NECESARIOS EN ALGUNOS CASOS TALES COMO LOS QUE SE DESCRIBEN A CONTINUACIÓN:

-CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN DE LÍNEAS EN VACÍO

-RECIERRE DE LÍNEAS EN VACÍO

-INTERRUPCIÓN DE PEQUEÑAS CORRIENTES INDUCTIVAS O DE MAGNETIZACIÓN DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA OPERANDO EN VACÍO

-DESCONEXIÓN DE CORRIENTES CAPACITIVAS Y DE BARRAS DE CONDENSADORES

-DESCONEXIÓN DE FALLAS.

ESTAS OPERACIONES PROVOCAN SOBRETENSIONES TEMPORALES CUYA DURACIÓN FLUCTÚA ENTRE LOS 250 Y 2500 MICROSEGUNDOS.

LOS ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ENCAMINADOS A DETERMINAR LOS NIVELES BÁSICOS DE AISLAMIENTO AL IMPULSO POR MANIOBRAS DE INTERRUPTORES (NBS), SE REALIZAN POR MEDIO DE SIMULACIONES. ESTAS SE HACEN PARA DIFERENTES CONDICIONES Y SE REPITEN EN VARIAS OCASIONES DE TAL MANERA QUE LOS PARÁMETROS SE PRESENTAN EN FORMA ALEATORIA, POR LO QUE SU ANÁLISIS SE HACE MEDIANTE UNA DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA. SI SE CONSIDERA QUE LAS SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS SIGUEN UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL, ENTONCES PARA LOS FINES PRÁCTICOS SE DEBEN DEFINIR DOS PARÁMETROS: EL VALOR MEDIO O TENSIÓN CON UN 50 % DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA Y LA DESVIACIÓN STANDARD. EN EL COMÚN DE LOS CASOS SE CONSIDERA A LA DESVIACIÓN STANDARD ENTRE EL 10 Y EL 20 % DEL VALOR MEDIO.

OTRO PARÁMETRO USADO PARA PROPÓSITOS DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ES LA LLAMADA "SOBRETENSIÓN ESTADÍSTICA", LA CUAL ES EL VALOR DE LA SOBRETENSIÓN QUE TIENE UNA PROBABILIDAD DEL 2 % DE SER EXCEDIDO. MATEMÁTICAMENTE SE PUEDE EXPRESAR COMO:

$$VCF_{2\%} = V_{50\%} + 2\sigma$$

DONDE: $VCF = V_{50\%}$ = TENSIÓN CRÍTICA DE FLAMEO POR SOBRETENSIÓN DE MANIOBRAS.

σ = DESVIACIÓN STANDARD PARA LA DISTRIBUCIÓN DE SOBRETENSIONES.

DEBIDO A QUE LAS SOBRETENSIONES SON EXPRESADAS EN POR UNIDAD CON RELACIÓN AL VALOR CRESTA DE LA TENSIÓN NOMINAL EN EL LADO DEL INTERRUPTOR CUYA MANIOBRA PROVOCA LA SOBRETENSIÓN, RESULTA CONVENIENTE DEFINIR EL FACTOR (K) -- COMO SIGUE:

$$K = \frac{V_s}{\frac{W\sqrt{2}}{\sqrt{3}}}$$

DONDE: V_s = VALOR CRESTA DE LA SOBRETENSIÓN MEDIDA O CALCULADA EN KV. DE FASE A NEUTRO.

V = TENSIÓN NOMINAL (EN VALOR EFECTIVO).

POSTERIORMENTE SE OBTIENEN LAS SOBRETENSIONES ESPERADAS Y EXPRESADAS EN KV, MULTIPLICANDO LOS VALORES EN POR UNIDAD POR LA TENSIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN DE LA LÍNEA.

LA AMPLITUD DE LAS SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS AUMENTA AL INCREMENTARSE LA TENSIÓN DE OPERACIÓN, ADEMÁS SE SABE QUE LOS AISLAMIENTOS TIENEN UNA TENSIÓN RESISTENTE MENOR CON SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS QUE CON SOBRETENSIONES POR RAYO, POR OTRA PARTE LAS DISTANCIAS DE AISLAMIENTO CRECEN EN UNA FORMA NO PROPORCIONAL A DIFERENCIA DE LAS DE RAYO, ESTO HACE QUE LAS TENSIONES POR MANIOBRAS SEAN UN FACTOR IMPORTANTE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE TENSIONES SUPERIORES A LOS 400 KV.

LOS NIVELES DE SOBRETENSIÓN VARIAN EN LOS DISTINTOS PUNTOS DEL SISTEMA DEPENDIENDO DE:

-EL TIPO DE RED DE ALIMENTACIÓN

-EL TIPO DE MANIOBRA

-EL TIPO DE INTERRUPTOR EXISTENTE

-EL GRADO DE COMPENSACIÓN REACTIVA INSTALADA.

ESTOS FACTORES SE CONSIDERAN EN LOS ANÁLISIS QUE SOBRE EL PROTOTIPO DE LA LÍNEA PROYECTADA SE REALIZAN, TALES ESTUDIOS SE HACEN EN COMPUTADORAS DIGITALES O EN ANALIZADORES DE TRANSITORIOS MEDIANTE LOS QUE SE DETERMINAN LOS POSIBLES VALORES DE SOBRETENSIÓN QUE SE PUEDEN PRODUCIR POR LAS DISTINTAS MANIOBRAS.

UN RESULTADO QUE SE HA OBTENIDO EN LA PRÁCTICA ES EL CONOCIMIENTO DE QUE LAS SOBRETENSIONES MÁS FRECUENTES SE PRODUCEN POR MANIOBRAS DE CONEXIÓN EN VACÍO O RECIERRE. LAS SOBRETENSIONES SE PRESENTAN AL FINAL DE LA LÍNEA O SEA EN EL EXTREMO OPUESTO AL DE LA MANIOBRA Y EN GENERAL SON MENORES EN OTROS PUNTOS DE LA RED.

EN LA TABLA 2.2, SE MUESTRAN ALGUNOS VALORES TÍPICOS DE SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS PARA ALGUNAS CONDICIONES DADAS EN LA RED.

PUESTO QUE LAS SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS RECORREN UN LARGO CAMINO DEL PUNTO DEL INTERRUPTOR HASTA EL FINAL DE LA LÍNEA, SERÁN MUCHAS LAS TORRES QUE ESTARÁN SOMETIDAS A ESFUERZOS DIELECTRICOS Y CUALQUIERA DE ELLAS QUE TENGA UNA CADENA DE AISLADORES INCLINADA POR EL VIENTO, PUEDE CORRER EL RIESGO DE TENER FLAMEOS. POR ESTA RAZÓN ES SIGNIFICATIVA LA INCLINACIÓN DE LAS CADENAS DE AISLADORES EN LA DETERMINACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE AISLAMIENTO POR MANIOBRAS DE INTERRUPTORES. ESTE FENÓMENO CONDUCE A QUE LA FORMA DE LA ENVOLVENTE IDEAL DE LAS DISTANCIAS DE AISLAMIENTO SEA ELÍPTICA, LO QUE SE PUEDE APRECIAR EN LA FIGURA 2.4.

SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS CON PUNTOS DE MEDIDA AL FINAL DE
LA LINEA

CONDICION DE LA RED	TIPO DE MANIOBRAS			
	CIERRE EN VACIO		RECIERRE	
	RED CON ALI MENTACIÓN INDUCTIVA	RED CON ALI MENTACIÓN COMPLEJA	RED CON ALI MENTACIÓN INDUCTIVA	RED CON ALI MENTACIÓN INDUCTIVA
CON COMPENSACIÓN - REACTIVA MAYOR O I GUAL AL 50% Y SIN RESISTENCIA DE PRE INSERCIÓN	MÁXIMA 2.70 MEDIA 2.24 MÍNIMA 1.81	MÁXIMA 2.15 MEDIA 1.85 MÍNIMA 1.60	MÁXIMA 3.52 MEDIA 2.70 MÍNIMA 1.85	MÁXIMA 2.45 MEDIA 2.00 MÍNIMA 1.50
CON COMPENSACIÓN - REACTIVA MENOR AL 50% Y CON RESISTEN CIA DE PREINSERCIÓN	MÁXIMA 2.20 MEDIA 1.75 MÍNIMA 1.35	MÁXIMA 2.00 MEDIA 1.60 MÍNIMA 1.30	MÁXIMA 2.14 MEDIA 1.62 MÍNIMA 1.35	MÁXIMA 1.80 MEDIA 1.50 MÍNIMA 1.20
CON COMPENSACIÓN - REACTIVA MAYOR O I GUAL AL 50% Y CON RESISTENCIA DE PRE INSERCIÓN	MÁXIMA 2.75 MEDIA 2.25 MÍNIMA 1.80	MÁXIMA 1.24 MEDIA 1.18 MÍNIMA 1.11	MÁXIMA 1.92 MEDIA 1.70 MÍNIMA 1.60	MÁXIMA 1.94 MEDIA 1.72 MÍNIMA 1.62
CON COMPENSACIÓN - REACTIVA MENOR AL 50% Y SIN RESISTEN CIA DE PREINSERCIÓN	MÁXIMA 2.90 MEDIA 2.30 MÍNIMA 1.66	MÁXIMA 2.60 MEDIA 1.95 MÍNIMA 1.40	MÁXIMA 3.60 MEDIA 2.90 MÍNIMA 2.12	MÁXIMA 3.48 MEDIA 2.55 MÍNIMA 1.46

TABLA 2.2 VALORES TIPICOS DE SOBRETENSIONES POR MANIO
BRAS DADOS EN P.U.

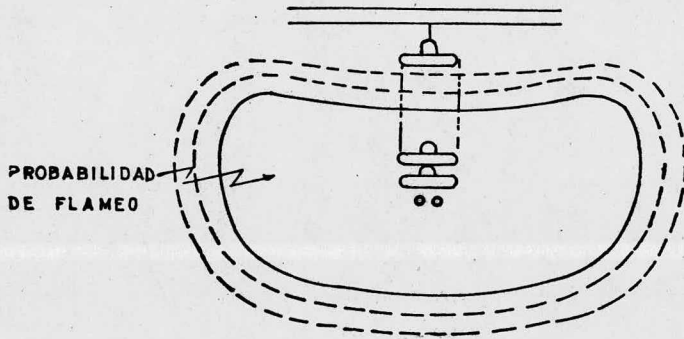


FIG. 2.4. DISTANCIAS ELECTRICAS IDEALES PARA AISLAMIENTO POR OPERACION DE INTERRUPTORES

4.-TENSIONES A FRECUENCIA NOMINAL

LA TENSION DE OPERACION DE UN SISTEMA O DE UNA LINEA DE TRANSMISION EN PARTICULAR, SUFRE NORMALMENTE VARIACIONES ALREDEDOR DE UN CIERTO VALOR, ESTAS CUANDO SON SOBRETENSIONES DEBEN TOMARSE EN CUENTA EN LA ELECCION DE LAS DISTANCIAS DE AISLAMIENTO, PUES AUNQUE SU MAGNITUD NO ES TAN GRANDE COMO LAS ORIGINADAS POR RAYO O POR MANIOBRAS DE INTERRUPTORES, SU DURACION ES MUCHO MAYOR.

UNA SOBRETENSION SOSTENIDA PERMANECERA EN ESA CONDICION HASTA QUE ALGUN CAMBIO EN EL SISTEMA ALTERE SU ESTADO. UN EJEMPLO CLASICO DE ESTE TIPO DE SOBRETENSIONES SON LAS QUE SE PRESENTAN EN LAS FASES NO FALLADAS DURANTE UNA FALLA DE FASE A TIERRA EN SISTEMAS SOLIDAMENTE ATERRIZADOS ($X/X = 3$, $R_0/X_1 = 1$), ES DECIR EN CASI TODOS LOS SISTEMAS DE TRANSMISION. ESTAS SOBRETENSIONES EN SISTEMAS DE EXTRA-ALTA TENSION SON MENORES DE 1.3 P.U. AUNQUE EN LINEAS SIN HILO DE GUARDA PUEDEN SER MAYORES.

LAS SOBRETENSIONES SOSTENIDAS POR FALLAS PUEDEN EVALUARSE RAPIDAMENTE SI SE CONOCEN LOS VALORES DE RESISTENCIA Y REACTANCIA DE LA LINEA Y PUEDEN LLEGAR A SER SUFICIENTES PARA DEJAR FUERA DE SERVICIO LOS TRANSFORMADORES, ADEMÁS DE QUE ALGUNAS DE SUS ARMÓNICAS PUEDEN SUMARSE A LAS COMPONENTES DE FRECUENCIA FUNDAMENTAL, INCREMENTANDO LOS NIVELES A FRECUENCIA NOMINAL.

PARA ESTABLECER UN CRITERIO ADECUADO DEL DISEÑO DE AISLAMIENTO EN FUNCION DE LAS SOBRETENSIONES A FRECUENCIA NOMINAL, ES CONVENIENTE TOMAR EN CUENTA LA REDUCCION DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DEBIDA A GRANDES ÁNGULOS DE INCLINACION DE LAS CADENAS DE AISLADORES, LO QUE PUEDE RESULTAR DE TORMENTAS DE NATURALEZA POCO FRECUENTES. LAS DISTANCIAS ENTRE CONDUCTORES Y ESTRUCTURAS SE VEN REDUCIDAS CONSIDERABLEMENTE ANTE GRANDES ÁNGULOS DE LAS CADENAS DE AISLADORES, DE TAL MODO QUE SE PUEDEN PRESENTAR FLAMEOS A TENSIONES LIGERAMENTE MAYORES A LA TENSION NOMINAL DEL SISTEMA.

LA FIGURA 2.5 ILUSTR A LA ENVOLVENTE IDEAL PARA DISTANCIAS DE AISLAMIENTO POR SOBRETENSIONES DE FRECUENCIA NOMINAL. EN ESTA FIGURA SE OBSERVA QUE LAS NECESIDADES DE AISLAMIENTO POR ESTE CONCEPTO SON MUCHO MENORES A LAS REQUERIDAS POR MANIOBRAS DE INTERRUPTORES O POR RAYO, NO OBSTANTE, ES MÁS SENSITIVA A LOS ÁNGULOS DE INCLINACION DE LAS CADENAS DE AISLADORES, DE AHÍ SU FORMA ELÍPTICA MÁS ALARGADA.

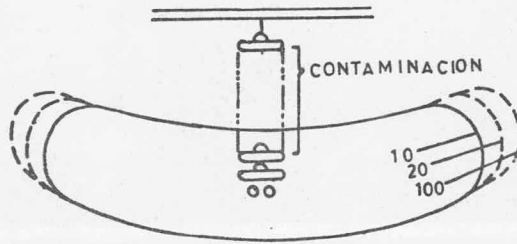


FIG. 2.5. DISTANCIAS ELECTRICAS IDEALES PARA SOBRETENSIONES A FRECUENCIA NOMINAL

5.-CARACTERÍSTICAS DE LA CONTAMINACIÓN EN EL MEDIO AMBIENTE

LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AISLAMIENTO SE PUEDE VER DISMINUIDA POR LA ACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES EN ZONAS CON ALTOS GRADOS DE HUMEDAD Y NEBLINA, LO MISMO OCURRE EN ÁREAS INDUSTRIALES, COSTAS Y AUN EN ZONAS RURALES SECAS EN LAS QUE EL AISLAMIENTO PUEDE SER DEGRADADO POR FERTILIZANTES E INCLUSIVE -- POR EL HUMO DE LOS SEMBRADÍOS QUEMADOS DESPUÉS DE LAS COSECHAS.

SE PUEBEN ENCONTRAR DOS TIPOS DE SOLUCIONES A ESTE PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN, EN AMBOS SE REQUIEREN CAMBIOS EN LOS NIVELES DE AISLAMIENTO.

LA PRIMERA ES LA DE INCREMENTAR LAS DISTANCIAS DE FUGA DE LAS CADENAS DE -- AISLADORES ADICIONANDO MÁS UNIDADES.

LA SEGUNDA SOLUCIÓN ES LA DE USAR AISLADORES CON ALTA DISTANCIA DE FUGA CON LO QUE SE EVITA EL INCREMENTO DEL NÚMERO DE AISLADORES.

LOS ARREGLOS DE LAS CADENAS DE AISLADORES EN FORMAS ADECUADAS TAMBIÉN AYUDAN A EVITAR LA INFLUENCIA NEGATIVA DE LOS CONTAMINANTES EN LOS AISLAMIENTOS.

EN LA TABLA 2.3, SE DAN LAS CLASES DE CONTAMINACIÓN MÁS COMUNES Y LOS REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN SEGÚN EL TIPO DE CONTAMINACIÓN.

6.-SELECCIÓN DE LAS DISTANCIAS DE AISLAMIENTO Y CADENAS DE AISLADORES

LA ELECCIÓN DE LAS DISTANCIAS DE AISLAMIENTO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN -- SE HACE TOMANDO EN CONSIDERACIÓN LOS ESFUERZOS DIELECTRICO POR SOBRETENSIONES Y TENSIÓN NOMINAL ESTUDIADOS ANTERIORMENTE, DE TAL FORMA QUE LAS PROBABILIDADES DE FALLAS POR CUALQUIERA DE ESTOS FACTORES SEA MENOR QUE UN VALOR LÍMITE FIJADO PREVIAMENTE Y QUE ES CONSIDERADO ACEPTABLE.

ES IMPORTANTE TOMAR EN CUENTA QUE CADA TIPO DE ESFUERZO AFECTA DE UNA MANERA DIFERENTE EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA, POR LO QUE ES DIFÍCIL ESTABLECER -- EL TIPO DE SOBRETENSIÓN DETERMINANTE PARA HACER UNA BUENA ELECCIÓN DEL AISLAMIENTO.

LAS CONFIGURACIONES DE LAS CADENAS DE AISLADORES JUEGAN UN PAPEL DE SUMA IM

Contaminación		Cant. equiv. de NaCl en mg/cm ²	Distancia de fuga cm/kVn	kV promedio, v.c. por cm de longitud por ais- lador.	
Clase	Tipos			axial.	por ais-
A	Atmósfera limpia: en regiones rurales, boscosas, sin contami- nación industrial.	0 - 0.03		En este caso no se requiere de- terminar el aislamiento por --- contaminación.	
B	Contaminación ligera: en las proximidades - de regiones industri- ales, ferrocarriles, -- con lluvias frecuentes.	0.04	2.64	0.78	11.5
C	Contaminación moderada: con sales solubles has- ta 5%, hornos, polvos de plantas metalúrgicas, -- polvo de minas, cenizas en suspensión, polvo de fertilizantes en peque- ñas cantidades.	0.06	3.33	0.63	9.1
D	Contaminación alta con 15% o más de sales so- lubles: polvo de plantas de aluminio, productos - químicos, cementos; fer- tilizantes en grandes - cantidades; cenizas en - suspensión con alto --- contenido de sal o azu- fre.	0.12	4.42	0.47	6.9
E	Precipitación salina en costas y marismas.	0.30	5.36	0.39	5.7

Tabla 2. ., requerimientos de aislamiento para líneas de transmisión se-
gun la clase de contaminación atmosférica.

PORTANCIA TODA VEZ QUE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO A TENSIÓN NOMINAL Y POR SOBRETENSIÓN DE MANIOBRAS SE VEN INFLUENCIADOS POR LOS ÁNGULOS DE LAS CADENAS DE AISLADORES.

EN LA FIGURA 2.5, SE APRECIAN LAS ENVOLVENTES SUPERPUESTAS DE LOS TRES TIPOS DE ESFUERZOS A QUE ESTÁN SOMETIDOS LOS AISLAMIENTOS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

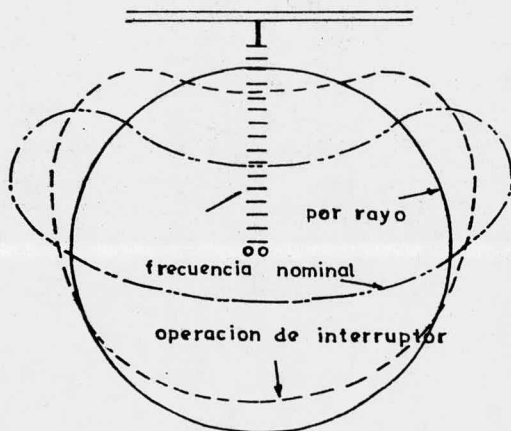


FIG. 2.6. COORDINACION DE RESULTADOS

LAS CADENAS DE AISLADORES SE SELECCIONAN EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES QUE LAS FORMAN, LAS CUALES SE ENCUENTRAN EN LOS CATÁLOGOS DE LOS FABRICANTES.

LA ELECCIÓN DE LOS TIPOS DE AISLADORES SE DEBERÁ HACER TOMANDO EN CUENTA EL FACTOR ECONÓMICO Y LA NATURALEZA DE LOS CONTAMINANTES DE LA REGIÓN EN LA QUE SE HA DE UBICAR LA LÍNEA.

HAY UNA GRAN CANTIDAD DE FABRICANTES DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN LOS QUE A LA VEZ FABRICAN DIVERSOS TIPOS, CADA UNO DE ELLOS CON CUALIDADES DETERMINADAS, POR LO QUE QUEDA A CRITERIO DEL DISEÑADOR DE LA LÍNEA EL TIPO ESPECÍFICO DE AISLADOR QUE SE HA DE UTILIZAR, INDEPENDIEMENTE DE LOS NIVELES DE SOBRETENSIÓN YA QUE HABRÁ UNA GRAN VARIEDAD QUE CUMPLA CON ESTOS REQUISITOS DE CUALQUIER MANERA TODOS ELLOS DEBERÁN CUMPLIR CON LAS ESPECIFICACIONES DICTADAS POR LAS NORMAS ANSI C29 DESTINADAS PARA EL CONTROL DE LA FABRICACIÓN DE AISLADORES.

LOS ARREGLOS DE LAS CADENAS DE AISLADORES SE ELIGEN POR CRITERIOS DE ESPACIO, SEGURIDAD Y COSTOS.

LOS ARREGLOS COMUNES SON LAS CADENAS EN "V" Y LAS CADENAS VERTICALES.

ULTIMAMENTE SE HA ESTADO PROBANDO CON BUENOS RESULTADOS EL ARREGLO EN "V" HORIZONTAL, EL CUAL REDUCE EL ESPACIO REQUERIDO CONSERVANDO LAS VENTAJAS DE EL ARREGLO EN V-VERTICAL.

USAR ARREGLOS EN "V", DA MUCHAS VENTAJAS YA QUE SE REDUCEN LOS RIESGOS POR FALLAS A CAUSA DE SOBRETENSIONES POR MANIOBRAS Y A FRECUENCIA NOMINAL ASÍ COMO LAS DEGRADACIONES POR LOS CONTAMINANTES.

LAS CADENAS VERTICALES SON MENOS COSTOSAS, PERO DEBIDO A SU MOVILIDAD INCREMENTAN LOS RIESGOS DE FLAMEOS POR SOBRETENSIONES EN LOS CONDUCTORES ENERGIZADOS.

LAS CADENAS DE AISLADORES ARREGLADAS EN "V", SE CONOCEN COMO DE GEOMETRÍA FIJA, MIENTRAS QUE LAS CADENAS VERTICALES SON LLAMADAS DE GEOMETRÍA VARIABLE, ESTO ES DEBIDO A LA GRAN MOVILIDAD QUE EXISTE EN LAS ÚLTIMAS, EN TANTO QUE EN LAS PRIMERAS LOS MOVIMIENTOS SON CASI NULOS.

EN LAS FIGURAS 2.7 (A) Y (B), SE MUESTRAN LOS ARREGLOS EN "V" Y EN HILERA VERTICAL RESPECTIVAMENTE CON SUS ACOTACIONES CARACTERÍSTICAS.

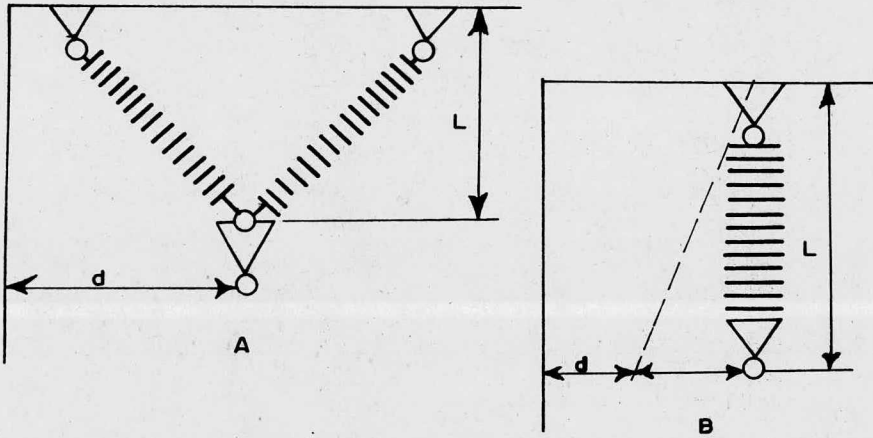


FIG. 2.7 ARREGLOS PARA CADENAS DE AISLADORES, (A), LINEA DE GEOMETRIA FIJA; (B), LINEA DE GEOMETRIA VARIABLE.

CAPITULO III

CONDUCTORES

1.-GENERALIDADES

LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CONDUCTORES SE ESTABLECEN TOMANDO EN CUENTA LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA QUE PUEDEN EXISTIR EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN OPERANDO BAJO CONDICIONES NORMALES. ADÉMÁS, SE HAN DE CONSIDERAR LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS TALES COMO FORTALEZA, BAJO PESO, RESISTENCIA A LA CORROSIÓN, ETC. ANALIZANDO CADA UNO DE ESTOS FACTORES EL DISEÑADOR DE LA LÍNEA SE PODRÁ FORMAR UN CRITERIO QUE PERMITIRÁ REALIZAR UNA ELECCIÓN ADECUADA.

2.-CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

COMO YA SE MENCIONÓ EN EL PRIMER CAPÍTULO, LOS CABLES MÁS USADOS EN LÍNEAS DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSIÓN, SON LOS CONDUCTORES DE ALUMINIO REFORZADOS CON ACERO (ACSR), LOS CUALES TIENEN LA RESISTENCIA MECÁNICA Y EL PESO ADECUADOS PARA PERMITIR LAS CONSTRUCCIONES MÁS ECONÓMICAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON DISTANCIAS ENTRE ESTRUCTURAS DE SOPORTES RELATIVAMENTE GRANDES. EN LA RED NACIONAL DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA SE UTILIZAN ALGUNOS CALIBRES NORMALIZADOS DE ESTOS TIPOS DE CONDUCTORES, UN EJEMPLO DE ELLOS SON LOS CABLES ACSR 1113 BLUEJAY QUE SE USAN EN LÍNEAS DE 230 Y 400 KV Y CUYAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SE DAN EN LA TABLA 3.1.

NO OBSTANTE EL AMPLIO USO QUE SE HA DADO A ESTOS CONDUCTORES, EXISTEN CIERTAS DESVENTAJAS CAUSADAS POR LA PRESENCIA DEL NÚCLEO DE ACERO, UNA DE ELLAS ES LO COMPLICADO DE LOS EMPALMES Y REMATES. POR OTRA PARTE, EN AMBIENTES CONTAMINADOS SE PUEDEN PRESENTAR PROBLEMAS DE CORROSIÓN EN LOS NÚCLEOS DE

CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE CONDUCTORES ACSR 1113 MCM BLUEJAY

CARACTERÍSTICA	CONDUCTORES ACSR 1113 MCM BLUEJAY
NÚMERO DE HILOS	45/7
DIÁMETRO (MM)	32
AREA (MM ²)	603
PESO UNITARIO (Kg/M)	1.870
CARGA DE RUPTURA (Kg)	14030
MÓDULO DE ELASTICIDAD INICIAL (Kg/MM ²)	5483
MÓDULO DE ELASTICIDAD FINAL (Kg/MM ²)	6587
COEFICIENTE DE DILATACIÓN LINEAL INICIAL EN 1/°C	20.53 x 10 ⁻⁶
COEFICIENTE DE DILATACIÓN LINEAL FINAL EN 1/°C	20.80 x 10 ⁻⁶

TABLA 3.1

ACERO. UNA SOLUCIÓN EN ESTOS CASOS ES LA DE UTILIZAR LOS CABLES ACSR/AW, --
LOS CUALES SON SIMILARES A LOS ACSR NORMALES, CON LA ÚNICA DIFERENCIA DE --
QUE LOS REFUERZOS DE ACERO ESTÁN RECUBIERTOS POR UNA CAPA DE ALUMINIO O --
ALUMINO WELD-, LA QUE EVITA LA OXIDACIÓN DEL NÚCLEO.

PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE CONDUCTOR POR LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE
ÉSTE, SE DEBEN ANALIZAR LOS POSIBLES ESFUERZOS A QUE ESTÁN SOMETIDOS, DI--
CHOS ESFUERZOS DEPENDEN TANTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS, COMO DE LAS --
DISTANCIAS ENTRE TORRES O POSTES QUE SE TENGAN.

3.-PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR CAÍDAS DE TENSIÓN EN LAS IMPEDANCIAS DE LÍNEA.

LAS CAÍDAS DE TENSIÓN EN LAS IMPEDANCIAS DE LA LÍNEA SE VEN REFLEJADAS EN --
EL PORCENTAJE DE REGULACIÓN, EL CUAL ESTÁ DEFINIDO COMO:

$$\%REG = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}}$$

DONDE: V_{NL} = TENSIÓN EN EL RECEPTOR SIN CARGA.

V_{FL} = TENSIÓN EN EL RECEPTOR CON PLENA CARGA.

LAS TENSIONES V_{NL} Y V_{FL} SE PUEDEN CALCULAR CON LOS PROCEDIMIENTOS USUALES --
DE ANÁLISIS DE CIRCUITOS.

A CONTINUACIÓN SE DAN DOS EJEMPLOS DE CÁLCULOS DE REGULACIÓN DE TENSIÓN, EN
LOS CUALES SE MUESTRA EL PROCEDIMIENTO QUE NORMALMENTE SE UTILIZA. EL DISE--
ÑADOR DE LA LÍNEA DEBE FIJAR UN DETERMINADO TOPE AL PORCENTAJE DE REGULA--
CIÓN, DEBAJO DEL CUAL DEBERÁ ESTAR EL CALCULADO PARA LA LÍNEA EN CUESTIÓN.

4.-PÉRDIDAS DE ENERGÍA Y RADIOINTERFERENCIA CAUSADAS POR EFECTO CORONA

EL GRADIENTE DE POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DE UN CONDUCTOR PUEDE LLEGAR A --
TENER VALORES TAN ELEVADOS, QUE IONIZA EL AIRE CIRCUNDANTE, ESTE FENÓMENO --
SE MANIFIESTA POR UNA CREPITACIÓN, POR VIBRACIONES DEL CONDUCTOR Y POR UNA
LUMINOSIDAD AZULADA QUE ROBEA LA SECCIÓN DEL CONDUCTOR QUE ALCANZA ESTOS --

GRADIENTES DE TENSIÓN.

LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS SON ORIGINADAS POR EL ALTO GRADIENTE, EL CUAL ACELERA LOS ELECTRONES LIBRES EN EL AIRE; CUANDO ESTOS ELECTRONES ADQUIEREN -- SUFICIENTE ENERGÍA CINÉTICA, CHOCAN CON MOLÉCULAS NEUTRAS ORIGINANDO IONES NEGATIVOS, DE ESTA MANERA SE INICIA UN PROCESO LLAMADO IONIZACIÓN POR IMPACTO DEL CUAL SE DERIVAN ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS QUE COMIENZAN SIENDO DE BAJAS FRECUENCIAS Y TERMINAN A FRECUENCIAS QUE CAEN DENTRO DE LA BANDA DE RADIOFRECUENCIAS, ESTAS ONDAS SE MANIFIESTAN COMO RUIDOS EN LOS RECEPTORES DE RADIO.

