



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLAN"**

**Análisis del diseño de las líneas de transmisión de
Topilejo a la Cd. de México compactadas
a 230 kv.**

T E S I S

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

**P R E S E N T A N
COLIN SANTILLAN, GONZALO
OLIVARES HERNANDEZ, JAVIER
ROSALES GUZMAN, RAUL**

MEXICO. D. F., DE 1985.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION	1
1. ANTECEDENTES	
1.1 LA RED DE DISTRIBUCIÓN A LA CIUDAD DE MÉXICO.	6
1.2 PROBLEMÁTICA DE LA TRANSMISIÓN EN UNA CIUDAD.	9
1.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.	12
1.4 EVALUACIÓN DE VENTAJAS DE DISEÑO COMPACTADO.	19
2. EL DISEÑO DE LA LINEA	
2.1 CÁLCULO DE PARÁMETROS.	26
2.2 CAPACIDAD DE UNA LÍNEA.	30
2.3 REGULACIÓN DE UNA LÍNEA.	42
3. EL DISEÑO DE LA LINEA COMPACTADA	
3.1 SELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA.	47
3.2 CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA L.T. COMPACTADA.	52
3.3 CAPACIDAD DE LA L.T. COMPACTADA.	
3.4 REGULACIÓN DE VOLTAJE.	62
4. COORDINACION DEL AISLAMIENTO	
4.1 GENERALIDADES.	63
4.2 DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE BLINDAJE	75
4.3 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO.	81
4.4 ANÁLISIS POR CONTAMINACIÓN.	84

4.5 SELECCIÓN DE APARTARRAYOS.

87

5. CONCLUSIONES

5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO.

90

5.2 ANÁLISIS TÉCNICO.

91

5.3 PERSPECTIVAS.

106

INTRODUCCION

CON EL CRECIMIENTO URBANO QUE SUFRE DÍA A DÍA LA CIUDAD DE MÉXICO ES CASI IMPOSIBLE DE ADQUIRIR EL DERECHO DE VÍA PARA CONSTRUIR NUEVAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN QUE SATISFAGAN LA CRECIENTE DEMANDA DE ENERGÍA, POR LO QUE SE HAN VENIDO CREANDO NUEVAS TÉCNICAS PARA REDUCIRLO.

CONCIENTE DE ESTA PROBLEMÁTICA, LA COMPAÑÍA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, HA DISEÑADO Y CONSTRUYE LA PRIMERA LÍNEA DE CUATRO CIRCUITOS TRIFÁSICOS DE 230 KW, EMPLEANDO EL DERECHO DE VÍA DE UNA LÍNEA DE 85 KV.

EL PRESENTE TRABAJO SE REFIERE AL PROYECTO DE LA LÍNEA DE 230 KV TOPILEJO - ANILLO, INDICANDO LAS CONSIDERACIONES TÉCNICO - ECONÓMICAS QUE SIRVIERON DE BASE PARA SU REALIZACIÓN.

LA LÍNEA TENDRÁ UNA LONGITUD DE 12.1 KM, TENDIDO DE LA LÍNEA --
VER CROQUIS:



LOCALIZACION DE LA LINEA

LAS COMPAÑÍAS ELÉCTRICAS TIENEN DIFICULTADES PARA CONSEGUIR EL DERECHO DE VÍA NECESARIO PARA CONSTRUIR SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN POR LO QUE SE HA HECHO DE TENDENCIA GENERAL ADAPTAR LÍNEAS PARA TRANSMITIR A MAYOR TENSIÓN ELÉCTRICA EN EL MISMO DERECHO DE VÍA O DISEÑARLAS CON TÉCNICAS MODERNAS PARA OCUPAR EL MENOR ANCHO DE DERECHO DE VÍA. POR TAL MOTIVO SE HAN CREADO CON AYUDA DE MATERIALES AISLANTES, TÉCNICAS QUE PERMITAN REDUCIR DISTANCIAS ENTRE FASES, CONTROLANDO LA POSICIÓN DEL CONDUCTOR QUE ANTERIORMENTE ESTABAN DETERMINADAS POR LOS REQUISITOS DE DISTANCIA MÍNIMA DE LAS PARTES ENERGIZADAS A TIERRA, LO CUAL REPERCUTE EN MENOR ALTURA Y MENOR ANCHO DE DERECHO DE VÍA.

EN LA ZONA DONDE SE ALOJARÁ LA NUEVA LÍNEA SE ENCUENTRAN EN SERVICIO CUATRO LÍNEAS, DOS DE 400 KV, UNA DE 85 KV Y OTRA DE 60 - KV AL ENTABLAR CONVERSACIÓN CON LOS POSEEDORES DE LOS TERRENOS AFECTADOS POR LA LÍNEA SE ENCONTRÓ CON UNA RENUENCIA A ACEPTAR LA CONSTRUCCIÓN DE UNA NUEVA LÍNEA. EVALUANDO ESTA SITUACIÓN Y PARA NO LLEGAR A ENFRENTAMIENTOS CON LA COMUNIDAD SE LLEGÓ A LA CONCLUSIÓN DE DESMANTELAR Y OCUPAR EL DERECHO DE VÍA (25M) DE LA LÍNEA DE 85 KV QUE CONECTA LA CIUDAD DE MÉXICO A LA DE CUERNAVACA, EL DERECHO DE VÍA DISPONIBLE DE 25M, ES MENOR AL REQUERIDO EN LA ALTERNATIVA SELECCIONADA (31M) POR LO QUE FUE NECESARIO ESTUDIAR CON MAYOR PROFUNDIDAD LA COMPACTACIÓN PARA QUE PUDIERA SER ALOJADA EN LOS 25M, SIN NINGÚN PROBLEMA.

NOTA: LONGITUD DE LA LÍNEA

PARA TAL FIN SE REALIZARÓN LOS DIFERENTES ARREGLOS QUE OFRECEN LOS FABRICANTES PARA REDUCIR EL ANCHO DE DERECHO DE VÍA, SELECCIONANDO UNA CRUCETA AISLADA EN "V" QUE PERMITE CONTROLAR EL CONDUCTOR PARA FIJAR LA DISTANCIA A TIERRA A LO ESTRICTAMENTE NECESARIO A LA VEZ QUE SE REDUCE POR EL MOTIVO ANTERIOR LA SEPARACIÓN ENTRE FASES, (VER FIG. 1 Y 2) LO QUE NOS PERMITE INSTALAR LAS SEIS CRUCETAS POR LADO DE LOS CONDUCTORES EN EL CUERPO DE LA ESTRUCTURA DE 400 KV, QUEDANDO LA SILUETA DE LA TORRE COMO SE MUESTRA EN LA FIG. 3.

CON LAS CRUCETAS AISLADAS EL ANCHO DE DERECHO DE VÍA SE REDUCE 1.70 M., POR LO QUE CON LAS MISMAS CARACTERÍSTICAS DE ESTRUCTURA, TENSIONES Y CLAROS SERÍA NECESARIO UN ANCHO DE DERECHO DE VÍA DE 29.30 M.

COMO EL ANCHO DE VÍA QUE SE TIENE ES DE 25 M. SE AJUSTÓ LA LONGITUD DEL CLARO ENTRE TORRES PARA CUMPLIR CON LOS REQUISITOS QUE INDICA EL REGLAMENTO DE OBRAS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN SU ARTÍCULO 47 DE LA DISTANCIA DEL CONDUCTOR A EDIFICIOS QUE ES:

DISTANCIA DE SEGURIDAD	3.0	M.
1.25 CM. POR KV EN EXCESO DE 50	2.25	M.
1.0 CM. POR METRO EN EXCESO DE - 100 M. DE CLARO (CLARO 346 M.),	2.46	M.
	7.71	M. (OBLIGADO PARA EL D.V. DE 25 M.)

PARA EL PROYECTO SE FIJÓ UN CLARO MÁXIMO DE 350 M., SE REVISÓ LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LA TORRE, LA CUAL NO REQUIERE RE- - FUERZOS, VER FIG. 4.

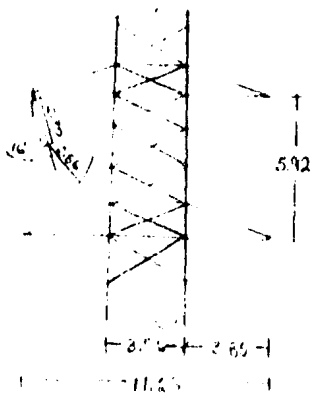


FIG. 1

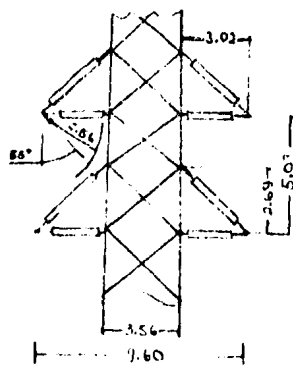


FIG. 2

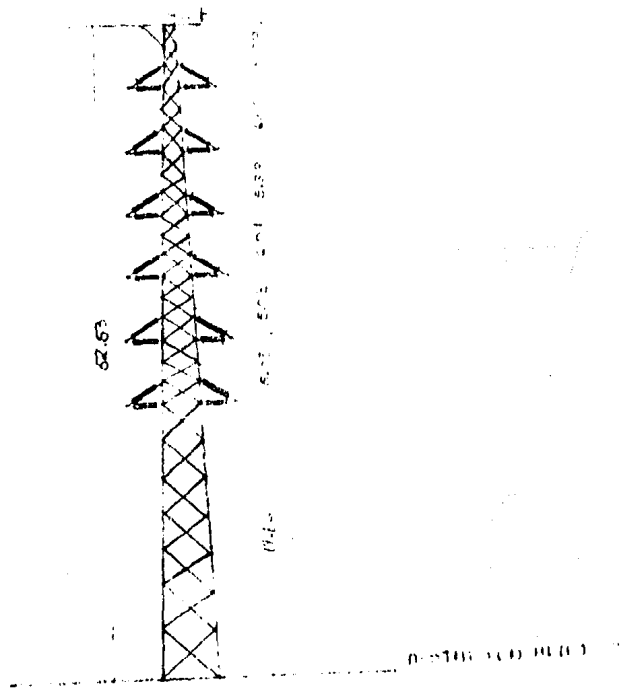


FIG. 3

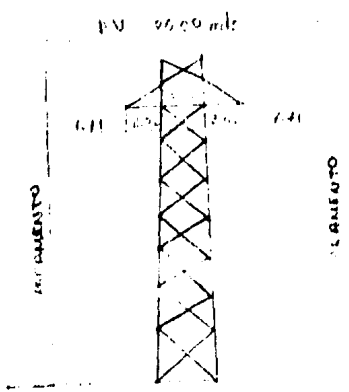


FIG. 4

1.1 LA RED DE TRANSMISION EN LA CIUDAD DE MEXICO.- EN LA - -
ACTUALIDAD ESTA RED CUENTA CON LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE LOS SI-
GUIENTES VOLTAJES:

400 KV

230 KV

150 KV

85 KV

60 KV

44 KV

EN LA LÍNEA DE 400 KV CONTAMOS CON LAS SIGUIENTES SUBESTACIONES,
GENERADORAS O DISTRIBUIDORAS:

TEXCOCO.

STA. CRUZ.

TOPILEJO.

TEMASCAL.

CUERNAVACA.

SAN BERNABE.

NOPALA.

VICTORIA.

TULA.

LAS DISTANCIAS ENTRE LAS SUBESTACIONES QUE SE INTERCONECTAN SON
LAS SIGUIENTES:

ENTRE TEXCOCO Y STA. CRUZ 38.7 KM.

ENTRE STA. CRUZ Y TOPILEJO 33.3 KM.

ENTRE TOPILEJO Y SAN BERNABE 30 KM.

ENTRE SAN BERNABE Y NOPALA 50.7 KM.

ENTRE NOPALA Y VICTORIA 22.5 KM.

EN LA LÍNEA DE 230 KV (ANILLO DE 230 KV) CONTAMOS CON LAS SIGUIENTES SUBESTACIONES, GENERADORAS O DISTRIBUIDORAS:

VALLE DE MEXICO.

IROLO.

EL SALTO.

ECATEPEC.

TEXCOCO.

AURORA.

STA. CRUZ.

MAGDALENA.

IZTAPALAPA.

COAPA.

TOPILEJO.

CONTRERAS.

ZAPATA.

AMOMOLULCO.

LOS REMEDIOS.

TULA.

APASCO.

SAN ANGEL.

ATIZAPAN.

VICTORIA.

EN SEGUIDA SE DARÁN LAS DISTANCIAS ENTRE LAS SUBESTACIONES QUE

SE INTERCONECTAN:

ENTRE VALLE DE MEXICO E IROLO	28.2 KM.
ENTRE IROLO Y EL SALTO	125.7 KM.
ENTRE EL VALLE DE MEXICO Y ECATEPEC	27.5 KM.
ENTRE ECATEPEC Y CERRO GORDO	6.55 KM.
ENTRE VALLE DE MEXICO Y TEXCOCO	14.97 KM.
ENTRE VALLE DE MEXICO Y AURORA	16.00 KM.
ENTRE VALLE DE MEXICO Y STA. CRUZ.	24.2 KM.
ENTRE STA. CRUZ E IZTAPALAPA	4 KM.
ENTRE TOPILEJO Y COAPA	13.5 KM.
ENTRE TOPILEJO Y CONTRERAS	24.7 KM.
ENTRE TOPILEJO E IZTAPALAPA	24.3 KM.
ENTRE CONTRERAS Y SAN ANGEL	31.7 KM.
ENTRE SAN ANGEL Y LOS REMEDIOS	21 KM.
ENTRE ZAPATA Y AMOMOLULCO	64.5 KM.
ENTRE AMOMOLULCO Y LOS REMEDIOS	43 KM.
ENTRE LOS REMEDIOS Y TULA	52.0 KM.
ENTRE LOS REMEDIOS Y VICTORIA	24.0 KM.
ENTRE VICTORIA Y VALLE DE MEXICO	22.8 KM.

PARA UNA MEJOR COMPRESIÓN VER DIAGRAMA ANEXO EN DONDE SE PODRÁN OBSERVAR TODAS LAS SUBESTACIONES MENCIONADAS ASÍ COMO TODAS LAS DEMÁS DE MENOR VOLTAJE Y PUNTOS QUE ALIMENTAN:

1.2 PROBLEMATICA DE LA TRANSMISION EN UNA CIUDAD

DENTRO DE UNA CIUDAD SE TIENE LA NECESIDAD DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, PARA LO CUAL SE HAN TENIDO QUE CONSTRUIR SISTEMAS QUE LLEVEN LA ENERGÍA DESDE DONDE SE GENERA HASTA DONDE SE CONSUMO. ANTES DE PROSEGUIR CON LOS PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO, ES NECESARIO HACER UNA ACLARACIÓN SOBRE LO QUE ES TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN.

LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA INCLUYE BÁSICAMENTE TODAS LAS FACILIDADES Y SERVICIOS ASOCIADOS CON LA ENTREGA A LOS CONSUMIDORES DE LA POTENCIA, DISPONIBLE DESDE ALGUNA CENTRAL GENERADORA O PUNTO RECEPTOR.

ESTA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN LA REALIZA UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, PERO ES COSTUMBRE DIVIDIR EN VARIOS COMPONENTES AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, QUE SON LOS SIGUIENTES: TRANSMISIÓN, SUBTRANSMISIÓN, DISTRIBUCIÓN PRIMARIA Y DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.

PUEDE HABLARSE DE SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN O DE DISTRIBUCIÓN SOLAMENTE, SIN ESPECIFICAR QUE SEA PRIMARIA O SECUNDARIA, PARA REFERIRSE A UNA COMPONENTE DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN TOTAL.

LA FUNCIÓN DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA, O FUNCIÓN DE "ENVÍO A TRAVÉS" (SEND ACROSS) TIENE LAS FACILIDADES PARA REALIZAR TRANSFERENCIAS DE UN VOLUMEN PROGRAMADO DE POTENCIA ENTRE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS, LAS CUALES HAN SIDO INTERCONECTADAS POR RAZONES USUALMENTE ASOCIADAS CON ECONOMÍA EN COMBUSTIBLE O COSTOS DE CAPACIDAD GENERADORA. ES DECIR, LA DISTRIBUCIÓN DE -

POTENCIA ELÉCTRICA ES LA ETAPA FINAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN TOTAL LLEGANDO A LOS CONSUMIDORES, MIENTRAS QUE LA TRANSMISIÓN - SE REALIZA ENTRE SUBESTACIONES.

POR UN PROCESO DE EVOLUCIÓN LOS VOLTAJES DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN SE HAN IDO INCREMENTANDO, GENERALMENTE LOS VOLTAJES - DE TRANSMISIÓN SON MAYORES QUE LOS DE DISTRIBUCIÓN, PERO CON EL PASO DE LOS AÑOS ALGUNOS NIVELES DE TENSIÓN QUE SE CONSIDERABAN SÓLO UTILIZABLES EN TRANSMISIÓN, SE USAN AHORA EN DISTRIBUCIÓN.

EN EL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO LOS VOLTAJES NOMINALES PARA - - TRANSMISIÓN SON 230 Y 400 KV Y PARA DISTRIBUCIÓN SON 115, 85, - 34.5, 23 Y 13.8 KV, 85 KV SOLAMENTE EN CLFC (COMPAÑÍA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO).

UNA DE LAS TAREAS MÁS DIFÍCILES ES CUANDO SE HABLA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A CIUDADES CON ELEVADAS DENSIDADES DE POBLACIÓN. SIENDO LA CIUDAD DE MÉXICO UNA DE LAS MÁS GRANDES Y DE LAS MÁS DENSAMENTE POBLADAS DEL MUNDO, ES MUY DIFÍCIL OBTENER EL ESPACIO NECESARIO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES, ASÍ COMO EL DERECHO DE VÍA PARA LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

LOMANDO ESTO EN CUENTA HA SIDO NECESARIO CONSTRUIR LAS SUBESTACIONES PRINCIPALES (400/230 KV, 660 MVA'S), EN LAS AFUERAS DE LA CIUDAD PARA DE AHÍ TENDER CABLES DE POTENCIA DE 230 Y 85 KV, TIPO TUBO, PARA ALIMENTAR LAS SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN - - (230/23 KV, 85/23 KV, 180 MVA'S), LAS CUALES DEBERÁN SER DE HEXAFLUORURO DE AZÚFRE POR LA DIFICULTAD PARA LA OBTENCIÓN DE ESP

CIOS ANTES MENCIONADOS,

SE HA HECHO NOTAR LA DIFERENCIA ENTRE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN, PARA PRIMERO TRATAR SOBRE DISTRIBUCIÓN, QUE PROPIAMENTE ES LA QUE SE REALIZA DENTRO DE LA CIUDAD, COMO SE VERÁ EN LA SIGUIENTE SECCIÓN.

1.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCION

EN MÉXICO, CON UNA POBLACIÓN DE MÁS DE 70 MILLONES DE HABITANTES, SE TIENE QUE EL 37% DE ÉSTE VALOR VIVE EN SEIS DE LAS CIUDADES MÁS GRANDES DEL PAÍS, LAS CUALES SON:

MEXICO -----	17	MILLONES DE HABITANTES
GUADALAJARA-----	3.2	MILLONES DE HABITANTES
MONTERREY -----	2.6	MILLONES DE HABITANTES
PUEBLA -----	1.2	MILLONES DE HABITANTES
CD. JUAREZ -----	1.0	MILLONES DE HABITANTES
LEON -----	1.0	MILLONES DE HABITANTES

EN LAS SEIS CIUDADES ANTES MENCIONADAS ASÍ COMO EN EL RESTO -- DEL PAÍS, LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SON PRINCIPALMENTE AÉREOS Y RADIALES. SIN EMBARGO EN LAS ÁREAS CÉNTRICAS (COMERCIALES) DE LAS CIUDADES IMPORTANTES, SE TIENEN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEOS.

ES PRECISAMENTE EL SISTEMA SUBTERRÁNEO UNA ALTERNATIVA PARA -- ABASTECER A UNA CIUDAD.

LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN AÉREOS Y SUBTERRÁNEOS TIENEN LA -- MISMA FUNCIÓN BÁSICA, AUNQUE SU DISEÑO Y OPERACIÓN INVOLUCREN - TÉCNICAS BASTANTE DIFERENTES.

AMBOS SISTEMAS INCLUYEN VARIOS TIPOS DE CONFIGURACIONES EN SUS CIRCUITOS COMO SON: ANILLO, RED O REJILLA, Y RADIALES.

ESTAMOS CONCIENTES QUE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN AÉREA SON - AFECTADOS POR VIENTOS, LLUVIA, VANDALISMO, POSTES CHOCADOS POR

VEHÍCULOS Y CONTAMINACIÓN; SIN EMBARGO ÉSTE TIPO DE SISTEMAS -- SON MÁS ECONÓMICOS QUE LOS SUBTERRÁNEOS Y SU CONSTRUCCIÓN, OPE-- RACIÓN Y MANTENIMIENTO SON MÁS FÁCILES.

POR ÉSTA RAZÓN DE COSTO, LAS LÍNEAS SUBTERRÁNEAS DEBEN RESTRIN-- GIRSE A LOCALIDADES DONDE OTRAS RAZONES DIFERENTES AL COSTO, - SEAN LAS DE PRIMORDIAL IMPORTANCIA.

SON VARIAS LAS CONSIDERACIONES QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA PA-- RA DECIDIRSE A CONSTRUIR UN SISTEMA SUBTERRÁNEO, Y AUNQUE CADA CASO TIENE SUS PARTICULARIDADES, SE PUEDEN DIVIDIR EN TRES CA-- TEGORÍAS:

- AQUELLAS QUE INVOLUCRAN CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y ECONÓ-- MICAS.
- AQUELLAS QUE INVOLUCRAN LA CONFIABILIDAD Y OTRAS DE LAS - CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN SUBTERRÁNEA.
- AQUELLAS EN LAS CUALES LAS CONSIDERACIONES ESPECIALES DE INTERÉS PÚBLICO EXCEDEN EN IMPORTANCIA A LAS CONSIDERACIO-- NES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS.

DENTRO DE ALGUNA DE ÉSTAS CATEGORÍAS ESTÁ CUALQUIERA DE LOS SI-- GUIENTES FACTORES:

- + LA DENSIDAD DE CARGA EN EL DISTRITO QUE SERÁ SERVIDO, YA QUE CUANDO HAY MUY ALTA DENSIDAD DE CARGA ES RECOMENDABLE EL SISTEMA SUBTERRÁNEO.
- + DISPONIBILIDAD Y COSTO DE LOS DERECHOS DE VÍA PARA UNA -- LÍNEA AÉREA.
- + LA PRESENCIA DE OBSTRUCCIONES FÍSICAS, LAS CUALES HACEN - IMPRACTICABLE EL PASO CON UNA CONSTRUCCIÓN AÉREA.
- + LA IMPORTANCIA DE LA LÍNEA Y LA CONVENIENCIA DE TOMAR PRE CAUCIONES EXTRAORDINARIAS PARA ASEGURARSE ACERCA DE DAÑOS MECÁNICOS, ES DECIR, CONFIABILIDAD EN EL SERVICIO.
- + LA APARIENCIA DE LAS CALLES O MEDIO ARQUITECTÓNICO.

- + LEYES PÚBLICAS, REGLAMENTOS Y REGULACIONES PARA DAR SEGURIDAD Y BIENESTAR PÚBLICOS,
- + PROXIMIDAD DE AEROPUERTOS Y OTRAS CONSIDERACIONES QUE HACEN NECESARIO QUE ESTÉ DESPEJADA LA SUPERFICIE,
- + COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO,

CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS

EL INGENIERO DISEÑADOR DEBE SELECCIONAR ENTRE TODOS LOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES PROPUESTOS Y ELEGIR EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN MÁS ADECUADO A LA LOCALIZACIÓN Y TIPO DE SERVICIO PARA EL CUAL SE REQUIERA EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN O DISTRIBUCIÓN.

SE DEBE EVITAR CONSTRUIR UN SISTEMA COMPLETAMENTE SUBTERRÁNEO, LO CUAL RESULTARÍA MUY COSTOSO, SI HAY LA POSIBILIDAD DE COMBINARLO PARCIALMENTE CON CONSTRUCCIONES AÉREAS.

LA PROPORCIÓN DE COSTO DE UN SISTEMA SUBTERRÁNEO A UNO AÉREO - PUEDE VARIAR AMPLIAMENTE DEPENDIENDO DEL NÚMERO DE CIRCUÍTOS - INVOLUCRADOS, SI SE PUEDE OBTENER DERECHOS DE VÍA, SI EL ESTÁNDAR DE SERVICIO ES CONTINUO, Y SI EL EQUIPO TAL COMO TRANSFORMADORES, PROTECCIONES Y SECCIONALIZADORES ESTÁN INCLUIDOS EN - EL PROYECTO. ASÍ UN SISTEMA SUBTERRÁNEO PUEDE TENER UN COSTO - DE CONSTRUCCIÓN INICIAL DE 6 A 10 VECES MAYOR QUE UNO AÉREO, - ADEMÁS DE QUE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO REQUIEREN PERSONAL ESPECIALIZADO.