LA IONIZACIÓN POR IMPACTO, YA SEA LOCAL O GENERALIZADA A TODA LA SUPERFICIE DEL CONDUCTOR, LIBERA IONES POSITIVOS Y NEGATIVOS; EN CADA SEMICICLO LOS IONES QUE TIENEN SIGNO OPUESTO AL DEL CONDUCTOR SON ATRAÍDOS Y NEUTRALIZADOS POR ÉL; LOS QUE TIENEN EL MISMO SIGNO SON REPELIDOS Y SE ALEJAN MEZCLÁNDOSE CON MOLÉCULAS NEUTRAS FORMANDO IONES MAYORES, A MEDIDA QUE SE SEPARAN, EL CAMPO ELÉCTRICO ES MENOS INTENSO POR LO QUE SU VELOCIDAD DISMINUYE. ANTES DE QUE LA POLARIDAD DEL CONDUCTOR CAMBIE, ALCANZAN DISTANCIAS DEL ORDEN DE ALGUNAS DECENAS DE CM., AL CAMBIAR LA POLARIDAD SON ATRAÍDOS; AUMENTANDO LA CARGA Y LA INTENSIDAD DEL CAMPO EN LA SUPERFICIE DEL CONDUCTOR, LO QUE CAUSA QUE LA IONIZACIÓN POR CHOQUE SE REINICIE ANTES DE QUE EL VOLTAJE HAYA VUELTO A ALCANZAR EL VALOR CRÍTICO. LAS PRIMERAS CARGAS LIBERADAS NEUTRALIZAN LAS CARGAS QUE SE ACERCAN AL CONDUCTOR, DESPUÉS SE FORMAN CARGAS QUE SE ALEJAN DEL CONDUCTOR Y EL PROCESO SE REPITE.

LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA DEBIDAS AL EFECTO CORONA SON POR LO TANTO DE DOS CLASES: LA ENERGÍA NECESARIA PARA LA IONIZACIÓN Y LA ENERGÍA PARA DESPLAZAR LAS CARGAS. ESTA ÚLTIMA CLASE DE PÉRDIDAS ES EN CORRIENTE ALTERNA MUCHO MAYOR QUE LA PRIMERA, LA CUAL PUEDE SER DESPRECIADA.

DEBIDO A LO COMPLEJO QUE RESULTA EL CÁLCULO DE LOS GRADIENTES SUPERFICIALES DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, CASI ES IMPRESCINDIBLE EL USO DE COMPUTADORES PARA REALIZARLOS. EL MÉTODO DEL CASO BASE QUE A CONTINUACIÓN SE PRESENTA ES UN MÉTODO QUE UTILIZA CURVAS OBTENIDAS POR MEDIO DE DATOS PROCESADOS EN COMPUTADORAS DIGITALES.

-MÉTODO DEL CASO BASE.

EN ESTE MÉTODO SE TOMA COMO REFERENCIA UNA CONFIGURACIÓN BÁSICA DE CONDUCTORES SOBRE LA QUE SE HACEN LOS AJUSTES NECESARIOS PARA APROXIMARLA A LOS ARREGLOS QUE SE QUIEREN ANALIZAR. TAL CONFIGURACIÓN SE SELECCIONA PARA UN

CASO DE TENSION PARTICULAR, (LAS CONFIGURACIONES NORMALIZADAS SON PARA 345, 500 Y PARA 735 kV, MISMAS QUE SE APRECIAN EN LA FIGURA 3.1). EL NÚMERO DE CONDUCTORES POR FASE TAMBIÉN ESTÁ DETERMINADO PARA LOS CASOS BASE EN 1,2,3 Y 4 CONDUCTORES POR FASE COMO SE APRECIA EN LA FIGURA 3.1.

EN LA TABLA 3.2, SE TIENEN LOS VALORES DE GRADIENTES DE TENSION SUPERFICIAL PARA LAS CONFIGURACIONES USADAS EN EL MÉTODO A LAS TENSIONES DE 345, 500 Y 735 kV. ESTOS GRADIENTES SERÁN CORREGIDOS PARA LAS TENSIONES Y AGOTACIONES DE LA LÍNEA QUE SE REQUIERA ANALIZAR POR MEDIO DE FACTORES QUE IMPLICAN VARIACIONES EN EL DIÁMETRO DEL CONDUCTOR, DISTANCIAS ENTRE FASES, ALTURA DE LOS CONDUCTORES DE FASE Y LAS DISTANCIAS ENTRE ESTOS Y EL CABLE DE TIERRA. ESTOS FACTORES SE OBTIENEN DE LAS GRÁFICAS TOMANDO LOS VALORES REALES REFERIDOS A LOS DADOS POR LA CONFIGURACIÓN DEL CASO-BASE.

LOS GRADIENTES PARA LOS CONDUCTORES O HACES DE CONDUCTORES EXTERIORES Y CENTRALES DE LA LÍNEA EN ESTUDIO SE ENCUENTRAN DE LA MANERA SIGUIENTE:

$$E_{\text{EXTERIOR}} = E_{\text{EXTERIOR CASO-BASE}} \times F_v \times F_D \times F_{PS} \times F_H \times F_G$$

$$E_{\text{CENTRAL}} = E_{\text{CENTRAL CASO-BASE}} \times F_v \times F_D \times F_{PS} \times F_H \times F_G$$

DONDE:

E_{EXTERIOR} = EL GRADIENTE DEL CONDUCTOR O DE LA FASE EXTERIOR DE LA LÍNEA ESTUDIADA.

E_{CENTRAL} = EL GRADIENTE DEL CONDUCTOR O EN LA FASE CENTRAL DE LA LÍNEA ESTUDIADA.

$E_{\text{EXTERIOR CASO-BASE}}$ = EL GRADIENTE DEL CONDUCTOR O FASE EXTERIOR DEL CASO-BASE

$E_{\text{CENTRAL CASO-BASE}}$ = EL GRADIENTE EN EL CONDUCTOR O FASE CENTRAL DEL CASO-BASE.

F_v = EL FACTOR POR VOLTAJE. SE OBTIENE DE LA RAZÓN ENTRE LA TENSION DE LA LÍNEA EN ESTUDIO Y LA TENSION DEL CASO-BASE ELEGIDA.

F_D = EL FACTOR POR EL DIÁMETRO DEL CONDUCTOR. SE OBTIENE DE LAS FIGURAS 3.2, 3,7,8,12 O 13.

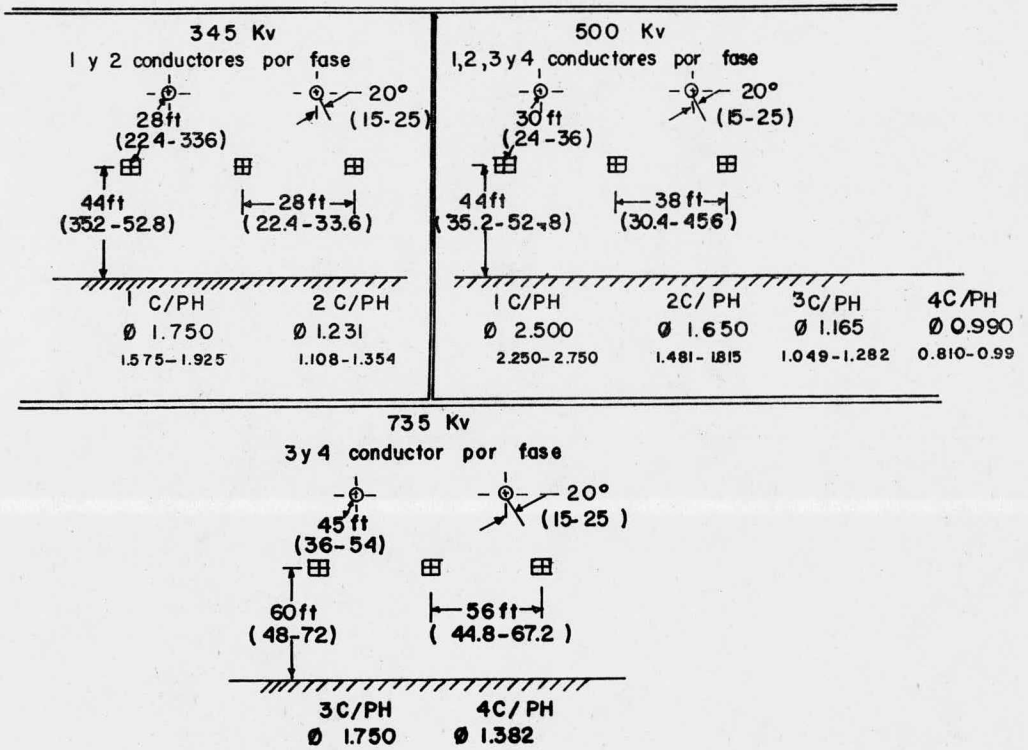


Fig. 3.1 - Circuito simple caso base, geometria rangos incluidos para las variables

CONDUCTORES POR FASE	345 kV		500 kV		735 kV	
	GRADIENTE EXTERIOR	GRADIENTE CENTRAL	GRADIENTE EXTERIOR	GRADIENTE CENTRAL	GRADIENTE EXTERIOR	GRADIENTE CENTRAL
	kVp/cm	kVp/cm	kVp/cm	kVp/cm	kVp/cm	kVp/cm
1	20.577	21.811	21.397	22.370	-	-
2	18.738	20.178	19.976	21.105	-	-
3	-	-	20.538	21.822	19.099	20.176
4	-	-	21.417	22.876	19.286	20.455

TABLA 3.2 GRADIENTES DE TENSION PARA EL CASO-BASE.

FPS = EL FACTOR POR DISTANCIAS ENTRE FASES. SE OBTIENE DE LAS FIGURAS 3.4, 9 o 14.

FH = EL FACTOR POR LA ALTURA DE LAS FASES AL PLANO DE TIERRA. SE OBTIENE DE LAS FIGURAS 3.5, 10 o 15.

FGW = EL FACTOR DADO POR LA DISTANCIA DEL CONDUCTOR O FASE EXTERIOR AL HILO DE TIERRA. SE OBTIENE DE LA FIGURA 3.6.

PARA MAYOR COMPRENSIÓN DE ESTE MÉTODO SE PUEDEN SEGUIR LOS PASOS PARA OBTENER EL GRADIENTE POR MEDIO DE UN EJEMPLO. PARA ELLO SE TOMARÁN LAS CONDICIONES DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN IMAGINARIA CARACTERIZADA POR LOS PARÁMETROS SIGUIENTES:

- LA TENSIÓN DE OPERACIÓN ES DE 525 KV
- EL NÚMERO DE CONDUCTORES POR FASE ES DE CUATRO
- EL DIÁMETRO DE CADA CONDUCTOR ES DE .858 PULG.
- LA DISTANCIA ENTRE FASES ES DE 35 PIES
- LA ALTURA DE LOS CONDUCTORES DE FASE ES DE 45 PIES
- LA DISTANCIA DEL HILO DE GUARDA A LA FASE EXTERIOR ES DE 26.5 PIES.
- EL ÁNGULO DE BLINDAJE DE LA LÍNEA ES DE 24

PUESTO QUE LA TENSIÓN DE OPERACIÓN ES DE 525 KV, SE ELIGE LA CONFIGURACIÓN DEL CASO-BASE DADA PARA 500 KV.

LOS VALORES EN POR UNIDAD SE OBTIENEN DIVIDIENDO LOS PARÁMETROS DE LA LÍNEA EN ESTUDIO ENTRE LAS ACOTACIONES FIJADAS POR LA CONFIGURACIÓN DEL CASO-BASE DE ESTA MANERA SE TIENE QUE:

$$\text{LA TENSIÓN EN P.U.} \text{ ----- } \frac{525}{500} = 1.0500$$

$$\text{DIÁMETRO} \text{ ----- } \frac{.858}{.900} = 0.9533$$

$$\text{DISTANCIA ENTRE FASES} \text{ ----- } \frac{35}{38} = 0.9210$$

$$\text{ALTURA} \text{ ----- } \frac{45}{44} = 1.0230$$

$$\text{DISTANCIA AL} \\ \text{CABLE DE TIERRA} \text{ ----- } \frac{26.5}{30} = 0.883$$

CON ESTOS DATOS EN POR UNIDADES, SE PASA A LAS GRÁFICAS TOMANDO EN CUENTA - QUE EL NÚMERO DE CONDUCTORES POR FASE ES CUATRO, LAS GRÁFICAS QUE SE DEBEN USAR SON LAS DE LAS FIGURAS 3.12, 14, 15 Y LA 6, DE LAS QUE SE OBTIENEN LOS VALORES DE F_D , F_{PS} , F_H Y F_{GW} RESPECTIVAMENTE, TANTO PARA LOS HACES DE CONDUCTORES EXTERIORES COMO PARA EL CENTRAL; ESTOS FACTORES APARECEN TABULADOS JUNTO CON LOS VALORES EN POR UNIDAD Y EL FACTOR F_V EN LA TABLA 3.3.

REALIZANDO LOS PRODUCTOS SE TIENEN LOS VALORES ESTIMADOS SIGUIENTES:

$$E_{EXT} = 21.417 \times 1.0500 \times 1.0455 \times 1.0129 \times 0.9985 \times 1.0035$$

$$E_{EXT} = 23.862 \text{ KVp/cm}$$

$$E_{GEN} = 22.676 \times 1.0500 \times 1.0455 \times 1.0209 \times 0.9995 \times 0.9990$$

$$E_{GEN} = 25.599 \text{ KVp/cm}$$

LOS GRADIENTES DE TENSIÓN PARA EL MISMO SISTEMA, OBTENIDOS POR OTROS MÉTODOS MÁS ELABORADOS Y EXACTOS NOS DAN LOS VALORES SIGUIENTES:

$$E_{EXT} = 23.849 \text{ KVp/cm}$$

$$E_{GEN} = 25.638 \text{ KVp/cm}$$

COMPARANDO LOS VALORES ESTIMADOS POR EL CASO-BASE, CON LOS OBTENIDOS POR OTROS MÉTODOS SE TIENE QUE:

$$\text{PARA FASES EXTERIORES} \quad \frac{E_{EST.}}{E} = \frac{23.862}{23.849} = 1.0005$$

$$\text{PARA LA FASE CENTRAL} \quad \frac{E_{EST.}}{E} = \frac{25.599}{25.638} = 0.9985$$

	VALORES EN P.U.	FACTORES		
		SÍMBOLO	EXTERIORES	CENTRAL
VOLTAJE	1.0500	Fv	1.0500	1.0500
DIÁMETRO	0.9533	F _D	1.0455	1.0455
DISTANCIA ENTRE FASES	0.9210	F _{PS}	1.0129	1.0209
ALTURA	1.0230	F _H	0.9985	0.9995
DISTANCIA AL HILO DE TIERRA	0.8830	F _{ew}	1.0035	0.9990

TABLA 3.3 FACTORES PARA EL EJEMPLO
ILUSTRATIVO

ESTOS VALORES ESTÁN DENTRO DE LOS MARGENES DE ERROR ACEPTABLES, YA QUE EL PORCIENTO DE ERROR ES MENOR A UN 0.6% EL CUAL ES EL PERMISIBLE EN ESTE TIPO DE CÁLCULOS.

LOS GRADIENTES PROMEDIO OBTENIDOS ANTERIORMENTE SON PARA CADA HAZ DE CONDUCTORES POR FASE, EL GRADIENTE SUPERFICIAL DE CUALQUIERA DE LOS CONDUCTORES DE LA FASE CENTRAL ES SIMILAR AL DEL HAZ DE CONDUCTORES, EN CAMBIO SI SE QUIEREN CONOCER LOS VALORES PROMEDIO DE GRADIENTES SUPERFICIALES DE LOS CONDUCTORES INDIVIDUALES EN LAS FASES EXTERIORES, SE DEBE RECURRIR A LAS FIGURAS 3.11, 16 o 17, EN LAS QUE SE OBTIENEN LOS FACTORES F_c , LOS CUALES DEPENDEN DE LOS ESPACIAMIENTOS ENTRE FASES. REALIZANDO LOS PRODUCTOS DE ESTOS FACTORES CON LOS GRADIENTES DE LOS HACES EXTERIORES, SE OBTIENEN LOS GRADIENTES INDIVIDUALES DE LOS CONDUCTORES.

EN EL CASO DEL EJEMPLO, SE UTILIZÓ LA GRÁFICA DE LA FIGURA 3.17 Y SE ENCONTRARON LOS VALORES QUE SE DAN EN LA TABLA 3.4.

GRADIENTES DE CONDUCTORES INDIVIDUALES

NÚMERO DE CONDUCTORES	FACTOR F_c	GRADIENTES PARA CONDUCTORES DE LA FASE CENTRAL EN KVP/CM	GRADIENTES PARA CONDUCTORES DE LAS FASES EXTERIORES (KVP/CM)
1	0.9855	23.862	23.516
2	0.9878	23.862	23.571
3	1.0122	23.862	24.153
4	1.0145	23.862	24.208

TABLA 3.4.

VALORES DEL CASO BASE - DOBLE CIRCUITO (SB)

CONDUCTORES POR FASE	345 kV			500 kV		
	GRADIENTE FASES A Y A' kVp/cm	GRADIENTE FASES B Y B' kVp/cm	GRADIENTE FASES C Y C' kVp/cm	GRADIENTE FASES A Y A' kVp/cm	GRADIENTE FASES B Y B' kVp/cm	GRADIENTE FASES C Y C' kVp/cm
1	20.475	22.518	21.006			
2	18.614	21.053	19.188	18.942	21.483	20.411
4				17.961	20.827	19.518

TABLA 3.5 GRADIENTES C-B FASES SUPER-HACINADAS A A' D-CIRC.
B B'
C C'

VALORES DEL CASO BASE - DOBLE CIRCUITO (LR)

CONDUCTORES POR FASE	345 kV			500 kV		
	GRADIENTE FASES A Y A' kVp/cm	GRADIENTE FASES B Y B' kVp/cm	GRADIENTE FASES C Y C' kVp/cm	GRADIENTE FASES A Y A' kVp/cm	GRADIENTE FASES B Y B' kVp/cm	GRADIENTE FASES C Y C' kVp/cm
1	22.043	22.518	22.061			
2	20.390	21.054	20.424	20.899	21.481	21.249
4				20.068	20.823	20.476

TABLA 3.6 GRADIENTES C-B FASES DE BAJA REACTANCIA A C'
B B'
C A'

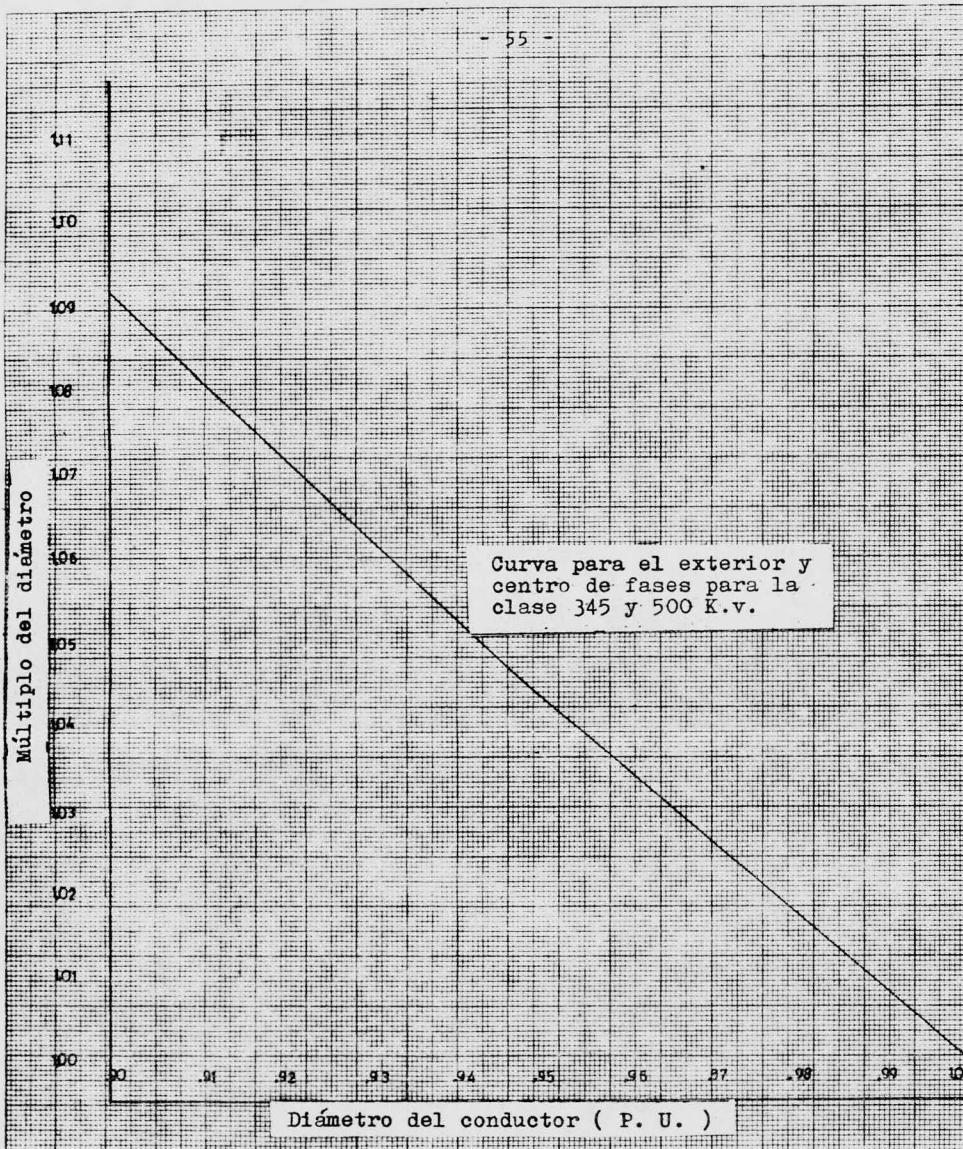


Fig.III. 2 Efectos del diámetro en el Gradiente del conductor un conductor por fase, diámetros menores a uno por unidad (Uno y dos circuitos y doble circuito).

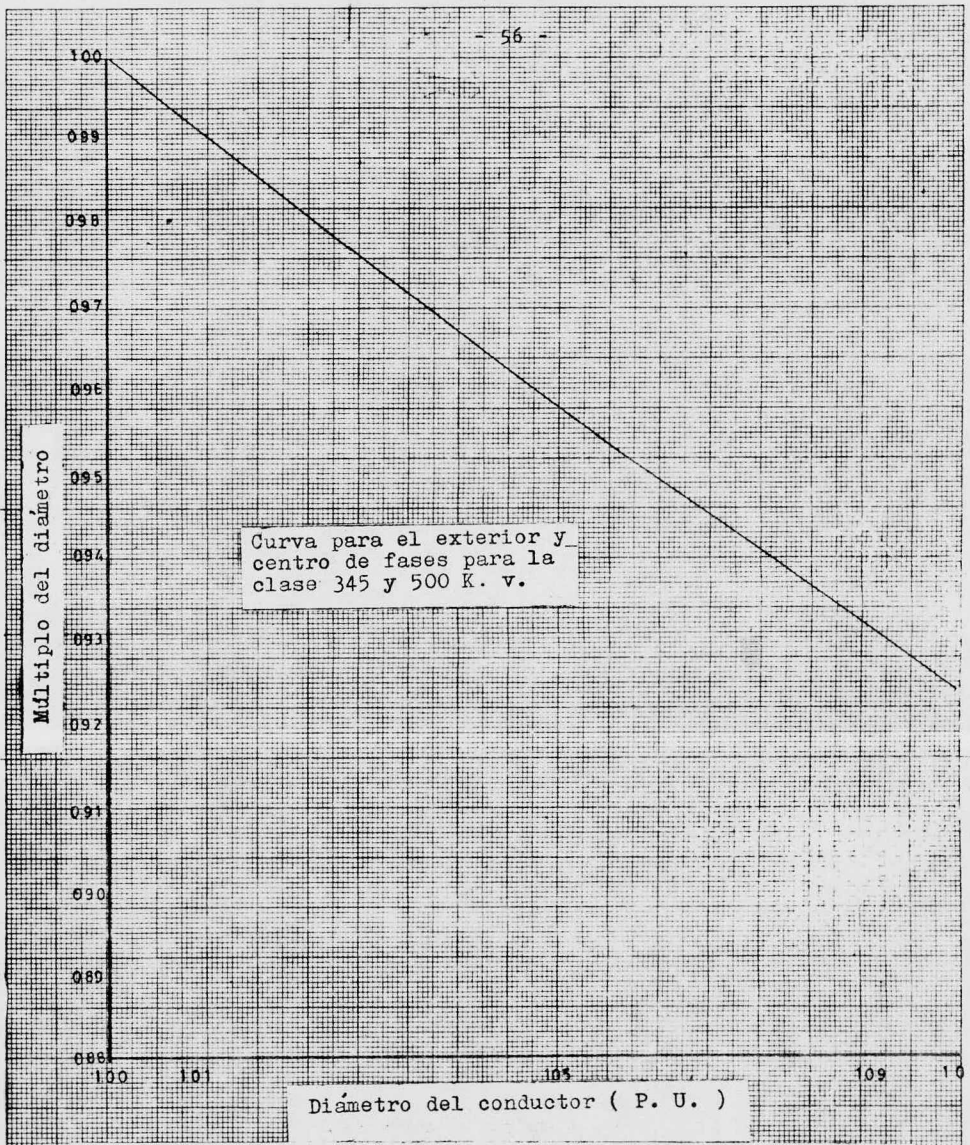


Fig. III.3 Efectos del diámetro en el gradiente del conductor un conductor por fase, diámetros mayores a uno P. U. (Uno y dos circuitos y doble circuito).

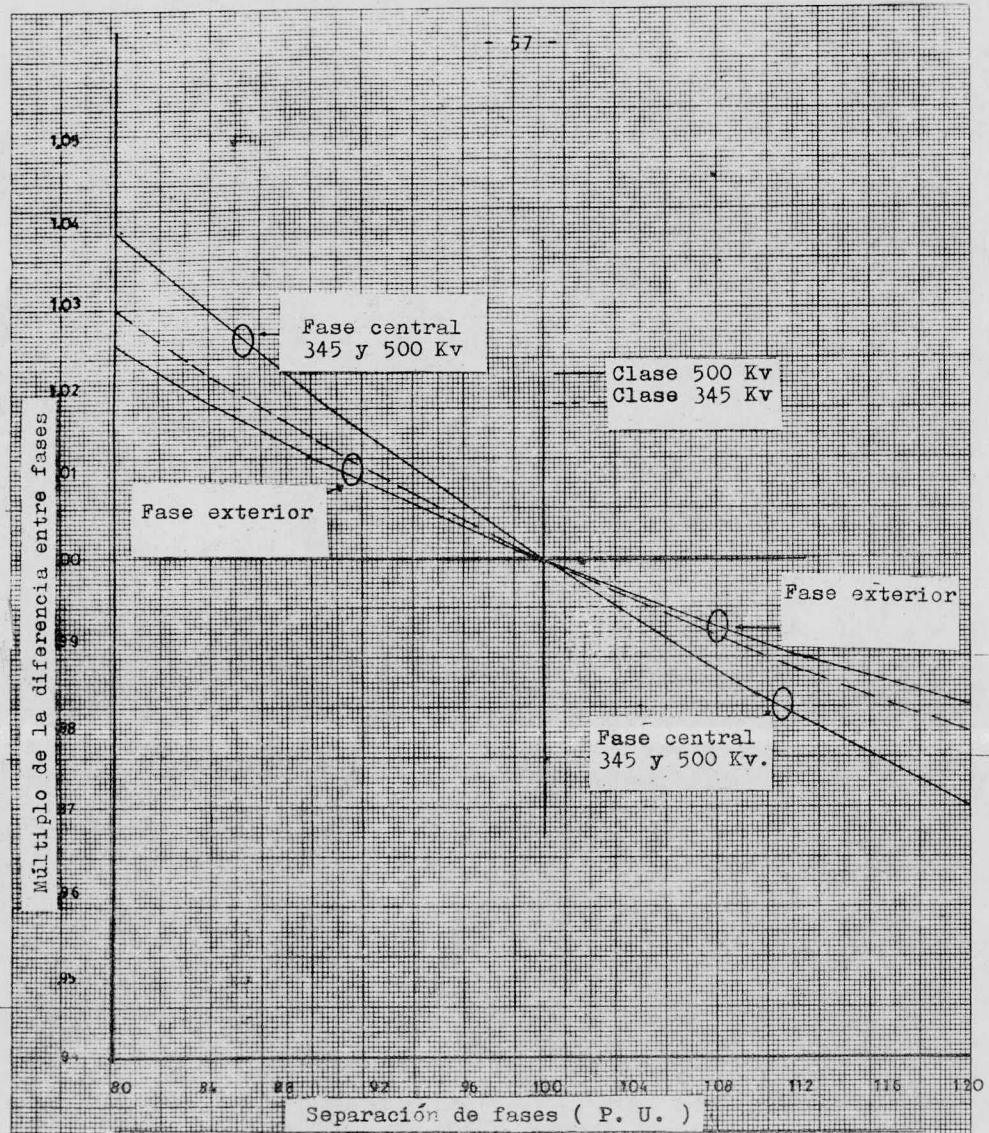


Fig.III. 4 Efectos de la distancia entre fases, un conductor por fase.

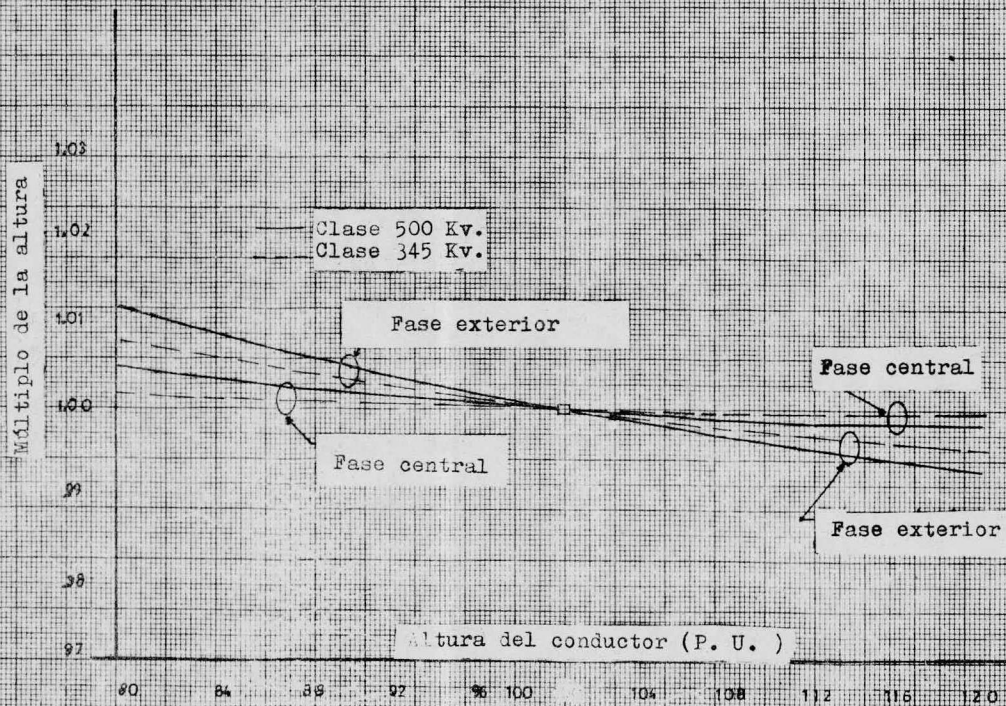
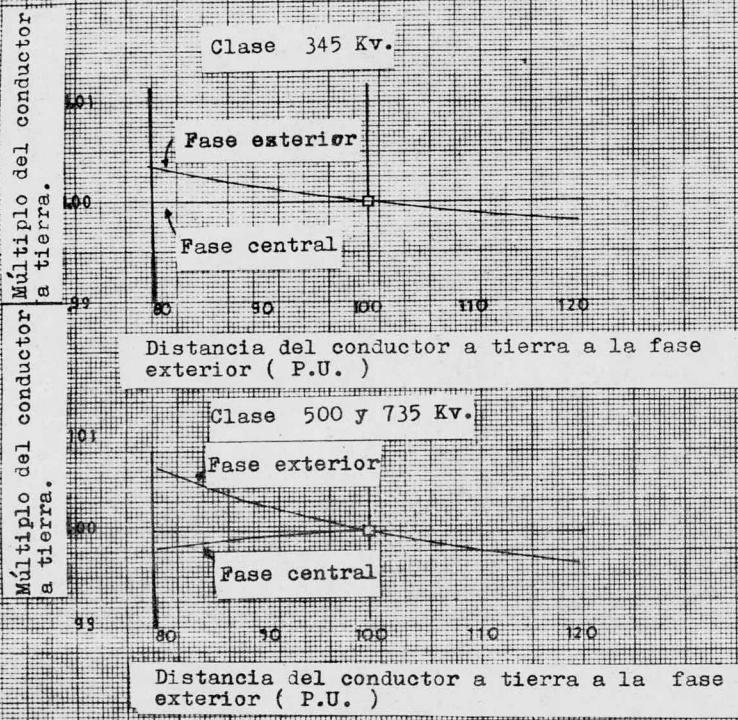


Fig.III- 5 Efectos de la Altura del conductor, un conductor por fase.



Factores de los conductores a tierra	Fase exterior	Fase central
345	0.997	0.9976
500 y 735 Kv	0.9918	0.9988

Fig.III. 6 Efecto del hilo de guarda en el Gradiente del conductor (un circuito).

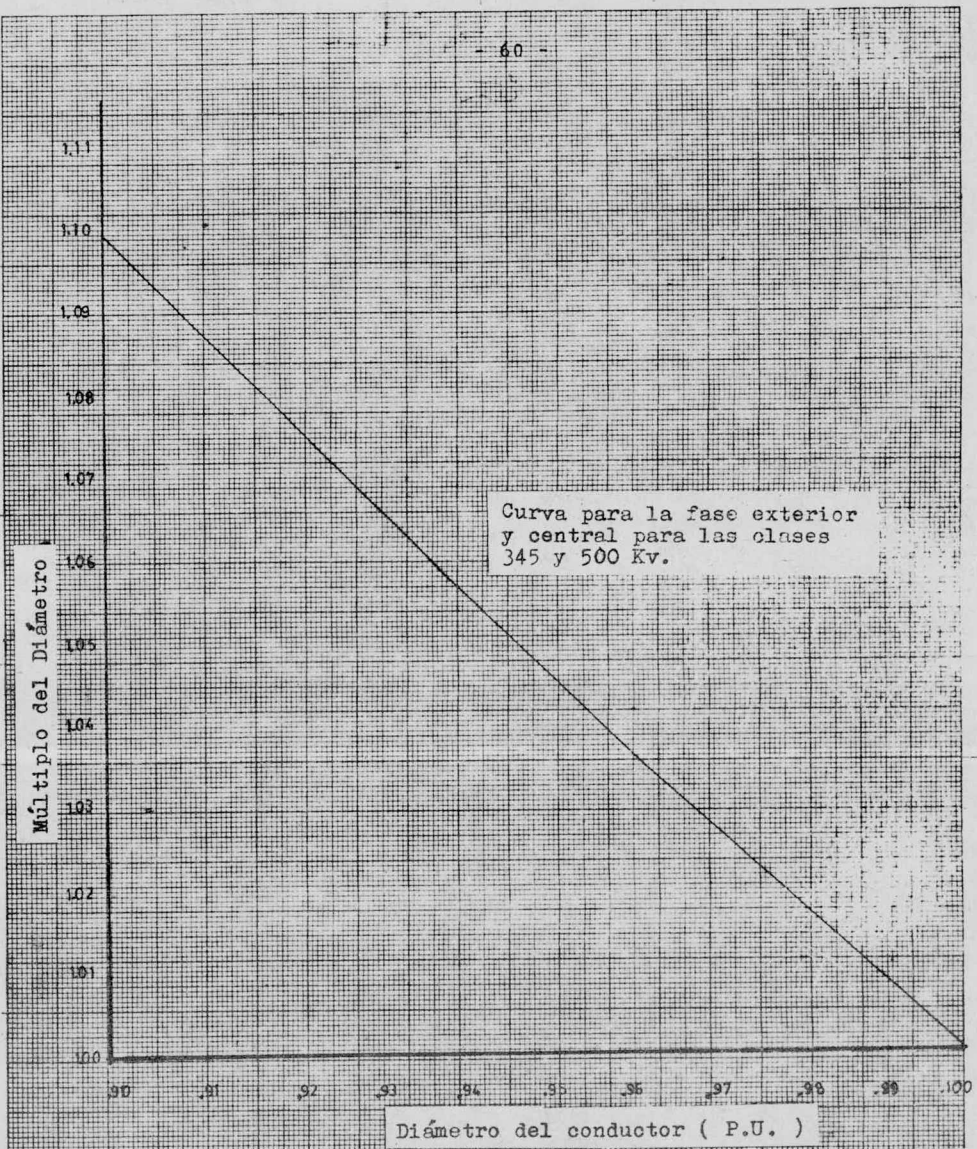


Fig.III. 7 Efecto en el Gradiente del diámetro del conductor, dos conductores por fase, diámetros menores a uno por unidad (uno y dos circuitos y doble circuito)

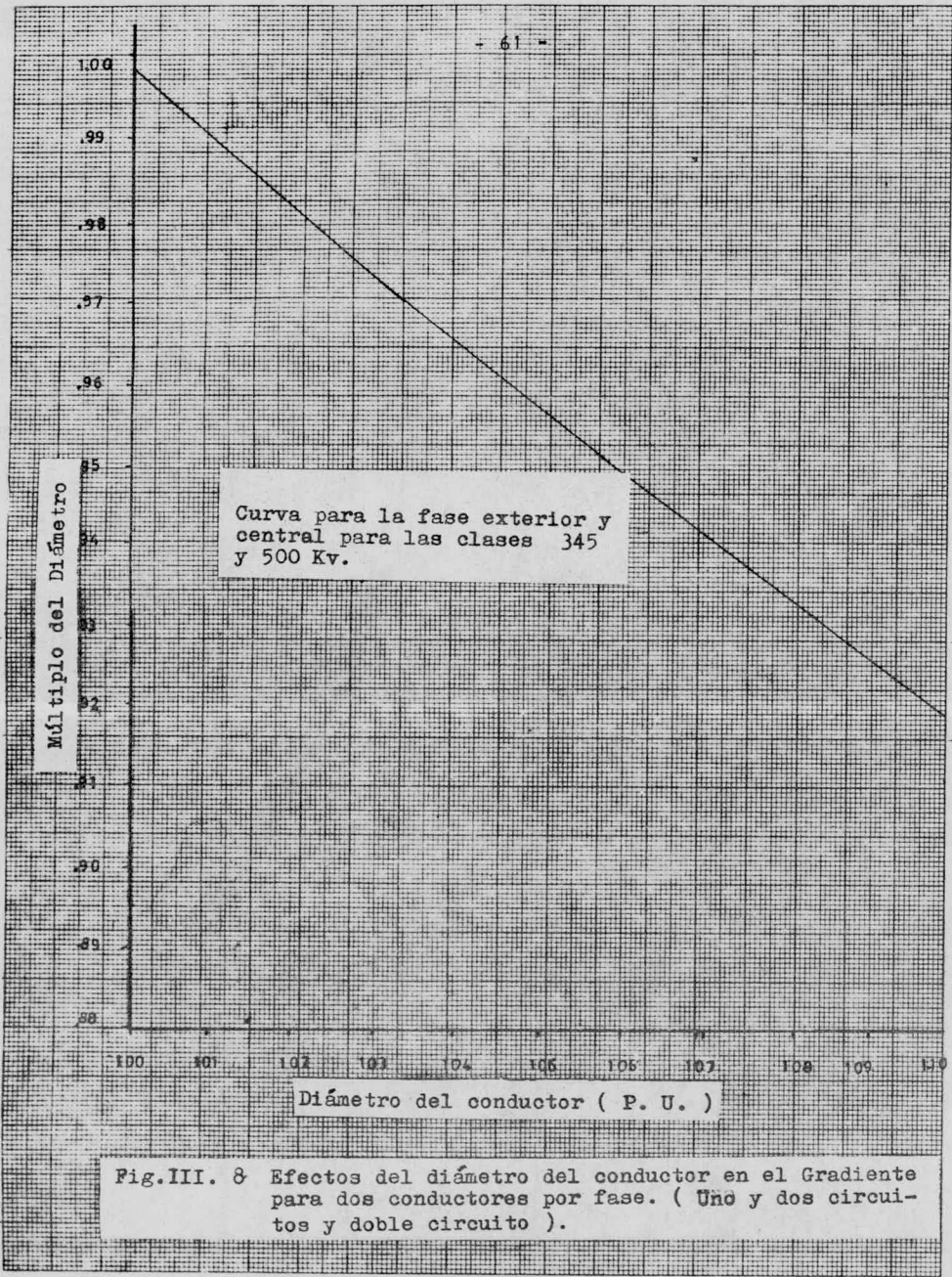


Fig.III. 8 Efectos del diámetro del conductor en el Gradiente para dos conductores por fase. (Uno y dos circuitos y doble circuito).

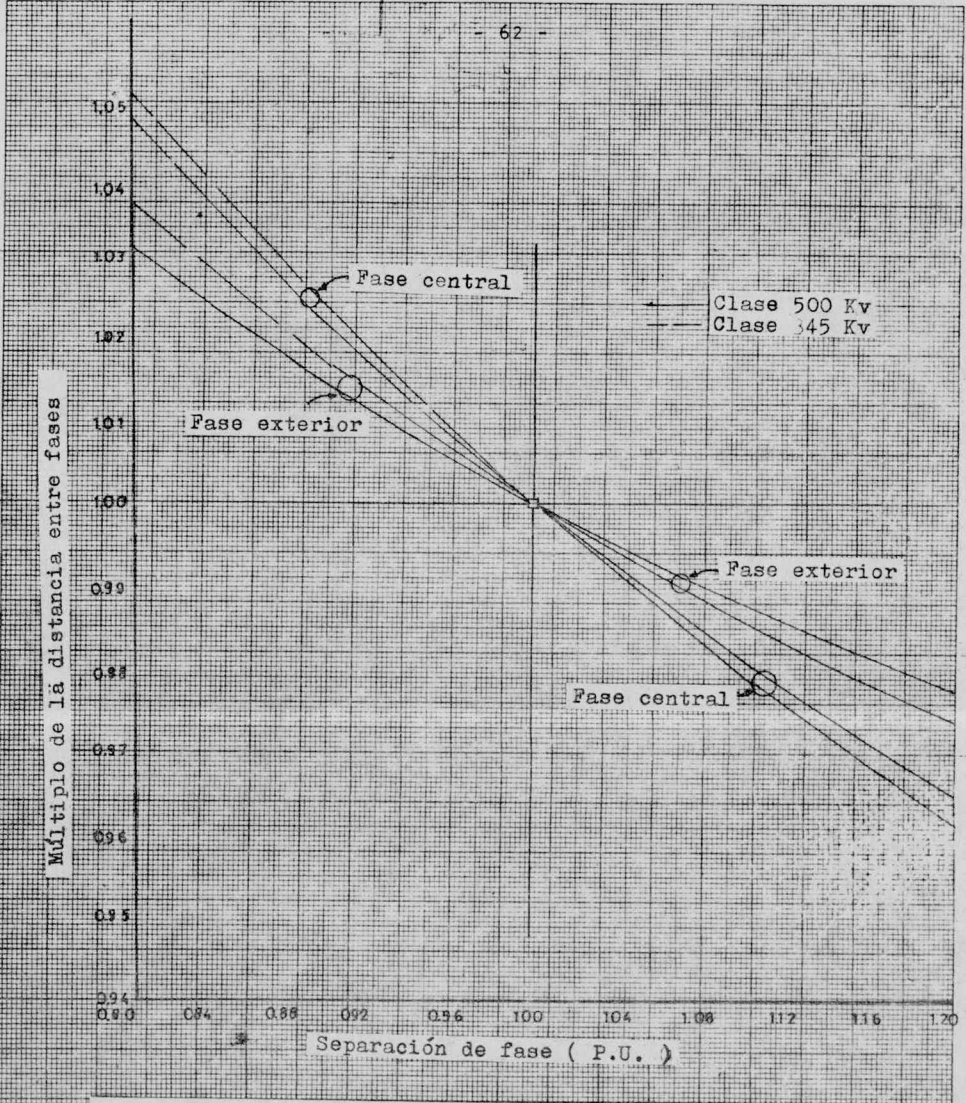


Fig.III. 9 Efecto de la distancia entre fases en el Gradiente para dos conductores por fase (un circuito)

Multiplo de la Altura

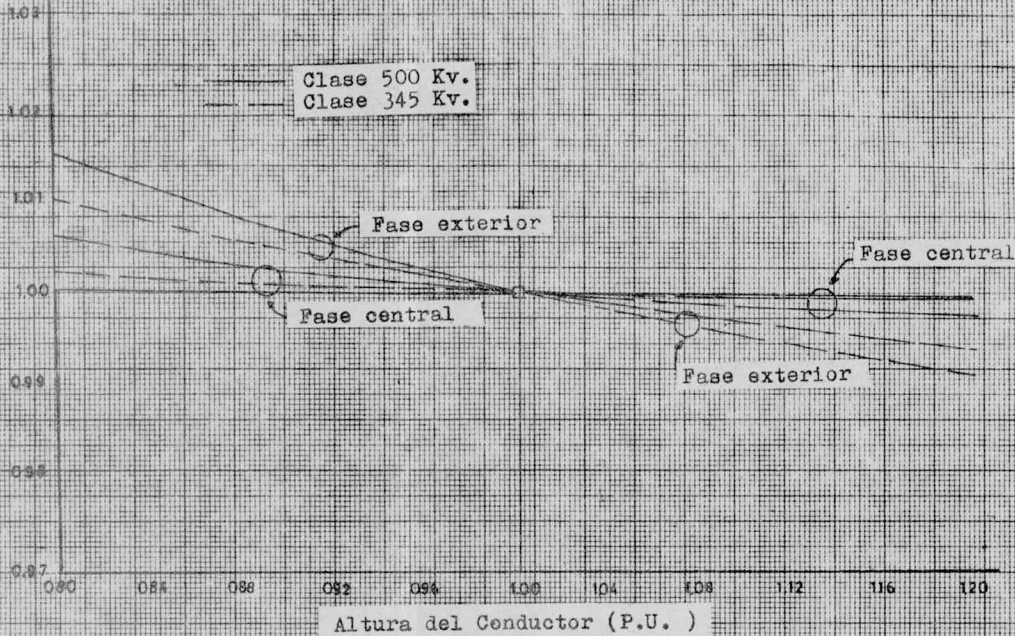


Fig.III. 10 Efecto de la altura en el Gradiente para dos conductores por fase (un circuito).

Multiplo del No de conductores

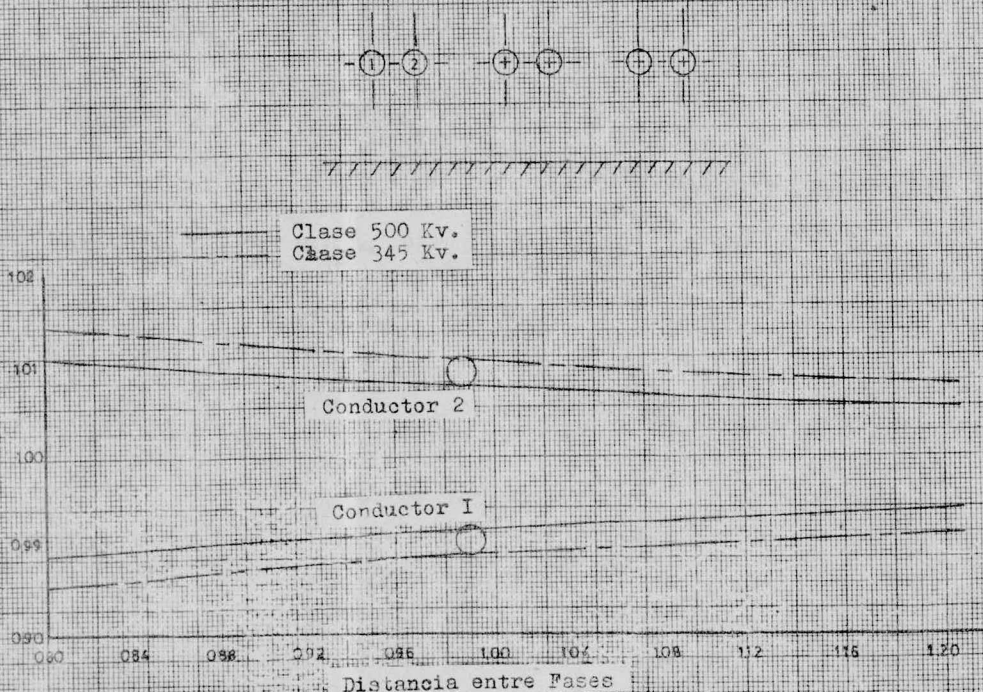


Fig.III. II Distribución del Gradiente en la fase exterior, dos conductores por fase (un circuito).

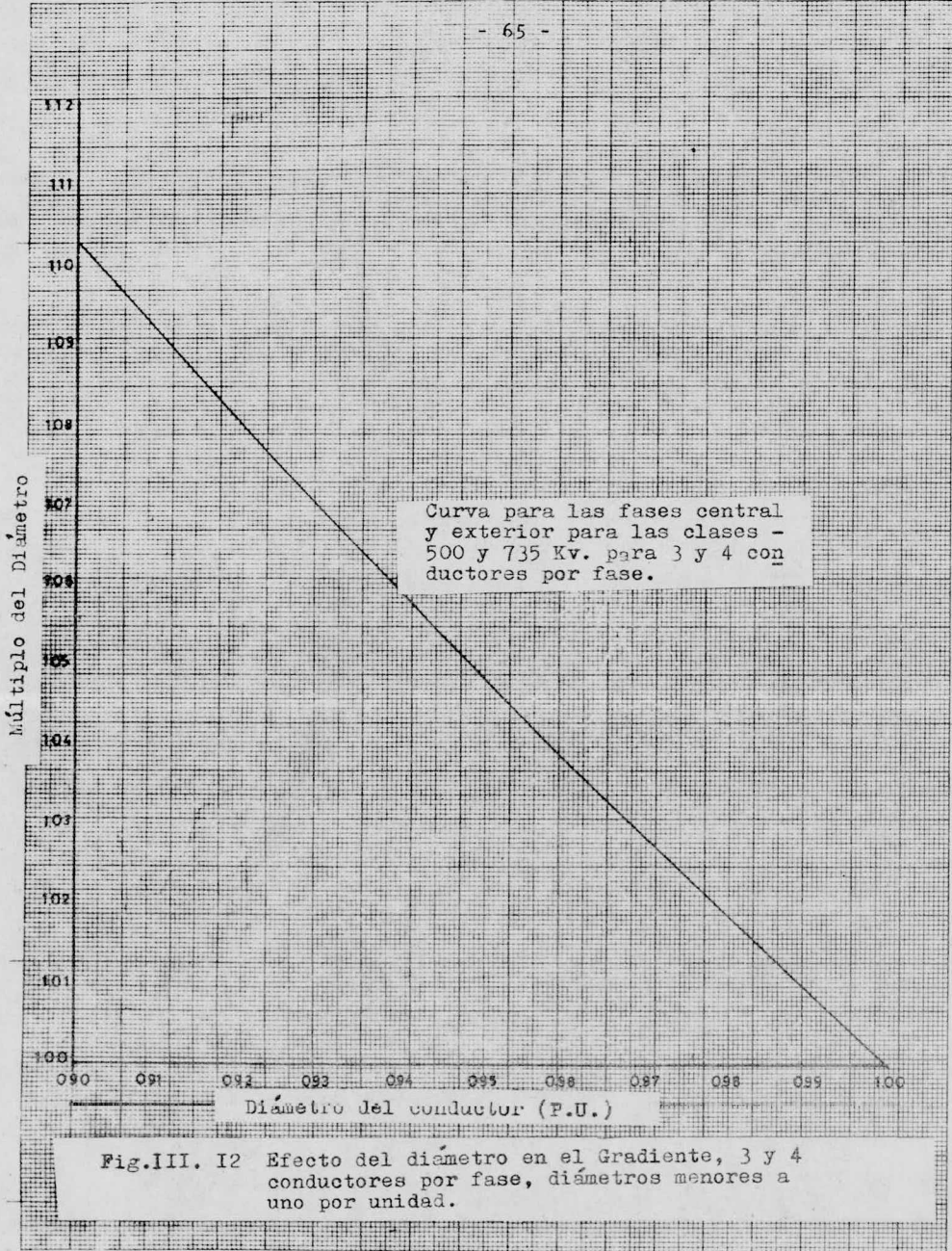


Fig.III. 12 Efecto del diámetro en el Gradiente, 3 y 4 conductores por fase, diámetros menores a uno por unidad.

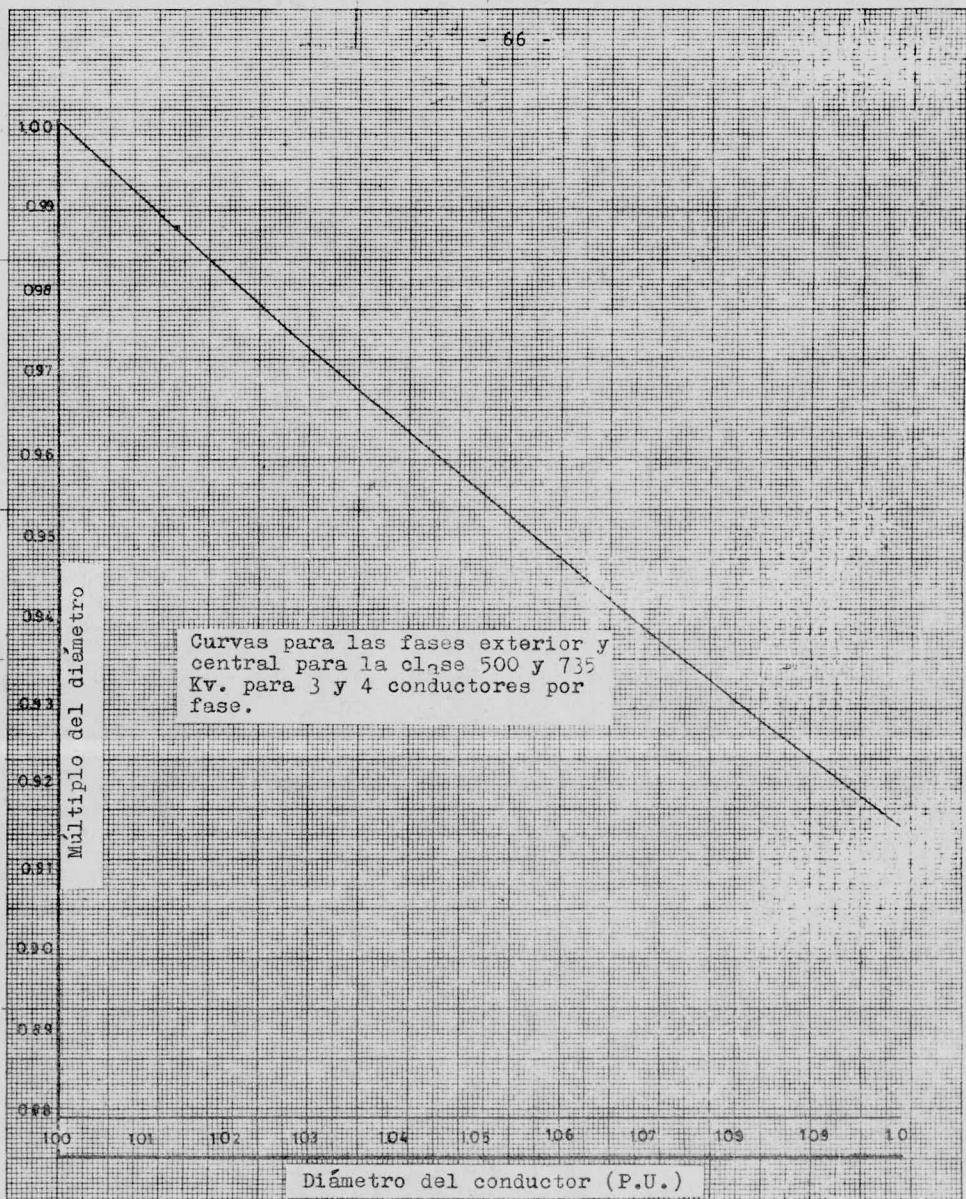


Fig.III. 13 Efectos del diámetro en el Gradiente del conductor 3 y 4 conductores por fase, diámetros mayores a uno P.U. (uno y dos circuitos y doble circuito)

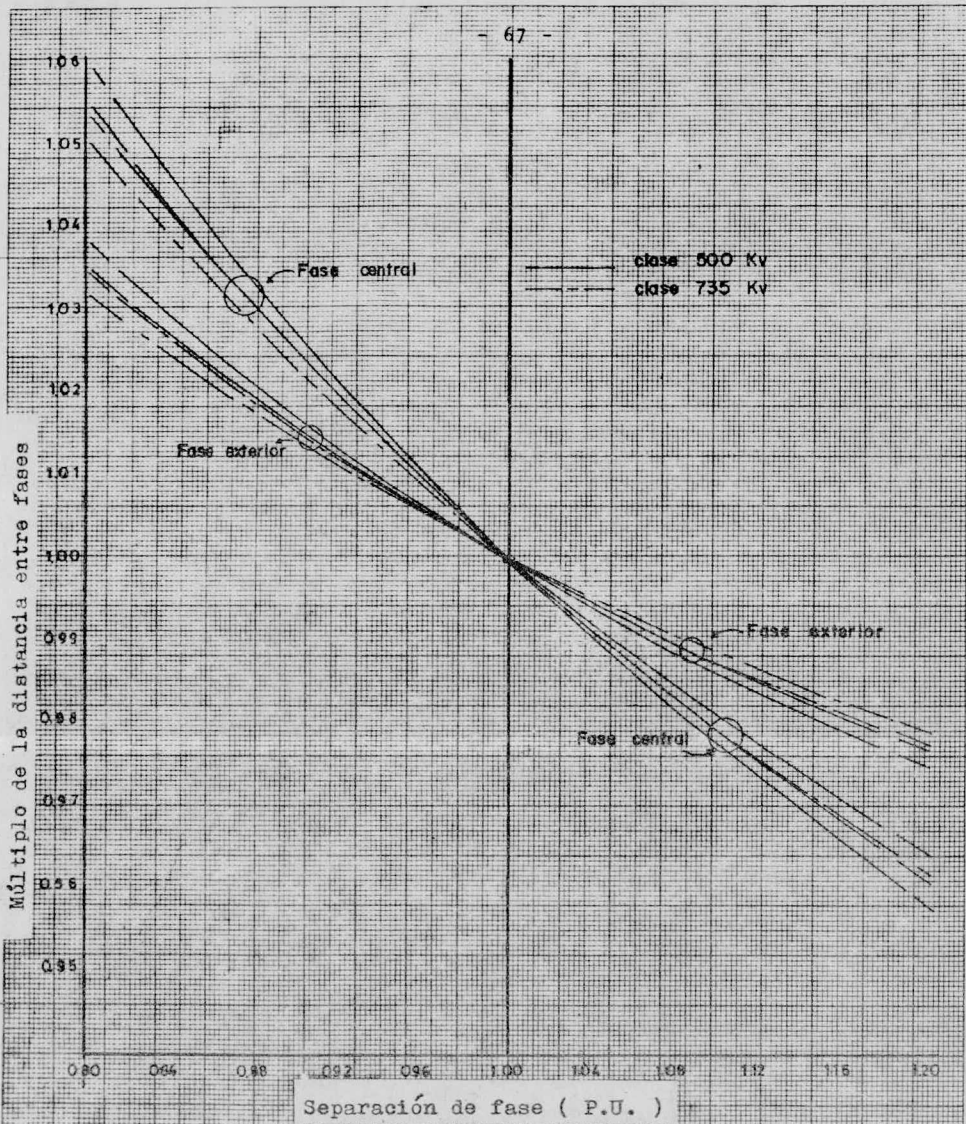


Fig.III. I4 Efecto de la distancia entre fases en el Gradiente, 3 y 4, conductores por fase (un circuito)

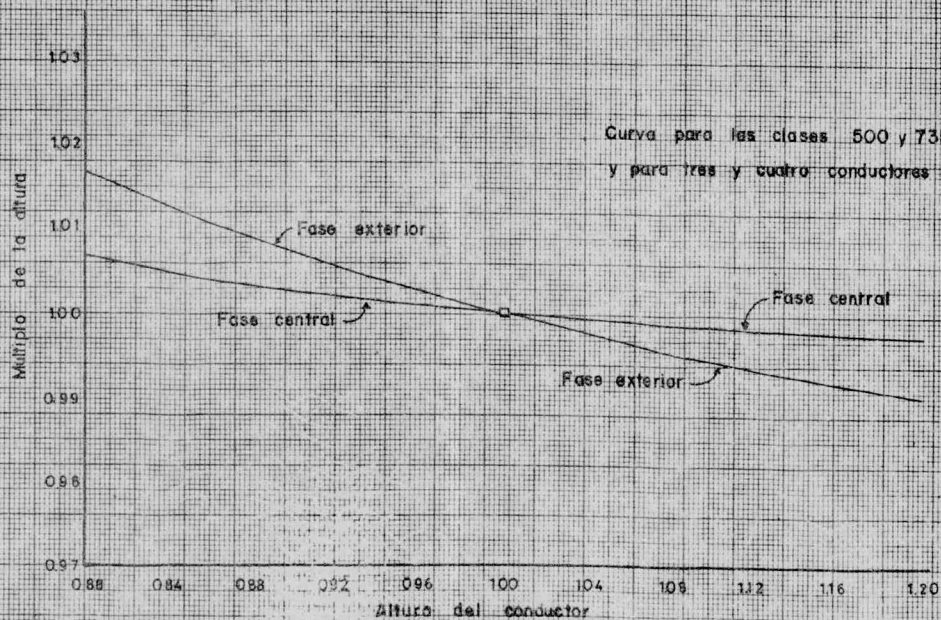


Fig.III. 15 Efecto de la altura en el Gradiente, 3 y 4 conductores por fase (un circuito).

Multiplo del No de conductores

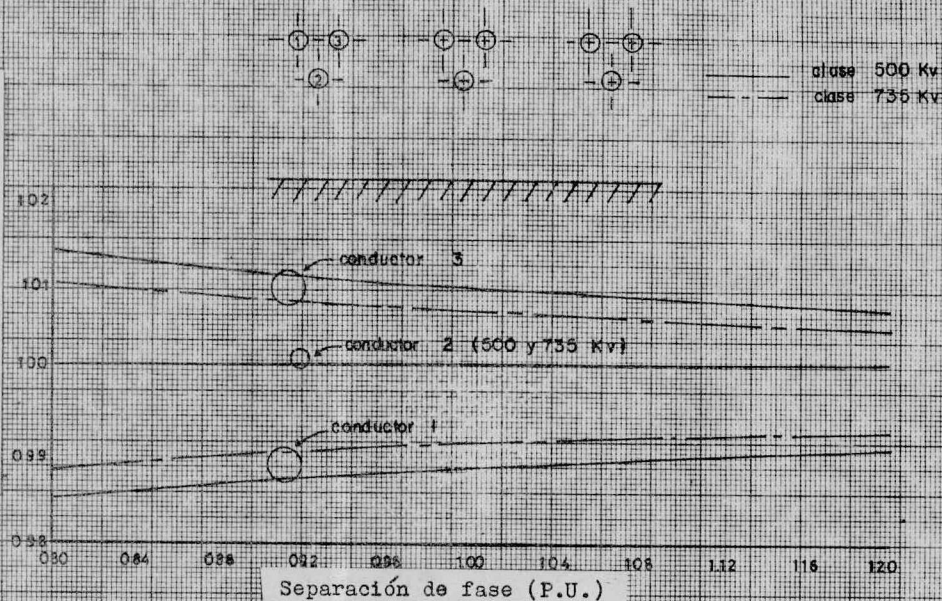


Fig.III. I6 Distribución del Gradiente en la fase exterior, 3 y 4 conductores por fase (un circuito).