LOS CABLES SUBTERRÁNEOS TIENEN LIMITADA SU CAPACIDAD DE CORRIENTE DEBIDO A LAS CARACTERÍSTICAS DE DISIPACIÓN DE CALOR DE LA TIERRA QUE SON MUY POBRES, PERO LA EXPERIENCIA HA DEMOSTRADO - QUE LA ARENA MEJORA LA DISIPACIÓN. ES POR ÉSTO QUE LOS CABLES

SUBTERRÁNEOS TIENEN UNA MAYOR SECCIÓN TRANSVERSAL QUE LOS AÉREOS PARA UNA MISMA CAPACIDAD DE CARGA; LOS CABLES SUBTERRÁNEOS TIENEN ADEMÁS DE LA CUBIERTA AISLANTE OTRAS CAPAS DE MATERIALES, CADA UNA CON UNA FUNCIÓN ESPECÍFICA Y ADECUADA PARA EL USO SUBTERRÁNEO LO CUAL LIMITA DICHA DISIPACIÓN, MIENTRAS QUE LOS CONDUCTORES AÉREOS DISIPAN EL CALOR A LA ATMÓSFERA, Y ESTANDO DESCUBIERTOS SU AISLAMIENTO ES EL AIRE EN SU MAYOR PARTE, Y POR LOS AISLADORES QUE LOS SOSTIENEN EN LAS TORRES.

LA LOCALIZACIÓN Y COMPOSTURA DE FALLAS SE LLEVA MUCHO TIEMPO - EN UN SISTEMA SUBTERRÁNEO, Y EL TENER CABLES DE REPUESTO IMPLICA INCREMENTAR LOS COSTOS, SIN EMBARGO SI EL SISTEMA ESTÁ BIEN DISEÑADO LAS FALLAS SON MENOS FRECUENTES QUE EN UN SISTEMA AÉREO.

OTRA CONSIDERACIÓN APARTE DE LA DISIPACIÓN DE CALOR, SEGURIDAD DE SERVICIO, PROVISIÓN DE ACCESIBILIDAD NECESARIA PARA MANTENIMIENTO Y REEMPLAZO, ES LA CORROSIÓN, PARA EVITARLA SE DEBEN SELECCIONAR LOS MATERIALES Y CUBIERTAS ADECUADAS PARA APARATOS TALES COMO TRANSFORMADORES, FUSIBLES, SECCIONALIZADORES, CAJAS DE CONEXIONES, ETC.

EN CUANTO A LOS OBSTÁCULOS FÍSICOS QUE NO HACEN POSIBLE EL USO DE LÍNEAS AÉREAS, ESTÁ POR EJEMPLO EL TENER QUE CRUZAR UNA EXTENSIÓN GRANDE DE AGUA, PARA LO CUAL SE USAN CABLES SUBMARINOS Y TIPO TUBO.

CONFIABILIDAD DEL SERVICIO Y OTRAS VENTAJAS DE LA CONSTRUCCIÓN SUBTERRÁNEA

DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CONTINUIDAD DEL SERVICIO, LOS -- SISTEMAS SUBTERRÁNEOS SON INMUNES A MUCHOS DE LOS PELIGROS QUE SON LAS CAUSAS DE FRECUENTES INTERRUPCIONES Y CIRCUITOS ABIERTOS, TALES COMO: TORMENTAS, VIENTOS FUERTES, INTERFERENCIAS DE ÁRBOLES, RAYOS, ACCIDENTES DE TRÁNSITO, INCENDIOS Y VANDALISMO.

SIN EMBARGO EN CASO DE FALLAR EL SISTEMA SUBTERRÁNEO, ESTÁ SUJETO A LARGO TIEMPO DE LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE LA FALLA; SIENDO LAS FALLAS MÁS COMUNES LAS DEBIDAS A DAÑO MECÁNICO Y CORROSIÓN; SE HA CALCULADO QUE EL 60% DE LAS FALLAS SON DEBIDAS A ÉSTAS CAUSAS, Y UN 15% A FALLAS INHERENTES AL AISLAMIENTO,

EL AISLAMIENTO QUE HAY ENTRE UN CIRCUÍTO Y OTRO TAL COMO SE ENCUENTRA EN UN DISEÑO APROPIADO, EVITA QUE UNA FALLA SE COMUNIQUE DE UN CIRCUÍTO A OTRO.

EL RELATIVO BAJO COSTO DE INCREMENTO AL INSTALAR DUCTOS DE REPUESTO AL TIEMPO QUE SE CONSTRUYE UN DUCTO SUBTERRÁNEO, ES OTRA VENTAJA, Y LA HABILIDAD PARA INSTALAR CABLES ADICIONALES DE -- TIEMPO EN TIEMPO SIN INTERFERIR EN LA OPERACIÓN DE LOS YA EXISTENTES, PERMITE LA PROVISIÓN ECONÓMICA Y CONVENIENTE PARA FUTUROS CRECIMIENTOS DE CARGA Y EXPANSIÓN DEL SISTEMA.

CONSIDERACIONES ESPECIALES DE INTERÉS PÚBLICO

LOS INGENIEROS DISEÑADORES DEBEN SABER Y OBSERVAR LAS LEYES LOCALES, ACUERDOS, ETC., DE LOS DIFERENTES DISTRITOS O MUNICIPIOS

POR DONDE SE VAYA A HACER UNA CONSTRUCCIÓN PARA UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, CON EL FIN DE SELECCIONAR EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN ADECUADO.

LAS REGULACIONES SE HACEN GENERALMENTE TOMANDO EN CUENTA EL INTERÉS PÚBLICO, SIN EMBARGO ALGUNAS VECES ÉSTAS REGULACIONES SE EXTIENDEN A TODOS TIPOS DE ÁREAS DONDE NO SON NECESARIAS, Y HACEN QUE LOS INGENIEROS QUEDEN RESIRINGIDOS EN LA SELECCIÓN DEL TIPO DE CONSTRUCCIÓN MÁS ECONÓMICO Y CONVENIENTE COMPATIBLE CON EL ÁREA A SER ABASTECIDA.

PUEDE LOGRARSE UNA BUENA LEGISLACIÓN SI LAS PERSONAS ENCARGADAS DE LEGISLAR SE LES MANTIENE INFORMADAS ACERCA DE LOS ADELANTOS QUE PUEDA HABER POR EJEMPLO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS AÉRIAS, EN CUYO CASO SE PUEDE RECONSIDERAR LAS LEYES QUE REQUIEREN DRÁSTICAMENTE QUE TODA CONSTRUCCIÓN EN CIERTAS ÁRIAS SEA SUBTERRÁNEA.

EN PAÍSES COMO ESTADOS UNIDOS HAN SURGIDO CASOS DONDE LA LEGISLACIÓN SE HA PROPUESTO Y CONSIDERADO SERIAMENTE CUALES ÁREAS URBANAS Y SUBURBANAS REQUIEREN ENTERAS FACILIDADES DE ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO PARA SER PUESTO SUBTERRÁNEO. ÉSTOS PROPÓSITOS HAN SIDO INICIADOS USUALMENTE COMO CONSECUENCIA DE INTERRUPCIONES DEL SERVICIO EN EXTENSAS ÁREAS Y POR LARGO TIEMPO, RESULTADO DE TEMBLORAS SIN PRECEDENTE, HABIENDO UN ACUERDO GENERAL DE QUE UN SISTEMA TOTALMENTE SUBTERRÁNEO NO DEBÍA SUFRIR INTERRUPCIONES TALES COMO LAS EXPERIMENTADAS. LOS PROPÓSITOS FUERON ABANDONADOS CUANDO LA IMPRACTICABILIDAD DE USAR ÚNICAMENTE LA CONSTRUCCIÓN SUBTERRÁNEA A TRAVÉS DE TALES ÁREAS FUÉ DEMOSTRADA. HA-

BIENDO LIMITACIONES COMO ÉSTA EN UN PAÍS CON MUCHO MAYORES RECURSOS QUE EL NUESTRO, CONSIDEREMOS AHORA QUE TENIENDO MÉXICO CERCA DE 2 000 000 DE KILÓMETROS CUADRADOS, CON CIUDADES Y PUEBLOS QUE SE ENCUENTRAN UBICADOS EN LAS COSTAS Y EN LUGARES CON ALTITUDES SUPERIORES A LOS 2 000 METROS SOBRE EL NIVEL DE MAR, HA SIDO IMPOSIBLE CONSTRUIR SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA DESDE LOS INICIOS DE LA ELECTRIFICACIÓN DEL PAÍS PORQUE NO SE CONTÓ CON LOS RECURSOS ECONÓMICOS SUFICIENTES PARA ÉSTE EFECTO.

UNA VEZ ESCOGIDO EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN A EFECTUAR, ES RESPONSABILIDAD DE LOS INGENIEROS EL PLANEAR ADECUADAMENTE SU TRABAJO, YA QUE CUANDO SE TRATA DE OBRAS PÚBLICAS, COMO POR EJEMPLO EN AVENIDAS, SE DEBEN CAUSAR LOS MENORES INCOVENIENTES POSIBLES, EN ÉSTE CASO AL LIBRE MOVIMIENTO DEL TRÁNSITO.

1.4 EVALUACION DE VENTAJAS DEL DISEÑO COMPACTADO: AISLAMIENTO Y ESPACIAMIENTO:

TÉCNICAS ESTADÍSTICAS Y PROBABILÍSTICAS DE ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS, SON PARTICULARMENTE APLICABLES A DISEÑOS COMPACTADOS, PUESTO QUE EL GRADO DE OPTIMIZACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO ES SIMILAR A LOS DE LAS LÍNEAS EHV. LOS REQUERIMIENTOS DE FASE A FASE SON CON FRECUENCIA AÚN MÁS EXIGENTES QUE EN EHV. EL ESPACIAMIENTO Y REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO RESULTANTES DEL DISEÑO ELÉCTRICO FORMAN LA BASE PARA LOS LÍMITES DE MOVIMIENTO DEL CONDUCTOR DEFINIDO EN UNA SECCIÓN SUBSECUENTE.

EL FUNCIONAMIENTO DEL AISLAMIENTO EN LÍNEAS PARA TENSIONES A LA FRECUENCIA DE POTENCIA ES UNA FUNCIÓN DE LOS ESPACIAMIENTOS A TRAVÉS DE LOS INTERVALOS DE AIRE, LONGITUDES DE AISLAMIENTOS, Y DE LA O LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES CUANDO ESTÁN CONTAMINADOS.

LOS ESPACIAMIENTOS DE CONDUCTOR A ESTRUCTURA PARA LÍNEAS CONVENCIONALES SON FRECUENTEMENTE FIJADAS (O DETERMINADAS) POR LA OSCILACIÓN DEL AISLADOR DURANTE CONDICIONES DE VIENTOS EXTREMOS. ESTA CONDICIÓN FORZOSA ES ELIMINADA EN EL DISEÑO DE LÍNEAS COMPACTADAS POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE PÉRTIGAS AISLADORAS. ESPACIADORES DE FASE A FASE INTERMEDIOS PUEDEN TAMBIÉN SER NECESARIOS PARA MANTENER EL ESPACIAMIENTO ENTRE CONDUCTORES BAJO CIERTAS CONDICIONES. CON ÉSTAS EXCEPCIONES LAS CONSIDERACIONES DE AISLAMIENTO PARA VOLTAJE A LA FRECUENCIA DE POTENCIA

PARA DISEÑOS CONVENCIONALES Y COMPACTADOS ES ESENCIALMENTE LA MISMA.

EL ESPACIAMIENTO DEL DISEÑO FINAL DE LA LÍNEA DEBE ACOMODAR VARIOS REQUERIMIENTOS DE MOVIMIENTOS Y DE GRADIENTE DE CAMPO, PERO ÉSTOS VALORES SON INDICATIVOS DE LAS POSIBLES REDUCCIONES EN LA PRÁCTICA CONVENCIONAL.

EL DISEÑO PARA CONTAMINACIÓN DE LÍNEA COMPACTADA NO ES DIFERENTE DEL QUE ES PARA LÍNEAS CONVENCIONALES. LA FUERZA DE CAMPO ELÉCTRICO ELEVADA, DONDE SE LOCALIZAN LOS AISLADORES, PUEDE CAUSAR ALGUNA MUY LEVE VARIACIÓN EN EL FUNCIONAMIENTO. SIN EMBARGO, UN NIVEL SATISFACTORIO DE AISLAMIENTO EN UNA LÍNEA CONVENCIONAL PODRÍA SER DIRECTAMENTE TRANSFERIBLE A UNA LÍNEA COMPACTADA.

LOS AISLADORES CON SUPERFICIE VIDRIADA SEMI-CONDUCTORA, INCLUYENDO LOS DEL TIPO PÉRTIGA, ESTÁN DISPONIBLES Y EXHIBEN UN FUNCIONAMIENTO A LA CONTAMINACIÓN EXCELENTE. DEBIDO A LAS PÉRDIDAS POR RESISTENCIA ALTA, SIN EMBARGO, ÉSTE TIPO DE UNIDADES POR LO GENERAL SOLAMENTE SE APLICA EN ÁREAS LIMITADAS DE CONTAMINACIÓN SEVERA.

AISLADORES CON CENTRO DE FIBRA DE VIDRIO NO-PORCELANIZADO ESTÁN AHORA DISPONIBLES COMERCIALMENTE. SE PUBLICARON LIMITADAMENTE LOS RESULTADOS DE PRUEBA DEL FUNCIONAMIENTO EN CONTAMINACIÓN DE CIERTOS MATERIALES PARA FALDONES, TALES COMO EL HULE SILICON, INDICANDO UNA SIGNIFICATIVA MEJORA SOBRE LA PORCELANA. SE ILUSTRAN DATOS COMPARATIVOS EN LA FIG. 1.4.1. ESTOS RESULTADOS DE

PRUEBAS DE LABORATORIO, Y EL FUNCIONAMIENTO EN EL CAMPO REAL - PUEDEN DIFERIR DEBIDO A LA EXPOSICIÓN A LA INTERPERIE Y POSI-- BLES VARIACIONES EN EL TIPO DE CONTAMINACIÓN. SIN EMBARGO, -- LOS RESULTADOS DE LA FIG. 1.4.1, ILUSTRAN VENTAJAS POTENCIALES.

LA TECNOLOGÍA DEL AISLADOR COMPUESTO ES IGUALMENTE APROPIADA - PARA ESPACIADORES INTERMEDIOS LOS CUALES PUEDEN NECESITARSE EN DISEÑOS COMPACTADOS PARA MANTENER EL ESPACIAMIENTO ENTRE CONDUCTORES EN TIEMPO ADVERSO O CONDICIONES DE MANIOBRA.

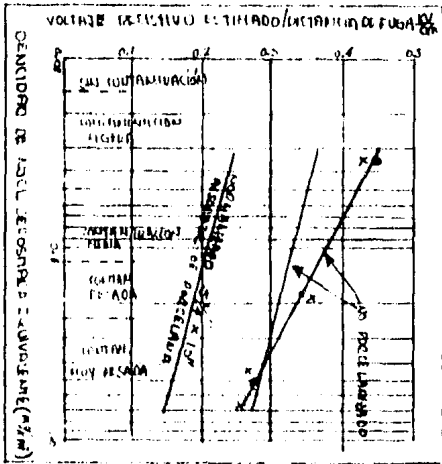


FIG. 1.4-1

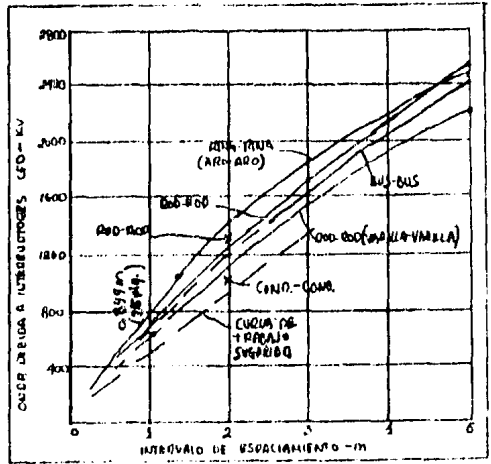


FIG. 1.4-2

ONDAS DEBIDAS A INTERRUPTORES:

LA DISTANCIA DE FASE A TIERRA PARA LÍNEAS COMPACTADAS ES SIMILAR AL DE LAS LÍNEAS CONVENCIONALES. POR CONSIGUIENTE, EL DISEÑO DE

AISLAMIENTO PARA ONDAS DEBIDAS A INTERRUPTORES, DE FASE A TIERRA ES TAMBIÉN EL MISMO. SI SE CONSIDERÓ UN AISLAMIENTO REDUCIDO DE FASE A TIERRA, EL GRADO DE REDUCCIÓN SERÍA NORMALMENTE EN EL MISMO ORDEN QUE PARA LAS PRESENTES LÍNEAS DE AISLAMIENTO REDUCIDO. EL DESEMPEÑO DE LA ONDA POR INTERRUPTORES DE FASE A FASE, SIN EMBARGO, PUEDE SER DE SUMA IMPORTANCIA.

LAS ONDAS DEBIDAS A INTERRUPTORES, DE IMPORTANCIA FUNDAMENTAL PARA EL AISLAMIENTO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, SON DEBIDAS A LA ENERGIZACIÓN DE LA LÍNEA O AL RECIERRE DE ALTA VELOCIDAD. SI EL RECIERRE A ALTA VELOCIDAD SE APLICA, LAS RESISTENCIAS EN LA SECUENCIA DE CIERRE DEL CIRCUITO INTERRUPTIDO O CAPTORES DE ONDA PUEDEN REDUCIR LAS MAGNITUDES A NIVELES ACEPTABLES.

EL ARQUEO POR ONDA DEBIDA A INTERRUPTORES DE FASE A FASE EN LÍNEAS COMPACTADAS, OCURRIRÁ ENTRE CONDUCTORES PARALELOS O EN HERRAJES DE LA LÍNEA SOBRE LAS CIMAS DE LOS POSTES. LAS FUERZAS EN EL INTERVALO DE AIRES ENTRE CONDUCTORES SON PARA UNA FUNCIÓN DE MUCHAS VARIABLES, TALES COMO LA POLARIDAD RELATIVA DE LAS ONDAS EN LOS CONDUCTORES ADYACENTES, FORMA DE ONDA, GEOMETRÍA DEL INTERVALO DE SEPARACIÓN, DENSIDAD DEL AIRE, Y HUMEDAD. MUY POCOS DATOS DE PRUEBA ESTÁN DISPONIBLES PARA EL ARQUEO FASE A FASE DE CONDUCTORES PARA ESPACIAMIENTO ABAJO DE 3 A 5 PIES. LA AUSENCIA DE DATOS, UNIDA CON LA FALTA DE CONOCIMIENTO DE SI LOS ARQUEOS SON ENTRE CONDUCTORES O HERRAJES SUGIERE UN DISEÑO CONSERVADOR DONDE SE USARÍAN SUPOSICIONES. LA FIG. 1.4-2 MUESTRA DISTINTOS DATOS EN PRUEBA DE ARQUEO, SUPERPUESTOS PARA COMPARARLOS, Y UNA CURVA DE TRABAJO SUGERIDA.

LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CONDUCTORES PARALELOS EN LA FIG. 1.4-2 SON PARA DISTANCIAS DE CONDUCTOR RELATIVAMENTE CORTAS, Y NO EXISTEN DATOS PARA LA EXTENSIÓN DE LÍNEAS LARGAS.

DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (RAYOS)

PARA UNA LÍNEA COMPACTADA CON LA MISMA FUERZA DE IMPULSO DE FASE A TIERRA COMO EN UN DISEÑO CONVENCIONAL Y ALTURAS DE ESTRUCTURA SIMILARES, LAS PROPORCIONES DE DESCARGA DE RAYOS SERÁN DIFERENTES DEBIDO A:

- 1) ANCHO REDUCIDO: LA EXPOSICIÓN REDUCIDA RESULTARÁ EN POCOS GOLPES A LA LÍNEA, DECRECIENDO LA PROPORCIÓN DE DESCARGA.
- 2) REDUCIDO ESPACIAMIENTO DE FASE A FASE: LA PROBABILIDAD DE FASE A FASE SIGUE DE UN DEBILITAMIENTO EN LA PROTECCIÓN O CHISPAZO INICIAL QUE SE INCREMENTARÁ. ESTO REDUCE LA PROBABILIDAD DE EXTINCIÓN POR SÍ MISMO DEL ARCO ELÉCTRICO, E INCREMENTARÁ EL PORCENTAJE DE DESCARGA.

TÉCNICAS DESARROLLADAS RECIENTEMENTE PERMITEN DISEÑOS DE LÍNEAS PRÁCTICOS CON ESENCIALMENTE NINGÚN DEBILITAMIENTO DE PROTECCIÓN. POR CONSECUENTE LAS DESCARGAS PROVENIENTES DE ÉSTA FUENTE PUEDEN ELIMINARSE. LOS ARCOS DE FASE A FASE QUE SIGUEN DE UN CHISPAZO DE FASE A TIERRA PUEDEN PREVENIRSE POR MEDIO DE LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO DE FASE A TIERRA Y DE FASE A FASE.

LA COORDINACIÓN DE LA FUERZA AL IMPULSO DE FASE A FASE Y DE FASE A TIERRA, LA REDUCCIÓN EN LA EXPOSICIÓN AL GOLPE, Y EL CAMBIO --

INHERENTE EN FACTORES CONEXOS DEBIDOS A LAS LOCALIZACIONES RELATIVAS DEL CONDUCTOR Y CABLE DE GUARDA, RESULTANDO UN FUNCIONAMIENTO EN CONDICIONES DE RAYO DE LAS LÍNEAS COMPACTADAS EQUIVALENTE O MEJOR QUE EN LAS LÍNEAS CONVENCIONALES.

MOVIMIENTO MECÁNICO:

EL ESPACIAMIENTO DE CONDUCTOR A CONDUCTOR EN UNA LÍNEA COMPACTADA ES, BAJO TIEMPO NORMAL, POR ARRIBA DE LA SEPARACIÓN NECESARIA PARA LA RESISTENCIA A LA POTENCIA EN FRECUENCIA. UN CONSIDERABLE MOVIMIENTO DIFERENCIAL DEL CONDUCTOR PUEDE SER TOLERADO ANTES DE QUE UN ARQUEO SEA PROBABLE PARA UN ESPACIAMIENTO DE FASE A FASE DEL ORDEN DE 3 PIES, COMO SE MUESTRA EN LA FIG. 1.4-3.

EN LAS VIBRACIONES DEL CONDUCTOR LLAMADAS "GALOPE O GALOPAR" - ES EL CRITERIO DE MAYOR DIFICULTAD QUE SE DEBE AJUSTAR. EN LA MAYORÍA DE LAS CIRCUNSTANCIAS, LAS LÍNEAS COMPACTADAS NO SON PRÁCTICAS EN REGIONES SUSCEPTIBLES A PRESENTAR GALOPE. SIN EMBARGO, EL USO DE ESPACIADORES INTERMEDIOS U OTRAS MEDIDAS PREVENTIVAS PUEDEN PERMITIR UNA REDUCCIÓN EN LAS DIMENSIONES PREVIAMENTE CONSIDERADAS. Afortunadamente, LAS ÁREAS DONDE EL IMPACTO VISUAL (Y POR LO TANTO LA COMPACTACIÓN) ES USUALMENTE IMPORTANTE, SON AQUELLAS QUE TIENDEN A SUFRIR EXPOSICIÓN LIMITADA DE VIENTOS CRUZADOS Y LAS VIBRACIONES (GALOPE) RESULTANTES.

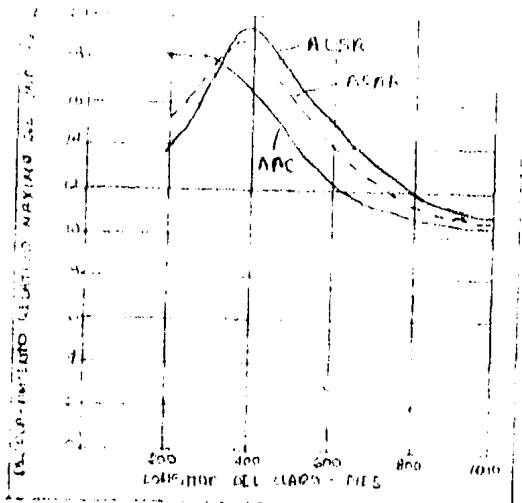


FIG. 1.4-3

OTRA DE LAS CONSIDERACIONES PRINCIPALES EN EL MOVIMIENTO MECÁNICO ES EL SALTO QUE SIGUE A LA CAÍDA DEL HIELO. LA CAÍDA DEL HIELO PUEDE CAUSAR MOVIMIENTOS DEL CONDUCTOR VERTICALES GRANDES, PERO LOS EXPERIMENTOS MUESTRAN MUY POCAS TRANSLACIONES DE MOVIMIENTO VERTICAL A MOVIMIENTO HORIZONTAL. ESTO ES PORQUE LOS DOS MECANISMOS PRINCIPALES DE CONEXIÓN DE ENERGÍA ENTRE LOS MODOS VERTICAL Y HORIZONTAL, POSTE INCLINADO Y CRUCETAS DE ROTACIÓN, NO TRANSFIEREN MUCHA ENERGÍA A LAS FRECUENCIAS MECÁNICAS QUE CARACTERIZAN EL SALTO DEL CONDUCTOR.