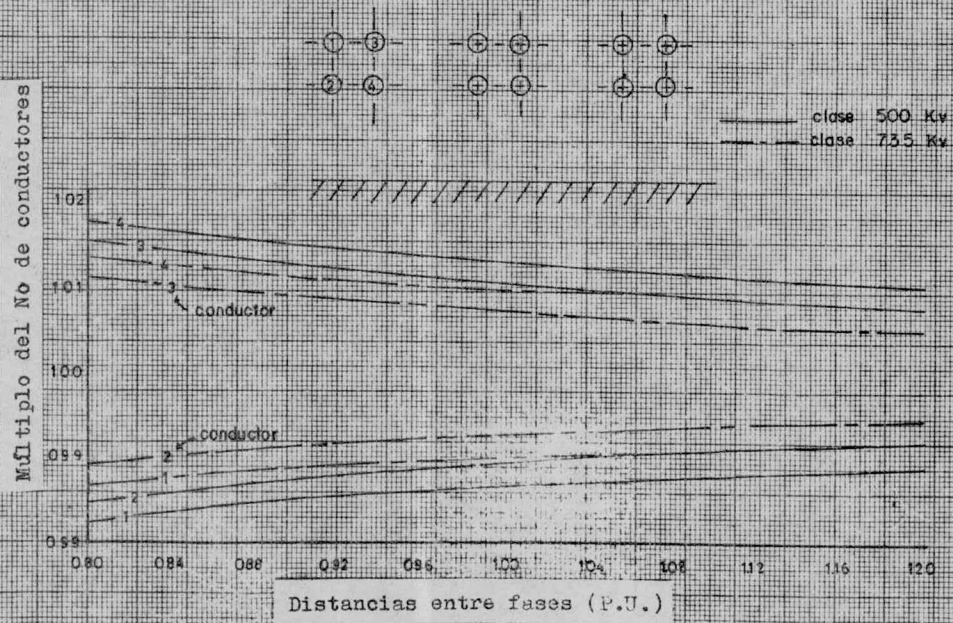


Fig.III. 17 Distribución del Gradiente en las faces exteriores, cuatro conductores por fase (un circuito)

SI SE REQUIERE ENCONTRAR EL GRADIENTE DE TENSION A UN ANGULO DETERMINADO DE UN CONDUCTOR DE FASE, SE RECURRE A LA FIGURA 3.18., EN LA QUE SE PRESENTAN TRES CONFIGURACIONES "BASE", LAS ECUACIONES QUE AHÍ SE DAN SON USADAS PARA CALCULAR ESTOS GRADIENTES. LOS FACTORES HAN SIDO GRAFICADOS PARA ANGULOS -- ESPECÍFICOS Y SE LES PUEDE ENCONTRAR EN LAS FIGURAS 3.19 Y 20.

EL MÉTODO DEL CASO BASE SE AMPLÍA TAMBIÉN PARA OBTENER LOS GRADIENTES EN -- LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON DOBLE CIRCUITO. PARA ELLO SE HACE USO DE LAS CONFIGURACIONES "BASE" DE LA FIGURA 3.21, EL PROCEDIMIENTO ES SIMILAR AL EMPLEADO PARA UN SOLO CIRCUITO, LA DIFERENCIA RADICA EN EL HECHO DE QUE EL -- NÚMERO DE FACTORES AUMENTA DEBIDO A LAS DISTANCIAS ENTRE CADA CIRCUITO Y A LA LOCALIZACIÓN DE LOS HILOS DE TIERRA.

POR LO TANTO LOS GRADIENTES SE OBTENDRÁN DE LA SIGUIENTE FORMA:

$$E_{AA'} = F_V \times F_D \times F_{AA'} \times F_{BB'} \times F_{CC'} \times F_{A-GW} \times F_{AB} \times F_{BC} \times F_{C-GW} \times E_{AA'} \\ CA-BA$$

$E_{BB'}$ Y $E_{CC'}$ SE OBTIENEN DE FORMA SIMILAR.

DONDE:

$E_{AA'}$ = EL GRADIENTE PROMEDIO DE LAS FASES A Y A' DE CADA CIRCUITO

$E_{BB'}$ = EL GRADIENTE PROMEDIO DE LAS FASES B Y B' DE CADA CIRCUITO

$E_{CC'}$ = EL GRADIENTE PROMEDIO DE LAS FASES C Y C' DE CADA CIRCUITO

F_V = EL FACTOR DETERMINADO POR LA TENSION DE OPERACIÓN

F_D = EL FACTOR DETERMINADO POR EL DIÁMETRO DE LOS CONDUCTORES

$F_{AA'}$ = EL FACTOR DADO POR LA DISTANCIA ENTRE LAS FASES A Y A'. SE OBTIENE DE LA FIGURA 3.22.

$F_{BB'}$ = EL FACTOR DADO POR LA DISTANCIA ENTRE LAS FASES B Y B'. SE OBTIENE DE LA FIGURA 3.23.

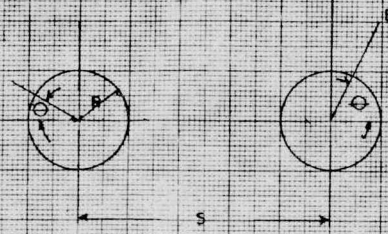
$F_{CC'}$ = EL FACTOR DADO POR LAS DISTANCIAS ENTRE LAS FASES C Y C'. SE OBTIENE DE LA FIGURA 3.24.

- F_{A-GW} = EL FACTOR DETERMINADO POR LA DISTANCIA ENTRE LA FASE A Y EL HILO DE TIERRA. SE OBTIENE DE LA FIGURA 3.31.
- F_{AB} = EL FACTOR DETERMINADO POR LA ALTURA ENTRE LAS FASES A Y B. SE OBTIENE DE LA FIGURA 3.25. O DE LA 3.28.
- F_{BC} = EL FACTOR DETERMINADO POR LA ALTURA ENTRE LAS FASES B Y C. SE OBTIENE DE LA FIGURA 3.26 O DE LA 3.29.
- F_{C-GW} = EL FACTOR DADO POR LA ALTURA ENTRE LA FASE C Y EL PLANO DE TIERRA. SE OBTIENE DE LA FIGURA 3.27 O DE LA 3.30.
- $E_{AA'}$ = EL GRADIENTE SUPERFICIAL DE LOS HACES DE CONDUCTORES EN LAS FASES A Y A'. ESTOS VALORES SE DAN EN LAS TABLAS 3.5 Y 6, YA SEA QUE SE TRATE DE ARREGLOS POR FASE "SUPER-HACINADAS" (SB) O ARREGLOS DE FASE CON BAJA REACTANCIA (LR).
- $E_{BB'}$ = EL GRADIENTE SUPERFICIAL DE LOS HACES DE CONDUCTORES EN LAS FASES B Y B' PARA LA CONFIGURACIÓN DEL CASO-BASE. SE OBTIENE DE LAS TABLAS 3.5 Y 6.
- $E_{CC'}$ = EL GRADIENTE SUPERFICIAL DE LOS HACES DE CONDUCTORES EN LAS FASES C Y C' PARA LA CONFIGURACIÓN DEL CASO-BASE. SE OBTIENE DE LAS TABLAS 3.5 Y 6.

IGUALMENTE AL CASO DE UN SOLO CIRCUITO, PARA DOBLE CIRCUITO TAMBIÉN SE PUEDE ENCONTRAR EL GRADIENTE DE CADA UNO DE LOS CONDUCTORES DE FASE USANDO EL FACTOR F_C , EL CUAL EN ESTE CASO DEPENDE DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ESPACIAMIENTOS ENTRE FASES Y CIRCUITOS, ASÍ COMO DE LOS ARREGLOS DE LOS CONDUCTORES EN LOS HACES.

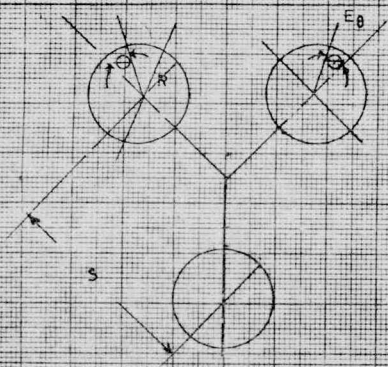
COMO SE PUEDE APRECIAR, EL MÉTODO DEL CASO BASE FACILITA ENORMEMENTE LOS CÁLCULOS DE LOS GRADIENTES DE TENSIÓN DE LAS LÍNEAS, POR ESTA RAZÓN SU USO SE HA HECHO COMÚN TANTO PARA EL ANÁLISIS DE LÍNEAS YA INSTALADAS COMO PARA LOS ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO.

2 CONDUCTORES POR FASE



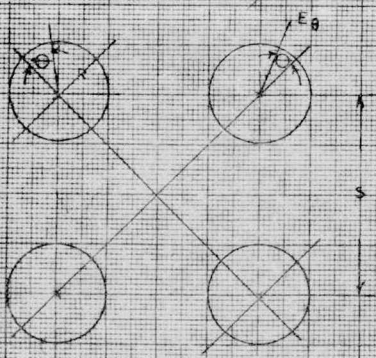
$$E_0 = E_{AV} \left[1 + \frac{2R \cos \theta}{s} \right]$$

3 CONDUCTOR POR FASE



$$E_0 = E_{AV} \left[1 + \sqrt{3} \frac{2R \cos \theta}{s} \right]$$

4 CONDUCTORES POR FASE



$$E_0 = E_{AV} \left[1 + \frac{2}{\sqrt{2}} \frac{2R \cos \theta}{s} \right]$$

Fig. III.18 Gradiente para la distribución (uno y dos circuitos y doble circuito)

Factores de corrección del Gradiente periférico para seleccionar valores de ϕ (ver Fig. II. 18)

ϕ	conductores por fase		
	2	3	4
0	x	x	x
45			x
60		x	
90	x		

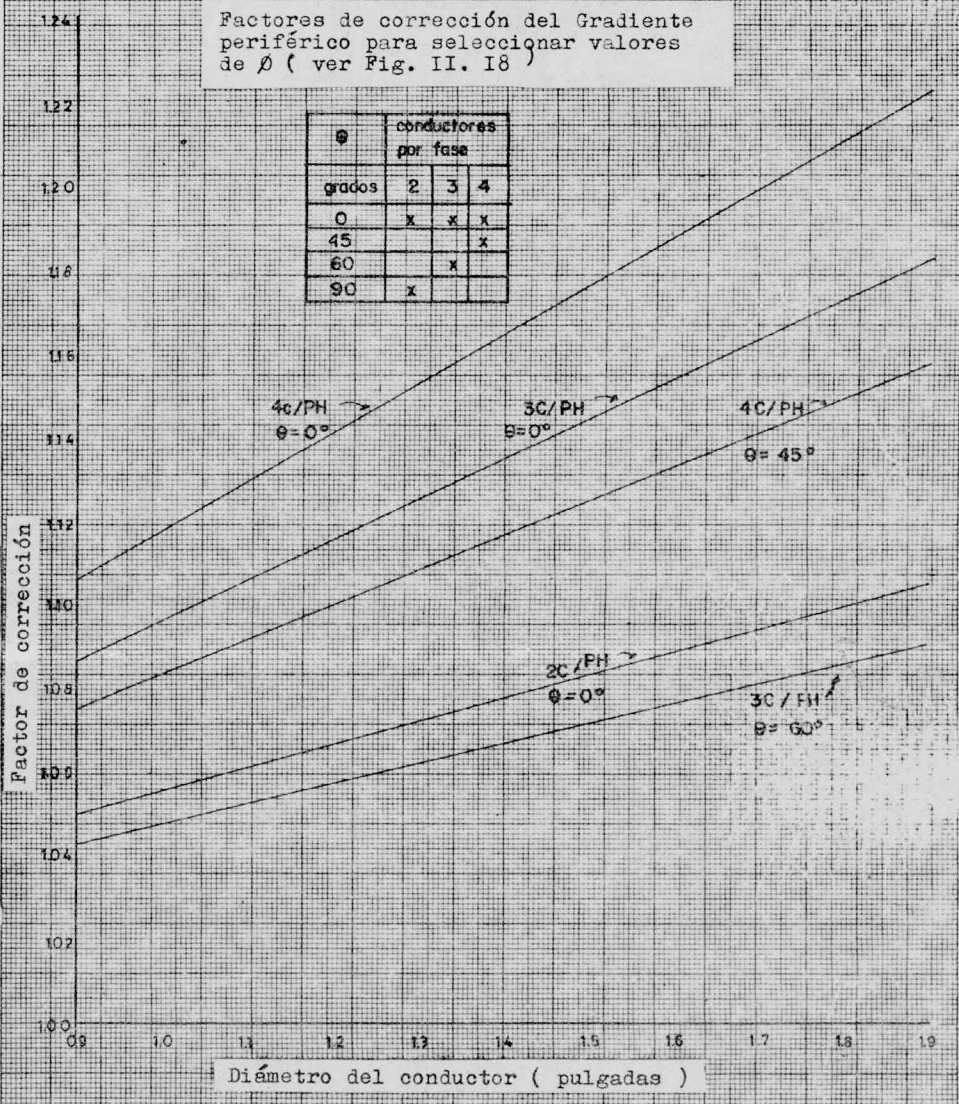


Fig.III. 19 Gradiente periférico para seleccionar valores de ϕ , $\phi = 90^\circ$ (uno y dos circuitos y doble circuito)

Factores de corrección del Gradiente periférico para seleccionar valores de θ (ver Fig. II. 18)

θ	CONDUCTORES POR FASE		
	2	3	4
180	X	X	X
215			X
240		X	

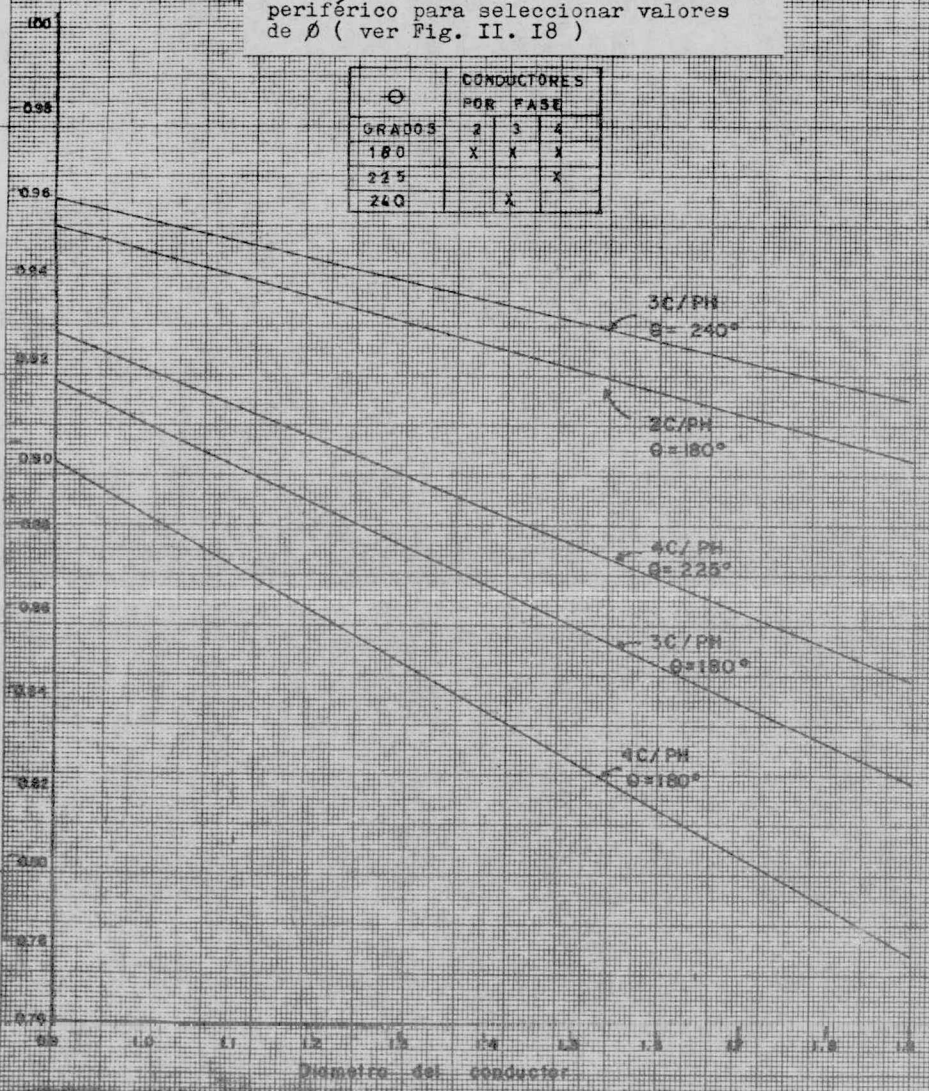


Fig.III. 20 Gradiente periférico para seleccionar valores de θ $\theta = 90^\circ$ (uno y dos circuitos y doble circuito)

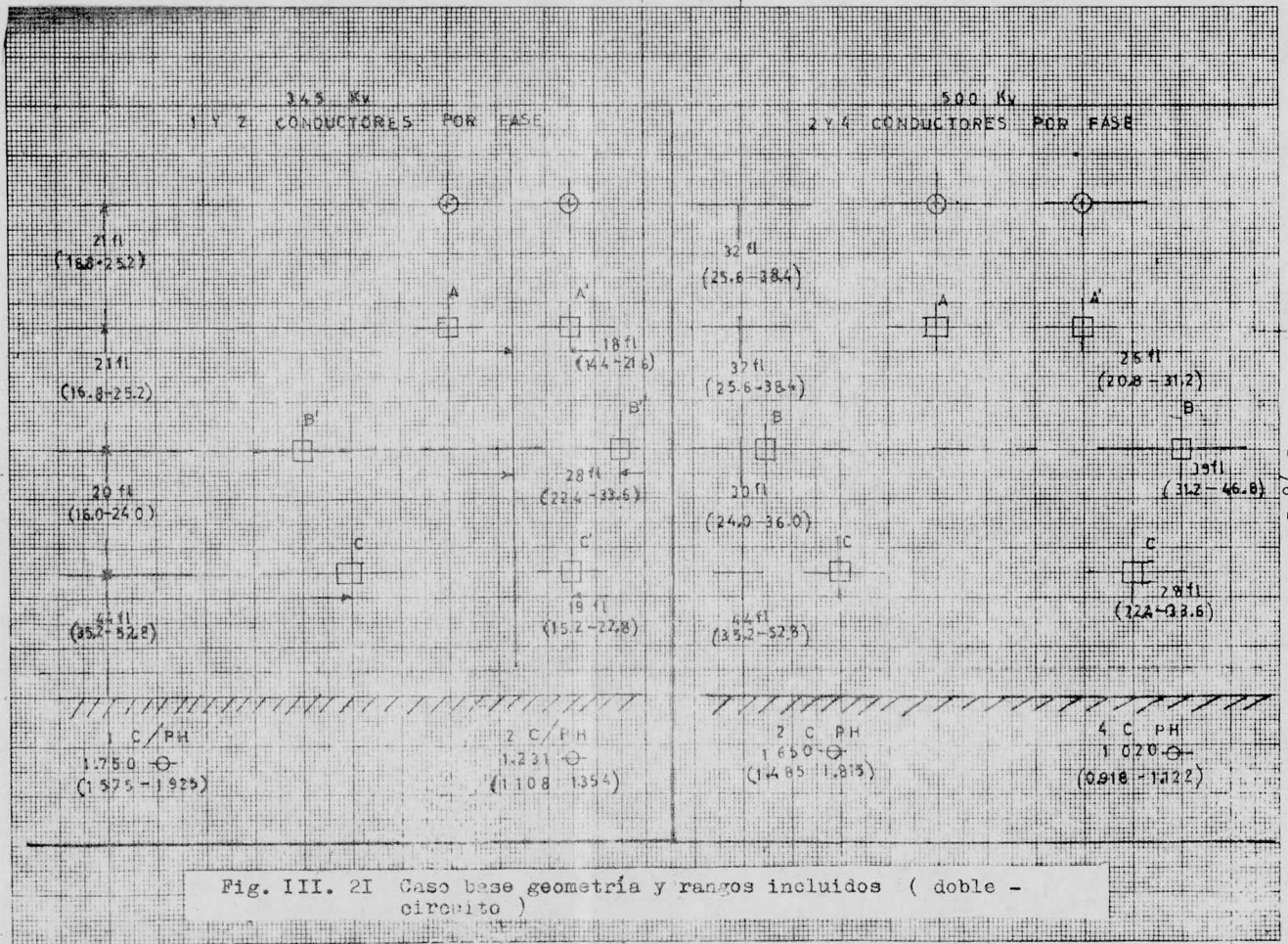


Fig. III. 2I Caso base geometría y rangos incluidos (doble - circuito)

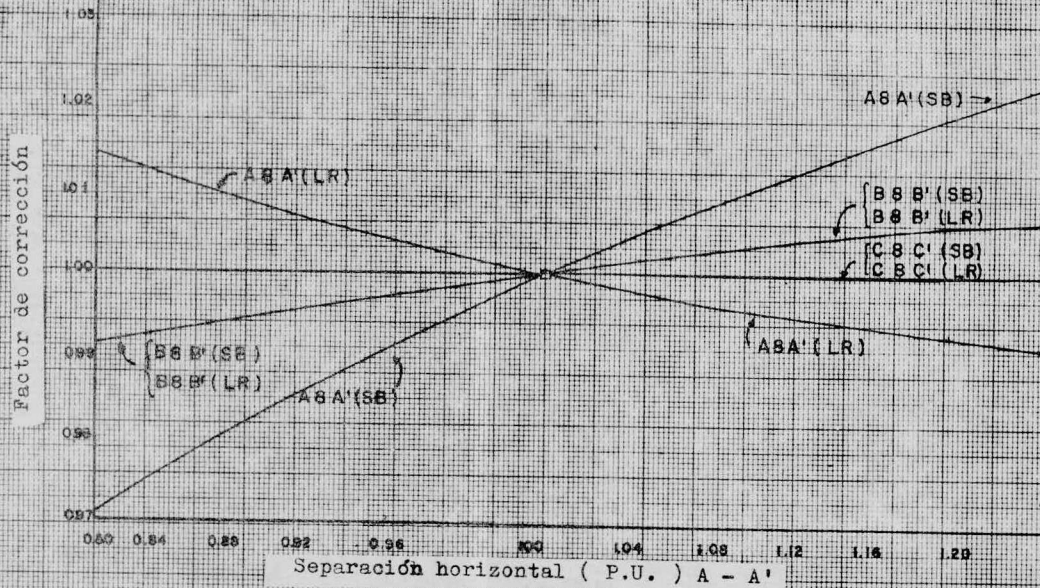


Fig.III. 22 Efecto de la separación A - A' en el Gradiente, del conductor (doble circuito).

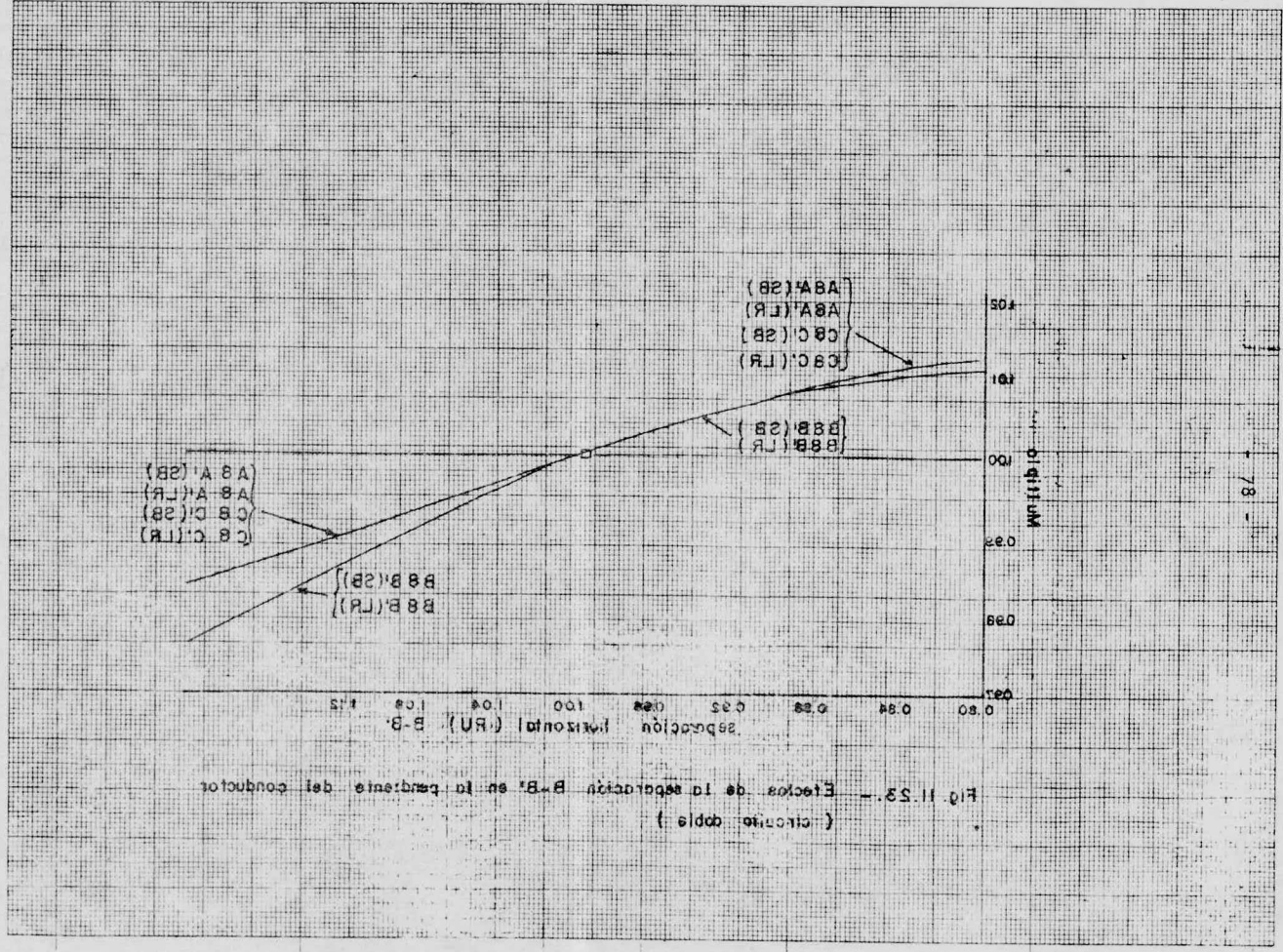


Fig. 11.23. - Efectos de la sección B-B en la pérdida del conductor (circuito doble)

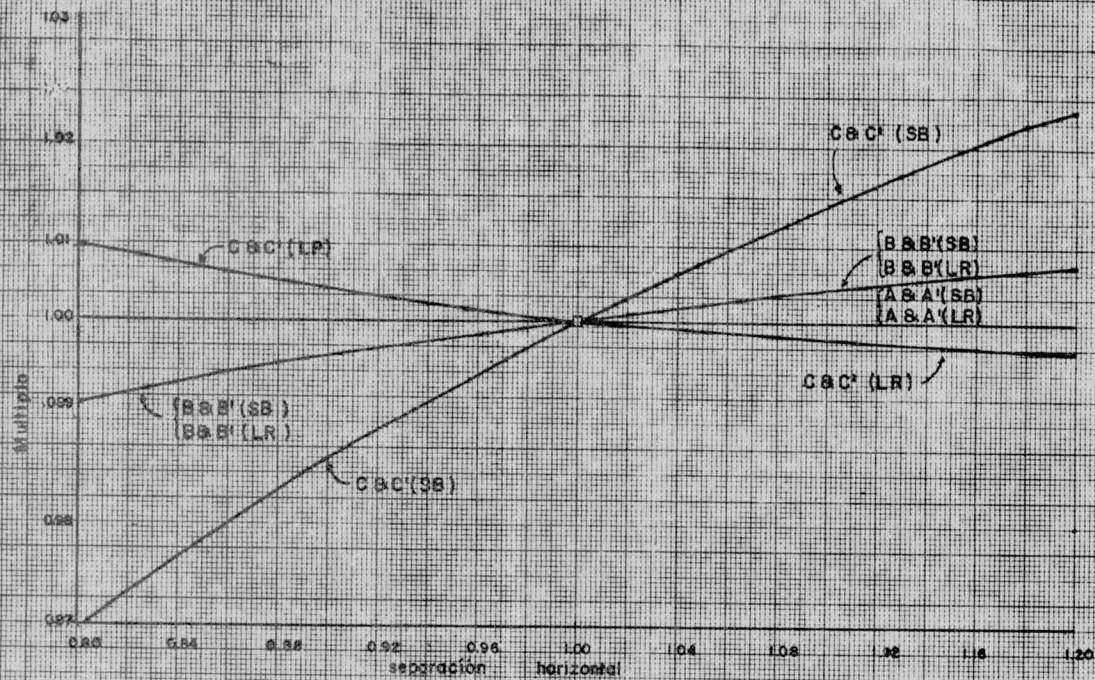


Fig. III. 24 Efectos de la separación C - C' en el Gradiente del conductor (DOBLE CIRCUITO)

Voltaje SB de la configuración única

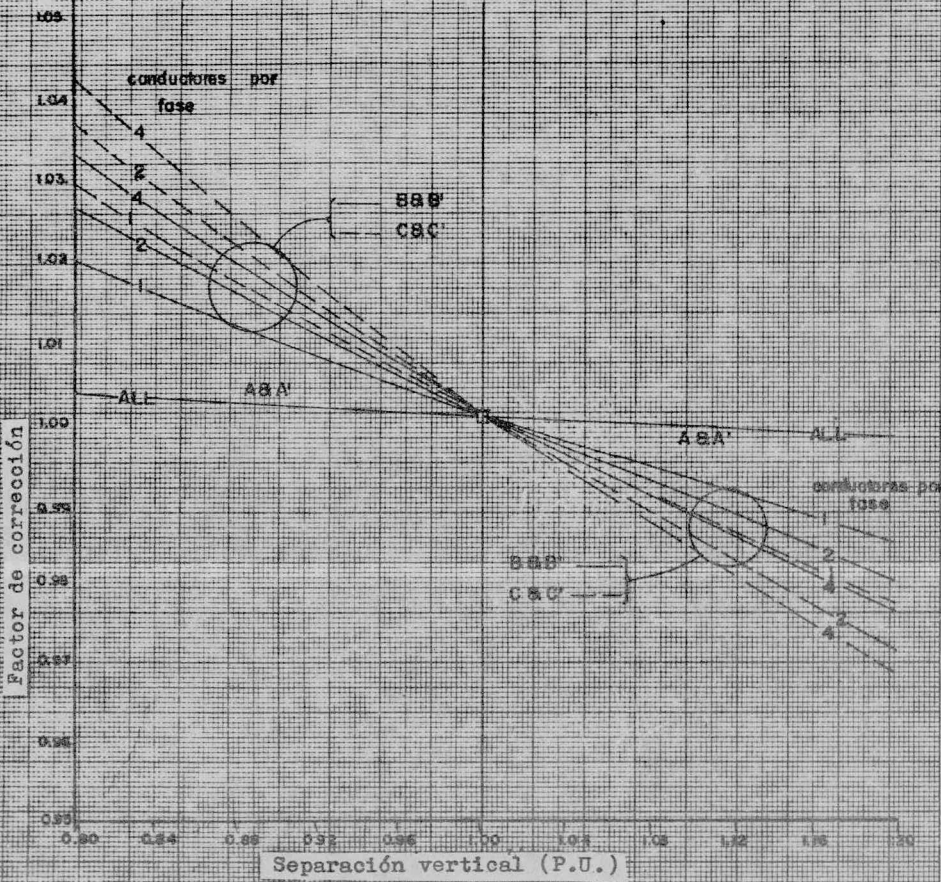


Fig.III.26 Efecto de la separación vertical H_{BC} , en el Gradiente del conductor (doble circuito - voltaje de fase SB).