NIVELES DE RUIDO:

ES POSIBLE HACER MAYORES REDUCCIONES EN EL ESPACIAMIENTO, SIN INCREMENTAR LOS GRADIENTES DE SUPERFICIE EN LOS PUNTOS DONDE EL EFECTO CORONA O EL RUIDO RELACIONADO CON EL EFECTO CORONA SON PROBLEMAS SIGNIFICATIVOS.

AUNQUE EL RUIDO GENERADO POR EL CONDUCTOR, TANTO EL DE RADIO - INTERFERENCIA (R1) COMO EL AUDIBLE, DEBEN PLANEARSE EN LA MISMA MANERA COMO PARA LAS LÍNEAS EHV, LA MAYORÍA DE LAS COMBINACIONES DE CONDUCTORES Y ESPACIAMIENTOS ENTRE LÍNEAS COMPACTADAS PRODUCEN NIVELES DE POTENCIAL EN LA ORILLA DE LOS DERECHOS DE VÍA UNIFORMEMENTE ANGOSTOS, LOS CUALES ESTÁN SUFICIENTEMENTE DEBAJO DE LOS CRITERIOS QUE NORMALMENTE SE ESTABLECEN PARA LÍNEAS EHV A SER ACEPTABLES EN ÁREAS URBANAS.

CIERTOS EXPERIMENTOS MOSTRARON QUE SE DEBE TOMAR UN CUIDADO -- PARTICULAR EN LA ESPECIFICACIÓN DEL HERRAJE PARA LÍNEAS COMPACTADAS. CUANDO ESTAS LÍNEAS PRESENTAN GRADIENTES DE HERRAJES BAJOS, Y EL RUIDO EN HERRAJES NO HA SIDO UN PROBLEMA. PARA -- LOS GRADIENTES ALTOS QUE RESULTAN DE LA COMPACTACIÓN, EL HERRAJE DEBE SER DISEÑADO CON LA MISMAS NORMAS PARA EFECTO CORONA -- COMO EN LAS LÍNEAS EHV.

2.1 CALCULO DE PARAMETROS CARACTERISTICOS DE LA LINEA

ALTERNATIVAS PROPUESTAS

EN CLFC SE TIENEN NORMALIZADAS LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN TANTO EN SUS ASPECTOS ELÉCTRICOS COMO EN LOS MECÁNICOS QUE INTERVIENEN EN SUS CONSTRUCCIÓN.

PARA LAS LÍNEAS DE 230 KV, QUE ES EL CASO DE LA LÍNEA EN PROYECTO, LOS PARÁMETROS NORMALIZADOS SON:

NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO AL IMPULSO REFERIDO
AL NIVEL DEL MAR ----- 1 050 KV

DISTANCIA DE FASE A TIERRA ----- 2.56 M

NO. DE AISLADORES DE 254 ϕ X 127 M. POR CADENA- 16

CONDUCTOR AC5R 1113 MCM BLUEJAY

HILO DE GUARDA CABLE ACERO GALVANIZADO DE 9.52 MM DE
DIAMETRO

TENSION MECANICA

A-5° Y 24 KG/CM² DE P.V. ----- 3 700 KG_

PARAMETROS NO NORMALIZADOS

CARGA 300 MW

F.P. 0.95

LONG. DE LA LINEA 120 KM.

2.1 CALCULO DE PARAMETROS EN UNA LINEA DE TRANSMISION TRADICIONAL

DE LA TABLA A.1 SE ENCUENTRA EL RADIO MEDIO GEOMETRICO ó D_S DEL CONDUCTOR BLUJAY QUE ES:

$$D_S = 0.0415 \text{ FT} = 1.2649 \text{ CM}$$

$$\text{RMG} = 1.2649 \text{ CM} *$$

CALCULO DE LA DISTANCIA MEDIA GEOMETRICA, VER SIG. FIG.

$$\begin{aligned} \text{DMG} &= \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{AC}} \\ &= \sqrt[3]{(5.92)^2 \cdot 11.8} \\ &= 7.3 \text{ MTS} = 731 \text{ CM}^* \end{aligned}$$

CALCULO DE LA REACTANCIA INDUCTIVA

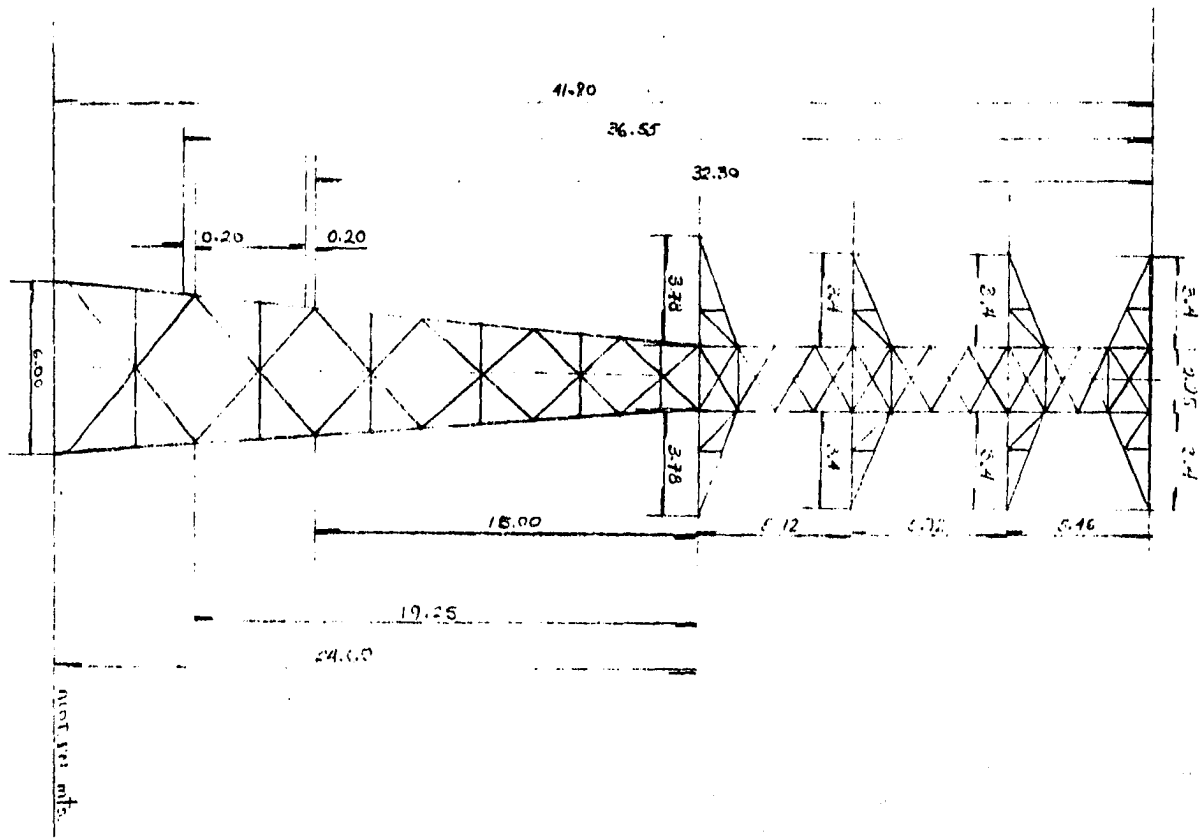
$$\begin{aligned} X_L &= 0.00289 \text{ (F)} \text{ LOG} \frac{731}{1.2649} = \\ &= 0.48 \Omega / \text{KM} / \text{FASE} \end{aligned}$$

$$X_L \text{ TOTAL} = 0.48 \times 120 \text{ KM} = 57.47 \Omega$$

CALCULO DE LA REACTANCIA CAPACITIVA

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{6.596}{F} \text{ LOG.} \frac{731}{1.2649} = \\ &= 0.3 \text{ M}\Omega \text{ KM} \end{aligned}$$

* VER NOTA 2.1-1



$$X_C \text{ TOTAL} = \frac{0.3}{120 \text{ KM}} = 2500 \Omega$$

CALCULO DE LA RESISTENCIA TOTAL

$$R_{20^\circ\text{C}} = 0.0861 \Omega/\text{MI} = 0.0535 \Omega/\text{KM}$$

$$R_T = 0.0535 \times 120 \text{ KM} = 6.42 \Omega$$

$$\begin{aligned} Z &= R + j j X_L \\ &= 6.42 + j 57.47 \\ &= 57.83 \quad 83.6^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 = Y &= -j X_C = \\ &= 2500 \quad -90^\circ \end{aligned}$$

NOTA 2.1-1

- * RMG Y DMG SE CALCULARON SIN CONSIDERAR LA INDUCTANCIA MUTUA ESTO SE DEBE A QUE EN LA LINEA DE CUATRO CIRCUITOS NO HAY CIRCUITOS EN PARALELO.

2.2. CAPACIDAD

EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN SE DEBE CONOCER LA CAPACIDAD DE LA LÍNEA PARA LA TRANSMISIÓN DE POTENCIA, POR LO TANTO SE TIENE QUE SABER LA POTENCIA QUE VA A SER REQUERIDA POR EL O LOS USUARIOS, CONSIDERANDO ESTO SE TIENE QUE HACER LOS CÁLCULOS PERTINENTES, ESTOS CÁLCULOS NOS DIRÁN SI LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN ES SUFICIENTE EN SU CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN PARA EL REQUERIMIENTO QUE SE TENGA DURANTE EL DESARROLLO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, SE TIENE QUE TOMAR EN CUENTA QUE LA CARGA VA A VARIAR, POR LO TANTO SE TIENE QUE DAR UN MARGEN DE SEGURIDAD EN SU CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN, PARA PREVENIR CUALQUIER CONTINGENCIA Y PODER TENER UN BUEN SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

POTENCIA NATURAL.- EL CONCEPTO DE POTENCIA NATURAL (SIL) ES UNA MANERA CON LA CUAL SE PUEDE COMPARAR LA CAPACIDAD DE LLEVAR CARGA EN DIFERENTES LÍNEAS A DIFERENTES NIVELES DE VOLTAJES.

LA POTENCIA NATURAL ES LA POTENCIA CONSUMIDA EN EL EXTREMO RECEPTOR Y DEPENDE PRÁCTICAMENTE Y ÚNICAMENTE DEL VOLTAJE (SUPONIENDO QUE LA IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA ES PURAMENTE RESISTIVA).

EN GENERAL LAS LÍNEAS AÉREAS SE DISEÑAN PARA TRASMITIR UNA CARGA MÁXIMA. LA POTENCIA NATURAL SE PUEDE CALCULAR POR LA SIGUIENTE EXPRESIÓN :

$$SIL = \frac{V^2}{Z_C} \text{ MVA}$$

EN DONDE :

SIL : POTENCIA NATURAL O CARGA DE SOBRETENSIÓN

V : VOLTAJE NATURAL

Z_C : IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA DE LA LÍNEA

LA POTENCIA NATURAL PARA LA LÍNEA TRADICIONAL :

$$Z_C = (X_C \quad X_L \quad)^{1/2}$$

$$X_C = 2500 \quad \Omega$$

$$X_L = 57.47 \quad \Omega$$

$$Z_C = (2500 \times 57.47)^{1/2}$$
$$= 379 \quad \Omega$$

$$SIL = \frac{230^2}{379} =$$
$$= 140 \quad MVA$$

EN LA SIGUIENTE TABLA SE DAN VALORES DE LA POTENCIA CORRESPONDIENTES A DISTINTOS VOLTAJES, EN LAS LÍNEAS AÉREAS Y EN CABLES - SUBTERRÁNEOS :

VOLTAJE ENTRE HILOS (KV)	POTENCIA REAL (MV)	
	LÍNEAS AEREAS	CABLES SUB.
6	0.09	0.09
20	1	10
60	9	90
85	18	180
220	121	1210
380 ($Z_c = 300$)	481	3610

TABLA 2.2.1

DIAGRAMA CIRCULAR Y ESTABILIDAD.

PARA EVITAR TENER QUE REPETIR EL CÁLCULO ELÉCTRICO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DETERMINADA, CADA VEZ QUE LA CARGA CONECTADA VARÍA, PUEDE TRAZARSE PARA ESA LÍNEA A EQUIS VOLTAJE (VOLTAJE RECEPTOR) UN DIAGRAMA CIRCULAR DONDE SE PUEDE LEER, PARA CONDICIÓN DE CARGA, EL VOLTAJE EN EL EXTREMO GENERADOR Y LAS PÉRDIDAS REALES Y REACTIVAS EN LA LÍNEA.

PARA TRAZAR EL DIAGRAMA CIRCULAR DE LA LÍNEA TRADICIONAL, SE UTILIZAN LOS PARÁMETROS CALCULADOS EN LA SECCIÓN ANTERIOR.

DIAGRAMA CIRCULAR Y ESTABILIDAD

CALCULO DE LAS CONSTANTES GENERALIZADAS

$$\begin{aligned} A = D &= 1 + \frac{Z}{2Z_1} = \\ &= 1 + \frac{57,83 \angle 83,6^\circ}{2 (2500 \angle -90^\circ)} = \\ &= 0,989 \angle 0,075 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= Z \left(1 + \frac{Z}{6Z_1} \right) = \\ &= 57,83 \angle 83,6^\circ \left(1 + \frac{57,83 \angle 83,6^\circ}{6 (2500 \angle -90^\circ)} \right) = \\ &= 57,6 \angle 83,63^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{Z_1} \left(1 + \frac{Z}{6Z_1} \right) = \\ &= \frac{1}{2500 \angle -90^\circ} \left(1 + \frac{57,83 \angle 83,6^\circ}{6 (2500 \angle -90^\circ)} \right) = \\ &= 0,0004 \angle 90^\circ \end{aligned}$$

VOLTAJE AL NEUTRO DEL LADO RECEPTOR

$$V_{RN} = \frac{230000}{\sqrt{3}} = 132791 \text{ VOLTS}$$

CORRIENTE DEL LADO RECEPTOR

$$\begin{aligned} I_R &= \frac{300000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 753,1 \text{ AMP} \\ &= 753,1 (0,95 - j 0,3122) = \\ &= 753 \angle -18,2^\circ \end{aligned}$$

VOLTAJE AL NEUTRO DEL LADO GENERADOR

$$V_{GN} = A V_R + B I_R =$$

$$\begin{aligned}
 V_{GN} &= 0.989 \left[0.075 \angle (132791) \right] + 57.6 \left[83.63 \angle (753 \angle -18.2) \right] \\
 &= 131330.3 \angle 0.075 \angle 43372.8 \angle 65.43 \angle \\
 &= 149364.8 + j 39617.5 \\
 &= 154529.6 \angle 14.9 \angle
 \end{aligned}$$

VOLTAJE ENTRE HILOS EXTREMO GENERADOR

$$V_{GAR} = 267653.1 \angle 14.6 \angle$$

CORRIENTE EXTREMO GENERADOR

$$\begin{aligned}
 I_G &= C V_R + D I_R = \\
 &= 0.0004 \angle (132791) + 0.989 \left[0.075 \angle (753 \angle -18.2) \right] \\
 &= 53.12 \angle 90 \angle 744.72 \angle -181 \angle \\
 &= 707.76 - j 178.6 \\
 &= 729.94 \angle -15.16 \angle
 \end{aligned}$$

LA POTENCIA REAL Y REACTIVA TRIFASICA EN EL EXTREMO RECEPTOR

$$P_R = 300000 (0.95) = 285000 \text{ KW}$$

$$Q_R = 300000 (0.3122) = 93660 \text{ KVAR}$$

FACTOR DE POTENCIA EN EL EXTREMO GENERADOR

$$\begin{aligned}
 F.P. &= \cos (\angle I_G - \angle V_G) = \\
 &= \cos (14.16 - 14.9) = \\
 &= 0.99992
 \end{aligned}$$

LA POTENCIA COMPLEJA POR FASE EN EL EXTREMO GENERADOR

$$S_G = V_G I_G =$$

$$S_G = 154529.6 \angle 14.9^\circ \quad (729.94 \angle -14.16^\circ)$$

$$= 1.28 \text{ E } 8 \angle 0.74$$

LA POTENCIA REAL Y REACTIVA TRIFASICA EN EL EXTREMO GENERADOR

$$P_G = 300000 \quad (0.9999.2) \quad 299976 \text{ KW}$$

$$Q_G = 300000 \quad (0.013) = -3900 \text{ KVAR}$$

LAS PERDIDAS REALES Y REACTIVAS EN LA LINEA

$$P_{3\phi} = P_G - P_R =$$

$$= 299976 - 285000 =$$

$$= 14976 \text{ KW}$$

$$Q_{3\phi} = Q_G - Q_R =$$

$$= -3900 - 93660 =$$

$$= -97560 \text{ KVAR}$$

DIBUJANDO EL DIAGRAMA CIRCULAR DOBLE PARA

$$V_R = 230000 \quad \text{Y} \quad V_G = 267653.1$$

TOMANDO

$$A = |A| \angle \alpha$$

$$B = |B| \angle \beta$$

$$C = |C| \angle \gamma$$

$$D = |D| \angle \delta$$

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO RECEPTOR

$$\begin{aligned}\text{HORIZONTAL} &= -\frac{|A|}{|B|} V_R^2 \cos (\beta - \alpha) \\ &= -\frac{0,989}{57,6} (230)^2 \cos (83,63,0 - 0,075) \\ &= -102 \text{ MW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{VERTICAL} &= -\frac{|A|}{|B|} V_R^2 \text{SEN} (\beta - \alpha) \\ &= -\frac{0,989}{57,6} (230)^2 \text{SEN} (83,63 - 0,075)\end{aligned}$$

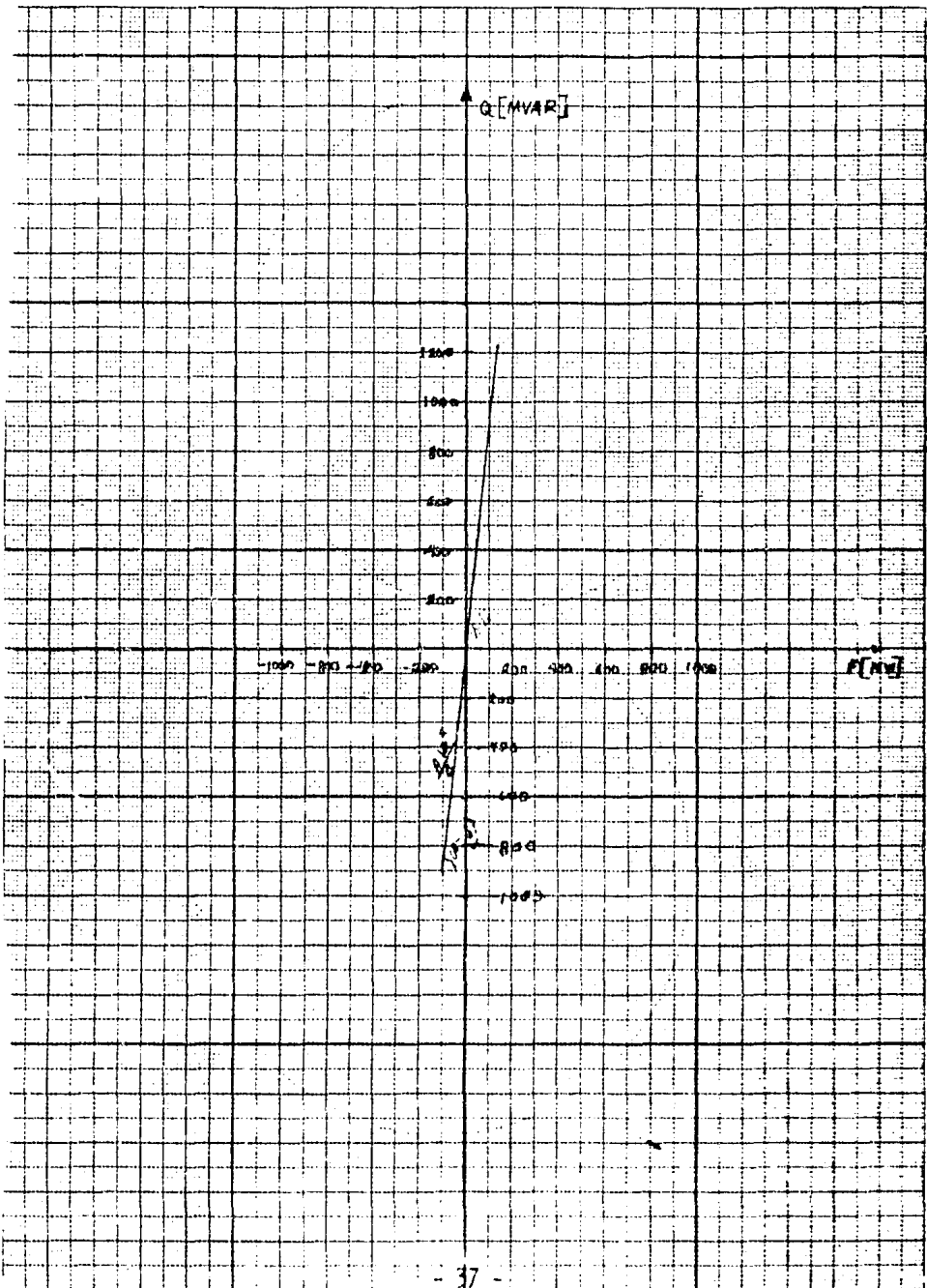
COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO GENERADOR

$$\begin{aligned}\text{HORIZONTAL} &= \frac{|D|}{|V|} V_G^2 \cos (\beta - \alpha) \\ &= \frac{0,989}{57,6} (267,6531)^2 \cos (83,63 - 0,075) \\ &= 138 \text{ MW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{VERTICAL} &= \frac{|D|}{|B|} V_G^2 \text{SEN} (\beta - \alpha) \\ &= \frac{0,989}{57,6} (267,6531)^2 \text{SEN} (83,63 - 0,075) \\ &= 1222 \text{ MVAR}\end{aligned}$$

EL RADIO DE LOS CIRCULOS GENERADORES Y RECEPTRO

$$\begin{aligned}\text{RADIO} &= \frac{V_G V_R}{|B|} = \\ &= \frac{230 (267,6531)}{57,6} = \\ &= 1069 \text{ MVA}\end{aligned}$$



ESTABILIDAD;- SE DICE QUE UN SISTEMA ES ESTABLE CUANDO TODAS SUS MÁQUINAS SINCRONAS (MOTORES Y GENERADORES DE LA RED) PERMANECEN EN SINCRONISMO O EN PASO, OTRO CONCEPTO DE IMPORTANCIA ES LO QUE SE CONOCE COMO LÍMITE DE ESTABILIDAD, ESTE SE CONSIDERA COMO EL MÁXIMO FLUJO DE ENERGÍA POSIBLE QUE PUEDE PASAR POR UN PUNTO DETERMINADO DEL SISTEMA, CUANDO EL SISTEMA O PARTE DE ÉL, A LA QUE SE REFIERE EL LÍMITE DE ESTABILIDAD, ESTÁ EN RÉGIMEN DE ESTABILIDAD.

LOS ESTUDIOS DE ESTABILIDAD SE CLASIFICAN SEGÚN CONSIDEREN ESTADOS ESTACIONARIOS O TRANSITORIOS. EXISTE UN LÍMITE DEFINIDO DE LA POTENCIA QUE ES CAPAZ DE SUMINISTRAR UN GENERADOR DE C-A Y DE LA CARGA QUE PUEDE LLEVAR UN MOTOR SÍNCRONO. LA INESTABILIDAD SE PRESENTA AL PRETENDER AUMENTAR LA ENERGÍA MECÁNICA SUMINISTRADA A UN GENERADOR, O LA CARGA MECÁNICA DE UN MOTOR, POR ENCIMA DE LA POTENCIA DETERMINADA CONOCIDA BAJO EL NOMBRE DE LÍMITE DE ESTABILIDAD. EL VALOR LÍMITE DE POTENCIA SE ALCANZA INCLUSO CUANDO EL CAMBIO SE HACE GRADUALMENTE. EN LAS PERTURBACIONES QUE SE PRESENTAN EN UNA RED, CUANDO SE APLICAN CARGAS REPENTINAMENTE, SE PROCEDEN FUGAS, HAY PÉRDIDA DE EXCITACIÓN EN EL CAMPO DE UN GENERADOR O SE REALIZAN CONEXIONES, PUEDEN PRESENTARSE PÉRDIDAS DE SINCRONISMO, A UN CUANDO EL CAMBIO PRODUCIDO EN LA RED POR LA PERTURBACIÓN NO EXEDA EL LÍMITE DE ESTABILIDAD EN RÉGIMEN TRANSITORIO O LÍMITE DE ESTABILIDAD EN RÉGIMEN PERMANENTE SEGÚN QUE EL PUNTO DE INESTABILIDAD SE ALCANCE POR UNA VARIACIÓN, REPENTINA O GRADUAL, DE LAS CONDICIONES DEL SISTEMA.

CAPACIDAD TÉRMICA.- LA CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CARGA QUE SE TIENE EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ESTÁ REPRESENTADA POR EL CALENTAMIENTO (DADO POR I^2R) DEL CABLE O DEL CONDUCTOR DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN Y POR LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD,

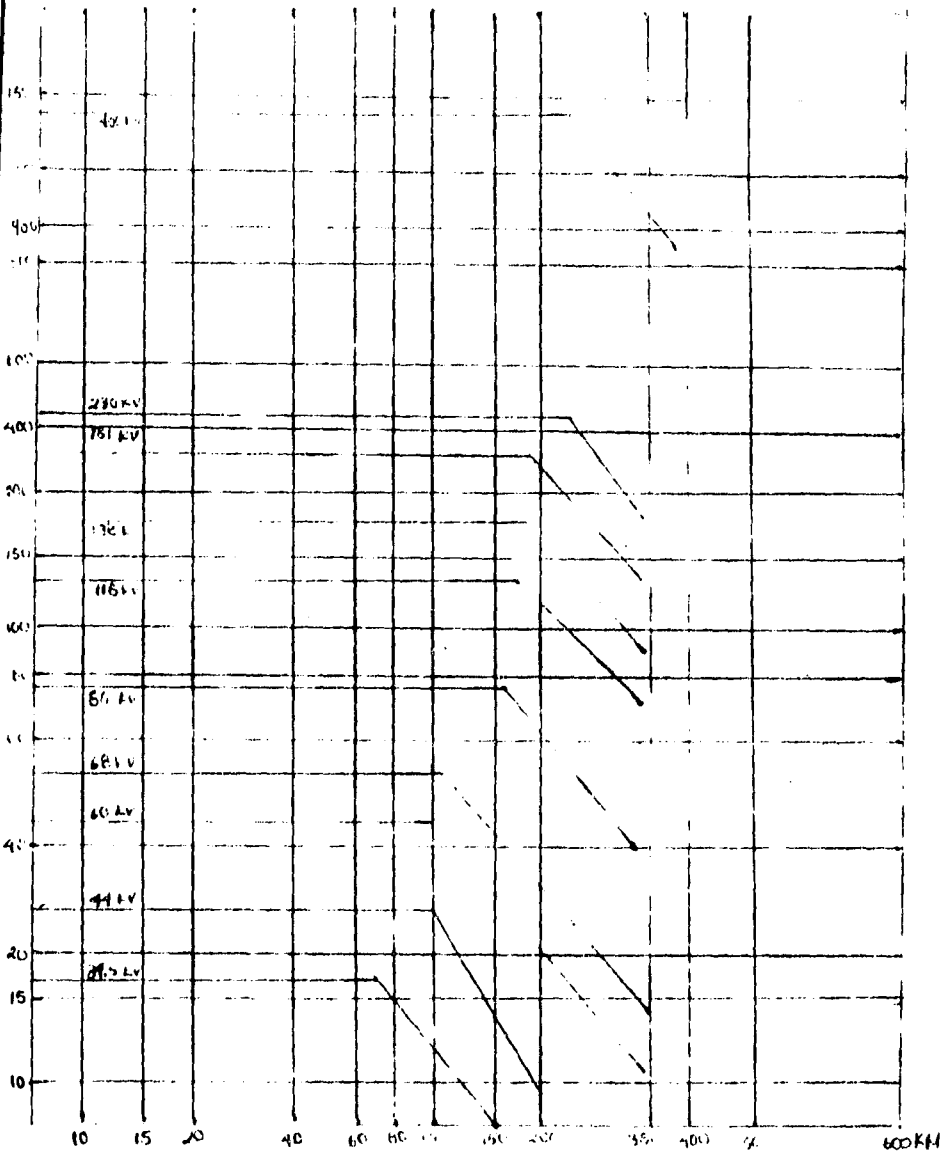
LAS LIMITACIONES I^2R SE DESCRIBEN EN TÉRMINOS DE UNA CAPACIDAD NORMAL, UNA CAPACIDAD DE EMERGENCIA A LARGO PLAZO DE TRES HORAS Y UNA CAPACIDAD DE EMERGENCIA A CORTO PLAZO DE VEINTE MINUTOS. ESTO QUIERE DECIR QUE LA LÍNEA PUEDE SOPORTAR, UNA SOBRE CARGA CON UN CIERTO LÍMITE A LARGO PLAZO QUE SE PUEDE MANTENER HASTA EN UN LAPSO DE TRES HORAS, PERO SI SE SOBREPASA ESTA SOBRE CARGA REPENTINAMENTE, SE TIENE LA CAPACIDAD DE EMERGENCIA A CORTO PLAZO DE VEINTE MINUTOS SIEMPRE Y CUANDO NO SEA LA SOBRE CARGA MAYOR A SU LÍMITE DE CAPACIDAD A CORTO PLAZO.

AI PRESENTARSE LA SOBRE CARGA EN LA LÍNEA, TRAE COMO CONSECUENCIA QUE SE PRESENTEN CORRIENTES DE GRAN MAGNITUD, Y AL PASAR LA CAPACIDAD DE EMERGENCIA A CORTO PLAZO, SE PRODUCE UNA SOBRE CARGA TÉRMICA, LO QUE PRODUCE EL CALENTAMIENTO EXCESIVO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

UN INCREMENTO SUSTANCIAL DE LA DISIPACIÓN I^2R PRODUCE UNA EXPANSIÓN TÉRMICA CON EL CONSIGUIENTE ALARGAMIENTO DE LOS CONDUCTORES, LO CUAL HACE QUE SE TENGA UNA MAYOR FLECHA, Y SI EL INCREMENTO ES GRANDE PODRÍA LLEGAR A TOCAR LA TIERRA. LA CAPACIDAD TÉRMICA DEPENDE DE VARIOS FACTORES, DEL ÁREA DEL CONDUCTOR, DE LA TEMPERATURA DEL MEDIO AMBIENTE, DE LA VELOCIDAD DEL VIENT-

TO Y LA TEMPERATURA DE ÉSTE.

PARA ENCONTRAR LA CAPACIDAD TÉRMICA DE LA LÍNEA DE TRANSMI--
SIÓN PARA 230 KV., ENCONTRAMOS DIRRECTAMENTE EN LA TABLA 1 TO
MANDO EN CUENTA LA LONGITUD DE LA LÍNEA, Y LA CAPACIDAD DE -
TRANSMISIÓN EN KV, DANDONOS UN LÍMITE TÉRMICO DE 420 MW.



CAPACIDAD DE TRANSMISION MAXIMA A DIFERENTES TENSIONES Y LONGITUDES DE LINEAS.

1) PARTE HORIZONTAL - LIMITE TECNICO DE CONDUCTORES.

2) PARTE A 45° - LIMITE ESTABLE.

3) PARTE VERTICAL - LIMITE POR REGULACION.

TABLA 1

2.3. REGULACION DE TENSION EN UNA LINEA

SE DEFINE LA "REGULACIÓN DE TENSION" DE UNA LÍNEA, COMO EL PORCENTAJE DE AUMENTO DEL VOLTAJE RECEPTOR CUANDO SE PROYECTA LA CARGA PLENA, PERMANECIENDO CONSTANTE EL VOLTAJE GENERADOR Y ESTANDO REFERIDO ESE PORCENTAJE DE AUMENTO AL VOLTAJE RECEPTOR A PLENA CARGA:

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

DONDE: V_{R_0} = MÓDULO DEL VOLTAJE EN VACÍO EN EL EXTREMO RECEPTOR.

V_R = MÓDULO DEL VOLTAJE A PLENA CARGA EN EL EXTREMO RECEPTOR.

LA REGULACIÓN DE TENSION ES UNO DE LOS CONCEPTOS DE MAYOR RELEVANCIA, YA QUE NOS VA A DEFINIR LOS LÍMITES PARA LA VARIACIÓN EN LOS VALORES DE VOLTAJE SIN QUE SE AFECTE EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

SABEMOS QUE UNA MÁQUINA O UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN O EN CUALQUIER ÁREA DONDE SE UTILICE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, SE DEBE DISEÑAR PARA OPERAR DENTRO DE UN RANGO DE VALORES EN VOLTAJE Y FRECUENCIA LOS CUALES NO DEBEN EXCEDER CIERTOS LÍMITES EN PORCENTAJE CON RESPECTO A LOS VALORES NOMINALES DE OPERACIÓN.

EL PORQUÉ DE TENER UNA BUENA REGULACIÓN DE TENSION DE VOLTAJE PUEDE ILUSTRARSE CON LOS SIGUIENTES EJEMPLOS CÁSICOS Y MUY SIM

FLES:

A).- EL CASO DE LAS LÁMPARAS INCANDESCENTES.- SI SE TIENE UNA VARIACIÓN DE $\pm 10\%$ EN LA TENSIÓN DE OPERACIÓN, AFECTA DE LA SIGUIENTE MANERA: SI SE REDUCE LA TENSIÓN REDUCIRÍA EL CONSUMO DE LA LÁMPARA EN UN 20% Y EL FLUJO LUMINOSO EN UN 30%; SIN EMBARGO SI LA TENSIÓN AUMENTA SE MANIFESTARÍA COMO UNA REDUCCIÓN EN LA VIDA ACTIVA TEÓRICA DE LA LÁMPARA EN UN 30% APROXIMADAMENTE.

B).- EL CASO DE LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES.- UNA REGULACIÓN DE $\pm 20\%$ POR EJEMPLO SIGNIFICARÍA QUE SE AFECTARÍA EL ARRANQUE Y LA LÁMPARA NO ENCENDERÍA, PARA EL CASO EN QUE EL VOLTAJE DISMINUYA. AHORA EN EL CASO EN QUE EL VOLTAJE AUMENTARA, LA BALASTRA SUFRIRÍA UN SOBRECALENTAMIENTO CONTÍNUO QUE OCASIONARÍA REDUCCIÓN DE SU VIDA ACTIVA.

EN OTROS CASOS EN QUE LA CARGA ES PURAMENTE RESISTIVA SE PUEDE OBSERVAR CÓMO AFECTARÍA UN AUMENTO EN EL VOLTAJE, DE LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

DÓNDE: V = TENSIÓN DE OPERACIÓN
R = RESISTENCIA DEL APARTAO DE OHMS.
P = POTENCIA CONSUMIDA EN WATTS.

PARA EL CASO ESPECÍFICO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, UNA MALA

REGULACIÓN DE VOLTAJE SIGNIFICARÍA: EN CASO DE REDUCCIÓN, SUMINISTRO INADECUADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ALGUNA SUBESTACIÓN REDUCTORA Y CON ELLO A ALGUNAS ZONAS RURALES Y URBANAS. EN EL CASO DE UN AUMENTO SE REGISTRARÍAN PÉRDIDAS POR EFECTO JOULE, A LO LARGO DE LA LÍNEA Y CON ELLO REDUCCIÓN EN LA VIDA ACTIVA DEL CONDUCTOR.

2.3.1 REGULACION DE LA LINEA

EL FACTOR DE REGULACIÓN DE LA TENSIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSPORTE ES LA ELEVACIÓN DE TENSIÓN EN EL EXTREMO RECEPTOR, EXPRESADO EN POR CIENTO DE LA TENSIÓN A PLENA CARGA, CUANDO ÉSTA, A UN DETERMINADO FACTOR DE POTENCIA ESPECIFICADO, DESAPARECE MANTENIENDO CONSTANTE LA TENSIÓN EN EL EXTREMO TRANSMISOR. LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA ES

$$\text{POR CIENTO DE REG.} = \frac{|V_{R,NL}| - |V_{R,FL}|}{|V_{R,FL}|} \times 100$$

DONDE $|V_{R,NL}|$ ES EL VALOR ABSOLUTO DE LA TENSIÓN EN EL EXTREMO RECEPTOR EN VACÍO, $|V_{R,FL}|$ ES EL VALOR ABSOLUTO DE LA TENSIÓN EN EL EXTREMO RECEPTOR A PLENA CARGA.

DANDO UN VALOR DE CERO A I_R EN LA EC. $V_S = A V_R + B I_R$ VEMOS QUE A ES LA RELACIÓN V_S/V_R SIN CARGA. DE MODO PARECIDO, B ES LA RELACIÓN V_S/I_R CUANDO EL TERMINAL DEL RECEPTOR ESTÁ EN CORTO CIRCUITO. LA CONSTANTE A ES ÚTIL EN EL CÁLCULO DE LA REGULACIÓN.

$V_{R,FL}$ LA TENSIÓN EN EL TERMINAL RECEPTOR A PLENA CARGA PARA UNA TENSIÓN V_S DEL TERMINAL DE TRANSMISIÓN LA EC. 2.3 - 1 SE REDUCE A:

$$\text{POR CIENTO DE REG.} = \frac{V_S / A - |V_{R,FL}|}{|V_{R,FL}|} \times 100 =$$

PARA NUESTRO CALCULO

$$\begin{aligned} \text{POR CIENTO DE REG.} &= \frac{266.0044 / 0.989 - 230}{230} \times 100 \\ &= 10.94 \% \end{aligned}$$

3.1 SELECCION DE ESTRUCTURA

PRESENTACION DE ALTERNATIVAS

EN BASE A LAS ESTRUCTURAS NORMALIZADAS ES POSIBLE CONSTRUIR LA LÍNEA DE CUATRO CIRCUITOS EN DOS HILERAS DE TORRES O POSTES, TAMBIÉN ES POSIBLE INSTALAR LOS CUATRO EN TORRES DE 400 KV ADAPTÁNDOLE LAS CRUCETAS PARA 230 KV LLEVANDO DOS CIRCUITOS TRIFÁSICOS EN CADA LADO EN FORMA VERTICAL.

EN LOS ESTUDIOS DE ALTERNATIVAS TAMBIÉN SE PRESENTARON ESTRUCTURAS ESPECIALES, COMO MARCOS O TORRES CON DOS FASES POR CRUCE TA, QUE REQUERÍAN UN NUEVO DISEÑO DE ESTRUCTURA TRAYENDO COMO CONSECUENCIA RETRASOS EN LA OBRA, ADEMÁS DE SALIR DE LAS ESTRUCTURAS YA NORMALIZADAS.

EN LA TABLA 3.1.1 SE MUESTRAN DESPUÉS DE UNA SELECCIÓN, LAS ALTERNATIVAS FACTIBLES DE REALIZAR, EN EL CUAL SE APRECIA LA CANTIDAD DE ESTRUCTURAS NECESARIAS Y LA AMPLITUD DEL DERECHO DE VÍA.

TABLA 3.1.1
ALTERNATIVAS PROPUESTAS

ALTERNATIVAS	1	2	3	4	5	400 KV
CONCEPTO	POSTES CON CRUCETAS FIERRO AISLADAS	TORRES CON CRUCETAS FIERRO AISLADAS	TORRES CON CRUCETAS FIERRO AISLADAS	TORRES CON CRUCETAS FIERRO AISLADAS	TORRES CON CRUCETAS FIERRO AISLADAS	4
N. ESTRUCTURAS (PZAS)	112	112	72	72	36	
ANCHO D.V. METROS	35	31	40	35	30	

LAS ALTERNATIVAS 1,2,3 Y 4 SON DOS HILERAS DE ESTRUCTURAS, LA 5 ES UNA TORRE DE 400 KV ADAPTADA CON 6 CRUCETAS POR LADO.

EL ANCHO DEL DERECHO DE VÍA FUE OBTENIDO SUPONIENDO LOS CLAROS MÁXIMOS QUE SOPORTAN LAS ESTRUCTURAS.

SELECCION DE ALTERNATIVAS

POR DERECHO DE VÍA

DEBIDO A LO PROBLEMÁTICO DEL DERECHO DE VÍA SE VE CLARAMENTE - QUE LAS ALTERNATIVAS MÁS ACEPTABLES Y FACTIBLES DE REALIZAR -- SON LAS SIGUIENTES:

ALT. 2

DOS HILERAS DE POSTES CON CRUCETAS (SOPORTES) AISLADOS, SE REQUIEREN 112 POSTES CON UN DERECHO DE VÍA DE 31 MTS.

ALT. 4

DOS HILERAS DE TORRES CON CRUCETAS (SOPORTES) AISLADOS, NECESITÁNDOSE 72 TORRES Y UN ANCHO DE DERECHO DE VÍA DE 35 MTS.

ALT. 5

UNA HILERA DE TORRES DE 400 KV CON SEIS CRUCETAS POR LADO. SE

UTILIZAN 36 ESTRUCTURAS Y 30 MTS. DE DERECHO DE VÍA.

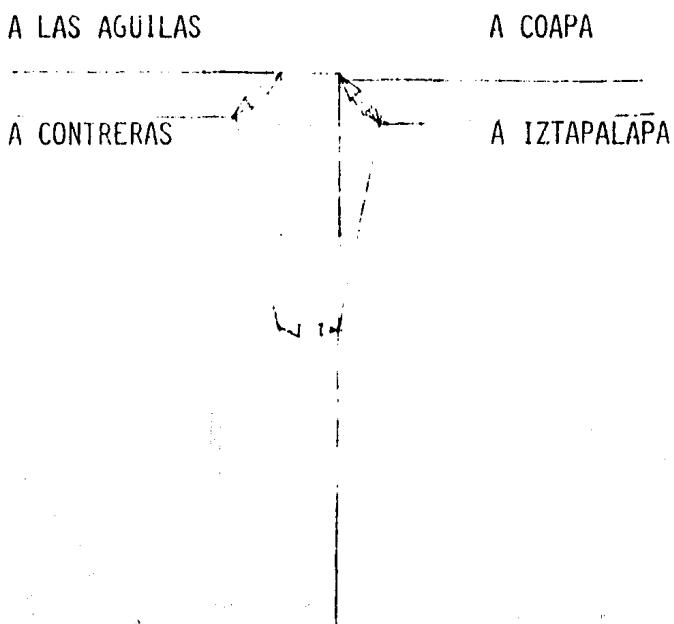
EVALUACION ECONOMICA

EVALUANDO ECONÓMICAMENTE ESTAS TRES ALTERNATIVAS SE OBTUVIERON LOS RESULTADOS MOSTRADOS EN LA TABLA 3.1.2 DONDE SE OBSERVA -- QUE LOS COSTOS DE MATERIAL Y MANO DE OBRA SON MENORES EN LA -- ALT. 5 AUNADOS A LAS CONDICIONES TÉCNICAS FAVORABLES, ES SELECCIONADA PARA CONSTRUIR LA LÍNEA.

MANTENIMIENTO Y OPERACION

DEBIDO A LA DISPOSICIÓN DE DOS, DOS CIRCUITOS VERTICALES EN CADA LADO DE LA TORRE, EL MANTENIMIENTO, PRINCIPALMENTE DEL CIRCUITO SUPERIOR, SERÍA MUY PELIGROSO DE REALIZARSE TENIENDO EL OTRO CIRCUITO ENERGIZADO, POR LO QUE CUANDO SE TENGA QUE EFECTUAR UNA REPARACIÓN SE DEBERÁN SOLICITAR LOS DOS CIRCUITOS DESENERGIZADOS.

DEBIDO A ESTA SITUACIÓN LA OPERACIÓN DEL ANILLO SE VERÍA INTERRUPTIDA YA QUE EN SITUACIÓN DE MANTENIMIENTO EL CIRCUITO DEL ANILLO SE CORTARÍA ENTRE LAS SUBESTACIONES COAPA Y CONTRERAS, PARA EVITARLO SE COLOCARÁN LOS CIRCUITOS ALTERNADOS TAL Y COMO SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE FIG. CON LO CUAL SE CONSERVARÁ LA CONTINUIDAD DE FUNCIONAMIENTO EN EL ANILLO DE 230 KV.



A TOPILEJO

ANILLO 230 K. V.
DIAGRAMA DE ACOMODO DE CIRCUITOS

TABLA 3.1.2

CONCEPTO	EVALUACION ECONOMICA (MILES DE PESOS)		
	ALT. 2 2 HILERAS DE POSTES CON SOPORTES AISL.	ALT. 4 2 HILERAS DE TORRES CON SOPORTES AISL.	ALT. 5 1 HILERA DE TORRES 400 KV. CON 4 CTOS.
ESTRUCTURAS	112 Pzas.	72 Pzas.	36 Pzas.
COSTO	44,000	28,000	24,000
HERRAJES	17,360	11,160	2,808
CIMENTACION	24,640	9,000	5,400
LABOR E.M.	13,400	11,520	6,480
SUBTOTAL	99,440	59,680	38,688
ANCHO D.V. (MTS)	31	35	30
m ² NECESA- RIOS	387,500	437,500	387,688
COSTO	11,065	13,125	11,625
TOTAL	111,065	72,805	50,313

CALCULO DE PARAMETROS DE LA LT COMPACTADA

3.2 PARA EFECTOS DE COMPARACIÓN CALCULAREMOS LOS PARÁMETROS PARA LÍNEA COMPACTADA UTILIZANDO DOS CIRCUITOS EN ESTRUCTURA TRADICIONAL; PERO CAMBIANDO LAS CRUCETAS METÁLICAS POR LOS AISLADORES RÍGIDOS VE VER FIG, 5.2-4.

DE LA TABLA A.1 SE ENCUENTRA EL RADIO MEDIO GEOMETRICO DEL CONDUCTOR BLUJAY QUE ES:

$$D_S = 1.2649 \text{ CM}$$

$$\text{RMG} = 1.2649 \text{ CM} *$$

CALCULO DE LA DISTANCIA MEDIA GEOMETRICA, VER SIG. FIG

$$\begin{aligned} \text{DMG} &= \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{AC}} \\ &= \sqrt[3]{(5.03)^2 10.06} \\ &= 6.22 \text{ MTS} = 622.15 \text{ CM} * \end{aligned}$$

CALCULO DE LA REACTANCIA INDUCTIVA

$$\begin{aligned} X_L &= 0.00289 (F) \text{ LOG} \frac{622.15}{1.2649} = \\ &= 0.47 \Omega / \text{KM} / \text{FASE} \end{aligned}$$

$$X_{L \text{ TOTAL}} = 0.47 (20 \text{ KM}) = 56.01 \Omega$$

CALCULO DE LA REACTANCIA CAPACITIVA

$$X_C = \frac{6.596}{F} \text{ LOG} \frac{622.15}{1.2649} =$$

* RMG Y DMG CALCULADOS SIN CONSIDERAR LA INDUCTANCIA MUTUA

$$= 0,296 \text{ M KM}$$

$$X_L \text{ TOTAL} = \frac{0,296}{120 \text{ KM}} = 0,0025 \text{ M}\Omega$$
$$= 25000 \Omega$$

CALCULANDO LA RESISTENCIA TOTAL DE LA LINEA
DE LA TABLA A.1 VER APENDICE

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = 0,0861 \Omega/\text{MI} = 0,0535 \Omega/\text{KM}$$

$$R_L = 0,0535 (120 \text{ KM}) = 6,42 \Omega$$

$$\begin{aligned} Z &= R + j X_L = \\ &= 6,42 + j 56,01 \\ &= 56,38 \angle 83,5^{\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_C &= 1/Y = -j X_C = \\ &= -j 2500 \\ &= 2500 \angle -90^{\circ} \end{aligned}$$

3.3 CAPACIDAD DE LA LINEA DE TRANSMISION COMPACTADA DOS CIRCUITOS.

VER CAPITULO 2.2.

$$SIL = \frac{V^2}{Z_C} \text{ MVA}$$

$$Z_C = (X_C \ X_L)^{1/2}$$

$$X_C = 2500 \ \Omega$$

$$X_L = 56.01 \ \Omega$$

$$Z_C = (2500 \times 56.01)^{1/2}$$

$$= 374.2 \ \Omega$$

$$SIL = 141.4 \text{ MVA}$$

DIAGRAMA CIRCULAR Y ESTABILIDAD

CÁLCULO DE LAS CONSTANTES GENERALIZADAS

$$A = D = 1 + \frac{Z}{2Z_1} =$$

$$= 1 + \frac{56,38 \angle 83,5^\circ}{2(2500 \angle -90^\circ)}$$

$$= 0,989 \angle 0,0013$$

$$B = Z \left(1 + \frac{Z}{6Z_1} \right) =$$

$$= 56,38 \angle 83,5^\circ \left(1 + \frac{56,38 \angle 83,5^\circ}{6(2500 \angle -90^\circ)} \right) =$$

$$= 56,17 \angle 83,5^\circ$$

$$C = \frac{1}{Z_1} \left(1 + \frac{Z}{6Z_1} \right) =$$

$$= \frac{1}{2500 \angle -90^\circ} \left(1 + \frac{56,38 \angle 83,5^\circ}{6(2500 \angle -90^\circ)} \right) =$$

$$= 0,0004 \angle 90^\circ$$

VOLTAJE AL NEUTRO DEL LADO RECEPTOR

$$V_{RN} = \frac{230000}{\sqrt{3}} = 132791 \text{ VOLTS.}$$

CORRIENTE LADO RECEPTOR

$$I_R = \frac{300000}{3 \cdot 230} = 753,1 \text{ AMP.}$$

$$= 753,1 (0,95 - j0,3122) =$$

$$= 753 \angle -18,2^\circ$$

VOLTAJE AL NEUTRO EXTREMO GENERADOR

$$V_{GN} = A V_R + B I_R =$$

$$\begin{aligned} V_{GN} &= 0,989 \angle 0,0013^\circ (132791) + 56,38 \angle 83,5^\circ (753 \angle -18,2^\circ) \\ &= 131330,3 \angle 0,0013^\circ + 42454,1 \angle 65,3^\circ \\ &= 153980,1 \angle 14,5^\circ \end{aligned}$$