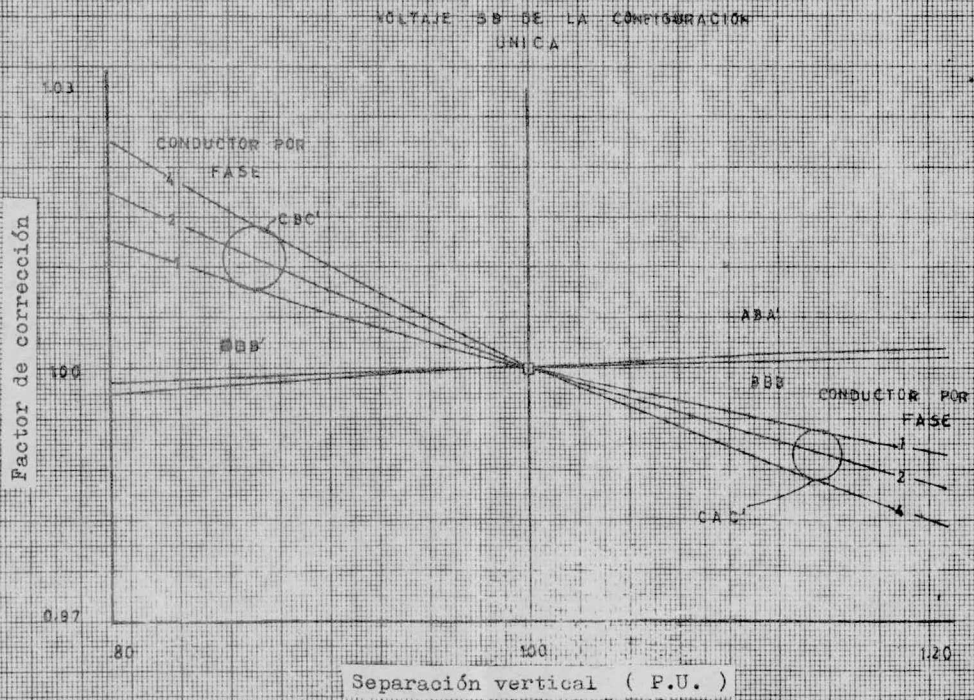


Fig.III. 27 Efecto de la separación vertical H_{CG} en el Gradiente del conductor (doble circuito - voltaje = la fase SB).

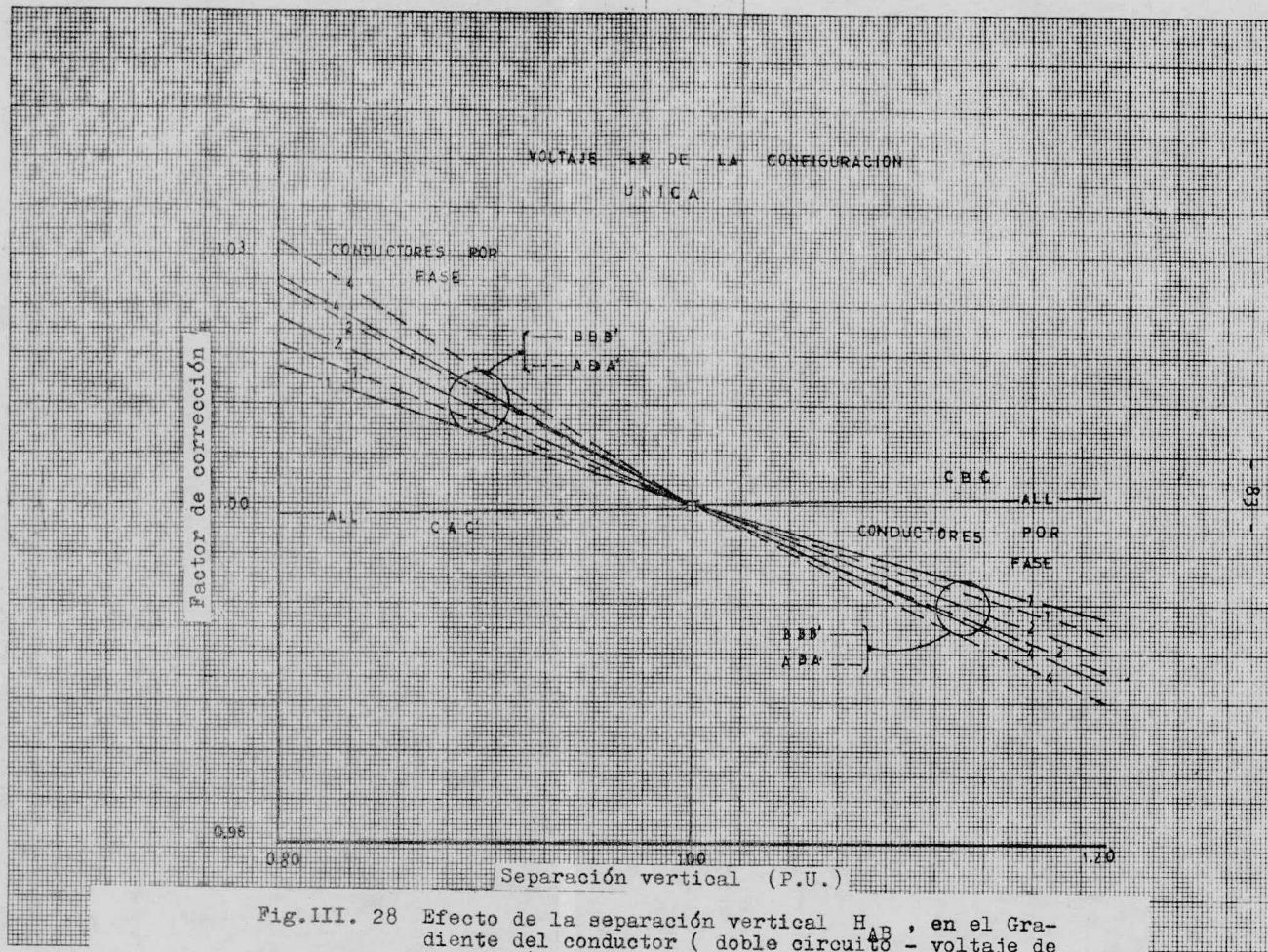


Fig.III. 28 Efecto de la separación vertical H_{AB} , en el Gradiente del conductor (doble circuito - voltaje de fase LR).

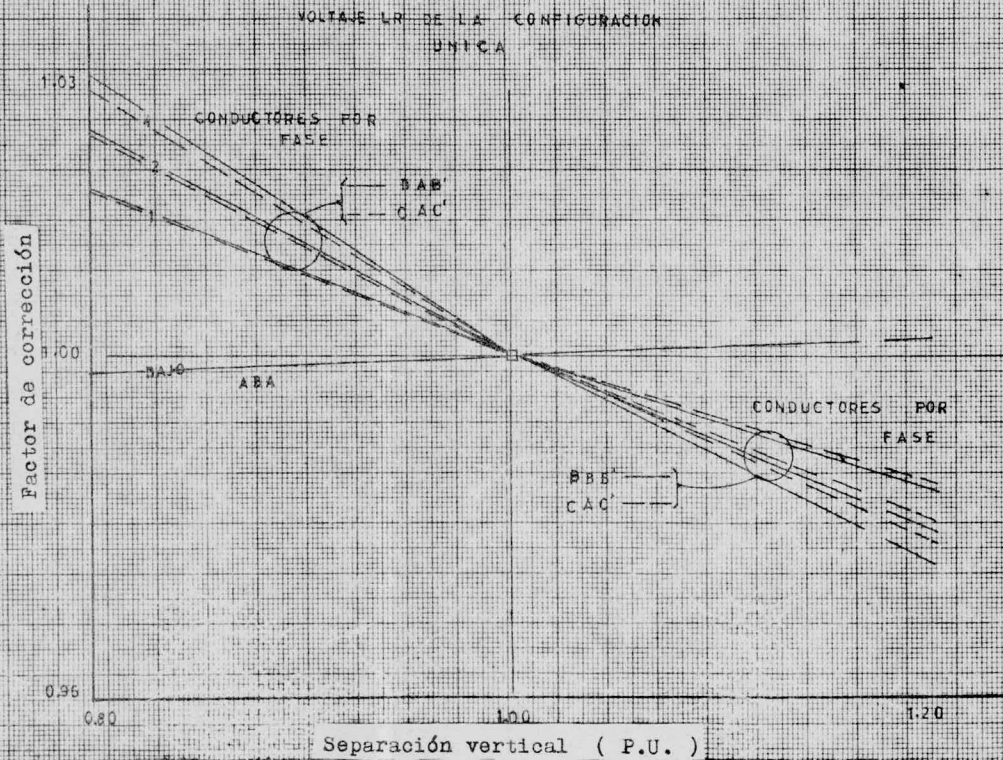


Fig.III. 29 Efecto de la separación vertical H_{BC} , en el Gradiente del conductor (doble circuito - voltaje de fase LR)

VOLTAJE LR CONFIGURACION UNICA

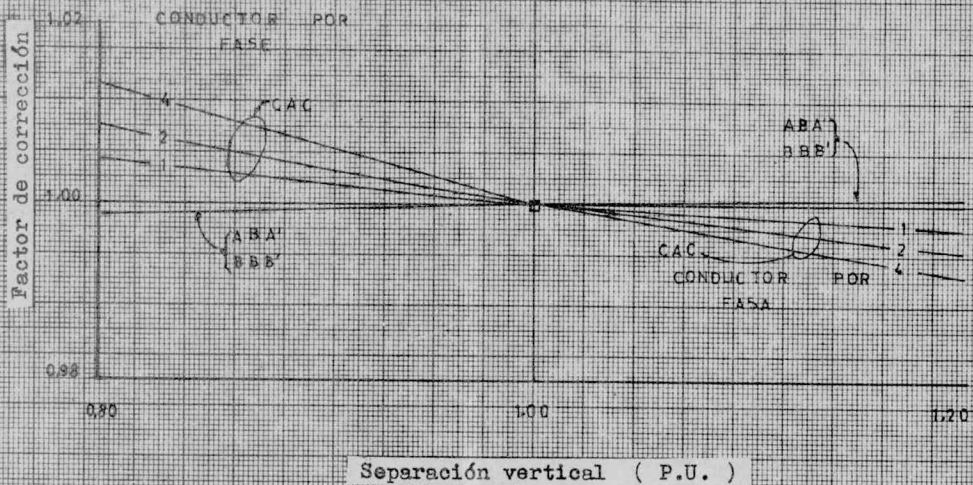
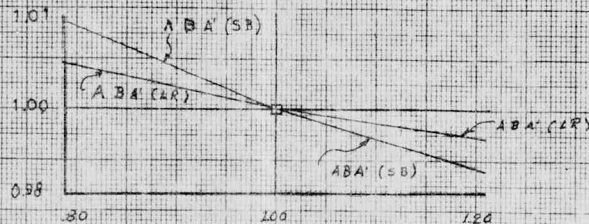


Fig.III. 30 Efecto de la separación vertical H_{CG} en el Gradiente del conductor (doble circuito - voltaje de fase LR)

Factor de corrección



Separación vertical entre el conductor a tierra A - A' (P. U.)

Solo la fase superior (A - A') es afectada por la separación con el hilo de guardia

Fig. III.3I Efecto de la separación vertical entre el conductor a tierra y la fase superior, en el gradiente de la - fase superior (doble circuito)

UNA VEZ CONOCIDAS LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DE LOS CONDUCTORES Y LOS ARREGLOS QUE SEAN FACTIBLES DE UTILIZAR EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, EL DISEÑADOR PODRÁ REALIZAR LA ELECCIÓN MÁS CONVENIENTE.

EN LO QUE SE REFIERE A LOS REQUERIMIENTOS DE LAS ADECUADAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS, HAY UNA GRAN VARIEDAD DE TIPOS DE CONDUCTORES ACSR ASÍ COMO DE LOS ACSR/AW, DENTRO DE LOS QUE EL PLANEADOR DE LA LÍNEA PODRÁ ELEGIR EL MÁS CONVENIENTE PARA EL CASO SEGÚN SEAN LOS MARGENES DE COSTOS COMPENSADOS CON LOS REQUISITOS QUE LLENA CADA UNO DE ELLOS.

TENIENDO HECHA LA ELECCIÓN DEL CONDUCTOR SE PROCEDE A DISEÑAR EL TIPO DE CONFIGURACIÓN QUE SERÁ MÁS CONVENIENTE, PARA ESTO SE TOMAN EN CUENTA LOS CRITERIOS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA, LAS CUALES SE DEBERÁN MINIMIZAR TANTO COMO SEA POSIBLE.

EN LÍNEAS DE EXTRA-ALTA TENSIÓN, LAS PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA SON DE GRAN IMPORTANCIA, POR LO QUE SE DEBE DETERMINAR EFICAZMENTE EL GRADIENTE DE TENSIÓN SUPERFICIAL, EL CUAL DEBERÁ PERMANECER POR DEBAJO DEL VALOR DEL GRADIENTE CRÍTICO SUPERFICIAL DE LA REGIÓN EN LA QUE VAYA A SER INSTALADA LA LÍNEA.

HAY QUE TOMAR EN CUENTA QUE LA MAGNITUD DEL GRADIENTE CRÍTICO DEPENDE DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LAS REGIONES, PUES SE HA VISTO QUE ES MENOR EN REGIONES HÚMEDAS Y CON ALTAS DENSIDADES DEL AIRE.

PARA EFECTOS DE RADIOINTERFERENCIA Y EN ESTUDIOS TÉCNICOS EUROPEOS SE CONSIDERA ACEPTABLE UN GRADIENTE CRÍTICO SUPERFICIAL DE 15.8 KV/CM EN VALOR EFICAZ, MIENTRAS QUE EN LAS INVESTIGACIONES HECHAS EN LOS ESTADOS UNIDOS ESTE VALOR SE REDUCE A 14.2 KV/CM EN VALOR EFICAZ COMO GRADIENTE DE DISEÑO.

CAPITULO IV

ELEMENTOS DE SUJECION Y SOPORTE

1.-GENERALIDADES

SE CONSIDERAN COMO ELEMENTOS DE SUJECIÓN TANTO A LOS HERRAJES DE LAS CADENAS DE AISLADORES, COMO A LOS ACCESORIOS QUE FIJAN LOS CONDUCTORES, INCLUSIVE LOS SEPARADORES DE HACES DE CONDUCTORES. LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE SON LAS TORRES Y LOS POSTES.

2.-ELEMENTOS DE SUJECIÓN

DEBIDO A LA GRAN VARIEDAD DE ELEMENTOS DE SUJECIÓN QUE SE UTILIZAN EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, SE HA PREFERIDO EN ESTE TRABAJO, AGRUPARLOS SEGÚN LA FUNCIÓN QUE REALIZAN, POR LO QUE SE HAN DIFERENCIADO CUATRO TIPOS, CADA UNO DE LOS CUALES TENDRÁ CARACTERÍSTICAS COMUNES CUYO CONOCIMIENTO SERÁ BÁSICO PARA TENER UN BUEN CRITERIO DE ELECCIÓN.

2.1.-ABRAZADERAS

LAS ABRAZADERAS DE CONDUCTORES CONJUNTAMENTE CON LOS YUGOS Y CONECTORES, FORMAN EL ENLACE ENTRE CONDUCTORES Y AISLADORES, SU FUNCIÓN ES SUJETAR AL CONDUCTOR DE TAL MANERA QUE LAS POSIBILIDADES DE DESGASTE POR FRICCIÓN EN ESTOS PUNTOS SEA MÍNIMA.

PUESTO QUE LA ABRAZADERA ESTÁ EN CONTACTO SUPERFICIAL CON EL CONDUCTOR, EL MATERIAL DE FABRICACIÓN DEBERÁ SER ACORDE A EL MATERIAL DEL CONDUCTOR. CON

EL ADVENIMIENTO DE LOS CONDUCTORES DE ALUMINIO, LAS NECESIDADES DE ESTE ELEMENTO EN EL CUERPO DE LAS ABRAZADERAS HAN AUMENTADO, POR TAL RAZÓN ACTUALMENTE SE ESTÁN FABRICANDO ABRAZADERAS DE ALEACIÓN DE SILICÓN-ALUMINIO EN LAS CUALES MEDIANTE UN TRATAMIENTO DE ENFRIADO RÁPIDO, SE LOGRA UN ALTO GRADO DE FORTALEZA; ADEMÁS, LA NATURALEZA NO MAGNÉTICA DE ESTE METAL, EVITA EL CALENTAMIENTO POR HISTÉRESIS DEBIDO A LAS ALTAS CORRIENTES DE TRANSMISIÓN. EN LA FIGURA 4.1.a., SE OBSERVA UNA ABRAZADERA DE ALUMINIO, LOS TORNILLOS EN "U" DE APRIETE SON GENERALMENTE DE ACERO Y ESTÁN CUBIERTOS DE UNA CAPA DE GALVANIZACIÓN POR BAÑO AL ALTO CALOR, EN ESTOS TORNILLOS LA REACCIÓN A LA CORRIENTE DEL CONDUCTOR ES MÍNIMA YA QUE EL LAZO MAGNÉTICO NO ES CERRADO POR LO QUE NO SE GENERAN ALTAS TEMPERATURAS.

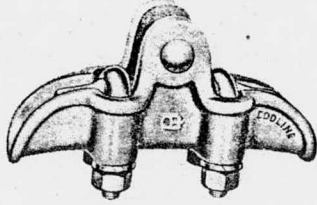
LOS PERNOS Y LA HORQUILLA DE ENLACE SON TAMBIÉN DE ACERO GALVANIZADO. EN ALGUNOS CASOS EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO DEL PERNO Y LA HORQUILLA, Y DEBIDO A LAS ALTAS FUERZAS DE FRICCIÓN QUE SE PRESENTAN, PUEDE OCURRIR QUE LA PELÍCULA DE ZINC O ALUMINIO SE LEVANTE ORIGINANDO OXIDACIONES EN LAS PARTES AFECTADAS. ESTAS OXIDACIONES TIENEN UNA ELEVADA RESISTENCIA ELÉCTRICA, LA TENSIÓN DE LA LÍNEA PUEDE PERFORAR ESTA RESISTENCIA CAUSANDO FLAMEOS QUE A SU VEZ DAN ORIGEN A MOLESTAS SEÑALES DE RADIOINTERFERENCIA. PARA EVITAR ESTE PROBLEMA, ALGUNOS FABRICANTES HAN DISEÑADO PERNOS DE SECCIÓN POLIGONAL, DE TAL FORMA QUE LA SUPERFICIE DE CONTACTO ESTÉ MÁS DISTRIBUIDA, Y EN CONSECUCIÓN LAS FUERZAS DE FRICCIÓN.

OTRO MATERIAL AMPLIAMENTE USADO EN LAS ABRAZADERAS ES EL HIERRO MALEABLE, SU GRAN DUCTILIDAD Y SU ALTA FORTALEZA ASÍ COMO SU FÁCIL MANEJO EN LA FUNDICIÓN LO HACEN IDEAL PARA ESTE TIPO DE ARTÍCULOS EN NO MUY ALTAS TENSIONES YA QUE PARA EXTRA ALTAS Y ULTRA ALTAS TENSIONES LOS CALENTAMIENTOS POR HISTÉRESIS SE INCREMENTAN EXCESIVAMENTE.

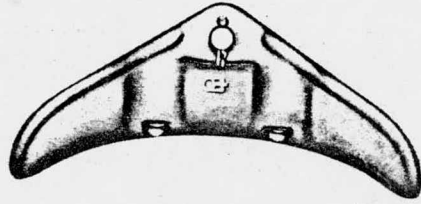
CUANDO SE TIENEN CONDUCTORES DE COBRE, LO USUAL ES COLOCAR ABRAZADERAS DE BRONCE, LAS CUALES TIENEN LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA DEL HIERRO MALEABLE Y NO DAN PROBLEMAS DE MAGNETIZACIÓN.

EN EXTRA ALTAS Y ULTRA ALTAS TENSIONES SE DA A LAS ABRAZADERAS FORMAS REDONDEADAS, TRATANDO DE DISMINUIR LAS PROTUBERANCIAS SUPERFICIALES. EN LA FIGURA 4.1.b., SE APRECIA UNA ABRAZADERA PROPIA PARA EXTRA ALTAS TENSIONES, EN LA CUAL LAS TUERCAS Y TORNILLOS SON MENOS VISIBLES.

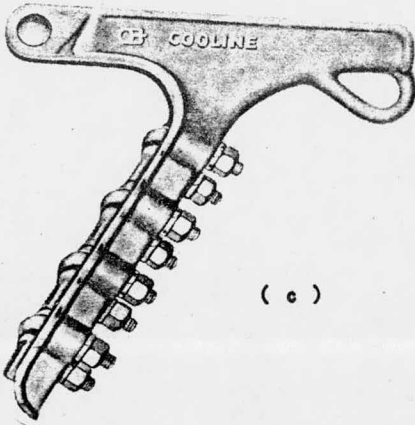
LAS ABRAZADERAS DE TENSIÓN Y SUSPENSIÓN SE FABRICAN AMBAS DE LOS MISMOS MA-



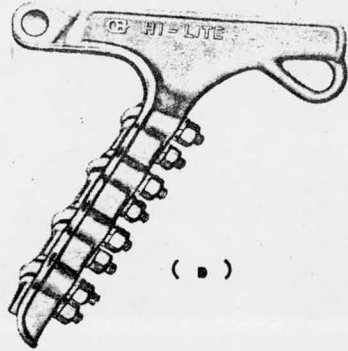
(A)



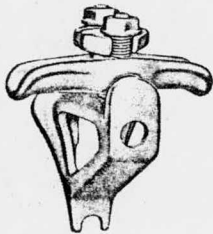
(B)



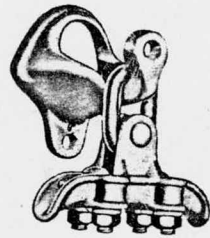
(C)



(D)

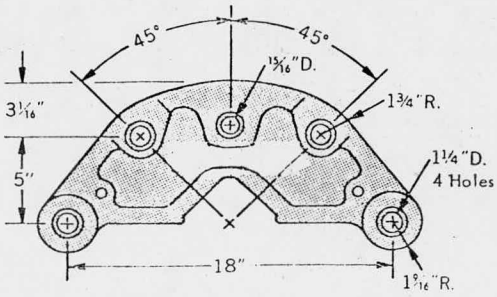


(E)

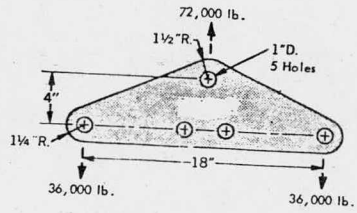


(F)

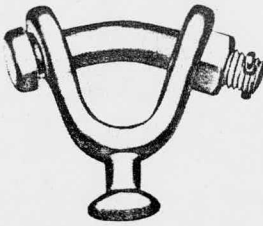
FIG. 4.1. ABRAZADERAS PARA CONDUCTORES E HILOS DE GUARDA EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTAS Y EXTRA ALTAS TENSIONES.



(A)



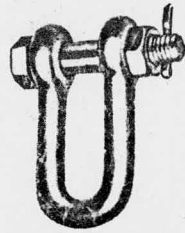
(B)



(C)



(D)



(E)



(F)



(G)



(H)

FIG. 4.2.

TERIALES, LA DIFERENCIA SE DA EN EL DISEÑO DE LA FORMA Y PUESTO QUE LAS DE TENSIÓN SOPORTAN MAYORES ESFUERZOS, LOS TORNILLOS EN "U" DE APRIETE SON EN GENERAL DE MAYORES DIMENSIONES Y NÚMERO. EN LAS FIGURAS 4.1.C. Y 4.1.D., SE OBSERVAN DOS ABRAZADERAS DE TENSIÓN.

LAS ABRAZADERAS DE LOS HILOS DE GUARDA, SON TODAS DE ACERO O HIERRO MALEABLE GALVANIZADO Y REQUIEREN DE UNA MAYOR RESISTENCIA MECÁNICA QUE LAS DE LOS CONDUCTORES ENERGIZADOS. EN LAS FIGURAS 4.1.E Y 4.1.F., SE OBSERVAN DOS TIPOS DE ABRAZADERAS CON SUS SOPORTES PARA LOS HILOS DE GUARDA.

2.2.-YUGOS

LOS YUGOS SE FABRICAN DE ACERO O HIERRO MALEABLE GALVANIZADO, SU FORTALEZA POR LO GENERAL DEBE SER ACORDE A LA RESISTENCIA DE LAS CABENAS DE AISLADORES, POR ESTA MISMA RAZÓN SE PUEDEN DIFERENCIAR, YA SEA QUE VAYAN UNIDOS A CABENAS DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN VERTICALES, EN V, O QUE TRABAJEN CON CABENAS DE AISLADORES EN TENSIÓN. EL DISEÑO DE LA FORMA DEPENDE DEL NÚMERO DE CONDUCTORES POR FASE QUE SE MANEJEN Y DEL NÚMERO DE CABENAS DE AISLADORES A LAS QUE DEBAN ESTAR SUJETOS. ES COMÚN QUE SE LES CONECTEN ANILLOS ANTIEFLUVIOS, LOS CUALES EVITAN LA GENERACIÓN DE ALTOS NIVELES DE GRADIENTES DE TENSIÓN. EN LAS FIGURAS 4.2.A. Y 4.2.B., SE OBSERVAN ALGUNOS TIPOS DE YUGOS USADOS EN ALTAS Y EXTRA ALTAS TENSIONES.

2.3.-CONECTORES

AL IGUAL QUE LOS YUGOS, LOS CONECTORES SON TODOS FABRICADOS DE ACERO O EN HIERRO MALEABLE GALVANIZADO. SE PUEDEN ENLAZAR DE TRES FORMAS: POR GANCHO Y ARGOLLA, POR PERNO Y HORQUILLA Y POR CUENCA Y BOLA. EN GENERAL SE REQUIERE QUE LAS UNIONES TENGAN UNA GRAN MOBILIDAD PARA QUE LOS ESFUERZOS SE TRANSMITAN LIBREMENTE A LA ESTRUCTURA DE SOPORTE. EN LAS FIGURAS 4.2.C, D, E, F, G Y H, SE APRECIAN ALGUNOS DE LOS CONECTORES MÁS USUALES. LOS CONECTORES "Y" COMO EL DE LA FIGURA 4.2.C., SE UTILIZAN PARA INTERCONECTAR EL YUGO CON LAS ABRAZADERAS DE LOS CONDUCTORES O EL YUGO CON LAS CABENAS DE AISLADORES, INDISTINTAMENTE DE QUE LAS CONEXIONES SEAN POR PERNO Y HORQUILLA O POR CUENCA Y BOLA.

LOS GANCHOS Y ARGOLLAS ASÍ COMO LAS EXTENSIONES GENERALMENTE SE UTILIZAN EN

LA UNIÓN ENTRE LA TORRE Y LAS CABENAS DE AISLABORES.

2.4.-SEPARADORES DE CONDUCTORES

LA FINALIDAD DE LOS SEPARADORES DE CONDUCTORES ES LA DE MANTENER LAS DISTANCIAS ENTRE LOS CONDUCTORES DE UNA MISMA FASE, SE COLOCAN A DISTANCIAS PRE--FIJADAS DEPENDIENDO DE LA MAGNITUD DEL CLARO Y SE DISEÑAN DÁNDOLES UNA RELATIVA ELASTICIDAD LA CUAL PERMITE LIGEROS MOVIMIENTOS A LOS CONDUCTORES.

TODOS LOS COMPONENTES DE LOS HERRAJES QUE SON DE HIERRO MALEABLE Y ACERO DE BEN ESTAR PROTEGIDOS POR UNA CAPA DE GALVANIZACIÓN. ESTA CUBIERTA SATISFACE LOS REQUERIMIENTOS DE LA NORMA ASTM.A153. ADEMÁS DE LA CAPA DE ZINC, LAS --TUERCAS SON RECUBIERTAS CON UNA GRASA RESISTENTE AL ÓXIDO CON LA QUE SE PRO--PORCIONA UNA PROTECCIÓN ADICIONAL QUE ASEGURA LA LIMPIEZA DE LAS ROSCAS SIRVIENDO TAMBIÉN COMO LUBRICANTE.

EN LA FIGURA 4.3., SE OBSERVA UN ENLACE DE CONDUCTOR-AISLADOR-ESTRUCTURA, - EN EL CUAL SE APRECIAN LAS ABRAZADERAS, LOS YUGOS Y LOS CONECTORES.

3.-SELECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE

LAS TORRES EN GENERAL RESULTAN MÁS BARATAS QUE LOS POSTES, SIN EMBARGO, COMO UN PRIMER CRITERIO PARA ELEGIR UNA U OTRO, SE CONSIDERAN LAS DISPONIBILIDADES DE ESPACIO QUE SE TENGAN EN LA ZONA SOBRE LA QUE SE INSTALE LA LÍNEA. A EL USO DE POSTES SE LE DA PREFERENCIA EN LAS ÁREAS URBANAS, MIENTRAS QUE LAS TORRES SE DESTINAN A LAS REGIONES RURALES.

3.1.-DIMENSIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

EN LO QUE RESPECTA A LA DIMENSIÓN DE LAS ESTRUCTURAS, PARA FORMARSE UN BUEN CRITERIO DE ELECCIÓN, SE DEBERÁN CONSIDERAR LOS FACTORES SIGUIENTES:

-DISTANCIAS MÍNIMAS DE AISLAMIENTO

-DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE FASES

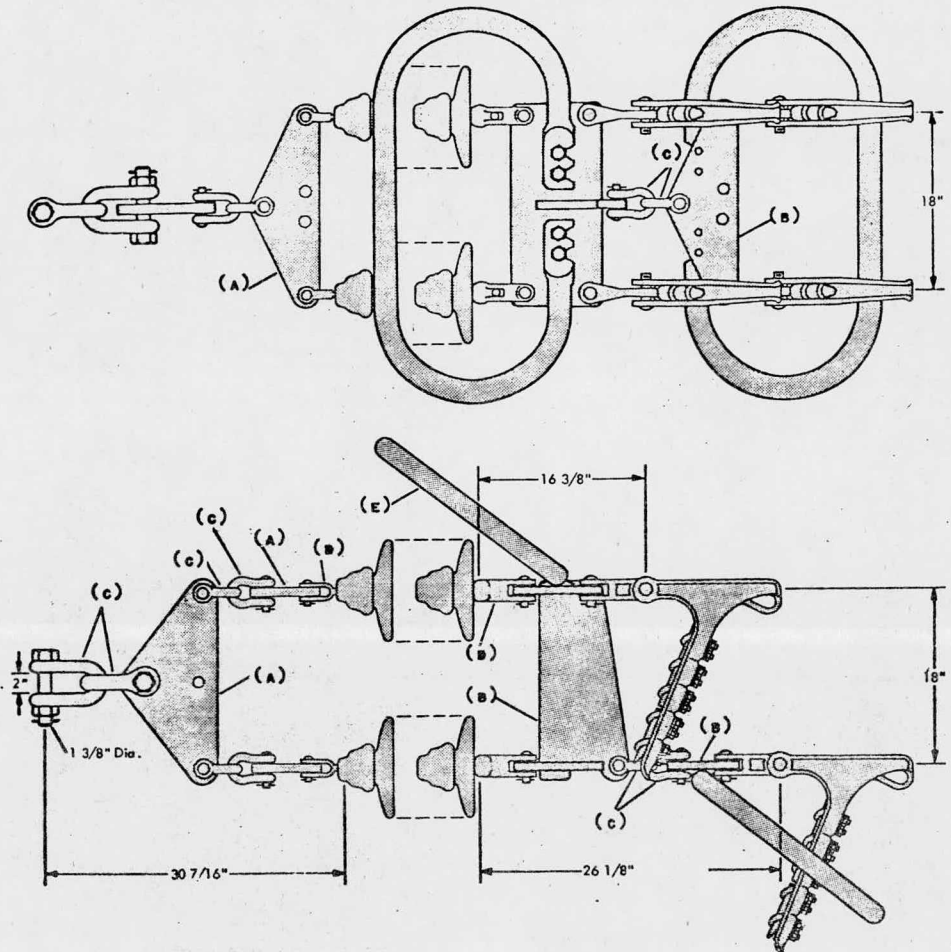


FIG. 4.3. ENLACE CONDUCTOR-AISLADORES-ESTRUCTURAS: (A), YUGO DE INTERCONEXIÓN A ESTRUCTURA; (B), YUGO DE CONEXIÓN A CONDUCTORES; (C), GRILLETES; (D), HORQUILLA CON CONECTOR DE CUENCA Y BOLA; (E), ANILLOS ANTIEFLUVIOS.