VOLTAJE ENTRE HILOS EXTREMO GENERADOR

$$V_{GAB} = 266701,4 \angle 43,5^\circ$$

CORRIENTE EXTREMO GENERADOR

$$I_G = C V_R + D I_R =$$

$$\begin{aligned} &= 0,0004 \angle 90^\circ (132791) + 0,989 \angle 0,0013^\circ (753 \angle -18,2^\circ) \\ &= 53,1 \angle 90^\circ + 744,7 \angle -18,2^\circ \\ &= 707,5 - j 179,5 \\ &= 730 \angle -14,2^\circ \end{aligned}$$

LA POTENCIA REAL Y REACTIVA TRIFASICA EN EL EXTREMO RECEPTOR

$$P_R = 300000 (0,95) = 285000 \text{ KW}$$

$$Q_R = 300000 (0,3122) = 93660 \text{ KVAR}$$

FACTOR DE POTENCIA EN EL EXTREMO GENERADOR

$$\text{F.P.} = \cos (\phi) I_G \angle -\phi V_G =$$

$$= \cos (14,2 - 14,5) =$$

$$= 0,999986.$$

LA POTENCIA COMPLEJA POR FASE EN EL EXTREMO GENERADOR

$$S_G = V_G I_G =$$

$$S_G = 153980,1 (730) \underline{14,5^\circ} \underline{-14,2^\circ}$$

$$= 1,124 \text{ E8 } \underline{0,3}$$

LA POTENCIA REAL Y REACTIVA TRIFASICA EN EL EXTREMO GENERADOR

$$P_G = 300000 (0,999986) = 299995,8 \text{ KW}$$

$$Q_G = 300000 (0,0053) = 1587,44 \text{ KVAR}$$

LAS PERDIDAS REALES Y REACTIVAS EN LA LINEA

$$P_{3\phi} = P_G - P_R$$

$$= 299995,8 - 285000 =$$

$$= 14995,8 \text{ KW}$$

$$Q_{3\phi} = Q_G - Q_R$$

$$= -1587,44 - 93660 =$$

$$= - 95247,44 \text{ KVAR}$$

DIBUJANDO EL DIAGRAMA CIRCULAR DOBLE PARA

$$V_R = 230000$$

Y

$$V_G = 266701,4$$

TOMANDO

$$A = |A| \angle \alpha$$

$$B = |B| \angle \beta$$

$$C = |C| \angle \gamma$$

$$D = |D| \angle \delta$$

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO RECEPTOR

$$\begin{aligned} \text{HORIZONTAL} &= - \frac{|A|}{|B|} V_R^2 \cos (\beta - \alpha) \\ &= - \frac{0,989}{56,17} (230)^2 \cos (83,5 - 0,0013) \\ &= - 105 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{VERTICAL} &= - \frac{|A|}{|B|} V_R^2 \text{SEN} (\beta - \alpha) \\ &= - \frac{0,989}{56,17} (230)^2 \text{SEN} (83,5 - 0,0013) \\ &= - 925 \text{ MVAR} \end{aligned}$$

COORDENADAS DEL CENTRO DEL CIRCULO GENERADOR

$$\begin{aligned} \text{HORIZONTAL} &= \frac{|D|}{|B|} V_G^2 \cos (\beta - \alpha) \\ &= \frac{0,989}{56,17} (266,7014)^2 \cos (83,5 - 0,0013) \\ &= 142 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{VERTICAL} &= \frac{|D|}{|B|} V_G^2 \text{SEN} (\beta - \alpha) \\ &= \frac{0,989}{56,17} (266,7014)^2 \text{SEN} (83,5 - 0,0013) \\ &= 1244 \text{ MVAR} \end{aligned}$$

EL RADIO DE LOS CIRCULOS GENERADOR Y RECEPTOR

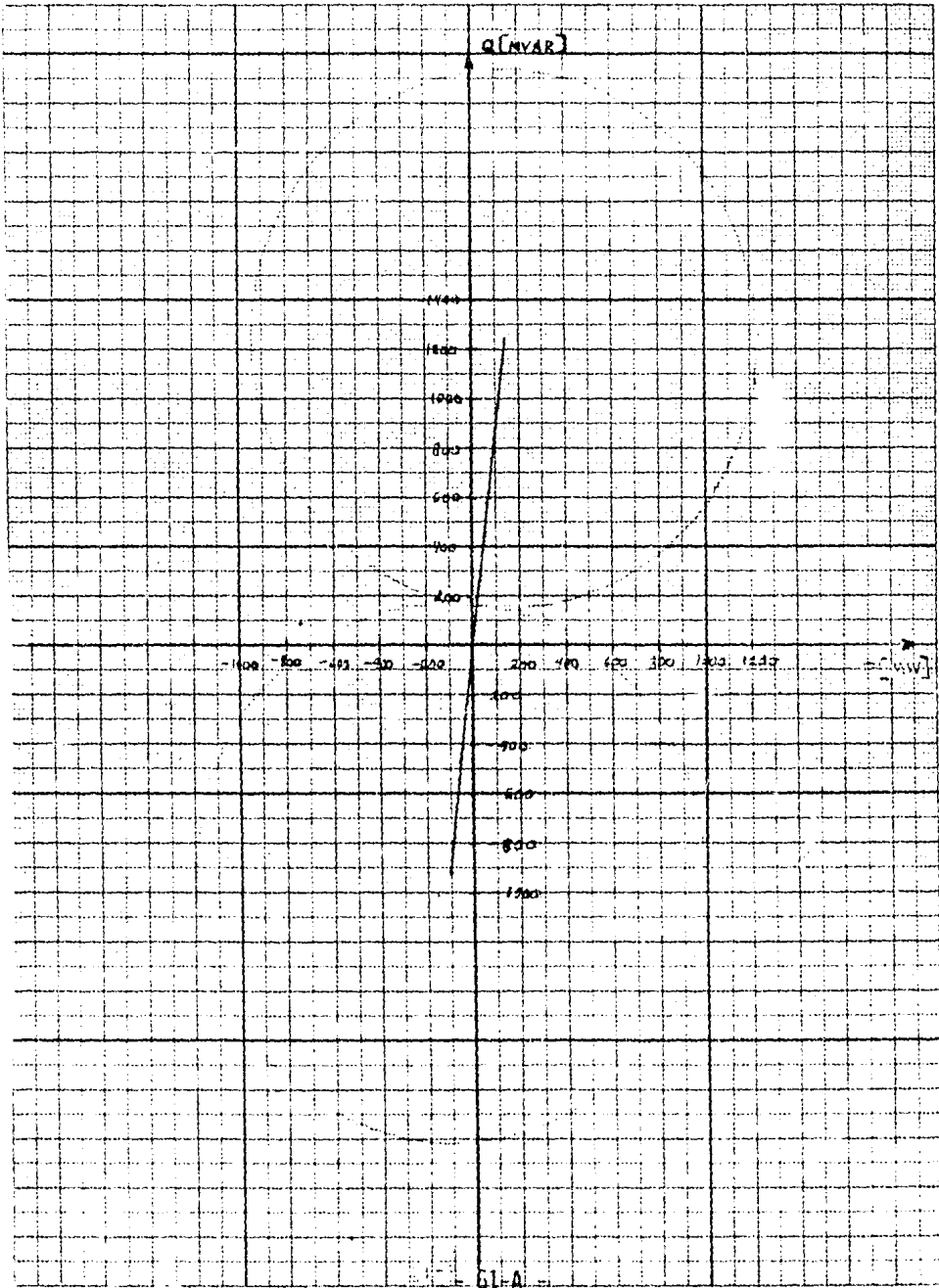
$$\begin{aligned} \text{RADIO} &= \frac{V_G V_R}{B} = \\ &= \frac{230 (266,7014)}{56,17} = \\ &= 1092 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Q [MYAR]

1400
1200
1000
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
-1000

-1000 -800 -600 -400 -200 200 400 600 800 1000 1200 [MYAR]

G1-A



3.4 REGULACION DE VOLTAJE

$$\text{POR CIENTO DE REGULACIÓN} = \frac{V_s / A - |V_{R,FL}|}{|V_{R,FL}|} \times 100 =$$

DONDE

$$V_s = 266,7014 \text{ VÓLTS}$$

$$A = 0,989$$

$$V_{R,FL} = 230$$

$$\begin{aligned} \text{POR CIENTO DE REG.} &= \frac{(266,7014 / 0,989) - 230}{230} \times 100 = \\ &= 17,25 \% \end{aligned}$$

CAPITULO 4

4.1 GENERALIDADES

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO.- CONJUNTO DE LAS DISPOSICIONES - TOMADAS PARA QUE LOS MATERIALES ELÉCTRICOS DE UNA MISMA INSTALACIÓN TENGAN UN MARGEN DE SEGURIDAD APROPIADO RESPECTO DE LAS SOBRETENCIONES Y QUE LAS DESCARGAS DE ARCO PUEDAN SER UBICADAS EN PUNTOS DONDE NO ORIGINEN DAÑOS. EN LA PRÁCTICA, SE BASA EN LA CORRELACIÓN NECESARIA ENTRE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL EQUIPO ELÉCTRICO, LAS SOBRETENCIONES SUPUESTAS Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.

CAMPO DE APLICACIÓN.- LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO IMPLICA - LA SELECCIÓN ADECUADA DE LA RESISTENCIA DIELECTRICA DEL EQUIPO CONFORME A LAS TENSIONES QUE PUEDAN APARECER EN EL SISTEMA PARA LAS CUALES EL EQUIPO ESTÁ DISEÑADO, TOMANDO EN CONSIDERACIÓN -- LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DISPONI-- BLES, REDUCIENDO A UN NIVEL ECONÓMICO Y OPERACIONALMENTE ACEPTABLE DE QUE LOS ESFUERZOS POR TENSIÓN RESULTANTES E IMPUESTOS AL EQUIPO, PUEDAN CAUSAR DAÑO AL AISLAMIENTO DEL MISMO O AFECTAR LA CONTINUIDAD DEL SERVICIO.

AISLAMIENTO EXTERNO.- COMPRENDE LAS SUPERFICIES AISLANTES EX-- TERNAS DE LOS APARATOS, EL AIRE AMBIENTE QUE LOS RODEA Y LAS -- DISTANCIAS EN AIRE. LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AISLAMIENTO EX-- TERNO DEPENDE DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS TALES COMO; CONTAMINACIÓN HUMEDAD, ETC.

AISLAMIENTO INTERNO.- COMPRENDE AISLAMIENTOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS O GASEOSOS QUE FORMAN PARTE DEL AISLAMIENTO DE LOS EQUIPOS Y QUE ESTÁN PROTEGIDOS DE LOS EFECTOS ATMOSFÉRICOS TALES COMO; CONTAMINACIÓN, HUMEDAD, Y OTRAS CONDICIONES EXTERNAS.

AISLAMIENTO EXTERNO TIPO INTERIOR.- ES EL AISLAMIENTO EXTERNO QUE ESTÁ DISEÑADO PARA OPERAR DENTRO DE LOS EDIFICIOS Y CONSECUENTEMENTE NO ESTÁ EXPUESTO A LAS CONDICIONES DE INTERPERIE.

AISLAMIENTO EXTERNO TIPO EXTERIOR.- ES EL AISLAMIENTO EXTERNO QUE ESTÁ DISEÑADO PARA OPERAR FUERA DE LOS EDIFICIOS Y CONSECUENTEMENTE ESTÁ EXPUESTO A LAS CONDICIONES DE INTERPERIE.

AISLAMIENTO AUTORRECUPERABLE.- ES EL AISLAMIENTO QUE RECUPERA TOTALMENTE SUS PROPIEDADES AISLANTES DESPUÉS DE UNA DESCARGA - DISRUPTIVA CAUSADA POR LA APLICACIÓN DE UNA TENSIÓN DE PRUEBA; UN AISLAMINTE DE ESTE TIPO ES POR LO GENERAL, AUNQUE NO NECESARIAMENTE, UN AISLAMIENTO EXTERNO.

AISLAMIENTO NO AUTORRECUPERABLE.- ES EL AISLAMIENTO QUE PERDE SUS PROPIEDADES AISLANTES O QUE NO LAS RECUPERA COMPLETAMENTE DESPUÉS DE UNA DESCARGA DISRUPTIVA CAUSADA POR LA APLICACIÓN DE UNA TENSIÓN DE PRUEBA; UN AISLAMIENTO DE ESTE TIPO ES POR LO GENERAL, AUNQUE NO NECESARIAMENTE, UN AISLANTE INTERNO.

SISTEMA CON NEUTRO AISLADO.- ES UN SISTEMA CUYO NEUTRO NO TIENE NINGUNA CONEXIÓN INTENCIONAL A TIERRA, EXECPTO A TRAVÉS DE

APARATOS DE SEÑALIZACIÓN, DE MEDICIÓN O DE PROTECCIÓN, DE MUY ALTA IMPEDANCIA.

SISTEMA CON NEUTRO CONECTADO A TIERRA.- ES UN SISTEMA CUYO NEUTRO ESTÁ CONECTADO A TIERRA YA SEA DIRECTAMENTE O A TRAVÉS DE UNA RESISTENCIA O UNA REACTANCIA DE UN VALOR SUFICIENTEMENTE BAJO, CON EL PROPÓSITO DE REDUCIR AL MÁXIMO LAS OSCILACIONES TRANSITORIAS Y PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE UNA PROTECCIÓN SELECTIVA DE FALLA A TIERRA.

SISTEMA ATERRIZADO RESONANTE.- (SISTEMA CONECTADO A TIERRA A TRAVÉS DE UNA BOBINA DE SUPRESIÓN DE ARCO), ES UN SISTEMA CONECTADO A TIERRA A TRAVÉS DE UN REACTOR CUYA REACTANCIA ES DE UN VALOR TAL QUE DURANTE UNA FALLA DE FASE A TIERRA, LA CORRIENTE INDUCTIVA A LA FRECUENCIA DEL SISTEMA QUE CIRCULA A TRAVÉS DEL REACTOR NEUTRALIZA SUBSTANCIALMENTE A LA COMPONENTE CAPACITIVA, DE LA CORRIENTE DE FALLA A TIERRA.

NOTA: EN UN SISTEMA ATERRIZADO RESONANTE LA CORRIENTE RESIDUAL EN LA FALLA SE LIMITA A TAL GRADO, QUE UNA FALLA CON ARCO EN EL AIRE PERO LO GENERAL SE AUTOEXTINGUE.

FACTOR DE FALLA A TIERRA (F.F.T.),.- EN UN PUNTO SELECCIONADO DE UN SISTEMA TRIFÁSICO, (POR LO GENERAL EL PUNTO DE INSTALACIÓN DE UN EQUIPO) Y PARA UNA CONFIGURACIÓN DADA DE UN SISTEMA CON NEUTRO CONECTADO A TIERRA Y EN EL CASO DE UNA FALLA A TIERRA, SE DEFINE EL FACTOR DE FALLA A TIERRA DE ACUERDO A LA SI-

GUENTE EXPRESIÓN:

F.F.T. = $\frac{\text{VALOR MÁX. DE TENSIÓN DE FASE A TIERRA DURANTE LA FALLA}^{**}}{\text{VALOR *DE LA TENSIÓN DE FASE A TIERRA (CON. NOR. OPER.)}}$

NOTAS:

- 1) ESTE FACTOR ES UNA RELACIÓN NUMÉRICA (MAYOR DE 1) Y CARACTERIZA EN TÉRMINOS GENERALES LAS CONDICIONES DE CONEXIÓN A TIERRA DE UN SISTEMA, COMO ES VISTO DESDE EL PUNTO DE VISTA SELECCIONADO INDEPENDIENTEMENTE DEL VALOR DE TENSIÓN DE OPERACIÓN EN ESE PUNTO. EL FACTOR DE FALLA A TIERRA ES EL PRODUCTO DE 3 Y EL "FACTOR DE CONEXIÓN A TIERRA", EL CUAL SE HA USADO EN EL PASADO (OBTENIDO DE GRÁFICAS QUE INDICAN LAS RELACIONES R_0/X_1 Y X_0/X_1).
- 2) EL FACTOR DE FALLA A TIERRA SE CALCULA DE LAS IMPEDANCIAS DE SECUENCIA DEL SISTEMA (POSITIVO Y CERO), COMO SE VEN DESDE EL PUNTO SELECCIONADO USANDO PARA CUALQUIER MÁQUINA ROTATORIA LAS REACTANCIAS SUBTRANSITORIAS.
- 3) SI PARA CUALQUIER CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA, LA REACTANCIA DE SECUENCIA CERO ES MENOR QUE TRES VECES LA REACTANCIA DE SECUENCIA POSITIVA, Y LA RESISTENCIA DE SECUENCIA CERO NO EXCEDE LA REACTANCIA DE SECUENCIA POSITIVA, EL FACTOR DE FALLA A TIERRA NO ES MAYOR DE 1,4 ES DECIR:

* VALORES EFICACES A LA FRECUENCIA DE OPERACIÓN

** FASES NO FALLADAS.

SI $X_0 \leq 3X_1$

Y $R_0 \leq X_1$

ENTONCES F.F.T. ≤ 1.4

SOBRETENCIÓN.- CUALQUIER VALOR DE TENSIÓN (FUNCIÓN DEL TIEMPO) ENTRE UNA FASE Y TIERRA O ENTRE FASES, QUE TENGA UN VALOR CRESTA IGUAL O MAYOR A $\sqrt{2} V_M/\sqrt{3}$ Y $\sqrt{2} V_M$ RESPECTIVAMENTE, - OBTENIDOS DE LA TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO DEL EQUIPO.

SOBRETENSIÓN DE FASE A TIERRA POR UNIDAD (P.U.).- ES LA RELACIÓN DE LOS VALORES CRESTA DE LA SOBRETENSIÓN DE FASE A TIERRA Y LA TENSIÓN DE FASE A TIERRA CORRESPONDIENTE A LA TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO PARA EL EQUIPO (ES DECIR $\sqrt{2} V_M/\sqrt{3}$). TAMBIÉN SE PUEDE EXPRESAR DE LA SIGUIENTE FORMA:

SOBRETENSIÓN DE FASE A TIERRA P.U. = $\frac{\text{VALOR DE CRESTA DE LA SOBRETENSIÓN DE F. A T.}}{\text{VALOR DE CRESTA DE LA TENSIÓN DE FASE A TIERRA CORRESPONDIENTE A LA TENSIÓN MÁX. DE DISEÑO DEL EQUIPO } \sqrt{2} V_M/\sqrt{3}}$

SOBRETENSIÓN DE FASE A FASE POR UNIDAD (P.U.).- ES LA RELACIÓN DE LOS VALORES CRESTA DE LA SOBRETENSIÓN DE FASE A FASE Y LA TENSIÓN DE FASE A TIERRA CORRESPONDIENTE A LA TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO DEL EQUIPO $\sqrt{2} V_M/\sqrt{3}$. ESTA RELACIÓN ESTA EXPRESADA POR: $K/\sqrt{3}$, SIENDO K LA RELACIÓN ENTRE EL VALORCRESTA DE LA SOBRETENSIÓN DE FASE A FASE Y EL VALOR DE CRESTA DE LA TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO DEL EQUIPO. TAMBIÉN SE PUEDE EXPRESAR DE LA FORMA SIGUIENTE:

$$\text{SOBRETENSIÓN DE FASE A FASE P.U.} = \frac{\text{VALOR CRESTA DE LA SOBRETENSIÓN DE F.F.}}{\text{VALOR CRESTA DE TENSIÓN DE F. A T. CORRESPONDIENTE A LA TENSIÓN MÁX. DE DISEÑO DEL EQUIPO}} \sqrt{2} V_M / \sqrt{3}$$

EL VALOR CRESTA DE LA TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO DEL EQUIPO (ES DECIR EL MENOR VALOR DE UNA SOBRETENSIÓN DE FASE A FASE) QUEDA ENTONCES EXPRESADO EN UN VALOR EN POR UNIDAD COMO $1 \times \sqrt{3}$.

NOTA: LAS SOBRETENSIONES EN POR UNIDAD DEFINIDAS EN LOS ANTERIORES PARA LOS PROPÓSITOS DE ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO SE REFIEREN A LOS VALORES CRESTA DE TENSIÓN CORRESPONDIENTE DE FASE A TIERRA DE LA TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO DEL EQUIPO, TOMADA COMO BASE DE REFERENCIA.

CUANDO LAS SOBRETENSIONES SE MIDEN EN VARIAS CONDICIONES DURANTE LAS PRUEBAS SOBRE UN SISTEMA O SOBRE UN MODELO EQUIVALENTE, PUEDE SER CONVENIENTE REFERIR ESTAS SOBRETENSIONES A LA TENSIÓN DE FASE A TIERRA ANTES O DESPUÉS DE LA OPERACIÓN DE MANIOBRA DEL INTERRUPTOR, SEGÚN SE CONSIDERE APROPIADO. EN TALES CASOS, DEBE USARSE EL TÉRMINO "FACTOR DE SOBRETENSIÓN" PARA LA RELACIÓN Y COMO LAS SOBRETENSIONES NO SON PROPORCIONALES A LA TENSIÓN DEL SISTEMA ES NECESARIO REFERIRLAS A ESTA ÚLTIMA ASÍ COMO INDICAR LAS CONDICIONES DE LA PRUEBA.

SOBRETENSIONES POR MANIOBRA.- ES UNA TENSIÓN DE FASE A TIERRA O FASE A FASE EN UN PUNTO DADO DEL SISTEMA DEBIDA A UNA OPERACIÓN ESPECÍFICA DE MANIOBRA DE INTERRUPTORES, FALLO U OTRA CAUSA. LA FORMA COMO PUEDE REFERIRSE PARA LOS PROPÓSITOS DE COORDI

NACIÓN DE AISLAMIENTO ES SEMEJANTE A AQUELLA DEL IMPULSO NORMALIZADO USADA PARA LAS PRUEBAS DE IMPULSO POR MANIOBRA. TALES SOBRETENSIONES TIENEN POR LO GENERAL UN ALTO AMORTIGUAMIENTO Y CORTA DURACIÓN.

NOTA: LA ONDA NORMALIZADA ES DE 250/2500 μ s.

SOBRETENSIÓN POR RAYO.- ES UNA SOBRETENSIÓN DE FASE A TIERRA O DE FASE A FASE EN UN PUNTO DADO DEL SISTEMA, DEBIDO A UNA DESCARGA ATMOSFÉRICA (RAYO) O ALGUNA OTRA CAUSA, LA FORMA COMO PUEDE REFERIRSE PARA LOS PROPÓSITOS DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ES SEMEJANTE A AQUELLA DEL IMPULSO NORMALIZADO USADO PARA LAS PRUEBAS DE IMPULSO POR RAYO, TALES SOBRETENSIONES SON POR LO GENERAL UNIDIRECCIONALES Y DE MUY CORTA DURACIÓN.

NOTA: LA ONDA NORMALIZADA ES DE 1.2/50 μ s.

SOBRETENSIÓN TEMPORAL.-

ES UNA SOBRETENSIÓN OSCILATORIA DE FASE A TIERRA O DE FASE A FASE EN UN PUNTO DADO DE UN SISTEMA QUE TIENE UNA DURACIÓN RELATIVAMENTE GRANDE, LA CUAL NO ESTÁ AMORTIGUADA O TIENE UN DÉBIL AMORTIGUAMIENTO.

LAS SOBRETENSIONES TEMPORALES, POR LO GENERAL, SE ORIGINAN POR OPERACIONES DE MANIOBRA O FALLO (RECHAZO DE CARGA, FALLAS DE FASE A TIERRA, Y/O POR FENÓMENOS NO LINEALES (COMO EFECTOS DE FERRORESONANCIA Y ARMÓNICAS). ESTAS SOBRETENSIONES SE PUEDEN CARACTERIZAR POR SU AMPLITUD, SU FRECUENCIA DE OSCILACIÓN, POR EL

TIEMPO TOTAL DE DURACIÓN O POR SU DECREMENTO,

TENSIÓN RESISTENTE.- (AGUANTABLE AL IMPULSO ESTADÍSTICO POR MANIOBRA O POR RAYO). ES EL VALOR DE CRESTA DE UNA TENSIÓN DE PRUEBA AL IMPULSO POR MANIOBRA (O POR RAYO), PARA EL CUAL EL AISLAMIENTO BAJO CONDICIONES ESPECÍFICADAS MUESTRAN UNA PROBABILIDAD RESISTENTE (DE AGUANTE), IGUAL A UNA PROBABILIDAD DE REFERENCIA ESPECÍFICADA,

ESTA PROBABILIDAD DE REFERENCIA SE SELECCIONA COMO EL 90% DE UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL (O DE GAUSS),

NOTA: EL CONCEPTO RESISTENTE (DE AGUANTE) SE APLICA ÚNICAMENTE A AISLAMIENTOS AUTORRECUPERABLES,

TENSIÓN RESISTENTE.- (AGUANTABLE AL IMPULSO CONVENCIONAL POR MANIOBRA O POR RAYO). ES EL VALOR DE CRESTA DE UNA TENSIÓN DE PRUEBA AL IMPULSO POR MANIOBRA (O POR RAYO) PARA EL CUAL EL AISLAMIENTO NO DEBE PRESENTAR NINGUNA DESCARGA DISRUPTIVA CUANDO SE SOMETE A UN NÚMERO DADO DE ESTOS IMPULSOS BAJO CONDICIONES PREVIAMENTE ESPECÍFICADAS,

ESTE CONCEPTO SE APLICA EN PARTICULAR A LOS AISLAMIENTOS NO AUTORRECUPERABLES,

TENSIÓN RESISTENTE.- (AGUANTABLE AL IMPULSO NOMINAL POR MANIOBRA O POR RAYO). ES EL VALOR CRESTA DADO DE UNA TENSIÓN RESIS-

TENTE AL IMPULSO, POR MANIOBRA (O POR RAYO) QUE CARACTERIZA A LOS AISLAMIENTOS DE UN EQUIPO CON RESPECTO A LAS PRUEBAS RESISTENTES.