-CARGAS MECÁNICAS

-LIBRAMIENTOS NECESARIOS ENTRE LOS CONDUCTORES Y EL PLANO DE TIERRA.

-RESISTENCIA DEL PIE DE LA ESTRUCTURA.

3.1.1.-DISTANCIAS MÍNIMAS DE AISLAMIENTO

DE ESTAS DISTANCIAS DEPENDERÁN LAS DIMENSIONES EN EL EXTREMO SUPERIOR DE LA ESTRUCTURA, SOBRE ESTOS REQUISITOS DE ESPACIO SE TRATÓ EN EL CAPÍTULO NÚMERO II. SE DEBEN CONSIDERAR TAMBIÉN, LOS DESPLAZAMIENTOS DE LAS CABENAS DE AISLADORES OCASIONADOS POR LAS POSIBLES DEFLEXIONES DE LA ESTRUCTURA DADOS LOS GRANDES ESFUERZOS A LOS QUE ESTÁN SOMETIDOS.

3.1.2.-DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE FASES

LAS DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE FASES Y EN CONSECUENCIA LA CONFIGURACIÓN DE LOS HACES DE CONDUCTORES -SI LOS HAY-, AL IGUAL QUE LAS DISTANCIAS MÍNIMAS DE AISLAMIENTO, DETERMINAN LA FORMA Y LOS ESPACIOS NECESARIOS EN LO ALTO DE LA TORRE. ESTAS DISTANCIAS SE FIJAN POR LAS NECESIDADES DE AISLAMIENTO ENTRE CONDUCTORES ENERGIZADOS Y POR LAS CONFIGURACIONES ELEGIDAS PARA LAS FASES Y HACES DE CONDUCTORES LIMITADAS POR LAS PÉRDIDAS DEBIDAS AL EFECTO CORONA, LO CUAL SE ANALIZÓ EN EL CAPÍTULO III.

3.1.3.-CARGAS MECÁNICAS

EN LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE, LA FORTALEZA DE SU ARMAZÓN Y BASAMENTO SE DISEÑA TOMANDO EN CUENTA LAS CARGAS MECÁNICAS A LAS QUE ESTÁN SOMETIDAS. PARA TAL EFECTO, SE TIENEN LOS TRES TIPOS DE ESTRUCTURAS CONOCIDOS, -DE REMATE, DE TENSIÓN Y DE SUSPENSIÓN-, LAS CUALES EN CONJUNTO SATISFACEN LAS NECESIDADES DE SOPORTE DE LA LÍNEA.

3.1.4.-LIBRAMIENTOS NECESARIOS ENTRE LOS CONDUCTORES Y EL PLANO DE TIERRA.

LA ALTURA DE LAS ESTRUCTURAS SERÁ FUNCIÓN DEL LIBRAMIENTO MÍNIMO AL PISO DE LA FLECHA DE LOS CONDUCTORES Y DE LOS PUNTOS DE SUJECIÓN DE ESTOS.

PARA EL CASO DE TORRES DE ACERO, SE CONSIDERAN TRES ALTURAS; UNA ALTURA BA-

SE DADA PARA UN CLARO NORMAL, LA CUAL SERÁ UTILIZADA EN LA MAYOR PARTE DE LA LÍNEA, UNA EXTENSIÓN PARA ESTA ALTURA BASE Y UNA REDUCCIÓN, DEPENDIENDO DE QUE SE PRESENTEN ELEVACIONES O PROFUNDIDADES RESPECTIVAMENTE EN LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO.

PARA EL CASO DE LOS POSTES SE CONSIDERA UNA SOLA ALTURA, PUESTO QUE ESTOS SE INSTALAN SOBRE TERRENO PLANO.

PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTURA BASE DE LAS TORRES, SE DEBE HACER UN ANÁLISIS ADECUADO QUE DETERMINE LA LONGITUD DE LOS CLAROS Y UN AMPLIO ESTUDIO DE LA TOPOLOGÍA DEL TERRENO. ESTOS DATOS SE TRATAN EN LA "LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS". EN LA FIGURA 4.4., SE OBSERVAN LAS ACOTACIONES DADAS PARA UNA TORRE DE SUSPENSIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 400 KV., LAS DIMENSIONES SE FIJARON TOMANDO EN CUENTA LOS FACTORES ESTUDIADOS ANTERIORMENTE.

3.1.5.-RESISTENCIA DEL PIE DE LA ESTRUCTURA

UNA RESISTENCIA DEMASIADO GRANDE EN LA ESTRUCTURA, PUEDE ORIGINAR NIVELES EXCESIVOS DE TENSIONES AL IMPULSO DEL RAYO EN LA CIMA DE LA TORRE, POR LO QUE EL MATERIAL Y LA CONFIGURACIÓN DE LA ESTRUCTURA SE ELIGEN DE TAL MANERA QUE PROPORCIONEN UNA RESISTENCIA PEQUEÑA. EL ANCLAJE A TIERRA SE HACE MEDIANTE GRAPAS ADECUADAS PARA EVITAR UN DEFICIENTE CONTACTO, PROCURÁNDOSE EL MÁXIMO ATERRIZAMIENTO. EN LAS FIGURAS 4.5. Y 4.6., SE OBSERVAN ALGUNAS DE LAS FORMAS DE CONEXIÓN A TIERRA DE TORRES Y POSTES USADOS EN LA TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA RED NACIONAL.

3.2.-LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE

ANTES DE INICIAR EL TRAZO DE LA RUTA DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, SE DEBE HACER UN RECONOCIMIENTO GENERAL DEL TERRENO, SU TOPOGRAFÍA, MORFOLOGÍA DE LOS ECOSISTEMAS, POBLACIONES, CARRETERAS, VÍAS FÉRREAS Y TODO TIPO DE DUCTOS QUE DE CUALQUIER MANERA PUEBAN AFECTAR EL TENDIDO DE LA LÍNEA. ADemás, SE DEBE DE CONTAR CON LA INFORMACIÓN TÉCNICA QUE DEFINA LA TENSIÓN DE OPERACIÓN, EL NÚMERO DE CIRCUITOS, NÚMERO DE CONDUCTORES POR FASE, TIPOS DE ESTRUCTURAS, DEFLEXIONES MÁXIMAS, PUNTOS DE ORIGEN Y DE REMATE, ETC. UNA VEZ DEFINIDA LA RUTA, SE PROCEDE A EFECTUAR LA LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS. LA LOCALIZACIÓN SE HACE SITUANDO PRIMERO GRÁFICAMENTE LAS ESTRUCTURAS SOBRE EL PLANO DEL PERFIL TOPOGRÁFICO DE LA RUTA POR MEDIO DE UNA PLANTILLA, DE--

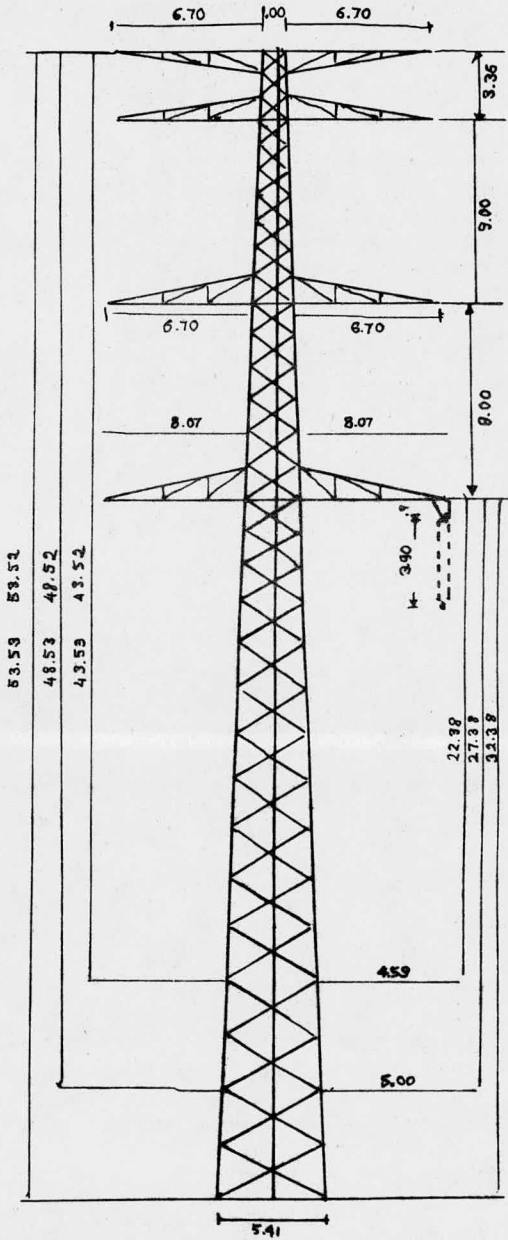


FIG. 4.4. TORRE DE SUSPENSIÓN PARA 400 kV CON LAS ACOTACIONES USUALES.

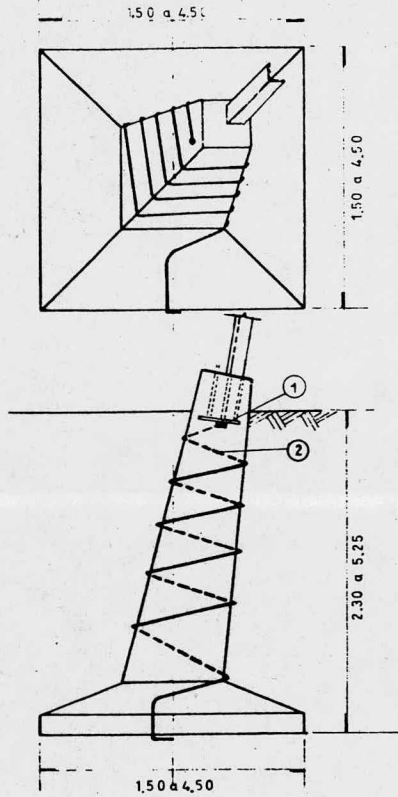


FIG. 4.5 CONEXION A TIERRA PARA TORRES DE 400 kV EN TERRENO SUAVE. 1.- GRAPA CROSBY ; 2.- CABLE DE COBRE.

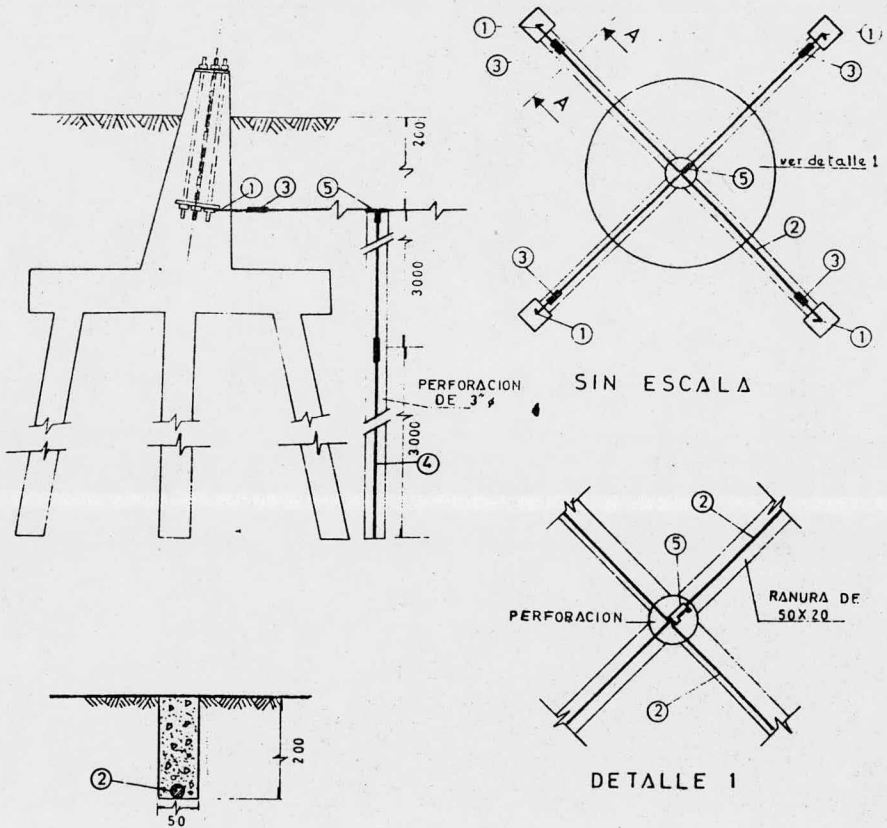


FIG. 4.6 CONEXION A TIERRA PARA TORRES DE 400 kV CON CIMENTACION DE PILOTES HINCADOS. 1.- GRAPA CROSBY ; 2.- CABLE DE COBRE ; 3.- CONECTOR PARA CABLE DE CU BURNDY ; 4.- ELECTRODO DE VARILLA COPPERWELD ; 5.- CONECTOR T PARA CABLE DE COBRE BURNDY.

TERMINANDO TAMBIÉN LAS ALTURAS CORRESPONDIENTES DENTRO DE LAS ALTURAS DISPONIBLES PARA MANTENER LOS LIBRAMIENTOS NECESARIOS.

EXISTEN DOS PROCEDIMIENTOS BÁSICOS PARA EFECTUAR LA LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN; EL MÉTODO MANUAL Y EL POR MEDIO DE UN PROGRAMA DE COMPUTADORA.

3.2.1.-MÉTODO MANUAL

EN ESTE MÉTODO SE DEBEN SEGUIR LOS PASOS SIGUIENTES:

- TRAZO DEL PERFIL TOPOGRÁFICO DE LA RUTA
- CÁLCULO DE FLECHAS Y TENSIONES
- DETERMINACIÓN DEL CLARO REGULADOR
- ELABORACIÓN DE LA PLANTILLA
- LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS Y ALTURAS DE LAS MISMAS

3.2.1.1.-TRAZO DEL PERFIL TOPOGRÁFICO DE LA RUTA

EL TRAZO DEL PERFIL TOPOGRÁFICO SE HACE SOBRE UN PLANO A ESCALA HORIZONTAL 1:2000 Y A ESCALA VERTICAL 1:500. SOBRE ESTE PLANO SE DEBEN SITUAR TAMBIÉN LOS LÍMITES DE LAS PROPIEDADES PARTICULARES, CARRETERAS, VÍAS FÉRREAS, RÍOS, CRUZAMIENTOS CON OTRAS LÍNEAS O DE COMUNICACIÓN, ETC.

3.2.1.2.-CÁLCULO DE FLECHAS Y TENSIONES

LA ALTURA DEL CONDUCTOR EN EL CENTRO DEL CLARO, SIEMPRE ES MENOR QUE LA ALTURA DE LOS PUNTOS DE SOPORTE EN LAS ESTRUCTURAS, LA DIFERENCIA ENTRE ESTAS ALTURAS ES CONOCIDA COMO FLECHA DEL CONDUCTOR.

COMO LA FLECHA ESTÁ EN FUNCIÓN DE LA TENSIÓN MECÁNICA QUE SE APLICA AL CONDUCTOR DURANTE EL MONTAJE, ENTONCES PARA UNA LONGITUD DE CLARO DADA, A MAYOR TENSIÓN MECÁNICA APLICADA, LA FLECHA ES MENOR. SIN EMBARGO, EXISTE UN LÍMITE DE TENSIÓN MECÁNICA IMPUESTA POR LAS LIMITACIONES DE LAS ESTRUCTURAS PARA MANTENER SU EQUILIBRIO Y POR LA PROPIA RESISTENCIA DEL CONDUCTOR. POR OTRA PARTE, SI SE DEJAN FLECHAS MUY GRANDES PARA NO PROVOCAR ESFUERZOS MECÁNICOS EN ESTRUCTURAS, SOPORTES Y CONDUCTORES, ENTONCES SE DEBEN USAR ESTRUCTURAS MÁS ALTAS PARA OBTENER LA DISTANCIA MÍNIMA A TIERRA Y BRAZOS MÁS LARGOS PARA PREVENIR EL CHOQUE ENTRE CONDUCTORES CAUSADO POR EL VIENTO.

PARA EL CÁLCULO DE FLECHAS Y TENSIONES SE TIENEN LOS MÉTODOS SIGUIENTES:

A.) MÉTODO DE LA CATENARIA

B.) MÉTODO DE LA PARÁBOLA

A.) MÉTODO DE LA CATENARIA

SE CONSIDERA QUE UN CONDUCTOR SUSPENDIDO ENTRE DOS SOPORTES A UN MISMO NIVEL ADQUIERE LA FORMA DE UNA CATENARIA.

LLAMANDO w A LA CARGA POR UNIDAD DE LONGITUD, SE TIENE QUE LA MAGNITUD W DE LA CARGA TOTAL SOPORTADA POR UNA PORCIÓN DEL CABLE DE LONGITUD S MEDIDA DESDE EL PUNTO MÁS BAJO C AL PUNTO D ES $W = wS$. FIGURA 4.7.

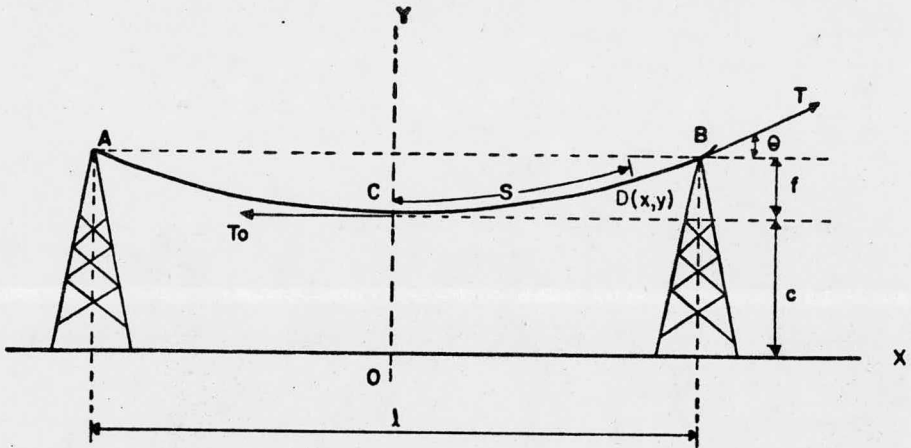


FIG. 4.7

DE ESTA FIGURA SE OBTIENE EL DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL SEGMENTO DE CABLE QUE SE EXTIENDE DESDE EL PUNTO MÁS BAJO C A UN PUNTO CUALQUIERA D DEL CABLE. FIGURAS 4.8 A Y B.

LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL CUERPO LIBRE SON LA TENSION T_0 EN C QUE ES HORIZONTAL, LA TENSION T EN B DIRIGIDA A LO LARGO DE LA TANGENTE AL CABLE EN EL PUNTO D Y LA RESULTANTE W DE LA CARGA SOSTENIDA POR LA PORCIÓN DEL CABLE CB . DIBUJANDO EL TRIÁNGULO DE FUERZAS CORRESPONDIENTE FIGURA 4.8.B, SE OBTIENEN LAS RELACIONES DE COMPONENTES SIGUIENTES:

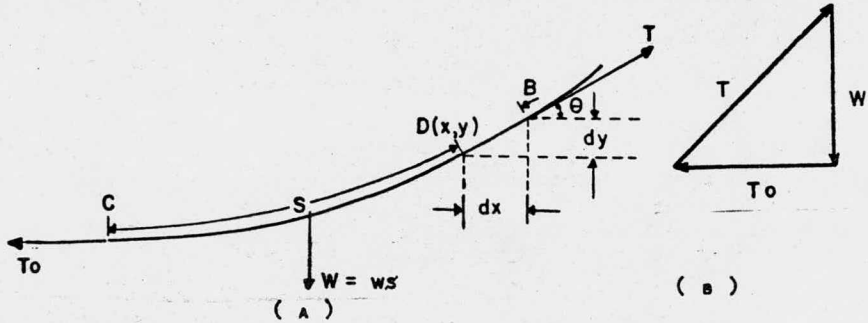


FIG. 4.8

$$\begin{aligned} T_0 &= T \cos \theta, & W &= T \sin \theta \\ \tan \theta &= \frac{W}{T_0} & \text{Y} & T = \sqrt{T_0^2 + W^2} \end{aligned} \quad \text{-----} 4.1$$

COMO $W = ws$ Y $T_0 = wC$ ENTONCES LA ECUACIÓN 4.1 QUEBA:

$$T = w \sqrt{C^2 + s^2} \quad \text{-----} 4.2$$

QUE ES LA TENSION EN EL PUNTO B.

SIN EMBARGO, EL DIAGRAMA NO PUEDE USARSE PARA OBTENER DIRECTAMENTE LA ECUACIÓN DE LA CURVA FORMADA POR EL CABLE, PUESTO QUE NO SE CONOCE LA DISTANCIA HORIZONTAL DESDE D A LA LÍNEA DE ACCIÓN DE LA RESULTANTE W DE LA CARGA.

PARA OBTENER DICHA ECUACIÓN SE TOMA EN CUENTA QUE LA PROYECCIÓN HORIZONTAL DE UN ELEMENTO DIFERENCIAL DEL CABLE DE LONGITUD ds ES:

$$dx = ds \cos \theta$$

Y OBSERVANDO LA FIGURA 4.8.B, SE TIENE QUE:

$$\cos \theta = \frac{T_0}{T}$$

USANDO 4.2 SE TIENE:

$$dx = ds \frac{T_0}{T} = \frac{wC}{w \sqrt{C^2 + s^2}} ds = \frac{ds}{\sqrt{1 + s^2/C^2}} \quad \text{-----} 4.3$$

SELECCIONANDO EL ORIGEN DE COORDENADAS A UNA DISTANCIA C DIRECTAMENTE ABA-

JO DE C (FIGURA 4.7), E INTEGRANDO DESDE C(0,0), HASTA D(x,y) SE TIENE:

$$x = \int_0^s \frac{ds}{\sqrt{1 + s^2/c^2}} = c \left[\text{SENH}^{-1}\left(\frac{s}{c}\right) \right] = c \text{ SENH}^{-1}\left(\frac{s}{c}\right) \text{ -----4.4}$$

ESTA ECUACIÓN QUE RELACIONA LA LONGITUD S DE LA PORCIÓN DE CABLE CD CON LA DISTANCIA HORIZONTAL X PUEDE ESCRIBIRSE COMO:

$$s = c \text{ SENH} \frac{x}{c} \text{ -----4.5}$$

LA RELACIÓN ENTRE LAS COORDENADAS X E Y, PUEDE OBTENERSE ESCRIBIENDO:

$$dy = dx \tan \theta$$

OBSERVANDO EN LA FIGURA 4.8.B, QUE $\tan \theta = \frac{W}{T_0}$ Y USANDO 4.2 Y 4.5 SE TIENE:

$$dy = \frac{W}{T_0} dx = \frac{s}{c} dx = \text{SENH} \frac{x}{c} dx$$

INTEGRANDO DESDE C(0,c), HASTA D(x,y), SE TIENE:

$$y-c = \int_0^x \text{SENH} \frac{x}{c} dx = c \text{ COSH} \frac{x}{c} = c \left(\text{COSH} \frac{x}{c} - 1 \right)$$

$$y = c \text{ COSH} \frac{x}{c} \text{ -----4.6}$$

ESTA RELACIÓN ES LA DE UNA CATENARIA DE EJE VERTICAL. LA ORDENADA C DEL PUNTO MÁS BAJO C SE DENOMINA EL PARÁMETRO DE LA CATENARIA.

ELEVANDO AMBOS MIEMBROS AL CUADRADO DE LAS ECUACIONES 4.5 Y 4.6 Y RESTANDO LAS SE OBTIENE:

$$y^2 - s^2 = c^2 \left(\text{COSH}^2 \frac{x}{c} - \text{SENH}^2 \frac{x}{c} \right)$$

PUESTO QUE $\text{COSH}^2 A - \text{SENH}^2 A = 1$, ENTONCES:

$$y^2 - s^2 = c^2 \text{ -----4.7}$$

DESPEJANDO s^2 DE 4.7 Y SUSTITUYENDO EN LA ECUACIÓN 4.2, SE LLEGA A:

$$T = WY \text{ -----} 4.8$$

LA ECUACIÓN 4.8, REPRESENTA LA TENSION EN CUALQUIER PUNTO D DEL CABLE. ADEMÁS QUE LA TENSION ES MÍNIMA EN EL PUNTO MÁS BAJO DEL CABLE Y MÁXIMA EN LOS PUNTOS DE SOPORTE O SEA CUANDO

$$Y = C + F \text{ -----} 4.9$$

DESPEJANDO Y DE 4.7, SUSTITUYENDO EN 4.9 Y ELEVANDO AL CUADRADO AMBOS MIEMBROS PARA ENCONTRAR C TENEMOS:

$$(C + F)^2 = (\sqrt{C^2 + S^2})^2$$
$$C^2 + 2CF + F^2 = C^2 + S^2$$
$$C = \frac{S^2 - F^2}{2F} \text{ -----} 4.10$$

SUSTITUYENDO LAS ECUACIONES 4.9 Y 4.10 EN 4.8, LA TENSION MÁXIMA SERÁ LA SIGUIENTE:

$$T_{MÁX} = WY = W(C + F) = W \frac{S^2 - F^2}{2F} + WF$$
$$T_{MÁX} = W \frac{S^2 - F^2}{2F} \text{ -----} 4.11$$

LA TENSION MÍNIMA ES EN EL PUNTO MEDIO DEL CLARO, O SEA CUANDO Y = 0 ES DECIR:

$$T_{MÍN} = WY = WC = W \frac{S^2 - F^2}{2F} \text{ -----} 4.12$$

DE LA ECUACIÓN 4.11 SE PUEDE DETERMINAR LA FLECHA F, POR LO TANTO:

$$2F T_{MÁX} = WS^2 + WF^2$$
$$F^2 - \frac{2F T_{MÁX}}{W} + S^2 = 0 \text{ -----} 4.13$$

QUE ES UNA ECUACIÓN DE LA FORMA $Ax^2 + Bx + C = 0$ Y CUYA SOLUCIÓN ES:

$$F = \frac{\frac{-2Tm\lambda x}{w} + \sqrt{\frac{4T^2 m\lambda x}{w^2} - 4s^2}}{2}$$

DONDE:

$$\frac{4T^2 m\lambda x}{w^2} \geq 4s^2 \quad \text{SI SE QUIERE UNA SOLUCIÓN REAL; EN EL LÍMITES}$$

$$\frac{4T^2 m\lambda x}{w^2} = 4s^2 \quad \text{SE TIENE ENTONCES } T^2_{m\lambda x} = w^2 s^2 \quad \text{Y POR LO TANTO:}$$

$$Tm\lambda x = ws^2 \quad \text{Y } s = \frac{Tm\lambda x}{w} \quad \text{QUE ES LA LONGITUD DE LA CURVA DEL CONDUCTOR.}$$

B.) MÉTODO DE LA PARÁBOLA

EXISTEN MUCHOS FACTORES QUE AFECTAN LA DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES Y -- LAS FLECHAS EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, TALES COMO EL MATERIAL DE LOS -- CONDUCTORES, EL TIPO DE TORRE, LOS DESNIVELES DEL TERRENO, EL CLARO VERTI -- CAL Y HORIZONTAL, ETCETERA. EL CONOCIMIENTO DE ESTOS PARÁMETROS AL FINAL -- DEL ESTUDIO, DETERMINARÁ QUE MÉTODO ES EL MÁS ADECUADO PARA EL CASO.

EN LA MAYORÍA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, LA FLECHA ES PEQUEÑA COMPARADA CON LA MAGNITUD DEL CLARO, POR LO QUE SE PUEDE DECIR QUE LA LONGITUD DE LA CURVA DEL CONDUCTOR ES APROXIMADAMENTE IGUAL A LA LONGITUD DEL CLARO, ESTO ES QUE:

$$s = l/2$$

DE LA FIGURA 4.9, SE PUEDE SUPONER QUE EL PESO PARA LA MITAD DEL CLARO SE ENCUENTRA CONCENTRADO EN $l/4$.

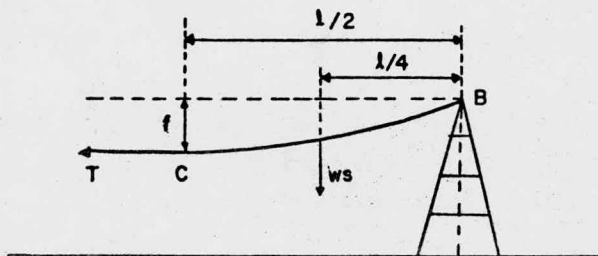


FIG. 4.9

IGUALANDO MOMENTOS CON RESPECTO AL PUNTO DE APOYO B SE TIENE:

$$Tf = ws(l/4), \text{ PERO } s = l/2, \text{ Y POR LO TANTO:}$$

$$Tf = w(l/2)(l/4)$$

$$Tf = w(l^2/8) \text{ Y ENTONCES } T = \frac{wl^2}{8f} \text{ -----4.16}$$

TOMANDO UN ELEMENTO DIFERENCIAL ds , SOBRE LA LONGITUD DE LA CURVA DEL CABLE SE TIENE (FIGURA 4.10).

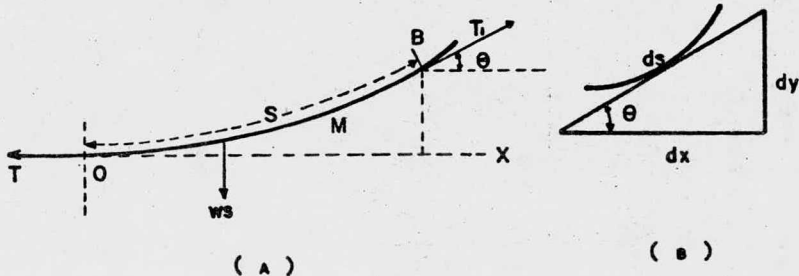


FIG. 4.10

$$dy = ds \text{ SEN } \theta = ds \frac{ws}{T} = \frac{ws}{w\sqrt{c^2 + s^2}} ds$$

$$dy = \frac{s}{\sqrt{c^2 + s^2}} ds, \text{ INTEGRANDO DESDE O HASTA } S, \text{ SE TIENE:}$$

$$y = \int_0^S \frac{s}{\sqrt{c^2 + s^2}} ds = \sqrt{c^2 + s^2} \text{ ----- 4.17}$$

LA EXPRESIÓN ANTERIOR ES LA RELACIÓN ENTRE EL DESPLAZAMIENTO VERTICAL Y LA DISTANCIA S MEDIDA A LO LARGO DE LA CURVA DEL CONDUCTOR.

PARA RELACIONAR x Y S , SE OBSERVA EN LA FIGURA 4.10.B QUE :

$$dx = ds \cos \theta, \text{ COMO } \cos \theta = \frac{T_0}{T} \text{ Y } T = w \sqrt{c^2 + s^2}, T_0 = wC$$

ENTONCES

$$dx = ds \frac{T_0}{T} = \frac{wC ds}{w \sqrt{c^2 + s^2}}, \text{ INTEGRANDO DESDE 0 HASTA } S,$$

SE TIENE:

$$x = \int_0^S \frac{C ds}{\sqrt{c^2 + s^2}}$$

$$x = C \ln \left(\frac{s + \sqrt{c^2 + s^2}}{c} \right), \text{ POR LO TANTO:}$$

$$C e^{x/C} = s + \sqrt{c^2 + s^2}, \text{ QUE ESCRITO DE OTRA FORMA ES:}$$

$$\frac{e^{-x/C}}{C} = \frac{1}{s + \sqrt{c^2 + s^2}} \text{ ----- 4.18}$$

SI SE MULTIPLICA EL LADO DERECHO DE LA ECUACIÓN ANTERIOR POR:

$$(\sqrt{c^2 + s^2} - s) / (\sqrt{c^2 + s^2} - s) = 1$$

SE LLEGA A OBTENER:

$$C e^{-x/C} = \sqrt{c^2 + s^2} - s \text{ ----- 4.19}$$

SUMANDO 4.18 Y 4.19 SE OBTIENE:

$$C e^{x/c} + C e^{-x/c} = 2 \sqrt{C^2 + S^2} \quad \text{POR LO QUE:}$$

$$Y = \frac{C}{2} (e^{x/c} + e^{-x/c})$$

Y POR LO TANTO:

$$Y = C \cosh \frac{x}{c} \quad \text{-----4.20}$$

SI SE RESTA 4.18 DE 4.19 SE OBTIENE:

$$2S = C e^{x/c} - C e^{-x/c}$$

$$S = \frac{C}{2} (e^{x/c} - e^{-x/c})$$

$$S = C \sinh \frac{x}{c} \quad \text{-----4.21}$$

LAS ECUACIONES 4.5 Y 4.21 SON IGUALES, LO MISMO OCURRE CON LAS ECUACIONES 4.6 Y 4.20, POR LO QUE SE DEDUCEN LOS MISMOS RESULTADOS EN LOS DOS MÉTODOS.

SI EN LA ECUACIÓN 4.20 SE EXPANDE EL TÉRMINO COSH, SE TIENE:

$$Y = \frac{C}{2} \left(1 + \frac{x/c}{1!} + \frac{(x/c)^2}{2!} + \dots \right) + \left(1 + \frac{-x/c}{1!} + \frac{(-x/c)^2}{2!} + \dots \right)$$

$$Y = \frac{C}{2} \left(2 + \frac{2(x/c)^2}{2!} + \frac{2(x/c)^4}{4!} + \dots \right)$$

PUESTO QUE LA RAZÓN x/c ES MENOR QUE LA UNIDAD, SE PUEDEN DESPRECIAR TODOS LOS TÉRMINOS DESPUES DEL SEGUNDO. OBTENIENDOSE:

$$Y = C \left(1 + \frac{x^2}{2c^2} \right) = C + \frac{x^2}{2c} \quad \text{POR LO QUE:}$$

$$Y - C = \frac{x^2}{2c}$$

$$\text{SI SE HACE } Y' = Y - C, \text{ ENTONCES } Y' = \frac{x^2}{2c} \quad \text{-----4.22}$$

LA ECUACIÓN 4.22 ES LA DE UNA PARÁBOLA.

SI LA LONGITUD DEL CLARO ES l , CUANDO $x = l/2$, $y' = y - C = F$ Y LA MÁXIMA FLECHA EN EL PUNTO MEDIO DE LA LÍNEA ES: DADO $x = l/2$ TENEMOS

$$F_{\text{MÁX}} = \frac{(l/2)^2}{2C} = \frac{l^2}{8C}$$

PUESTO QUE $T = wC$, DESPEJANDO C SE TIENE $C = \frac{T}{w}$

$$F_{\text{MÁX}} = \frac{l^2 w}{8T}$$

LA ECUACIÓN ANTERIOR SE UTILIZA PARA ESTRUCTURAS DE SOPORTE A IGUAL NIVEL SIN CONSIDERAR EL EFECTO DEL VIENTO Y/O HIELO.

SE PUEDE OBTENER LA LONGITUD TOTAL DEL CONDUCTOR A PARTIR DE LA ECUACIÓN 4.21, DESARROLLANDO EL SEÑO HIPERBÓLICO.

$$S = C \operatorname{SENH} \frac{x}{C}$$

$$S = \frac{C}{2} (e^{x/C} - e^{-x/C})$$

$$S = \frac{C}{2} \left[\left(1 + \frac{(x/C)}{1!} + \frac{(x/C)^2}{2!} \dots \right) - \left(1 + \frac{(-x/C)}{1!} + \frac{(-x/C)^2}{2!} \dots \right) \right]$$

$$S = \left[\frac{(x/C)}{1!} + \frac{(x/C)^3}{3!} + \dots \right] \cdot C$$

SI SE TOMAN SOLO LOS DOS PRIMEROS TÉRMINOS SE TIENE:

$$S = C \left(\frac{x}{C} + \frac{x^3}{6C^3} \right)$$

PARA LA MITAD DEL CLARO, O SEA CUANDO $x = l/2$

$$S = \left(\frac{l}{2C} + \frac{l^3}{48C^3} \right) C$$

SE SABE QUE $C^2 = \frac{l^4}{64 F_{\text{MÁX}}^2}$, ENTONCES:

$$S = \left(\frac{l}{2} + \frac{4F_{\text{MÁX}}^2}{3l} \right)$$

POR LO QUE LA LONGITUD TOTAL DEL CONDUCTOR ES:

$$S = 2 \left(\frac{l}{2} + \frac{4F_{\text{MÁX}}^2}{3l} \right)$$

$$S = l + \frac{8F_{\text{MÁX}}^2}{3l} \text{ -----4.24}$$

LA RELACIÓN ENTRE LA TENSION T EN EL PUNTO MEDIO DEL CLARO Y LA TENSION EN LOS SOPORTES SE PUEDE OBTENER A PARTIR DE LA FIGURA 4.10.B, DE LA SIGUIENTE FORMA:

LAS COMPONENTES VERTICAL Y HORIZONTAL SON:

$$T = T_i \cos \theta \quad \text{Y} \quad wS = T_i \sin \theta$$

ELEVANDO AL CUADRADO Y SUMANDO AMBAS EXPRESIONES SE TIENE:

$$T_i^2 \cos^2 \theta + T_i^2 \sin^2 \theta = T^2 + w^2 S^2$$

$$T_i^2 = T^2 + w^2 S^2$$

PERO SE SABE QUE: $Y^2 = C^2 + S^2$ Y $C = \frac{T}{w}$

MULTIPLICANDO ESTA ECUACION POR w^2 Y SUSTITUYENDO $C = T/w$ SE TIENE:

$$w^2 Y^2 = w^2 C^2 + w^2 S^2$$

$$w^2 S^2 + T^2 = w^2 Y^2, \text{ ENTONCES PUESTO QUE } T_i^2 = T^2 + w^2 S^2$$

$$T_i = wY$$

PERO $Y^o = Y - C$, O, $Y = Y^o + C$

ENTONCES: $T_i = w(Y^o + C)$

$$T_1 = wy' + wC$$

EN LOS SOPORTES (PUNTOS DE APOYO), $y' = F$ Y $T_1 = T_s$, DONDE T_s ES LA TENSIÓN EN LOS PUNTOS DE APOYO SE TIENE:

$$T_s = wF + wC$$

$$T_s = T + wF \text{ -----} 4.25$$

LA MAYORÍA DE LOS TERRENOS EN LA RUTA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, OFRECEN CARACTERÍSTICAS DE DESNIVEL QUE COMPLICAN EL PROBLEMA PARA EL DISEÑO ELECTROMECAÁNICO, SIN EMBARGO, BASADOS EN LOS PROCEDIMIENTOS ANTERIORES SE PUEDE AMPLIAR EL ESTUDIO A ESTOS CASOS. ASÍ SE TIENE QUE DADA LA FIGURA -- 4.11, LAS FLECHAS EN LOS SOPORTES SON:

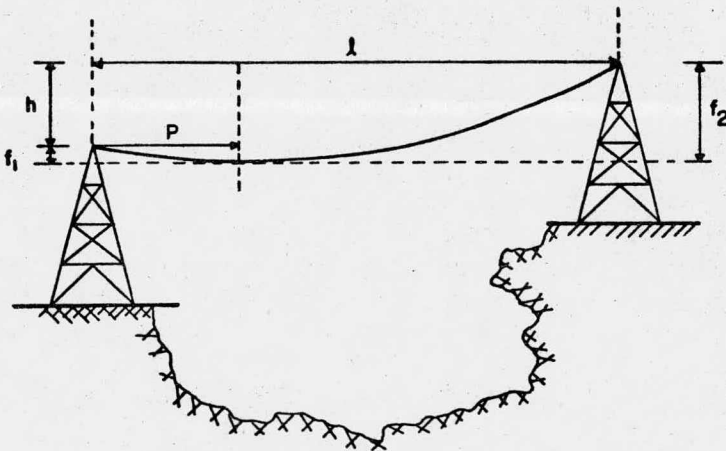


FIG. 4.11

$$f_1 = \frac{wp^2}{2T} \quad \text{Y} \quad f_2 = \frac{w(l-p)^2}{2T}, \text{ PUESTO QUE } H = f_2 - f_1$$

ENTONCES

$$H = \frac{w(l-p)^2}{2T} - \frac{wp^2}{2T}$$

$$H = -\frac{w}{2T} (l^2 - 2Pl + P^2 - P^2)$$

$$H = -\frac{wl}{2T} (l - 2P)$$

POR LO TANTO:

$$\frac{2TH}{wl} = l - P$$

Y LA DISTANCIA P DE UN SOPORTE AL PUNTO DE FLECHA MÁXIMA ES:

$$P = \frac{l}{2} - \frac{TH}{wl} \quad \text{-----4.26}$$

LOS CONDUCTORES NO SOLO ESTÁN SUJETOS A ESFUERZOS DEBIDOS A SU PROPIO PESO SINO QUE SE SOMETEN TAMBIÉN, A LA PRESIÓN DEL VIENTO Y AL SOBREPESO POR LA FORMACIÓN DE CAPAS CILÍNDRICAS DE HIELO AL REDEDOR DEL CONDUCTOR. EL EFECTO QUE ESTOS ESFUERZOS ADICIONALES CAUSAN EN EL CÁLCULO DE LAS FLECHAS Y TENSIONES SE ANALIZA A CONTINUACIÓN:

EN LA FIGURA 4.12, SE DEFINEN LOS SIGUIENTES PARÁMETROS:

P = PRESIÓN DEL VIENTO EN kg/m^2 DE SECCIÓN LONGITUDINAL DEL CABLE

d = DIÁMETRO DEL CONDUCTOR EN METROS

Pv = ACCIÓN DEL VIENTO HORIZONTAL

P = PESO DEL CABLE (ws)

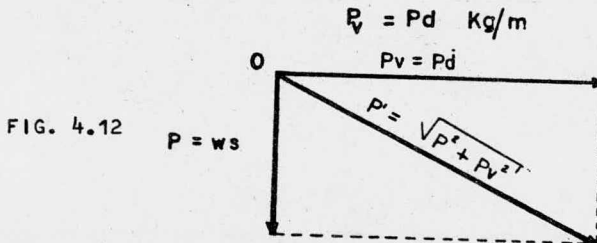


FIG. 4.12

Peso aparente de un cable con sobrecarga de viento

LA FUERZA RESULTANTE COMPUESTA POR LA FUERZA HORIZONTAL DEL VIENTO Y EL PROPIO PESO DEL CONDUCTOR ES:

$$P' = P^2 + P_v^2 \text{ -----4.27}$$

QUE PUEDE TAMBIÉN SER EXPRESADA COMO:

$$P' = w'S = w^2 S^2 + P^2 (d_s)^2$$

A P' SE LE LLAMA PESO APARENTE DEL CABLE EN EL CASO DE SOBRECARGA DE VIENTO.

LA SOBRECARGA POR EL HIELO TIENE UN DOBLE EFECTO, YA QUE EL PESO DEL HIELO SE SUMA DIRECTAMENTE CON EL PROPIO PESO DEL CABLE Y POR OTRA PARTE SE AUMENTA EL DIÁMETRO DE LA SUPERFICIE DE SOTAVENTO, ENTONCES DEFINIENDO EN LA FIGURA 4.13

P_h = PESO DEL HIELO EN KG/M

EL PESO APARENTE DEL CABLE SERÁ:

$$P' = P + P_h \text{ -----4.28}$$

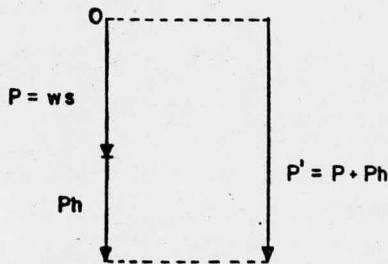


FIG. 4.13 PESO APARENTE DE UN CABLE CON SOBRECARGA DE HIELO.

CONSIDERANDO EL EFECTO SIMULTANEO DEL VIENTO Y EL HIELO SE TIENE:

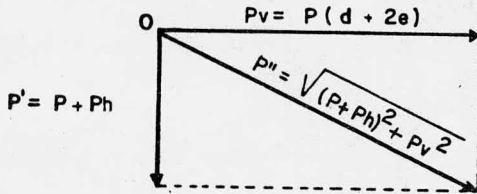


FIG. 4.14 PESO APARENTE DE UN CABLE CON SOBRECARGA SIMULTANEA DE VIENTO Y HIELO.

EN LA FIGURA 4.14 SE IDENTIFICAN LAS VARIABLES SIGUIENTES:

e = ESPESOR DE LA CAPA DE HIELO EN METROS

$w''s$ = PESO DE LA CAPA DE HIELO

LA FUERZA DEL VIENTO SERÁ:

$$P_v = P (d + 2e)s$$

Y LA FUERZA VERTICAL SERÁ:

$$P + Ph = ws + w''s$$

POR LO QUE LA RESULTANTE O PESO APARENTE SERÁ:

$$P'' = \sqrt{ (w + w'')^2 s^2 + [P (d + 2e)s]^2 }$$

O TAMBIÉN:

$$P'' = \sqrt{ (P + Ph)^2 + P_v^2 } \text{-----4.29}$$

A CONTINUACIÓN SE DA UNA TABLA DE VELOCIDADES DEL VIENTO Y PRESIONES DEL MISMO ELABORADAS CON LA FÓRMULA $P = 0.007 v^2 s$

DONDE:

P = PRESIÓN DEL VIENTO EN kg/m^2

v = VELOCIDAD DEL VIENTO EN km/hr

s = SUPERFICIE EN m^2 NORMAL AL VIENTO

VELOCIDADES KM/HR	VELOCIDADES M/S	PRESIONES SO- BRE SUPERFICI ES PLANAS - - kg/m ²	PRESIONES SOBRE SUPERFICIES - CILÍNDRICAS CON COEFICIENTES DE REDUCCIÓN DE:		
			0.5 kg/m ²	0.6 kg/m ²	0.7 kg/m ²
10	2.777	0.7	0.35	0.42	0.49
20	5.555	2.8	1.40	1.68	1.96
30	8.333	6.3	3.15	3.78	4.41
40	11.111	11.2	5.60	6.72	7.94
50	13.888	17.5	8.75	10.50	12.25
60	16.666	25.2	12.60	15.12	17.64
70	19.444	34.3	17.15	20.58	24.01
80	22.222	48.8	22.40	26.88	31.36
90	24.999	56.7	28.35	34.02	39.69
100	27.777	70.0	35.00	42.00	49.00
120	33.333	100.8	50.40	60.48	70.56
140	38.888	137.2	68.60	82.32	96.04
160	44.444	179.2	89.60	107.52	125.44
180	49.999	226.8	113.40	136.09	158.76
200	55.555	280.8	140.00	168.00	196.00

TABLA 4.1. VELOCIDADES DEL VIENTO Y PRESIONES QUE PROVOCA SOBRE LAS SUPERFICIES.

3.2.1.3.- DETERMINACIÓN DEL CLARO REGULADOR

LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN LOS CÁLCULOS ANTERIORES SE DA POR LO GENERAL EN GRÁFICAS DE FLECHAS Y TENSIONES. ESTA INFORMACIÓN SE UTILIZA EN LA DETERMINACIÓN DE LOS CLAROS DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

POR LO REGULAR, ESTOS CLAROS SON DE LONGITUD VARIABLE, NO OBTANTE LA TENSIÓN HORIZONTAL DEBE SER IGUAL EN TOBOS LOS CLAROS PARA EVITAR CARGAS LONGITUDINALES DESBALANCEADAS EN LAS ESTRUCTURAS; DE ESTA MANERA LAS CADENAS DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN COLGARÁN VERTICALMENTE.

LAS CURVAS O TABLAS DE FLECHAS Y TENSIONES SE ELABORAN EN BASE A UNA TENSIÓN CONSTANTE Y A UNA TEMPERATURA DETERMINADA PARA TOBOS LOS CLAROS.

DICHA TENSIÓN CONSTANTE LA ESTABLECE EL "CLARO REGULADOR", EL CUAL SE DEFINE COMO: "LA LONGITUD DE UN CLARO TEÓRICO EN EL QUE LOS CAMBIOS DE TENSIÓN EN EL CONDUCTOR, DEBIDOS A LAS VARIACIONES DE CARGA Y TEMPERATURA, EQUIVALEN APROXIMABAMENTE A LA TENSIÓN PROMEDIO DE UNA SERIE DE CLAROS DE LONGITUD VARIABLE".

ENTONCES EL CLARO REGULADOR ES:

$$\text{CLARO REGULADOR} = \frac{\sqrt{S_1^3 + S_2^3 + S_3^3 + \dots + S_N^3}}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_N}$$

DONDE:

S = LONGITUD DE LOS CLAROS

3.2.1.4.- ELABORACIÓN DE LA PLANTILLA

EN LA PLANTILLA SE LOCALIZAN LAS CATENARIAS QUE REPRESENTAN AL CONDUCTOR A 16°C Y A -5°C. TAMBIÉN SE TRAZAN CATENARIAS SOBRE LAS DISTANCIAS AL PISO Y A CADA UNA DE LAS ALTURAS DE LAS TORRES DISPONIBLES, TODAS ELLAS PARALELAS A LA CATENARIA DEL CONDUCTOR A 16°C.

DICHA PLANTILLA SE ELABORA CON LAS FLECHAS FINALES OBTENIDAS POR MEDIO DE UN PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA EL CÁLCULO DE FLECHAS Y TENSIONES, SEGÚN EL CONDUCTOR DE QUE SE TRATE Y EN LAS CONDICIONES DE CARGA QUE SE REQUIERAN. LAS ESCALAS VERTICAL Y HORIZONTAL DE LA PLANTILLA DEBEN ESTAR EN CORRESPON-

BENCIA CON LAS ESCALAS DEL PERFIL TOPOGRÁFICO SOBRE LOS QUE SE VA A UTILIZAR.

3.2.1.5.- LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS Y ALTURAS DE LAS MISMAS.

LA LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS Y SU ALTURA, SOBRE EL PERFIL, SE REALIZA HACIENDO PASAR LA CATENARIA QUE REPRESENTA AL CONDUCTOR A 16° POR EL PUNTO DE SUJECCIÓN DE UNA ESTRUCTURA PREVIAMENTE ESTABLECIDA Y DESLIZANDO LA PLANTILLA, HASTA QUE LA CATENARIA DE LIBRAMIENTO MÍNIMA AL PISO SEA TANGENTE AL PERFIL.

CUANDO EXISTEN CRUZAMIENTOS CON OTRAS LÍNEAS, CARRETERAS O VÍAS FÉRREAS -- BOMBE SE REQUIERE LIBRAMIENTOS MAYORES QUE EL MÍNIMO NORMAL, SE PUEDE MODIFICAR EL PERFIL AUMENTANDO LA ALTURA REAL DEL SUELO DE ACUERDO AL CRUZAMIENTO DE QUE SE TRATE, DE TAL MODO QUE EL LIBRAMIENTO MÍNIMO AL PERFIL ELEVADO ARTIFICIALMENTE, DE LA POSICIÓN REQUERIDA DE LOS CONDUCTORES SOBRE LA LÍNEA, CARRETERAS O VÍAS FÉRREAS CRUZADAS. ENCONTRADA LA TANGENCIA DE LA CATENARIA DE LIBRAMIENTOS CON EL PERFIL, HABRÁ VARIAS POSIBILIDADES DE ALTURA PARA LA ESTRUCTURA SIGUIENTE.

EN LAS FIGURAS 4.15 Y 4.16 SE OBSERVA COMO SE ELABORA LA PLANTILLA Y COMO SE UTILIZA EN LA LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.

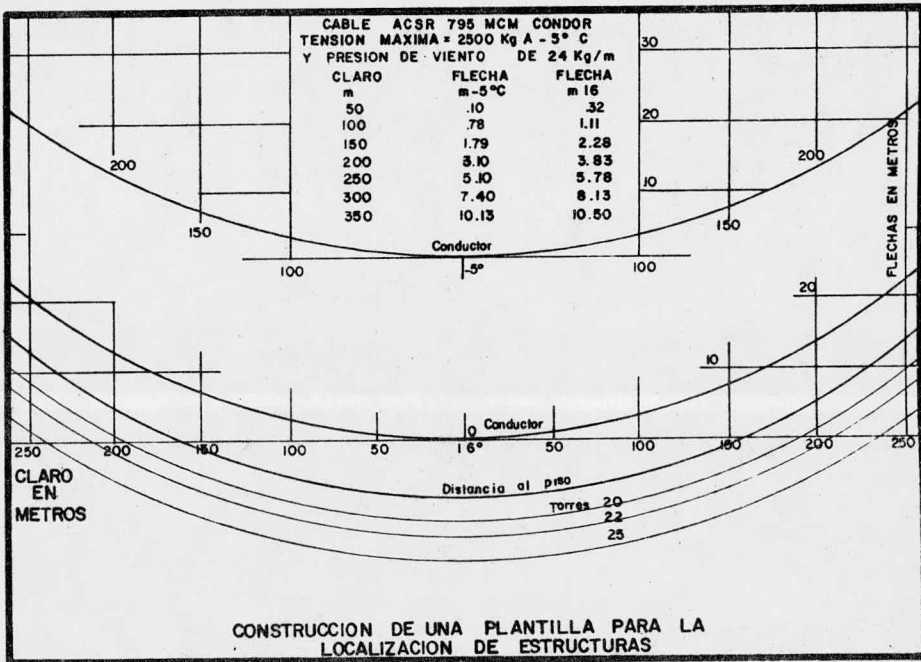


FIG. 4.15



LOCALIZACION DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE
— UNA PLANTILLA —

FIG. 4.16

3.2.2.- LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE UN PROGRAMA DE COMPUTADORA.

EN LA ACTUALIDAD AL PROBLEMA DE LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS SE LE HA DADO UN ENFOQUE COMPUTACIONAL, CON EL OBJETO DE EFECTUAR UNA LOCALIZACIÓN OPTIMA, MINIMIZANDO EL COSTO TOTAL DE ELLAS, ADEMÁS DE QUE EN ESTA FORMA EL PROBLEMA SE RESUELVE MÁS RAPIDAMENTE.

LOS PROGRAMAS DESARROLLADOS CON ESTE ENFOQUE CONSISTEN EN IR SIMULANDO MATEMATICAMENTE LOS MOVIMIENTOS QUE SE REALIZAN CON LA PLANTILLA SOBRE LOS PLANOS DE PERFIL DE LA RUTA DE LA LÍNEA EN EL MÉTODO MANUAL.

CAPITULO V

BLINDAJE

1.-GENERALIDADES

LA PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SE PUEDE REALIZAR EN DOS FORMAS POR MEDIO DE UN CABLE DE GUARDA Y POR CONTRA-ANTENAS. EL HILO DE GUARDA EVITARÁ QUE EL RAYO CAIGA DIRECTAMENTE SOBRE LOS CONDUCTORES DE FASE, POR ELLO SE DEBE DETERMINAR CON EFICIENCIA SU POSICIÓN, DE TAL MANERA QUE SE DÉ LA MAYOR PROTECCIÓN POSIBLE. LAS CONTRA-ANTENAS AYUDAN A DISMINUIR LA RESISTENCIA DEL PIE DE TORRE, CON LO QUE SE LOGRA BAJAR LOS NIVELES DE LAS SOBRETENSIONES EN LA CIMA DE LAS ESTRUCTURAS.

2.-DISPOSICIÓN DE LOS CABLES DE GUARDA PARA UN BLINDAJE ADECUADO

LA PROBABILIDAD DE QUE UN RAYO INCIDA SOBRE UN CONDUCTOR ENERGIZADO, DEPENDE EN GRAN MEDIDA DE LA POSICIÓN QUE TENGAN LOS HILOS DE GUARDA, LA CUAL QUEDA DEFINIDA POR LO QUE SE CONOCE COMO EL ÁNGULO DE BLINDAJE.

EN UN ARREGLO CONDUCTOR ESTRUCTURA, LA CONFIGURACIÓN QUE ILUSTR A EL ÁNGULO DE BLINDAJE ES LA QUE SE MUESTRA EN LA FIGURA 5.1.

ESTA CONFIGURACIÓN SE OBTIENE EN BASE AL LLAMADO MODELO ELECTROGEOMÉTRICO DE COMPORTAMIENTO DEL RAYO.

LA TEORÍA DEL MODELO ELECTROGEOMÉTRICO ESTABLECE QUE LA PROBABILIDAD DE FALLA ES MAYOR EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN MIENTRAS MAYOR SEA EL ÁREA ABC DADA EN LA FIGURA 5.1., DONDE:

CG = CABLE DE GUARDA

CF = CONDUCTOR DE FASE

- O = ANGULO DE BLINDAJE
- QA = LA LÍNEA QUE UNE A TODOS LOS PUNTOS EQUIDISTANTES AL CABLE DE GUARDA CG Y AL CONDUCTOR DE FASE CF.
- PA = LA LÍNEA QUE UNE TODOS LOS PUNTOS QUE ESTÁN A LA MISMA DISTANCIA DEL CONDUCTOR DE FASE CF QUE DEL SUELO.
- BC = UN ARCO DE CIRCUNFERENCIA DE RADIO RC CON CENTRO EN CF.
- RC = ES LA DISTANCIA DE LA ESTRUCTURA AL EXTREMO DEL CANAL GUÍA DEL RAYO Y SE CALCULA COMO:

$$RC = 9.4 (1.1 l)^{2/3}$$

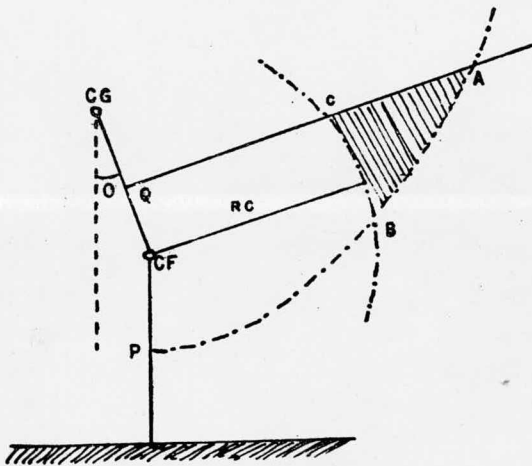
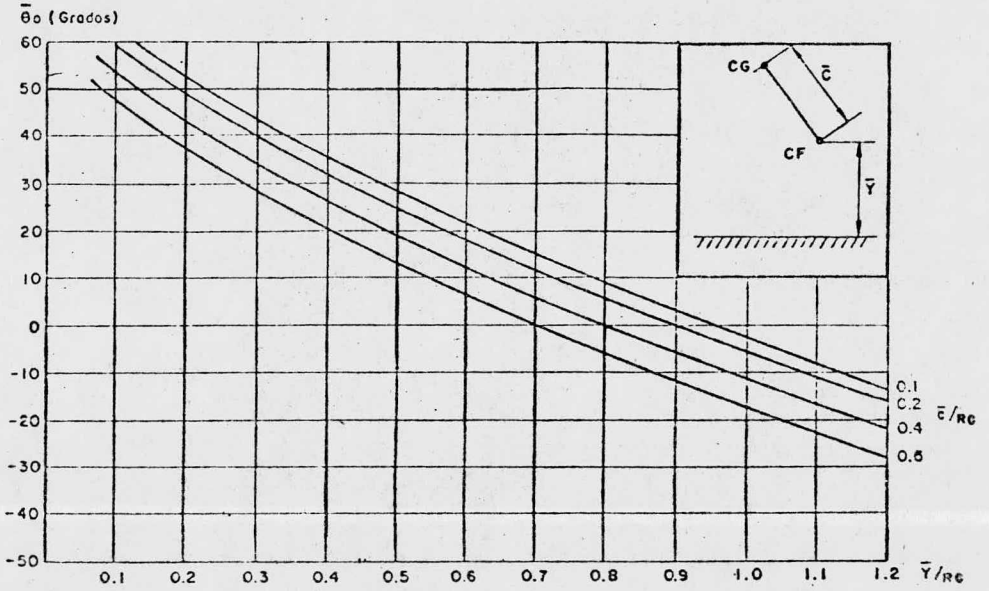


FIG. 5.1.



CURVAS PARA DETERMINACION DEL ANGULO DE BLINDAJE.
FIG. 5.3

DE LA FIGURA ANTERIOR, SE OBTIENE QUE EL ÁNGULO DE BLINDAJE TOTAL ESTÁ DADO POR LA ECUACIÓN:

$$\bar{\theta}_0 = \text{ANGSEN} \left(\frac{RC - Y}{RC} \right) - \text{ANGSEN} \left(\frac{C}{2RC} \right)$$

ECUACIÓN EN LA CUAL SE OBSERVA QUE EL ÁNGULO DE BLINDAJE SE PUEDE OBTENER A PARTIR DE LAS RELACIONES \bar{V}/RC Y \bar{C}/RC . ESTOS VALORES SE GRAFICAN DE TAL FORMA QUE SE PUEBEN USAR TANTO PARA VERIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS DEFINIDAS COMO PARA DISEÑO.

EN LA FIGURA 5.3., SE OBSERVAN LAS CURVAS DE PARA ALGUNOS VALORES COMUNES DE \bar{V}/RC Y \bar{C}/RC , EL ÁNGULO DE BLINDAJE PUEDE SER POSITIVO O NEGATIVO. ES POSITIVO CUANDO \bar{V}/RC ES MENOR QUE 1, LO CUAL CORRESPONDE BÁSICAMENTE A LÍNEAS CON ESTRUCTURAS DE POCA ALTURA Y CON NIVELES DE AISLAMIENTO ELEVADOS. EL ÁNGULO DE BLINDAJE ES NEGATIVO CUANDO LOS CABLES DE GUARDA SON MÁS EXTERNOS QUE EL CONDUCTOR DE FASE MÁS EXPUESTO Y CORRESPONDE A UNA RELACIÓN \bar{V}/RC MAYOR A LA UNIDAD LA QUE SE DA EN ESTRUCTURAS DE GRAN ALTURA Y EN LÍNEAS CON NIVELES DE AISLAMIENTO BAJOS. EN LAS FIGURAS 5.4.A Y B, SE OBSERVAN LOS ÁNGULOS DE BLINDAJE POSITIVOS Y NEGATIVOS RESPECTIVAMENTE.