TENSIÓN RESISTENTE NOMINAL DE CORTA DURACIÓN A LA FRECUENCIA - DEL SISTEMA (60 Hz). ES EL VALOR EFICAZ DE UNA TENSIÓN SENOIDAL A LA FRECUENCIA DEL SISTEMA, QUE EL EQUIPO DEBE SOPORTAR, PARA LA PRUEBAS REALIZADAS BAJO CONDICIONES ESPECÍFICADAS Y PARA UN TIEMPO ESPECÍFICADO QUE GENERALMENTE NO EXCEDA A UN MINUTO.

TENSIÓN RESIDUAL DE DESCARGA (V_R) DE UN APARTARAYOS .- ES LA TENSIÓN QUE APARECE ENTRE LA TERMINAL DE LÍNEA Y TIERRA DE UN APARTARAYOS DURANTE EL PASO DE CORRIENTE DE DESCARGA CON UNA ONDA DE $8/20\mu s$. ESTE CONCEPTO NO ES APLICABLE A LOS APARTARAYOS DE ÓXIDO DE ZINC.

TENSIÓN NOMINAL (V_N) DE UN APARTARRAYOS.- ES LA TENSIÓN DE DESIGNACIÓN DEL APARTARRAYOS.

TENSIÓN DE DESCARGA A 60 HZ (V_{60}) DE UN APARTARRAYOS.- ES EL VALOR EFICAZ DE LA MENOR TENSIÓN DE BAJA FRECUENCIA (60 Hz) QUE APLICADA ENTRE LAS TERMINALES DE LÍNEA Y TIERRA DE UN APARTARRAYOS, CAUSA EL ARQUEO DE TODOS LOS EXPLOSORES (GAPS) QUE SE ENCUENTRAN EN SERIE. ESTE CONCEPTO NO ES APLICABLE A LOS APARTARRAYOS DE ÓXIDO DE ZINC.

TENSIÓN DE DESCARGA POR IMPULSO (VP) DE UN APARTARRAYOS.- ES EL VALOR MÁXIMO DE TENSIÓN OBTENIDO CON UN IMPULSO DE ONDA Y POLARIDAD DADAS (1,2/50 Ó 250/2500 μ s) PARA IMPULSO POR RAYO O POR MANIOBRA RESPECTIVAMENTE, APLICADA ENTRE LAS TERMINALES DE LÍNEA Y TIERRA DEL APARTARRAYOS.

NIVEL DE AISLAMIENTO NOMINAL.-

- A) PARA EQUIPOS CON TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO IGUAL O MAYOR A 300 KV ES LA TENSIÓN RESISTENTE (AGUANTABLE) POR IMPULSO NOMINAL DE MANIOBRA Y POR RAYO.
- B) PARA EQUIPOS CON TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO MENOR DE 300 KV, ES LA TENSIÓN DE IMPULSO NOMINAL POR RAYO Y LA TENSIÓN RESISTENTE DE CORTA DURACIÓN A LA FRECUENCIA DEL SISTEMA.

NOTA: CUANDO EL NIVEL DE AISLAMIENTO NOMINAL TIENE UNA PROBABILIDAD DE FALLA DEL 10%, SE CONOCE COMO NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO AL IMPULSO (NBAI) PARA EL CASO DE IMPULSO POR RAYO Y NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO POR MANIOBRA (NBAM) PARA EL CASO DE MANIOBRA DE INTERRUPTORES.

FACTOR DE SEGURIDAD ESTADÍSTICO.- PARA UN EVENTO DADO ES LA RELACIÓN APROPIADA ENTRE LA TENSIÓN RESISTENTE POR IMPULSO ESTADÍSTICO POR MANIOBRA (O POR RAYO) Y LA SOBRETENSIÓN ESTADÍSTICA POR MANIOBRA (O POR RAYO) ESTABLECIDA SOBRE LA BASE DE UN RIESGO DE FALLA DADO, TOMANDO EN CONSIDERACIÓN LAS DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS DE LAS TENSIONES RESISTENTES Y LAS SOBRETENSIONES.

FACTOR DE SEGURIDAD CONVENCIONAL (FSC).- ES LA RELACIÓN ENTRE LA TENSIÓN RESISTENTE AL IMPULSO CONVENCIONAL POR MANIOBRA (O POR RAYO) Y LA SOBRETENSIÓN MÁXIMA CONVENCIONAL CORRESPONDIENTE, ESTABLECIDA SOBRE LAS BASES DE EXPERIENCIA Y TOMANDO EN CONSIDERACIÓN LAS POSIBLES DESVIACIONES DE LAS TENSIONES RESISTENTES Y LAS SOBRETENSIONES A PARTIR DE SUS VALORES CONVENCIONALES, ASÍ COMO DE OTROS FACTORES. TAMBIÉN SE PUEDE EXPRESAR DE LA FORMA SIGUIENTE:

$$FSC = \frac{\text{TENSIÓN RESISTENTE DE IMPULSO CONVENCIONAL POR MANIOBRA (O)}{\text{SOBRETENSIÓN MÁXIMA CONVENCIONAL POR MANIOBRA (O)}}$$

NIVEL DE PROTECCIÓN DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN.- ES EL VALOR MÁXIMO DE LA TENSIÓN CRESTA QUE NO DEBE EXCEDERSE EN LAS TERMINALES DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CUANDO SE APLICAN IMPULSOS POR MANIOBRA E IMPULSOS POR RAYO DE FORMAS DE ONDAS NORMALIZADAS Y VALORES NOMINALES BAJO CONDICIONES ESPECIFICADAS.

NOTA: EL VALOR DE IMPULSO POR RAYO ES EL VALOR MÁXIMO DE CUALQUIERA DE LAS SIGUIENTES:

- TENSIÓN MÁXIMA DE DESCARGA DISRUPTIVA CON UN IMPULSO DE 1,2/50 *M* s.
- TENSIÓN MÁXIMA RESIDUAL PARA UNA CORRIENTE ESPECIFICADA.
- TENSIÓN DE DESCARGA DISRUPTIVA MÁXIMA DE FRENTE DE ONDA, DIVIDIDA ENTRE 1,15.

FACTORES DE PROTECCIÓN DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN, SON LAS RELACIONES DE LOS VALORES DE PROTECCIÓN POR IMPULSO POR MANIOBRA

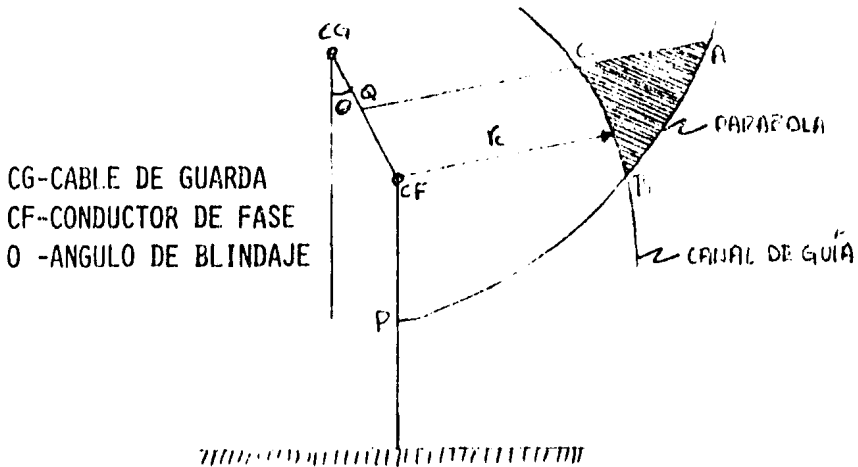
Y POR IMPULSO POR RAYO DE UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN, DIVIDIDOS EN CADA CASO ENTRE EL VALOR CRESTA DE LA TENSIÓN NOMINAL DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN.

NOTA: EN CASO DE EXPLOSORES, LA TENSIÓN DE FASE A TIERRA CORRESPONDIENTE A LA TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO DE UN EQUIPO SE USA CONVENCIONALMENTE COMO LA TENSIÓN NOMINAL.

4.2 CALCULO DEL ANGULO DE BLINDAJE

LA PROBABILIDAD DE QUE UN RAYO INCIDA SOBRE UN CONDUCTOR DE FASE SE DEPENDE FUERTEMENTE DE LA POSICIÓN QUE TENGAN LOS CABLES DE GUARDA CUYA POSICIÓN QUEDA DEFINIDA NORMALMENTE POR LO QUE SE CONOCE COMO EL ANGULO DE BLINDAJE.

PARA EL CÁLCULO DEL RIESGO DE FALLA POR BLINDAJE SE HÁCE USO - DEL LLAMADO MODELO ELECTROGEOMÉTRICO DE COMPORTAMIENTO DEL RAYO*. DE ACUERDO CON LO MENCIONADO ANTERIORMENTE NO TODOS LOS RAYOS- QUE INCIDEN SOBRE UN CONDUCTOR DE FASE PRODUCEN FALLA, ES NECESARIO QUE LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE DEL RAYO SEA DE UN VALOR TAL QUE EL PRODUCTO $I \times Z_c / 2$ PRODUZCA UNA TENSIÓN SUPERIOR A LA DE FLAMEO PARA EL ARREGLO CONDUCTOR - ESTRUCTURA.



ESQUEMA BASICO DE BLINDAJE

LA DISTANCIA DE LA ESTRUCTURA A LA PUNTA DEL CANAL DE GUÍA SE

* VER NOTA ADJUNTA (X) - 75

CALCULA DE LA SIGUIENTE MANERA:

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

DE MANERA QUE SÓLO LOS RAYOS DE UNA MAGNITUD MAYOR A UN VALOR -
CALCULADO COMO SE INDICA, PRODUCEN FLAMEO CUANDO CAEN SOBRE UN
CONDUCTOR DE FASE

$$I = \frac{2V_{c0\%}}{Z_c} \quad (KA)$$

DONDE: $V_{c0\%} = V_{50\%} - 2.5\sigma_c = 0.9 V_{50\%}$

SIENDO: $V_{50\%}$ = TENSIÓN CRÍTICA DE FLAMEO (CON UNA PROBABILIDAD
DE FLAMEO DEL 50%).

σ_c = DESVIACIÓN ESTANDAR CON RESPECTO A $V_{50\%}$ Y QUE SE TOMA COMO
3%.

LA TEORÍA DEL MODELO ELECTROGEOMÉTRICO ESTABLECE QUE LA PROBABI-
LIDAD DE FLAMEO (Y EN CONSECUENCIA DE FALLA) ES MAYOR EN LA LÍ-
NEA DE TRANSMISIÓN MIENTRAS MAYOR SEA EL ÁREA ABC INDICADA EN -
LA FIGURA ANTERIOR EN DONDE:

-QA REPRESENTA LA LÍNEA QUE UNE A TODOS LOS PUNTOS QUE ESTÁN A
LA MISMA DISTANCIA DEL CABLE DE GUARDA CG Y AL CONDUCTOR DE FA-
SE CF.

-PA ES LA LÍNEA QUE UNE TODOS LOS PUNTOS QUE ESTÁN A IGUAL DIS-

TANCIA DEL CONDUCTOR DE FASE CF QUE DEL SUELO.

-QA Y PA CONSTITUYEN PUNTOS DE UNA PARÁBOLA.

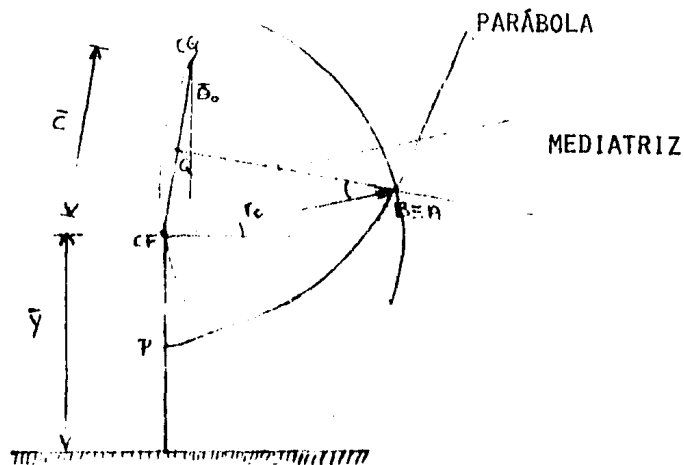
-BC CONSTITUYEN UN ARCO DE CIRCUNFERENCIA DE RADIO R_C CON CENTRO EN CF.

CUALQUIER PUNTO QUE QUEDE POR ENCIMA DE QA SIGNIFICA QUE EL RAYO CAE EN CG EN LUGAR DE CF. POR OTRA PARTE SI EL PUNTO DE LA DESCARGA SE INICIA EN UN PUNTO QUE SE ENCUENTRE DEBAJO DE PA - EL RAYO INCIDE EN EL SUELO EN LUGAR DE CF.

DE LO ANTERIOR SE PUEDE INFERIR QUE LOS PUNTOS DE INICIO DE --
DESCARGA QUE PUEDEN INCIDIR EN EL CONDUCTOR DE FASE CF SON --
AQUELLOS QUE QUEDAN DENTRO DE LA ZONA ABC.

PARA QUE NO OCURRA ESTO SE REQUIERE DE LO QUE SE CONOCE COMO --
UN BLINDAJE TOTAL QUE SIGNIFICA QUE EL ÁREA ABC SE DEBE REDU--
CIR PRÁCTICAMENTE A UN PUNTO.

GEOMÉTRICAMENTE SE PUEDE DECIR QUE LA CONDICIÓN PARA TENER UN
BLINDAJE TOTAL ES QUE EL ÁREA ABC SE REDUZCA A UN PUNTO, LO --
CUAL SE LOGRA HACIENDO QUE LA MEDIATRIZ DEL SEGMENTO CG-CF PA--
SE POR EL PUNTO B, COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA SIGUIENTE:



BLINDAJE TOTAL

DE LA FIGURA:

θ_0 = ANGULO DE BLINDAJE TOTAL.

Y = ALTURA MEDIA DEL CONDUCTOR DE FASE.

C = DISTANCIA DEL CONDUCTOR DE FASE (CF) AL CABLE DE GUARDA - (CG)

DE LA FIGURA ANTERIOR SE OBTIENE QUE EL ÁNGULO DE BLINDAJE ES:

$$\theta = \text{ANG SEN} \frac{RC - Y}{RC} - \text{ANG SEN} \frac{C}{2RC}$$

SE OBSERVA EN ESTA ECUACIÓN QUE EL ÁNGULO DE BLINDAJE SE PUEDE OBTENER A PARTIR DE LAS RELACIONES Y/RC Y C/RC .

VER APENDICE GRAFICA A2 QUE SIRVE PARA LA DETERMINACION O VERIFICACION DEL ANGULO DE BLINDAJE.

NOTA X.

EL MECANISMO DE IMPACTO DEL RAYO EN LAS LINEAS DE TRANSMISION

ACTUALMENTE, AÚN CUANDO EXISTEN DISTINTAS TEORÍAS Y ESTUDIOS - RESPECTO AL MECANISMO DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SOBRE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, EL LLAMADO MODELO ELECTROGEOMÉTRICO CONTINÚA SIENDO LA TÉCNICA MÁS ACEPTADA PARA ESTOS ESTUDIOS, CON LA OBSERVACIÓN DE QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS RESULTAN SER EN TÉRMINOS GENERALES OPTIMISTAS.

EL MODELO ELECTROGEOMÉTRICO PARA ANALIZAR EL MECANISMO DEL IMPACTO DEL RAYO EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN SE BASA EN LAS SIGUIENTES HIPÓTESIS:

- LA DESCARGA ATMOSFÉRICA (RAYO) ESTÁ PRECEDIDA DE LA FORMACIÓN DE UN CANAL GUÍA CONDUCTOR QUE CUANDO ALCANZA LA TIERRA DÁ PASO A LA DESCARGA DEL RAYO PROPIAMENTE.
- LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE DEL RAYO ES PROPORCIONAL A LA TENSION DEL CANAL GUÍA PREVIO A LA DESCARGA.
- EN SU TRAYECTORIA A TIERRA EL CANAL GUÍA "BRINCA" HACIA AQUEL OBJETO QUE ESTÁ A UNA DISTANCIA DE LA PUNTA DEL CANAL GUÍA IGUAL A UN VALOR QUE DEPENDE DEL POTENCIAL DEL CANAL Y CONSECUENTEMENTE DE LA INTENCIDAD DE LA DESCARGA A QUE DÁ LUGAR, - ESTA DISTANCIA SE CALCULA DE ACUERDO CON LA EXPRESIÓN:

$$R_C = 9.4 I^{2/3}$$

R_C : DISTANCIA EXPRESADA EN METROS.

I : CORRIENTE EXPRESADA EN KA.

PARA TOMAR EN CONSIDERACIÓN LA DIFERENCIA EXISTENTE EN LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE DEL RAYO CUANDO CAE SOBRE UN CONDUCTOR - DE FASE O SOBRE EL TERRENO Y QUE SE CONSIDERA DEL 10% MAYOR, -- SE MODIFICA LA EXPRESIÓN ANTERIOR A:

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

4.3 DETERMINACION DEL NIVEL DE AISLAMIENTO

LOS CRITERIOS QUE SE CONSIDERAN PARA LA SELECCIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO PARA PROYECTO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN SON:

- 1.- AL IMPULSO
- 2.- POR OPERACIÓN DE INTERRUPTORES.
- 3.- A FRECUENCIA NOMINAL.
- 4.- POR CONTAMINACIÓN.

DE LOS CUI EN NUESTRO CASO EL DE OPERACIÓN DE INTERRUPTORES NO SE CONSIDERARÁ SEGÚN LOS ESTUDIOS REALIZADOS POR LA GENERAL -- ELECTRIC Y EL EDISON ELECTRIC INSTITUTE (EHV TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK), LOS QUE RECOMIENDAN NO TENER EN CUENTA ESE -- CONCEPTO DE AISLAMIENTO PARA LÍNEAS MENORES DE 300 KV.

AL IMPULSO.- EN COMPAÑÍA DE LUZ SE TIENE NORMALIZADO UN BIL DE 1050 KV PARA UNA ALTITUD DE HASTA 1000 METROS. REFIRIENDOSE -- EL ANTERIOR VALOR A 2500 METROS QUE ES LA ALTURA PROMEDIO A -- QUE SERÁ INSTALADA LA LÍNEA DE ESTE ESTUDIO, LA CORRECCIÓN POR DENSIDAD RELATIVA DEL AIRE A ESA ALTITUD ES:

$$\frac{1050}{0.76} = 1381 \text{ KV}$$

ESTE NIVEL DE AISLAMIENTO SE OBTIENE CON UNA CADENA DE AISLADO RES DE 16 UNIDADES DE 254Ø X 146 MM A LA QUE CORRESPONDE UN NI NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO DE 1425 KV. W.W. LEWIS RECOMIENDA --

QUE EL NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO AL IMPULSO DE LAS DISTANCIAS A TIERRA A TRAVÉS DEL AIRE, SEAN UN 10% MAYOR QUE EL DE LAS CÁDENAS DE AISLADORES;

$$1425 \times 1.1 = 1567 \text{ KV.}$$

DICHO NIVEL DE AISLAMIENTO SE OBTIENE EN UNA DISTANCIA EN AIRE DE 2.56 METROS.

LAS CRUCETAS AISLADAS TIENEN COMO CARACTERÍSTICA LAS DISTANCIAS ELÉCTRICAS A TIERRA DE 2.96 METROS EN EL SOPORTE DIAGONAL Y DE 3.022 METROS EN EL HORIZONTAL, POR LO QUE CUMPLEN CON EL VALOR DE DISTANCIA MÍNIMA A TIERRA.

AISLAMIENTO PARA TENSIÓN A FRECUENCIA NOMINAL. -- SEGÚN EL CRITERIO DE AISLAMIENTO PARA TENSIÓN A FRECUENCIA NOMINAL CON EL CONDUCTOR INCLINADO 60°, LA DISTANCIA DE LAS PARTES VIVAS AL CUERPO DE LA TORRE DEBE SER SUFICIENTE PARA SOPORTAR LA TENSIÓN NOMINAL DE FASE A TIERRA, VALOR DE CRESTA, A LA FRECUENCIA NOMINAL DE OPERACIÓN.

LA DISTANCIA MÍNIMA A TIERRA ES = 270 CM.

LA TENSIÓN NOMINAL DE FASE A TIERRA, VALOR DE CRESTA, ES:

$$\sqrt{2} \times \frac{230}{\sqrt{3}} = 187.5 \text{ KV.}$$

PARA UNA DISTANCIA EN AIRE DE 270 CM, LA TENSIÓN CRÍTICA DE --

FLAMEO A LA FRECUENCIA NOMINAL ES DE: 1100 KV, EN CONDICIONES EXTREMAS DE DENSIDAD RELATIVA DEL AIRE Y HUMEDAD ES LA TENSIÓN CRÍTICA SE PUEDE REDUCIR HASTA 20%, ES DECIR 880 KV COMPARANDO EL VALOR CON LA TENSIÓN NOMINAL DE FASE A TIERRA, VALOR DE - - CRESTA, 187,5 KV SE VE QUE ESTE SOPORTE AISLADO SATISFACE ESE REQUERIMIENTO.

AISLAMIENTO POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.- LA CONTAMINACIÓN - ATMOSFÉRICA TIENE UNA MARCADA INFLUENCIA EN EL DISEÑO DEL AISLAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, DEBIDO A QUE SU PRESENCIA PUEDE MODIFICAR UN SISTEMA DE AISLAMIENTO, NO OBSTANTE QUE SEA ADECUADO PARA CUALQUIER TIPO DE SOBREVOLTAJE.

EN NUESTRO CASO, DEBIDO A QUE LA LÍNEA DE CUATRO CIRCUITOS SE INSTALARÁ EN UNA ZONA RURAL, SE CONSIDERARÁ QUE SU ATMÓSFERA - ES LIMPIA Y POR LO TANTO NO SE REQUERIRÁ DETERMINAR AISLAMIENTO POR CONTAMINACIÓN.

CAPITULO 4

4.4 ANALISIS POR CONTAMINACION.

EL ARQUEO POR CONTAMINACIÓN ES UN PROBLEMA MUY GRAVE, DEBIDO A LA CONTAMINACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LOS AISLADORES DE PORCELANA. LOS REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO PARA FUTURAS LÍNEAS - - (EHV) DEBEN SER INFLUENCIADOS FUERTEMENTE POR LOS REQUERIMIENTOS DE CONTAMINACIÓN DE LOS AISLADORES POR DOS RAZONES:

- 1º LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, AUMENTA CADA DÍA.
- 2º LA RESISTENCIA DE PREINSERCIÓN PUEDE MEJORAR MARCADAMENTE EL RENDIMIENTO EN LA SOBRETENSIÓN POR MANIOBRA DE CIRCUITOS INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS (EHV), DE ÉSTE MODO DISMINUYE LA FUERZA DE LA SOBRETENSIÓN POR MANIOBRA.

MUCHAS SUBSTANCIAS QUÍMICAS COMUNES, TRANSPORTADAS POR EL AIRE, INICIAN LOS ARQUEOS POR CONTAMINACIÓN. ALGUNAS DE ÉSTAS SUBSTANCIAS QUÍMICAS SON: FERTILIZANTES AGRÍCOLAS, POLVOS DE CEMENTO Y FOSFATOS, SALES PROVENIENTES DEL ROCÍO DEL OCÉANO O DEL TRATAMIENTO DE CAMINOS, CENIZAS MUY FINAS, POLVO DE CARBÓN, AL CALI DE REGIONES DESÉRTICAS, DIÓXIDO SULFÚRICO Y VAPORES DE -- ÁCIDOS PROVENIENTES DE PLANTAS INDUSTRIALES. ÉSTOS DEPÓSITOS SECOS, SOLOS O COMBINADOS CON LLUVIA O NIEBLA; REDUCEN LA RESISTENCIA DE LA FUERZA DEL AISLAMIENTO.

PARA HACER FRENTE AL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN, SE ADOPTA--

RON CUATRO CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

- 1.- LAS CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN, SOLAMENTE PUEDEN SER DETERMINADAS POR LA EXPERIENCIA EN EL CAMPO DE ACTIVIDAD DE LA LÍNEA Y LAS MEDICIONES HECHAS EN EL MISMO CAMPO Y NO EN EL LABORATORIO.
- 2.- EL DISEÑADOR DE LA LÍNEA, EN COORDINACIÓN CON EL INGENIERO DE CAMPO DECIDIRÁN LA CANTIDAD DE CONTAMINANTE CON LA CUAL EXPERIMENTARÁN. SE LES DEBEN PROPORCIONAR GUÍAS, PARA AYUDAR A EVALUAR LA CANTIDAD.
- 3.- LA CONTAMINACIÓN USUALMENTE ES UNA ACUMULACIÓN GRADUAL, MODIFICADA POR PERÍODOS OCASIONALES DE DEPOSICIÓN PARCIAL O COMPLETA POR LLUVIA O LLEVANDO INVOLUCRADO EL ESFUERZO HUMANO. LAS ACUMULACIONES EXTREMAS SON DE ENORME PREOCUPACIÓN.
- 4.- TODOS LOS CONTAMINANTES SE PUEDEN RELACIONAR A UN ESTANDAR DE CONTAMINACIÓN DE LABORATORIO. TAL ESTANDAR ES SAL MEZCLADA CON UNA ARCILLA AGLUTINANTE.