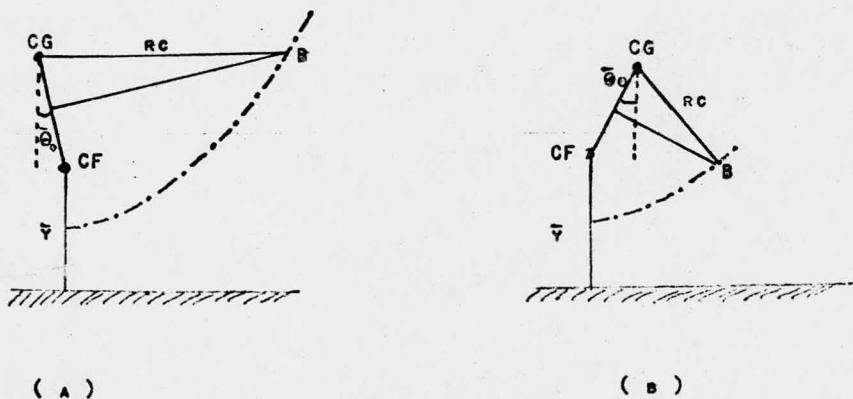


FIG. 5.4.

EN LOS CASOS QUE SE TENGAN RELACIONES DE \bar{Y}/RC MAYORES A 2, EL BLINDAJE TOTAL RESULTA PRÁCTICAMENTE IMPOSIBLE, ESTO CORRESPONDE A ZONAS EN LAS QUE -- LAS LÍNEAS ATRAVIESAN RÍOS O GRANDES DESNIVELES. EN ESTAS OCASIONES RESULTA CONVENIENTE EN LOS CÁLCULOS TENER COMO ALTURA MEDIA \bar{Y} , LA ALTURA MÁXIMA DEL CONDUCTOR, CON LO QUE SE DA UN BLINDAJE APROPIADO A LA ZONA CENTRAL DEL -- CLARO.

DEPENDIENDO DE LA CONFIGURACIÓN O SILUETA DE LA LÍNEA, ES POSIBLE QUE UN -- CABLE DE GUARDA NO SEA SUFICIENTE PARA PROTEGER A TODOS LOS CONDUCTORES DE FASE, EN CUYO CASO SE DEBERÁN INSTALAR DOS Y HASTA TRES CABLES DE GUARDA. CUANDO EN LA CONFIGURACIÓN DE LA ESTRUCTURA SE CONSIDERAN DETERMINADAS LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES DE FASE Y SU POSICIÓN GEOMÉTRICA, LO QUE SIGUE ES LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO Y POSICIÓN DE LOS CABLES DE GUARDA, DE TAL MANERA QUE EL RIESGO DE FALLAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SEA SUFICIENTEMENTE BAJO Y ACEPTABLE. A ESTE RESPECTO SE PUEDEN TOMAR COMO REFERENCIA -- LOS VALORES DE LA TABLA 5.1., QUE CONSIDERA DISEÑOS ECONOMICAMENTE RENTA-- BLES.

TENSIÓN DE OPERACIÓN EN KV.	NÚMERO DE SALIDAS ACEPTABLES POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - EN CADA 100 KM.POR AÑO.
115	DE 5 A 7
230	DE 3 A 4
400	DE 1 A 2

TABLA 5.1.

EL PROCEDIMIENTO PARA LOS CÁLCULOS PRELIMINARES EN LA DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN DE LOS CABLES DE GUARDA PARA UN BLINDAJE TOTAL, ES EL QUE SE INDICA A CONTINUACIÓN.

1.-PARA UNA PRIMERA APROXIMACIÓN SE TOMA EL VALOR MEDIO DE LA DISTANCIA ENTRE EL CABLE DE GUARDA Y EL CONDUCTOR DE FASE MAS EXTERNO PARA SILUETAS DE LÍNEAS SEMEJANTES, O BIEN CON LA EXPRESIÓN:

$$\bar{c} = 6 \times 10^{-3} \times V_{50\%}$$

Donde:

$V_{50\%}$ = TENSIÓN CRÍTICA DE FLAMEO EXPRESADA EN KV
Y SE CALCULA COMO:

$$V_{50\%} = \frac{NBI}{0.961} \quad \text{NBI. ES EL NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO AL IMPULSO DE RAYO.}$$

2.-SE CALCULA LA ALTURA MEDIA DE LOS CONDUCTORES DE FASE \bar{y} , DE ACUERDO CON LAS FÓRMULAS SIGUIENTES:

$$\bar{y} = YT - \frac{2}{3} FC \quad \text{PARA TERRENO PLANO}$$

$$\bar{y} = YT \quad \text{PARA TERRENO ONDULADO}$$

$$\bar{y} = 2YT \quad \text{PARA TERRENO MONTAÑOSO}$$

SIENDO: YT = ALTURA DEL CONDUCTOR DE LA ESTRUCTURA

FC = FLECHA DEL CONDUCTOR DE FASE.

3.-SE CALCULA LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE DEL RAYO QUE PRODUCE LA FALLA DE ACUERDO CON LA EXPRESIÓN:

$$I = \frac{2V_{co}}{Z_c}$$

$$I = \frac{2 \times 0.9 \times V_{50\%}}{Z_c}$$

DONDE: $V_{CO} = 0.9 V_{50\%} \text{ kV}$

$Z_C =$ LA IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA DEL CONDUCTOR DE FASE

4.-SE DETERMINA LA DISTANCIA A LA PUNTA DEL CANAL GUÍA DE DESCARGA DEL RAYO (RC).

$$RC = 9.4 (1.1 I)^{2/3}$$

ASÍ COMO LAS RELACIONES \bar{C}/RC Y \bar{Y}/RC , CON LAS QUE SE ENTRA A LAS GRÁFICAS DE LA FIGURA 5.3.

5.-LA POSICIÓN DEL HILO DE GUARDA EN LA ESTRUCTURA DADA POR SUS COORDENADAS (H_G , x_G), SE CALCULA A PARTIR DE LAS EXPRESIONES PARA LAS ALTURAS MEDIAS -- DADAS ANTERIORMENTE. EN LA FIGURA 5.5, SE APRECIAN LAS COORDENADAS PARA UN ARREGLO DETERMINADO, DEL CUAL SE PUEDEN OBTENER LAS EXPRESIONES MATEMÁTICAS DE H_G Y x_G , EN FUNCIÓN DE \bar{C} Y \bar{Y} .

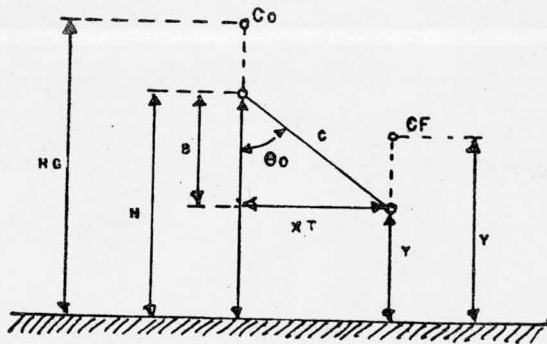


FIG. 5.5

$$x_G = x_T = \bar{C} \text{ SEN } \bar{\theta}_0$$

$$H_G = \bar{Y} + \bar{C} \text{ COS } \bar{\theta}_0 + \frac{2}{3} F_R$$

DONDE:

F_G = FLECHA DEL CONDUCTOR DE GUARDA

CON RELACIÓN A LA POSICIÓN DE ESTAS COORDENADAS SE DEBE HACER NOTAR QUE SI EL VALOR DE X_G ES MENOR QUE LA DISTANCIA DEL CONDUCTOR DE FASE MÁS EXTERNO AL EJE DE LA ESTRUCTURA, ES NECESARIO INSTALAR DOS CABLES DE GUARDA O AUMENTAR LA ALTURA DE LAS ESTRUCTURAS.

6.-POR ÚLTIMO SE VERIFICA EXPERIMENTALMENTE QUE LA POSICIÓN PRELIMINAR DE LOS HILOS DE GUARDA, PROTEGE EFECTIVAMENTE A LOS CONDUCTORES DE FASE. ESTO SE HACE GENERALMENTE CON MODELOS A ESCALA O EN SIMULADORES.

EL MATERIAL CONDUCTOR DE LOS HILOS DE GUARDA GENERALMENTE ES, EN ZONAS NO CONTAMINADAS EL ACERO. EN ÁREAS CON RELATIVA CONTAMINACIÓN SE USAN LOS CONDUCTORES DE ALUM-WELD.

3.-CÁLCULO DE CONTRA-ANTENAS

EN EL CÁLCULO DE LAS CONTRA-ANTENAS INTERVIENEN PRINCIPALMENTE LOS FACTORES SIGUIENTES:

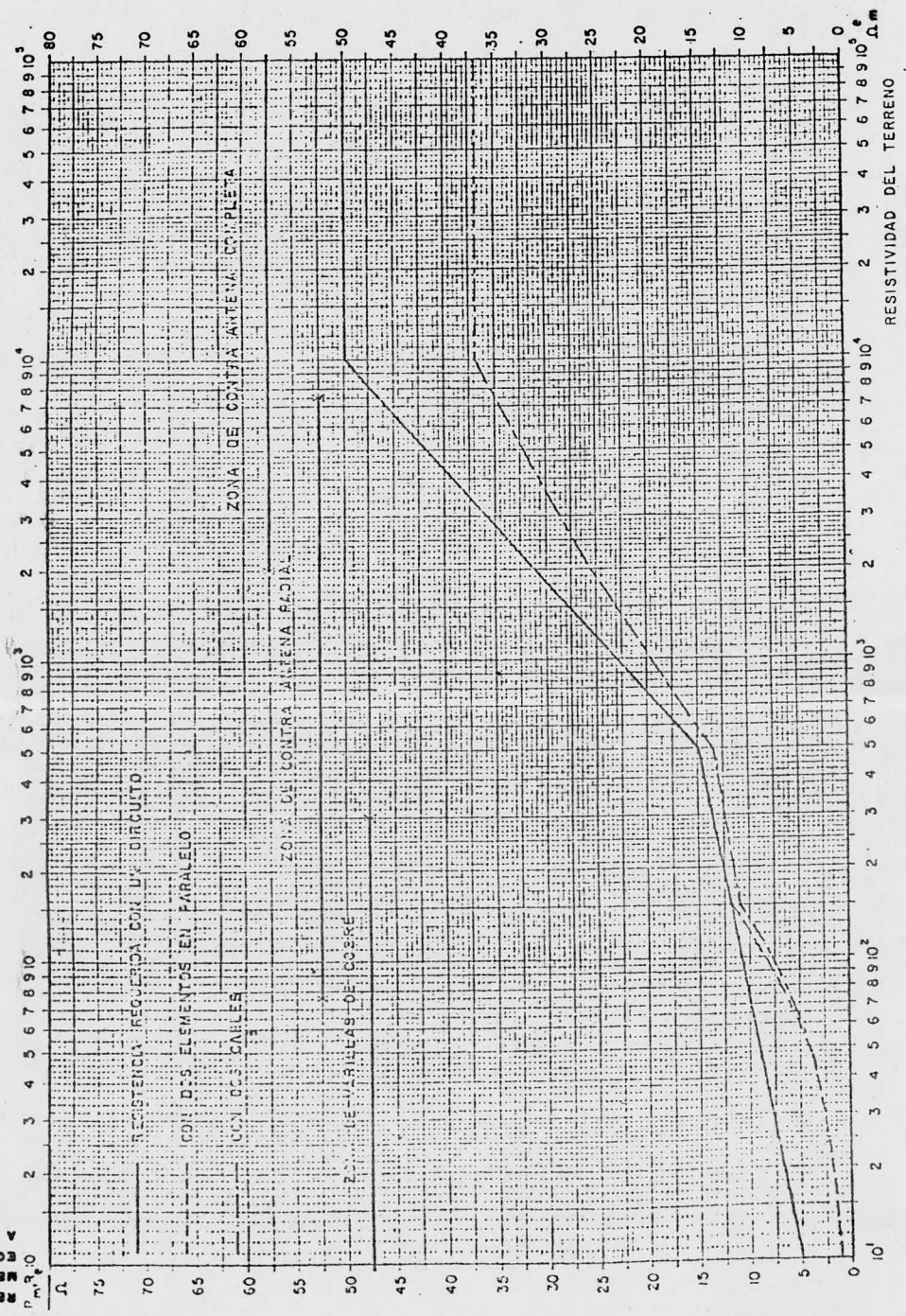
- RESISTIVIDAD DEL TERRENO
- IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA DE LA TORRE Y DE LOS CABLES DE TIERRA
- LA LONGITUD DEL CLARO
- EL NIVEL CERÁUNICO DEL LUGAR DE LA INSTALACIÓN
- MAGNITUD Y DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE LAS CORRIENTES DEL RAYO.
- EL NÚMERO DE LOS CABLES DE GUARDA Y SU POSICIÓN.

SE HAN REALIZADO UN GRAN NÚMERO DE ESTUDIOS TEÓRICO-PRÁCTICOS TENDIENTES A DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DE LAS CONTRA-ANTENAS, ASÍ COMO SU RANGO DE APLICACIÓN. LOS DATOS OBTENIDOS EN ESTOS ESTUDIOS SE HAN GRAFICADO PARA HACER SU APLICACIÓN PRÁCTICA DE UNA FORMA MÁS DIRECTA.

EN LAS GRÁFICAS DE LA FIGURA 5.6., SE PUEBEN DETERMINAR LAS ZONAS EN LAS CUALES SE RECOMIENDA USAR ALGUNOS TIPOS DE CONTRA-ANTENAS DE ACUERDO A LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EXPRESADA EN OHMS-M Y A LA RESISTENCIA MEDIDA O EQUIVALENTE DEL MISMO A 60 Hz. LOS TIPOS DE CONTRA-ANTENAS QUE SE RECOMIEN--

RESISTENCIA
MEDIDA O
EQUIVALENTE
A 60 HZ.
P.M.²

FIG. 5.6 APLICACION DE CONTRA-ANTENAS (COUNTERPOISE)
LINEAS DE 115-400 KV



RESISTIVIDAD DEL TERRENO
 $\Omega \cdot m$

BAN EN ESTA GRÁFICA SON LAS VARILLAS O ELECTRODOS DE COBRE, LAS CONTRA-ANTENAS RADIALES DE CABLES DE ACERO O COBRE Y LAS CONTRA-ANTENAS COMPLETAS O -- CORRIDAS DE ESTRUCTURAS A ESTRUCTURA.

EN LAS GRÁFICAS DE LAS FIGURAS 5.7 Y 5.8., SE PUEDEN DETERMINAR EN FUNCIÓN DE LA IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA EQUIVALENTE DE LA ESTRUCTURA-HILO DE GUARDA Y LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO, CUAL DEBE SER LA LONGITUD DE LA CONTRA-ANTENA YA SEA QUE RESULTE RADIAL O CORRIDA. EN LAS CURVAS SE CONSIDERAN CALIBRES DEL CONDUCTOR DE COBRE DE 25 Y 50 MM² DE SECCIÓN PARA UNO Y DOS CABLES PARALELOS EN LA CONTRA-ANTENA.

SE ENTRA CON EL VALOR DE LA IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA HASTA ENCONTRARSE CON LA CURVA CORRESPONDIENTE A LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO SEGÚN LA SOLUCIÓN PRELIMINAR ADOPTADA (1 ó 2 CABLES), EN EL PUNTO DE CRUCE SE BAJA HACIA EL EJE DE LAS ABCISAS ENCONTRÁNDOSE LA LONGITUD REQUERIDA.

SOBRE ESTAS GRÁFICAS SE DEBEN HACER LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES:

-LA PROFUNDIDAD DE LA CONTRA-ANTENA DEBE SER ENTRE 50 Y 70 CMS.

-SI EN LUGAR DE CABLES DE COBRE SE USAN CABLES DE ACERO, EL RESULTADO PRACTICAMENTE ES EL MISMO.

-UN INCREMENTO EN LA SECCIÓN DEL CONDUCTOR NO REPRESENTA UNA MEJORA SIGNIFICATIVA EN EL COMPORTAMIENTO DE LA LÍNEA PARA LAS SOBRETENSIONES DE RETORNO.

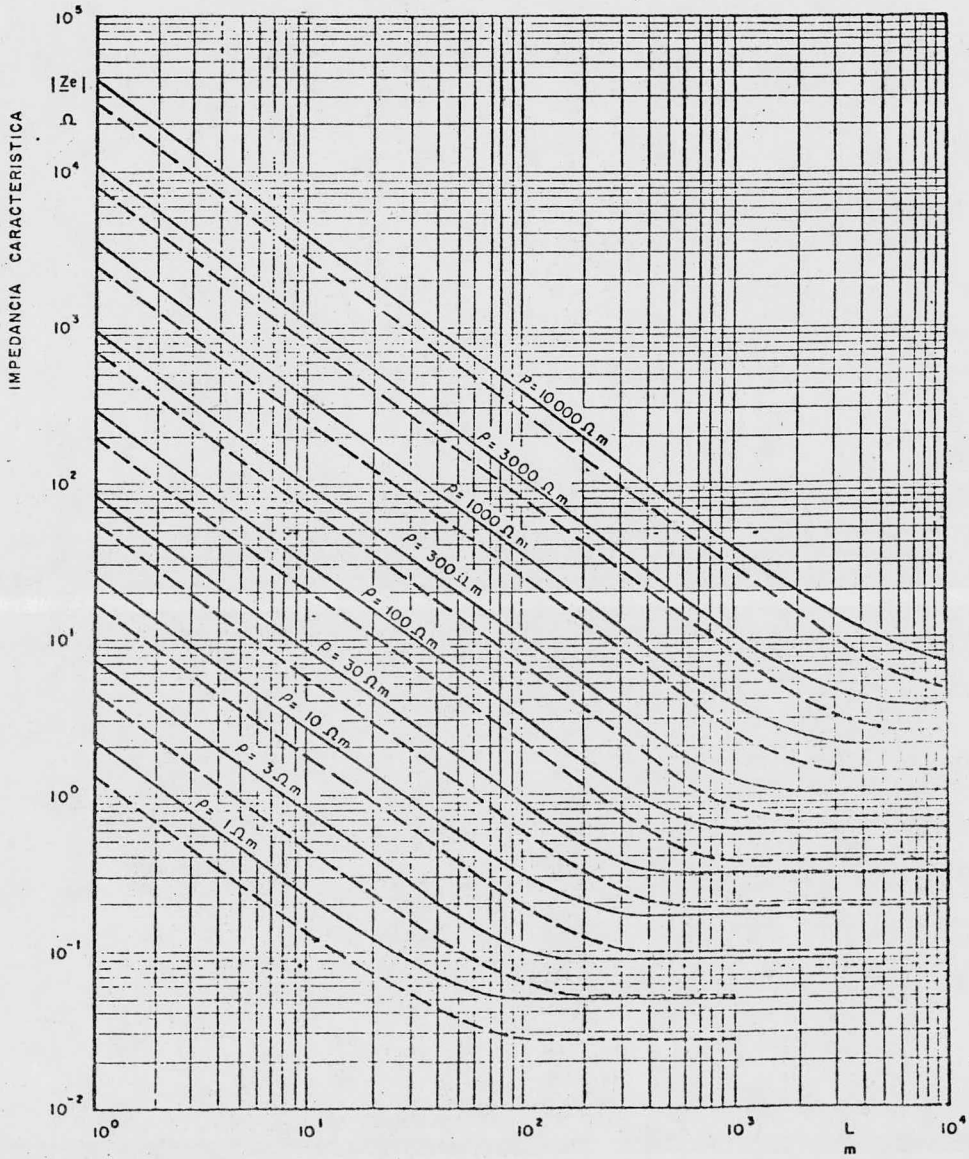
-PARA OBTENER LA RESISTENCIA EFECTIVA DE PUESTA A TIERRA SE DEBE CORREGIR EL VALOR DE LA RESISTENCIA AL PIE DE LA TORRE MEDIANTE EL USO DE LA GRÁFICA DE LA FIGURA 5.9.

EN LAS FIGURAS 5.10 Y 5.11., SE MUESTRAN LAS CONFIGURACIONES DE LOS TIPOS DE CONTRA-ANTENAS RADIALES Y CORRIDAS RESPECTIVAMENTE.

FIG. 5.7

1 CABLE DE COBRE DE 25 mm² _____

2 CABLES DE COBRE DE 25 mm² - - - - -

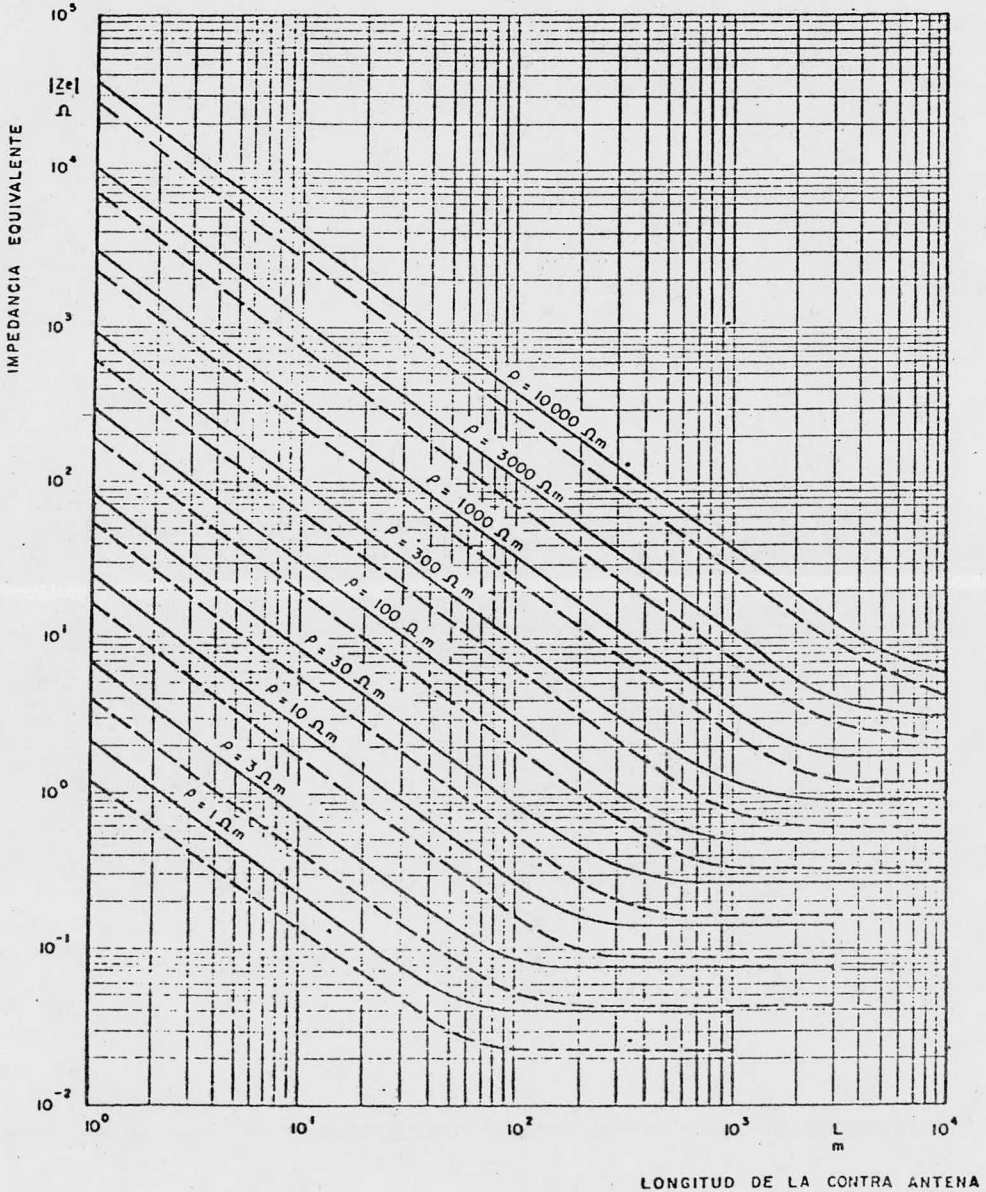


LONGITUD DE LA CONTRAANTENA

FIG. 5.8

CABLE DE COBRÉ DE 50 mm² _____

2 CABLES DE COBRÉ DE 50 mm² - - - - -



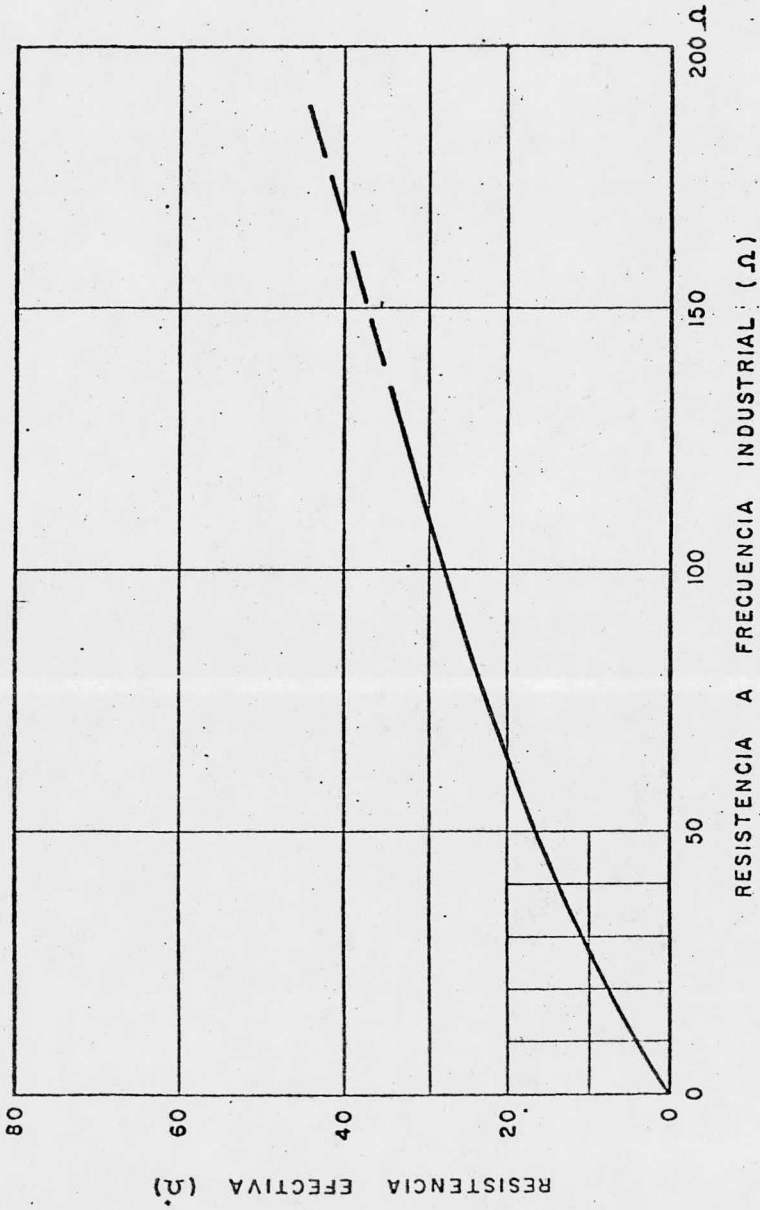


FIG. 5.9

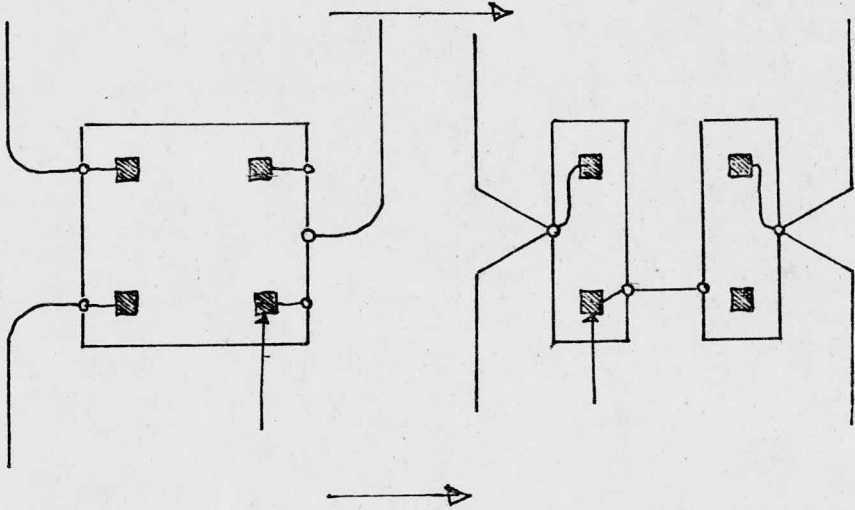


FIG. 5.10 CONTRA-ANTENAS RADIALES

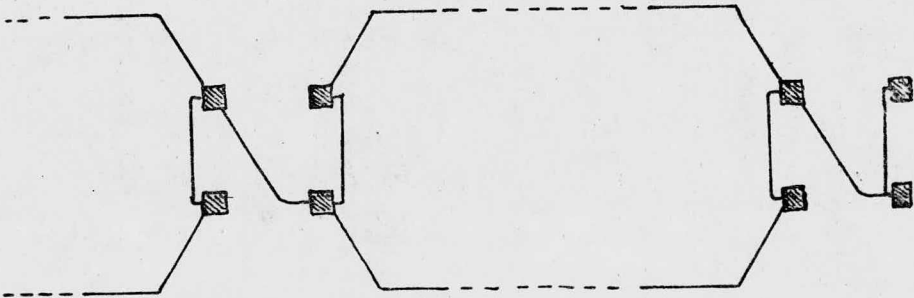


FIG. 5.11 CONTRA-ANTENAS CORRIDAS

CONCLUSIONES

LA PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS NO ES UN TRABAJO FÁCIL, CADA VEZ QUE SE HACE, SURGEN NUEVOS Y VARIADOS PROBLEMAS LOS CUALES AL FINAL SE TRADUCEN EN EXPERIENCIAS. ÉSTAS EXPERIENCIAS SE HAN TRATADO DE RECOPIRAR EN ESTA TESIS PARA LOGRAR UNIFICAR CRITERIOS EN LA SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, LA INFORMACIÓN LOGRADA SERÁ ÚTIL EN LA PLANEACIÓN Y ADEMÁS, SERVIRÁ DE AYUDA EN LA CONSTRUCCIÓN Y AÚN EN LA CONSERVACIÓN DE ÉSTAS.

LOS NUEVOS DISEÑOS DE FABRICANTES ASÍ COMO LOS INCREMENTOS EN LOS ASSENTAMIENTOS HUMANOS NOS OBLIGAN A ACTUALIZARNOS EN ESTA ACTIVIDAD; POR LO QUE SE DEBERÁ CONTINUAR EN LA INVESTIGACIÓN PERMANENTEMENTE.

EL USO DE COMPUTADORAS ACTUALMENTE ES UNA VALIOSA AYUDA EN LA PLANEACIÓN Y PROYECTO, Y ESTO SE HACE NOTAR EN LAS REFERENCIAS DE ESTE TRABAJO, TRABAJO QUE QUEBA CONCLUÍDO EN LA MEDIDA EN QUE ES TOMADO EN CUENTA POR EL LECTOR.

B I B L I O G R A F I A

MANUAL DE DISEÑO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN.

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN. C.F.E.
1983

FOR WET-PROCESS PORCELAIN AND TOUGHENED GLASS INSULATORS -- (SUSPENSION TYPE).

NORMA ANSI C29.2
1977

MANUAL DE DISEÑO Y NORMALIZACIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

COMPANÍA DE LUZ Y FUERZA - DEL CENTRO, S.A.
1980

CATÁLOGO No.60 A
AISLABORES DE SUSPENSIÓN.

THE OHIO BRASS COMPANY
1983

CATÁLOGO No.61
HERRAJES.

THE OHIO BRASS COMPANY
1983

MANUAL DE RESISTENCIAS Y REACTANCIAS DE CONDUCTORES DE ALUMINIO.

ALUMINUM COMPANY OF AMERICA
1960

ELECTRIC UTILITY SYSTEMS AND PRACTICES.

GENERAL ELECTRIC COMPANY
SCHENECTADY, NEW YORK
1974

EHV TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK.

GENERAL ELECTRIC COMPANY
1982