CONSIDERANDO ÉSTOS CONCEPTOS, EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN-DIVIDIRÁ SUS TAREAS EN LAS SIGUIENTES FASES:

- 1.- EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA EN NIEBLA O LLUVIA LIGERA PARA DIFERENTES TIPOS DE AISLAMIENTO DE LA LÍNEA, - COMO UNA FUNCIÓN DE CONCENTRACIONES DIFERENTES DE CONTAMINANTE ESTANDAR.
- 2.- DETERMINACIÓN DE RELACIONES ENTRE CONCENTRACIONES DE CONTA

MINANTES DE CAMPO Y EL CONTAMINANTE ESTANDAR QUE PRODUCE -
LOS MISMOS RESULTADOS.

- 3.- EVALUACIÓN EFECTIVA DE LA GEOMETRÍA DEL AISLAMIENTO, PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA Y PROCEDIMIENTO DE REVESTIMIENTO CON EL CONTAMINANTE ESTANDAR.
4. EXPLICACIÓN COMPLETA DEL MECANISMO DE FALLA POR CONTAMINACIÓN, PARA BUSCAR LA MEJOR CONTRAMEDIDA.
- 5.- PROPORCIONAR AL DISEÑADOR, TABLAS SUGERIDAS DE DISEÑO QUE MUESTREN EL ESFUERZO NECESARIO DEL AISLAMIENTO CONTRA VARIAS CONCENTRACIONES DEL CONTAMINANTE ESTANDAR.

4.5 SELECCION DE APARTARRAYOS

LA SELECCIÓN DE APARTARRAYOS PARA LA PROTECCIÓN DE LOS AISLAMIENTOS CONTRA SOBRETENSIONES DE ORIGEN ATMOSFÉRICO Y/O SOBRETENSIONES POR MANIOBRA DE INTERRUPTORES, DEBE ESTAR EN FUNCIÓN DEL CRITERIO DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ADOPTADO PARA UNA INSTALACIÓN, ES DECIR SE DEBE VERIFICAR QUE UN TIPO DE APARTARRAYOS SELECCIONADO CUMPLA CON LOS REQUERIMIENTOS DE LOS AISLAMIENTOS DE LOS EQUIPOS Y APARATOS DE LA SUBESTACIÓN (TRANSFORMADOR, INTERRUPTOR, CUCHILLAS, ETC.) Y SU CORRELACIÓN CON EL AISLAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CONECTADAS A LA SUBESTACIÓN.

LAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES PARA LA SELECCIÓN DE UN APARTARRAYOS SON EN PRINCIPIO:

- A) TENSIÓN NOMINAL O DE DESIGNACIÓN.
- B) CORRIENTES DE DESCARGA.

A PARTIR DE ESTOS VALORES SE DETERMINAN LAS OTRAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES, POR CONSULTA DE CATÁLOGO DE FABRICANTE O NORMAS.

DESIGNACIÓN DE APARTARRAYOS.- ES PRÁCTICA COMÚN DESIGNAR A LOS APARTARRAYOS COMO DE 100%, 80% Y 75%, ESTOS VALORES SE REFIEREN NORMALMENTE A LA TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO, ASÍ POR EJEMPLO, UN APARTARRAYOS DE 100% TIENE UNA TENSIÓN NOMINAL QUE ES MAYOR EN UN 5% A LA TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO DEL SISTEMA QUE SE TRATE

Y SE EMPLEA NORMALMENTE CON SISTEMAS DE NEUTRO AISLADO O CON -
NEUTRO CONECTADO A TIERRA ATRAVÉS DE ALTA IMPEDANCIA.

LOS APARTARRAYOS CON PORCENTAJES MENORES AL 100% SE EMPLEAN EN
SISTEMAS CON NEUTRO CONECTADO A TIERRA Y LA FORMA DE ESTA CO--
NEXIÓN A TIERRA DETERMINA EL VALOR DEL APARTARRAYOS, POR EJEM:
EN UN SISTEMA CON NEUTRO SÓLIDAMENTE CONECTADO A TIERRA SE PUE
DE EMPLEAR APARTARRAYOS CON 80% DEL VALOR DE LA TENSIÓN MÁXIMA
DE DISEÑO, Y EN UN SISTEMA MULTIATERRIZADO SE PUEDEN, EMPLEAR
APARTARRAYOS DE 75% (VER GRÁFICAS 2,3 Y 4).

CRITERIOS DE APLICACIÓN DE APARTARRAYOS.- EN LA APLICACIÓN DE
APARTARRAYOS ES IMPORTANTE TOMAR EN CONSIDERACIÓN DOS ASPECTOS:

- A) SU TENSIÓN NOMINAL, QUE ESTÁ RELACIONADA CON SU CARACTERÍS-
TICA DE PROTECCIÓN Y LOS NIVELES BÁSICOS DE AISLAMIENTO DEL
O DE LOS OBJETOS POR PROTEGER.
- B) SU LOCALIZACIÓN, QUE DEBE SER TAL QUE PROPORCIONE UN MARGEN
DE PROTECCIÓN CUYO VALOR DEBE SER AL MENOS, MAYOR DE LOS MÍ
NIMOS RECOMENDADOS (20% PARA IMPULSO POR RAYO Y 15% PARA --
IMPULSO POR MANIOBRA). EN ESTE SENTIDO SE PODRÍA MENCIONAR
QUE UN APARTARRAYOS DE 80% PROPORCIONA UN MARGEN DE PROTEC-
CIÓN SUPERIOR A UN APARTARRAYOS DE 100%.

EL OTRO ASPECTO A CONSIDERAR ES QUE NO SIEMPRE ES DESEABLE TE-
NER MÁRGENES DE PROTECCIÓN MUY GRANDES DEBIDO A QUE ESTO SIGNI
FICA UN MAYOR NÚMERO DE OPERACIONES DEL APARTARRAYOS Y CONSE--

CUENTEMENTE UN NÚMERO MAYOR DE SALIDAS PROBABLES.

MARGEN DE PROTECCIÓN.- A LA DIFERENCIA QUE DEBE EXISTIR ENTRE EL NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO AL IMPULSO DEL AISLAMIENTO POR PROTEGER Y LA MÁXIMA TENSIÓN QUE PUEDE APARECER EN EL APARTARRAYOS SE LE CONOCE COMO MARGEN DE PROTECCIÓN. SE ESTABLECE QUE DEBE SER COMO MÍNIMO DEL 20% PARA IMPULSO POR RAYO Y 15% PARA IMPULSO POR MANIOBRA, GENERALMENTE SE EXPRESA EN PORCIENTO Y SE OBTIENE CON LAS SIGUIENTES EXPRESIONES:

PARA IMPULSO POR RAYOS:

$$\text{MARGEN DE PROTECCIÓN} = \frac{(\text{NBAI}) - (\text{MÁX. TENSIÓN EN EL APARTARRAYOS})}{\text{MÁX. TENSIÓN EN EL APARTARRAYOS}}$$

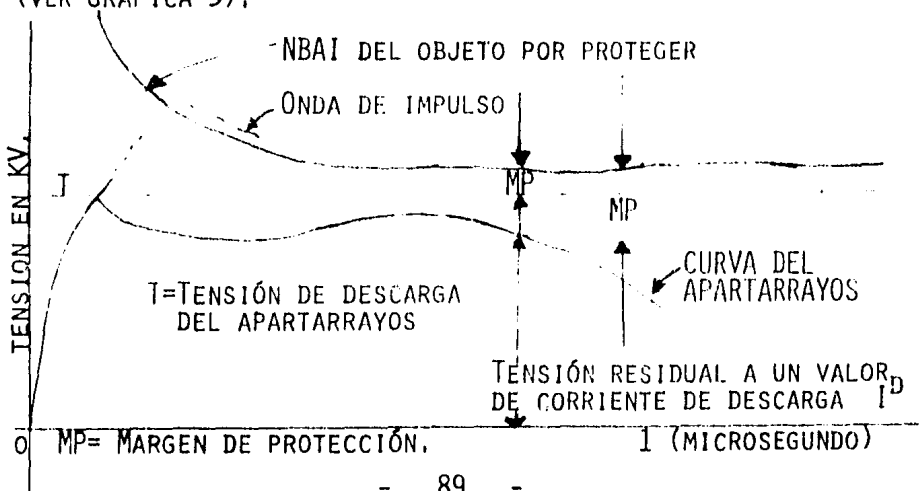
POR 100

PARA IMPULSO POR MANIOBRA:

$$\text{MARGEN DE PROTECCIÓN} = \frac{(\text{NBAM}) - (\text{MÁX. TENSIÓN EN EL APARTARRAYOS})}{\text{MÁX. TENSIÓN EN EL APARTARRAYOS}}$$

POR 100

LA MÁXIMA TENSIÓN EN EL APARTARRAYOS PUEDE SER LA TENSIÓN DE DESCARGA POR IMPULSO O LA TENSIÓN RESIDUAL (LA MAYOR DE LAS DOS) (VER GRÁFICA 5).



CAPITULO 5

5.1 EVALUACION ECONOMICA

PARA ÉSTE TIPO DE ANÁLISIS, TENEMOS QUE TOMAR EN CUENTA QUE LA SITUACIÓN ECONÓMICA ACTUAL EN LOS PRECIOS, ES MUY CAMBIANTE, - YA QUE LO QUE CUESTA AHORA UN CONDUCTOR (CUALQUIER TIPO) DETERMINADO, EN UN LAPSO DE TIEMPO CORTO TENDRÁ ÉSTE MISMO TIPO DE CONDUCTOR OTRO VALOR. POR LO TANTO NO ES POSIBLE DECIR O HACER ANÁLISIS CON PRECIOS EXACTOS, LO CUAL NOS DARÍA UNA PERSPECTIVA DEL VALOR REAL DE LA LÍNEA. SIN EMBARGO SE HARÁ UNA COMPARACIÓN DE PRECIOS, ENTRE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN TRADICIONAL Y LA DISEÑADA EN ÉSTE ESTUDIO.

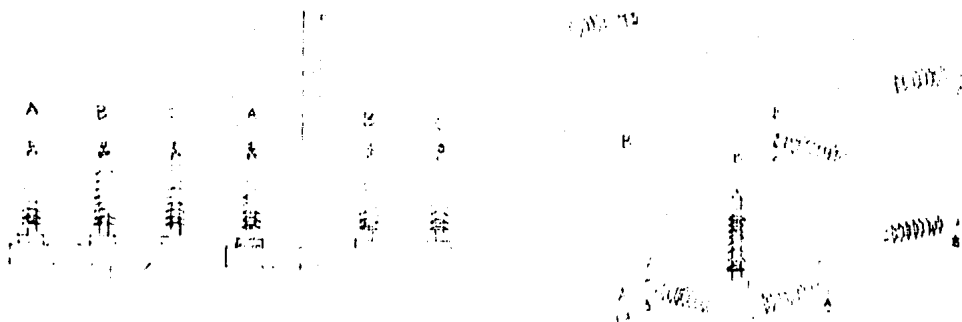
LOS PRECIOS QUE SE UTILIZARÓN SE OBTUVIERON EN LA CÍA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO. SE HARÁ MENCIÓN DE: CABLES DE GUARDA, AISLADORES, CONDUCTORES, HERRAJES, Y DE LOS PRINCIPALES ACCESORIOS QUE SE UTILIZAN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE 230 KV. LOS PRECIOS MOSTRADOS A CONTINUACIÓN SON COSTOS UNITARIOS.

	LÍNEA TRADICIONAL	LÍNEA COMPACTADA
TORRE	162,218.00	150,500.00
CABLE ASCR 1113 MCM	2 570.00	2 570.00
BLUEJAY		
AISLADORES	57.00	57.00
HERRAJES PARA:	1 250.00	1 250.00
CONDUCTOR,		
HILO DE GUARDA	50.00	50.00
HERRAJE		
EMPALMES DE COMPRESION	250.00	250.00
EMPALMES PREFORMADOS	36.25	36.25
VARILLAS DE SEPARACION	146.25	146.25
SEPARADORES	50.00	50.00
INSTALACION DE TORRE	89,000.00	110,000.00

5.2 ANALISIS TECNICO

EN 1973 POWER TECHNOLOGIES INC. PROPUSO A UNA AGENCIA DEL ESTADO DE NUEVA YORK, LA CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN COMPACTADA A 138 KV DE MEDIA MILLA DE LONGITUD, EN SARATOGA, EL PROYECTO FUÉ CONTINUADO BAJO EL PATROCINIO DE ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI) DENOMINÁNDOSE PROYECTO RP 260-1, CUYOS RESULTADOS FUERON PUBLICADOS EN 1978 EN EL LIBRO TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK / 115 - 138 KV COMPACT LINE DESIGN.

LA LÍNEA ERA DE POSTES DE MADERA CON ESPACIAMIENTO DE ALREDEDOR DE TRES PIES ENTRE FASE Y FASE; EN ÉSTE PROGRAMA SE CONSIDERARON CINCO FIGURACIONES LAS CUALES SE MUESTRAN EN LA FIG. 5.2-1



HORIZONTAL SIN GUARDA
(A)

HORIZONTAL CON GUARDA
(B)

VERTICAL
(C)

DELTA
(D)

DELTA
VERTICAL
(E)

FIG. 5.2-1 CONFIGURACIONES COMPACTADAS TÍPICAS

* LAS FIGURAS NO ESTAN A ESCALA - 91 -

LAS CONFIGURACIONES (A), (B) Y (E) FUERON OBJETO DE EXPERIMENTACIÓN Y MEDICIÓN ESPECÍFICOS, MIENTRAS QUE LAS CONFIGURACIONES (C) Y (D) SE DERIVARON DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES HECHOS SOBRE LAS TRES ANTERIORES.

LA TABLA 5.2-1 MUESTRA LAS DISTANCIAS MÍNIMAS REPRESENTATIVAS DE LAS CONFIGURACIONES DE LA FIGURA 5.2-1.

TABLA 5.2-1
ESPACIAMIENTO TIPICO MINIMO DE FASE A FASE

CONFIGURACION	REFERENCIA A FIG. 5.2-1	A - B (PULG)	B - C (PULG)
HORIZONTAL SIN GUARDA	(A)	36	36
HORIZONTAL CON GUARDA	(B)	72	36
VERTICAL	(C)	72	72
DELTA	(D)	60	60
		(ESTÁ EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DEL AISLADOR) *	
DELTA VERTICAL	(E)	100	100
		(ESTÁ EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DEL AISLADOR) *	

* EL ESPACIAMIENTO ENTRE FASES (A-C) ES EL MISMO QUE EN (C)

LA SELECCIÓN DE UNA CONFIGURACIÓN EN ESPECIAL DEPENDE DE VARIOS FACTORES COMO PUEDEN SER: IMPACTO ESTÉTICO, PERFIL DE LA LÍNEA, RESTRICCIONES DEL DERECHO DE VÍA, ECONOMÍA, TÉCNICAS PREFERENTES EN CONSTRUCCIÓN Y USO DE MATERIALES, COMPORTAMIENTO DE LA LÍNEA, ETC.

TAMBIÉN HAY DOS CONSIDERACIONES BÁSICAS EN LAS CONFIGURACIONES ESTUDIADAS:

- LOS CONDUCTORES FUERON MONTADOS EN AISLADORES TIPO POSTE, LOS CUALES NO PERMITEN UN MOVIMIENTO SIGNIFICATIVO ENTRE EL CONDUCTOR Y LA ESTRUCTURA.
- LA LÍNEA NO SE EXPUSO A MOVIMIENTO DE GALOPEO EN LOS CONDUCTORES, NI AL DEBIDO A ALTAS CORRIENTES DE FALLA.

SIN EMBARGO, ANTES DE LLEGAR A LAS CONFIGURACIONES DE LA FIGURA 5.2-1, SE TUVIERON QUE HACER ESTUDIOS SOBRE MUCHAS CONFIGURACIONES. EL PROYECTO INICIAL RP 260-1, DESCRUBRIÓ UN NÚMERO DE - - ÁREAS DONDE LA FALTA DE INFORMACIÓN RESTRINGIÓ LA APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE COMPACTACIÓN. EN PARTICULAR ERA ESCASA LA INFORMACIÓN GENERAL DE ONDAS DEBIDAS A INTERRUPTORES, LAS CUALES OCURREN EN LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTO VOLTAJE, Y LAS CARACTERÍSTICAS DE ARQUEO DE FASE A FASE DE LOS CONDUCTORES DE LÍNEA, INCLUYENDO LOS EFECTOS DEL HERRAJE DE LA LÍNEA.

ESTE PRIMER PROYECTO TAMBIÉN SUGIRIÓ UN MÉTODO ÚNICO DE COMPACTACIÓN, EL CUAL PODÍA OFRECER UNA COMBINACIÓN DE TAMAÑO DE ESTRUCTURA MINIMIZADO, Y REALCE DE LA ECONOMÍA DE LA LÍNEA. ESTE CONCEPTO SE DENOMINA CIRCUITOS EN MANOJO O BUNDLED; CONSISTE EN EL USO DE UN SISTEMA DE AISLAMIENTO MAS BIEN QUE DE UNIDADES INDIVIDUALES, PARA SOPORTAR Y SEPARAR LOS CONDUCTORES DE LA LÍNEA. UN BENEFICIO DEL CONCEPTO ES LA SIMPLICIDAD DE LA APLICACIÓN TANTO EN NUEVAS CONSTRUCCIONES ASÍ COMO EN EL MEJOR APROVECHAMIENTO

DE LAS ESTRUCTURAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN YA EXISTENTES Y DEL DERECHO DE VÍA.

LA FIGURA 5.2-2 MUESTRA LA APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE CIRCUITOS EN MANOJO O BUNDLED; EN ELLA SE VÉ UNA CONVERSIÓN TÍPICA - DE UN CIRCUITO SIMPLE DE 138 KV CON ESTRUCTURA H, CONVERTIDO A TRES CIRCUITOS BUNDLED; AÚN SI SE NECESITARÁ PONER ESTRUCTURAS ADICIONALES ENTRE EL CLARO DE UNA ESTRUCTURA Y OTRA, DEBIDO A A QUE SE TENDRÍA MAYOR PESO DE CONDUCTORES, ÉSTO RESULTA MENOS COSTOSO QUE IMPLEMENTAR TODA UNA NUEVA LÍNEA.

CIRCUITO SIMPLE

CIRCUITOS BLUNDLED

FIG. 5.2-2 CONVERSIÓN DE UN CIRCUITO SIMPLE A TRES CIRTSOS -- BUNDLED.

EL SIGUIENTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE EPRI FUÉ EL RP 260-2, ÉSTE COMPRENDIÓ EL DESARROLLO Y PRUEBA DE ENSAMBLES AISLADORES Y ESPACIADORES PARA USARSE EN CIRCUITOS DE TRANSMISIÓN ESTRECHAMENTE ESPACIADOS. TAMBIÉN FUÉ DESARROLLADA INFORMACIÓN RESPECTO A DISEÑO Y ECONOMÍA DEL CIRCUITO.

EL PRINCIPAL OBJETIVO DEL PROYECTO RP 260-2 FUÉ ESTABLECER LA FACTIBILIDAD ELÉCTRICA Y MECÁNICA DE LOS CIRCUITOS EN MANOJO O BUNDLED POR MEDIO DE ESTUDIOS ANALÍTICOS (CON EL ANALIZADOR DE TRANSITORIOS DE REDES, TRANSIENT NETWORK ANALIZER, O TNA) Y ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE ELEMENTOS Y SUBSISTEMAS CRÍTICOS. EL SEGUNDO OBJETIVO FUÉ DEFINIR LAS APLICACIONES Y ECONOMÍA DEL SISTEMA DE CIRCUITOS EN MANOJO ESBOZANDO COMPARACIONES CON MÉTODOS ALTERNATIVOS DE INCREMENTO EN LA CAPACIDAD DEL DERECHO DE VÍA.

LOS RESULTADOS DE ÉSTE SEGUNDO PROYECTO PROBARON LA FACTIBILIDAD DEL CONCEPTO DE CIRCUITOS BUNDLED CON ESPACIAMIENTO ENTRE FASES MENOR A DOS PIES, Y UNA RIQUEZA DE INFORMACIÓN PARA DISEÑO FUÉ CONJUNTADA A FIN DE SER USADA POR LOS DISEÑADORES DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN. EL ESTUDIO CON EL ANALIZADOR TNA DE ONDAS DEBIDAS A INTERRUPTORES DE FASE A FASE FUERON COMPLETADAS, Y LOS DETALLES ESTÁN REPORTADOS.

(UNA COPIA DE LA CINTA MAGNÉTICA DE DATOS ESTÁ DISPONIBLE PARA CUALQUIER INVESTIGADOR O INGENIERO DE SERVICIO ACUDIENDO AL PROGRAMA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS DE EPRI).

TODOS LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ANALÍTICAS Y DE CAMPO INDICAN QUE NO HAY BARRERA TÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CIRCUITOS EN MANOJO EN EL RANGO DE 115 A 138.KV.

LOS PROCEDIMIENTOS Y DATOS PARA EL DISEÑO DE LÍNEAS CON CIRCUITOS EN MANOJO SON IGUALMENTE APLICABLES A LA MAYORÍA DE LAS LÍNEAS COMPACTADAS DE DISEÑO MÁS CONVENCIONAL.

LOS FACTORES EN LA SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN, Y EL IMPACTO DE LA CONFIGURACIÓN SOBRE LA IMPEDANCIA Y LA CARGA DEL CIRCUITO, FUERON CUANTIFICADOS PARA AYUDAR A LOS DISEÑADORES Y PLANIFICADORES DE LÍNEAS.

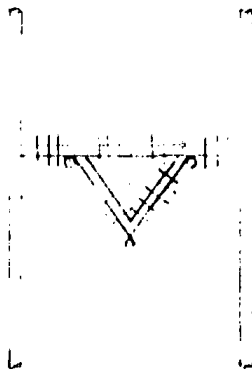
LAS PRUEBAS QUE SE HICIERON FUERON ENTRE OTRAS, SIMULACIONES DETALLADAS DE LOS MOVIMIENTOS DE LOS CONDUCTORES DEBIDOS AL AIRE, CUBIERTAS DE HIELO, Y CORRIENTES DE FALLA; CON LO CUAL SE PUDO DETERMINAR EL CLARO (DISTANCIA ENTRE ESTRUCTURAS MÁXIMA PERMISIBLE) Y EL ESPACIAMIENTO ENTRE FASES (DISTANCIA MÍNIMA PERMISIBLE), CON UN ALTO GRADO DE PRECISIÓN; POR EJEMPLO EN LA FIGURA 5.2-2, CADA CIRCUITO BUNDLED ES MUY SIMILAR A LA CONFIGURACIÓN DENOMINADA TIPO 9 DE ENTRE 14 TIPOS DE CONFIGURACIONES GENÉRICAS CONSIDERADAS EN LOS PROYECTOS DE EPRI, DE LAS CUALES SEIS FUERON SELECCIONADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS.

EN LA FIGURA 5.2-3 APARECEN ALGUNAS DE LAS CONFIGURACIONES ESTUDIADAS EN UN PRINCIPIO, DE ENTRE UNA GRAN VARIEDAD, EN ELLA SE VÉ LA CONFIGURACIÓN DEL TIPO 9 LA CUAL TIENE LAS SIGUIENTES CA-

RACTERÍSTICAS: PERMITE UN CLARO DE 600 PIES Y UN ESPACIAMIENTO ENTRE FASES DE 3 PIES, MIENTRAS QUE EL TIPO 8A PERMITE UN CLARO DE 500 PIES CON EL MISMO ESPACIAMIENTO ENTRE FASES. HAY -- QUE NOTAR LA DIFERENCIA ENTRE ÉSTAS DOS CONFIGURACIONES Y EL TIPO 2, YA QUE SEGÚN SE APRECIA EN LA FIGURA LOS TIPOS 8A Y 9 SON SISTEMAS DE AISLAMIENTO QUE SE SOSTIENEN SOBRE LOS POSTES O ESTRUCTURAS, Y SON LLAMADAS " POLETOP " MIENTRAS QUE EL TIPO 2 ES UN SISTEMA QUE SE COLOCA SOBRE LOS CABLES EN EL CLARO ENTRE POSTE Y POSTE, A LOS AISLADORES DE ÉSTE TIPO SE LES LLAMA ESPACIADORES (SPACERS), ÉSTOS RESTRINGEN EL MOVIMIENTO DE LOS CONDUCTORES EVITANDO QUE VARÍE EL ESPACIAMIENTO ENTRE FASES,



TIPO 8A.



TIPO 9



TIPO 2

FIG. 5.2-3 ALGUNAS CONFIGURACIONES BUNDLED TÍPICAS.

AUNQUE LOS COMPONENTES DE PORCELANA PUEDEN SER APLICADOS EN ALGUNAS DE LAS CONFIGURACIONES DE CIRCUITOS BUNDLED, FUÉ PUESTO - ÉNFASIS EN LOS NO CERÁMICOS DEBIDO A SU POCO PESO, FUERZA, Y CA RACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTOS EN CONTAMINACIÓN.

FINALMENTE, LA CONFIGURACIÓN EMPLEADA EN LA LÍNEA TOPILEJO-ANILLO QUE ES LA QUE SE ANALIZA EN ÉSTA TESIS, ES DEL TIPO LLAMADO VE HORIZONTAL, ÉSTE ES UN MONTAJE HERRAJE-AISLADOR CONSISTENTE DE UN BRAZO INFERIOR RÍGIDO QUE CONTROLA LA POSICIÓN DEL CONDUCTOR, Y DE AISLADORES DE SUSPENSIÓN QUE SOPORTAN AL CONDUCTOR ESTANDO SIEMPRE A CARGA POR TENSIÓN; FUERON PRBADOS -- POR LOS LABORATORIOS LAPP Y PUESTOS AL MERCADO EN 1961.

MONTADO SOBRE ESTRUCTURAS DE MADERA, CONCRETO, O ACERO, PROVOCA UN MENOR IMPACTO VISUAL QUE LOS DISEÑOS DE TRANSMISIÓN AÉREA CONVENCIONALES; ESTANDO DISPONIBLES PARA VOLTAJES DE 115, 230 Y 345 KV.

EL ENSAMBLE VE HORIZONTAL ES COMPLETAMENTE ARTICULADO; ES LIBRE DE GIRAR SOBRE EL EJE DE ROTACIÓN EXISTENTE ENTRE EL PUNTO DE JUNTURA QUE HAY EN LA CADENA DE SUSPENSIÓN Y EL PUNTO DE JUNTURA ENTRE EL AISLADOR RÍGIDO O PUNTAL Y LA ESTRUCTURA, SEGÚN SE MUESTRA EN LA FIGURA 5.2-4

SI POR ALGUNA RAZÓN EXISTE UNA CARGA LONGITUDINAL, EL ENSAMBLE TIENDE A ROTAR ALREDEDOR DEL EJE MENCIONADO EVITANDO ASÍ LAS FUERZAS TANTO TORCIONALES COMO DE PANDEO EN EL BRAZO RÍGIDO, EL CUAL TIENE LIBERTAD DE MOVIMIENTO; DE TAL MANERA ACCIONA EL ENSAMBLE, QUE CUANDO EL ENSAMBLE GIRA SOBRE DICHO EJE, EL CONDUCTOR EN EL EXTREMO SE ELEVA, LO CUAL ES ÚTIL DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA Y TENSADO DE LOS CALBLES DE LA MISMA. EN SER-

VICIO, EL PESO Y TENSION DEL CONDUCTOR MANTIENEN EL ENSAMBLE EN SU POSICIÓN NORMAL.

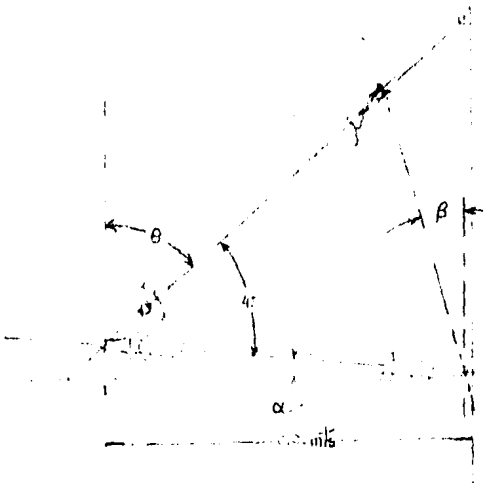


FIG. 5.2-4 ENSAMBLE VE HORIZONTAL.

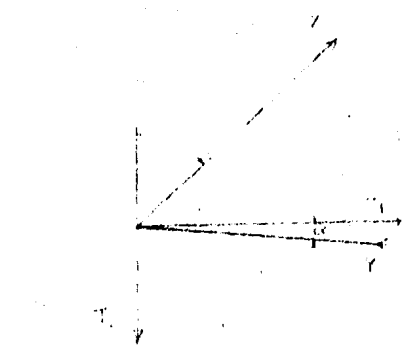


FIG. 5.2-5 FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL ENSAMBLE VE HORIZONTAL.

LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL ENSAMBLE SE MUESTRAN EN LA FIGURA 5.2-5, EL CONOCIMIENTO DE LAS CUALES ES ÚTIL PARA NO REBASAR LAS CARGAS MÁXIMAS A QUE DEBE SOMETERSE EL ENSAMBLE. COMO PUEDE OBSERVARSE EN LAS FIGURAS 5.2-4 Y 5.2-5, EL ÁNGULO ENTRE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN Y PUNTAL ES DE 45°, EL CUAL HA DEMOSTRADO SEGÚN LA EXPERIENCIA QUE ES EFICIENTE PARA SOPORTAR LA CARGA DEL CONDUCTOR Y AL MISMO TIEMPO MINIMIZA LA DISTANCIA ENTRE EL CONDUCTOR Y LA ESTRUCTURA.

LA RELACIÓN ENTRE DICHAS CARGAS SE EXPRESA EN LAS SIGUIENTES -
FÓRMULAS:

$$T_1 = Y \cos \theta - X \operatorname{sen} \theta$$

$$T_2 = X \cos \theta + Y \operatorname{sen} \theta$$

DONDE T_1 = CARGA HORIZONTAL, HACIA LA ESTRUCTURA

T_2 = CARGA VERTICAL, HACIA ABAJO

X = CARGA DEL AISLADOR EN SUSPENSIÓN

Y = CARGA DEL AISLADOR PUNTAL

θ = ANGULO DE LA CADENA DE SUSPENSIÓN CON LA VERTICAL
= 50°

α = ANGULO DE PUNTAL AISLADOR CON LA HORIZONTAL - 5°

EN UN SISTEMA OPERANDO A UN VOLTAJE CONSTANTE, LA POTENCIA TRANSFERIDA ES PROPORCIONAL AL SENO DEL ÁNGULO DE POTENCIA , VER - FIGURA 5.2-6

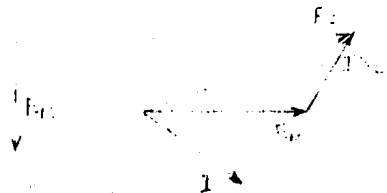


FIG. 5.2-6 Dos MÁQUINAS SÍNCRONAS CONECTADAS POR UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

LA MÁXIMA POTENCIA QUE PUEDE SER TRANSMITIDA BAJO CONDICIONES ESTABLES OCURRE PARA UN ÁNGULO DE 90° . UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN CONECTADO A MÁQUINAS SÍNCRONAS DEBE SER CAPAZ DE RESISTIR SIN PÉRDIDA DE ESTABILIDAD LOS CAMBIOS REPENTINOS EN LA GENERACIÓN, CARGA, Y POR FALLAS QUE SON CARACTERÍSTICAS DE SU OPERACIÓN; TODO ÉSTO PRODUCE TRANSITORIOS EN EL VOLTAJE DEL SISTEMA O REACTANCIA Y POR CONSIGUIENTE EN EL ÁNGULO DE POTENCIA. LA HABILIDAD DEL SISTEMA PARA AJUSTARSE A UN NUEVO VALOR DE SIN PÉRDIDA DE SINCROMISMO DEPENDE DE LA INERCIAS DE LAS MÁQUINAS CONECTADAS, Y DE LA RESPUESTA DE SUS EXCITADORES Y DE LOS GOBERNADORES DE LAS TURBINAS, TAMBIÉN DEL VOLTAJE DEL SISTEMA Y SU - -

REACTANCIA. EL CRITERIO DE ESTABILIDAD DE TRANSITORIOS FRECUENTEMENTE REQUIERE QUE LA CARGA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN SEA LIMITADA A UN VALOR APRECIABLEMENTE MENOR QUE EL LÍMITE DE ESTABILIDAD DEL ESTADO ESTABLE.

SE USAN CAPACITORES DE SERIES EN ALGUNAS LÍNEAS EHV, PARA INCREMENTAR EL ESTADO ESTABLE Y LA CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE TRANSITORIOS, CANCELANDO PARTE DEL EFECTO DE LA REACTANCIA INDUCTIVA. LA REACTANCIA INDUCTIVA DE LA LÍNEA ESTA EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE LA LÍNEA Y DEL ESPACIAMIENTO ENTRE FASES; ÉSTA DECRECE CONFORME AL NÚMERO DE CONDUCTORES POR FASE AUMENTA. ASÍ, UNA LÍNEA DE CONDUCTORES EN MANOJO O BUNDLED TIENE BAJA REACTANCIA INDUCTIVA Y LÍMITES DE ESTABILIDAD MÁS ALTOS QUE UNA LÍNEA DE UN SOLO CONDUCTOR POR FASE CON EL MISMO ESPACIAMIENTO ENTRE FASES. ESTA VENTAJA HA PERMITIDO EL USO OCASIONAL DE CONDUCTORES BUNDLED EN LÍNEAS DE BAJO VOLTAJE, DONDE NO ES NECESARIO SU USO PARA CONTROLAR EL GRADIENTE DE VOLTAJE EN LA SUPERFICIE DE LOS CONDUCTORES, COMO ES EL CASO DE LAS LÍNEAS EHV.

SE USAN REACTORES EN PARALELO EN MUCHOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN EHV, PARA COMPENSAR LA CORRIENTE DE CARGA DE LA LÍNEA, Y DE ESE MODO LIMITAR EL VOLTAJE DE ESTADO ESTABLE A VALORES ACEPTABLES, PARTICULARMENTE CUANDO LA LÍNEA ES AFECTADA EN SU CARGA POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, Y PARA LIMITAR LOS VOLTAJES DURANTE LAS OPERACIONES DE INTERRUPTORES.

COMO YA SE MENCIONÓ, LOS CONDUCTORES BUNDLED SON USADOS COMÚN-

MENTE EN LÍNEAS EHV PARA CONTROLAR EL GRADIENTE DE POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DE LOS CONDUCTORES, Y ASÍ EVITAR NIVELES ALTOS DE RUIDO EN RADIOFRECUENCIA Y PÉRDIDAS ALTAS POR EFECTO CORONA. - SI UN SÓLO CONDUCTOR DE CONSTRUCCIÓN NORMAL FUERA USADO EN CADA FASE DE UNA LÍNEA EHV Y FUERA SELECCIONADO SOLAMENTE SOBRE LA - BASE DE LAS PÉRDIDAS I^2R Y POR EL COSTO DEL CONDUCTOR, EL GRA- - DIENTE DE POTENCIAL EN LA SUPERFICIE PODRÍA SER FRECUENTEMENTE MÁ S ALTO DE LO ACEPTABLE, COMO POR EJEMPLO 20 A 23 KV PICO POR CENTÍMETRO (KVP/CM). UNA SOLUCIÓN ES USAR UN CONDUCTOR CON UN DIÁMETRO EXTERIOR EXPANDIDO, PERO ÉSTOS CONDUCTORES A PESAR DE QUE REQUIEREN UN HERRAJE MÁ S SIMPLE QUE UN ARREGLO BUNDLED, RE- QUIEREN DE UN MANEJO MÁ S CUIDADOSO, POR LO CUAL SE PREFIERE USAR CONDUCTORES BUNDLED CON DOS O MÁ S CONDUCTORES POR FASE.

CUANDO SE USAN CONDUCTORES BUNDLED, SE DEBEN INSTALAR ESPACIADO RES (SPACERS) A INTERVALOS DE 250 A 300 PIES PARA MANTENER EL - ESPACIAMIENTO ENTRE CONDUCTORES. ESTO ES NECESARIO PARA PREVE- NIR QUE LOS CONDUCTORES GOLPEEN UNOS CONTRA OTROS DEBIDO AL VIE N TO O DEBIDO A ATRACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA CAUSADA POR ALTAS CO- RRIENTES.

YA QUE LAS FUERZAS ELECTROMAGNÉTICAS SON PROPORCIONALES AL CUA- DRADO DE LA CORRIENTE EN LOS CONDUCTORES E INVERSAMENTE PROPOR- CIONALES A SU ESPACIAMIENTO; PERO UNA VEZ QUE LOS CONDUCTORES - SE JUNTAN LA CORRIENTE NORMAL DE CARGA PUEDE MANTENER LOS CON- DUCTORES EN CONTACTO.

LOS CONDUCTORES BUNDLED ESTÁN SUJETOS A FUERZAS MAYORES DEBIDAS A HIELO Y VIENTO, QUE LOS CIRCUITOS DE UN SÓLO CONDUCTOR DE LA MISMA SECCIÓN TRANSVERSAL TOTAL Y REQUIEREN DE TORRES UN POCO - MÁS FUERTES. SE HA TENIDO BUENA EXPERIENCIA CON LOS CONDUCTORES BUNDLED Y CON EL HERRAJE ASOCIADO A ELLOS.

UNA JUSTIFICACIÓN PARA HABER INVESTIGADO LOS PRINCIPIOS DE COMPACTACIÓN Y DE CIRCUITOS EN MANOJO; ES QUE MEDIANTE SU USO SE PUEDE TRANSMITIR MAYOR POTENCIA UTILIZANDO UN DERECHO DE VÍA ANGOSTO, ES DECIR, TRANSFIEREN MÁS POTENCIA POR PIE DE ANCHO DE DERECHO DE VÍA.

EL CONCEPTO DE POTENCIA NATURAL (SURGE-IMPEDANCE LADIGN) O SIL ES UNA MEDIDA CONVENIENTE PARA COMPARAR LA CAPACIDAD DE CARGA DE LÍNEAS A DIFERENTES NIVELES DE VOLTAJE. LA POTENCIA NATURAL ES LA CARGA QUE LA LÍNEA PUEDE TRANSPORTAR CUANDO CADA FASE TERMINA EN UNA IMPEDANCIA IGUAL A $Z_0 = \sqrt{L / C}$ DONDE L ES LA INDUCTANCIA SERIE Y C LA CAPACITANCIA POR UNIDAD DE LONGITUD DE LA LÍNEA.

ASÍ $SIL = V^2 / Z_0$. ESTO ES APROXIMADAMENTE IGUAL A AQUELLA CARGA DONDE LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA REACTIVA DEBIDAS A LA CORRIENTE DE CARGA ($I^2 X_L$) ES IGUAL A LA POTENCIA REACTIVA GENERADA POR LA CAPACITANCIA DE LA LÍNEA (E^2 / X_C).

MIENTRAS QUE LA POTENCIA NATURAL DA UNA IDEA GENERAL DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LA LÍNEA, ES USUAL CARGA LÍNEAS CORTAS DE BAJA

REACTANCIA INDUCTIVA CON UN VALOR APRECIABLEMENTE MAYOR AL --
SIL, Y A CAUSA DE LAS LIMITACIONES DE ESTABILIDAD, CARGAR LÍ--
NEAS LARGAS CON VALORES MENORES AL SIL A MENOS QUE CAPACITORES
EN SERIE COMPENSEN LA LÍNEA.

ASUMIENDO LA POTENCIA NATURAL PARA LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, -
LA POTENCIA QUE PUEDE SER TRANSMITIDA POR PIE DE ANCHO DE DERE
CHO DE VÍA CRECE CON EL VOLTAJE, YENDO DE CERCA DE 1 MW POR PIE
A 230 KV, HASTA 2.5, 5 Y 9 MW POR PIE PARA 345, 500, Y 700 KV,
RESPECTIVAMENTE.

5.3 PERSPECTIVA

EN LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS DE ESTADOS UNIDOS, EL MANEJO DE -- EXTRA ALTO VOLTAJE (E H V), SE HA CONVERTIDO EN EL FACTOR DO MINANTE EN TRANSMISIÓN.

HAY CUATRO CATEGORÍAS PRINCIPALES DE LÍNEAS EHV, QUE EN JUNIO DE 1973 TENÍAN CUBIERTAS EN ESTADOS UNIDOS LAS DISTANCIAS SIGUIENTE SEGÚN LA COMISIÓN FEDERAL DE POTENCIA DE LOS ESTADOS - UNIDOS: 25 734 MILLAS DE CIRCUITOS AÉREOS OPERANDO A 345 KV; - 11 882 MILLAS A 500 KV; 1 021 MILLAS A 765 KV; Y LAS 865 MILLAS DE LA INTERCONEXIÓN PACÍFICO A \pm 400 KV C.D.

ESTAS CUATRO CATEGORÍAS TOTALIZABAN UNA CAPACIDAD DE 33 550 GIGA-WATT-MILLA.

EN CAMBIO EXITÍAN HASTA ÉSTA FECHA 360 081 MILLAS DE CIRCUITOS DE 69 A 230 KV CON UNA CAPACIDAD DEL 11.4% DE LAS LÍNEAS EHV - ANTES MENCIONADAS.

A FINALES DE 1974 EL 85% DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN ESTADOS UNIDOS QUE REPRESENTAN 208 000 MILLAS ESTABAN EN EL RANGO DE 115 A 230 KV. Y AUNQUE ENTONCES SE ESPERABA QUE EN LA DÉCADA SIGUIENTE EL 55% DE LAS CONSTRUCCIONES FUERAN EN ÉSTE RANGO, ÉSTO REPRESENTA SIN EMBARGO 50 000 MILLAS DE CIRCUITOS, UNA GRAN PROPORCIÓN DE LOS CUALES SERÍAN INSTALADOS EN O CERCA DE ÁREAS RESIDENCIALES Y CENTROS URBANOS QUE SON CADA VEZ MÁS SENSIBLES

AL IMPACTO AMBIENTAL.

EN 1972 LA AUTORIDAD PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA ENERGÍA EN NUEVA YORK AUTORIZÓ UN PROYECTO DE PRUEBA QUE INCLUÍA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN COMPACTADA A 138 KV EN SARATOGA NUEVA YORK; ÉSTA LÍNEA DE MEDIA MILLA DE LONGITUD CON POSTES DE MADERA Y ESPACIAMIENTO ENTRE FASE DE 3 PIES, FUÉ EL PRINCIPIO DE LOS PROYECTOS SOBRE LÍNEAS COMPACTADAS. PERO AÚN EN 1973 MUY POCO DE LA ATENCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN MUNDIAL SE LE DABA A ÉSTA CLASE DE VOLTAJE, PUES HABÍA INTERÉS POR OTRAS INVESTIGACIONES SOBRE EXTRA ALTO VOLTAJE (EHV) Y POSTERIORMENTE POR EL ULTRA ALTO VOLTAJE (UHV), YA QUE DESDE LOS INICIOS DE LA INVESTIGACIÓN EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN SE HA BUSCADO INCREMENTAR CADA VEZ MÁ S LOS NIVELES DE TENSIÓN.

MIENTRAS QUE LA ATENCIÓN ESTABA DIRIGIDA AL DESARROLLO DE LÍNEAS EHV, LOS VOLTAJES EN LA CLASE 115 - 230 KV VIERON MUY POCO CAMBIO EN LA PRÁCTICA DE DISEÑO DESDE LOS PRECEDENTES, ESTABLECIDOS MÁ S DE 26 AÑOS ANTES. EN LOS AÑOS 60's, SIN EMBARGO, ÉSTA CLASE DE VOLTAJE FUÉ LA FUENTE DE DOS IMPORTANTES DESARROLLOS:

PRIMERO, ERA NATURAL QUE LA ATENCIÓN SE INCREMENTARÁ EN LA APARIENCIA DE LAS LÍNEAS AÉREAS QUE INICIALMENTE PRODUCIRÍAN RESULTADOS A NIVELES DE VOLTAJE DONDE NUEVOS CONCEPTOS DE ESTRUCTURA FUERON MÁ S PRONTAMENTE IMPLEMENTADOS,

POSTE; DE ACERO PREFABRICADOS, ESTRUCTURAS LAMINADAS, Y ESTRUCT-

TE EN EL MOVIMIENTO MECÁNICO DE LOS CONDUCTORES, EL CONOCIMIENTO DE ÉSTOS FUÉ LA PRIMERA PRUEBA DE FACTIBILIDAD.

ACTUALMENTE LA LÍNEA CONSTRUIDA EN MÉXICO QUE VA DE TOPILEJO AL ANILLO QUE CIRCUNDA LA CIUDAD, UTILIZA UNA CONFIGURACIÓN DE LÍNEA COMPACTADA DENOMINADA VE HORIZONTAL LAPP,

LOS MONTAJES VE HORIZONTAL LAPP SATISFACEN LOS REQUERIMIENTOS PARA LA MAYORÍA DE LAS CONSTRUCCIONES DESDE 115 KV HASTA 345 KV. LA FLEXIBILIDAD DEL DISEÑO, SIN EMBARGO, PERMITE PARA - - CIERTAS MODIFICACIONES ADAPTAR REQUERIMIENTOS DE APLICACIÓN ESPECIALES USANDO COMPONENTES BÁSICOS SIMILARES.

LOS TIPOS DE DISEÑO PARA CIERTAS APLICACIONES A 500 KV, HAN SIDO HECHOS PARA QUE PROVEAN LA MISMA REDUCCIÓN DE ESPACIO Y CARACTERÍSTICAS DE AHORRO DE COSTOS COMO EN LOS MONTAJES A VOLTAJE MENOR,

APENDICE

Tabla A.1 Características eléctricas de los conductores de aluminio reforzados de acero (ACSR)†

Tipo	Area de aluminio, c mil	Trenzado Al/St	Capas de aluminio	Diámetro exterior, pul	Resistencia			GMR D_f , ft	Reactancia por conductor 1 pie de separación, 60 Hz	
					Dc, 20°C, $\Omega/1,000$ pie	Ac, 60 Hz			Inductiva X_d , Ω/mi	Capacitiva X_c' , $\text{M}\Omega/\text{mi}$
						20°C, Ω/mi	50°C, Ω/mi			
Warwing	266,800	18/1	2	0.609	0.0646	0.3488	0.3831	0.0198	0.476	0.1090
Partridge	266,800	26/7	2	0.642	0.0640	0.3452	0.3792	0.0217	0.465	0.1074
Ostrich	300,000	26/7	2	0.680	0.0569	0.3070	0.3372	0.0229	0.458	0.1057
Merlin	336,400	18/1	2	0.684	0.0512	0.2767	0.3037	0.0222	0.462	0.1055
Linnet	336,400	26/7	2	0.721	0.0507	0.2737	0.3006	0.0243	0.451	0.1040
Oriole	336,400	30/7	2	0.741	0.0504	0.2719	0.2987	0.0255	0.445	0.1032
Chickadee	397,500	18/1	2	0.743	0.0433	0.2342	0.2572	0.0241	0.452	0.1031
Ibis	397,500	26/7	2	0.783	0.0430	0.2323	0.2551	0.0264	0.441	0.1015
Pelican	477,000	18/1	2	0.814	0.0361	0.1957	0.2148	0.0264	0.441	0.1004
Flicker	477,000	24/7	2	0.846	0.0359	0.1943	0.2134	0.0284	0.432	0.0992
Hawk	477,000	26/7	2	0.858	0.0357	0.1931	0.2120	0.0289	0.430	0.0988
Hen	477,000	30/7	2	0.893	0.0355	0.1919	0.2107	0.0304	0.424	0.0980
Osprey	556,500	18/1	2	0.879	0.0309	0.1679	0.1843	0.0284	0.432	0.0981
Parakeet	556,500	24/7	2	0.914	0.0306	0.1669	0.1832	0.0306	0.423	0.0969
Dove	556,500	26/7	2	0.927	0.0307	0.1663	0.1826	0.0314	0.420	0.0965
Rook	636,000	24/7	2	0.977	0.0269	0.1461	0.1603	0.0327	0.415	0.0950
Grosbeak	636,000	26/7	2	0.990	0.0268	0.1454	0.1596	0.0335	0.412	0.0946
Drake	795,000	26/7	2	1.108	0.0215	0.1172	0.1284	0.0373	0.399	0.0912
Tern	755,000	45/7	3	1.063	0.0217	0.1188	0.1302	0.0352	0.406	0.0925
Hall	954,000	45/7	3	1.165	0.0181	0.0997	0.1092	0.0386	0.395	0.0897
Cardinal	954,000	54/7	3	1.196	0.0180	0.0988	0.1082	0.0402	0.390	0.0890
Ortolan	1,033,500	45/7	3	1.213	0.0167	0.0924	0.1011	0.0402	0.390	0.0886
Bluejay	1,113,000	45/7	3	1.259	0.0155	0.0861	0.0941	0.0415	0.386	0.0874
Junco	1,113,000	54/19	3	1.293	0.0155	0.0856	0.0937	0.0436	0.380	0.0866
Bittern	1,272,000	45/7	3	1.345	0.0136	0.0762	0.0832	0.0444	0.378	0.0855
Pheasant	1,272,000	54/19	3	1.382	0.0135	0.0751	0.0821	0.0466	0.372	0.0847
Bobolink	1,431,000	45/7	3	1.427	0.0121	0.0684	0.0746	0.0470	0.371	0.0837
Flower	1,431,000	54/19	3	1.465	0.0120	0.0673	0.0735	0.0494	0.365	0.0829
Lapwing	1,590,000	45/7	3	1.502	0.0109	0.0623	0.0678	0.0498	0.364	0.0822
Falcon	1,590,000	54/19	3	1.545	0.0108	0.0612	0.0667	0.0523	0.358	0.0814
Bluebird	2,156,000	84/19	4	1.762	0.0080	0.0476	0.0515	0.0586	0.344	0.0776

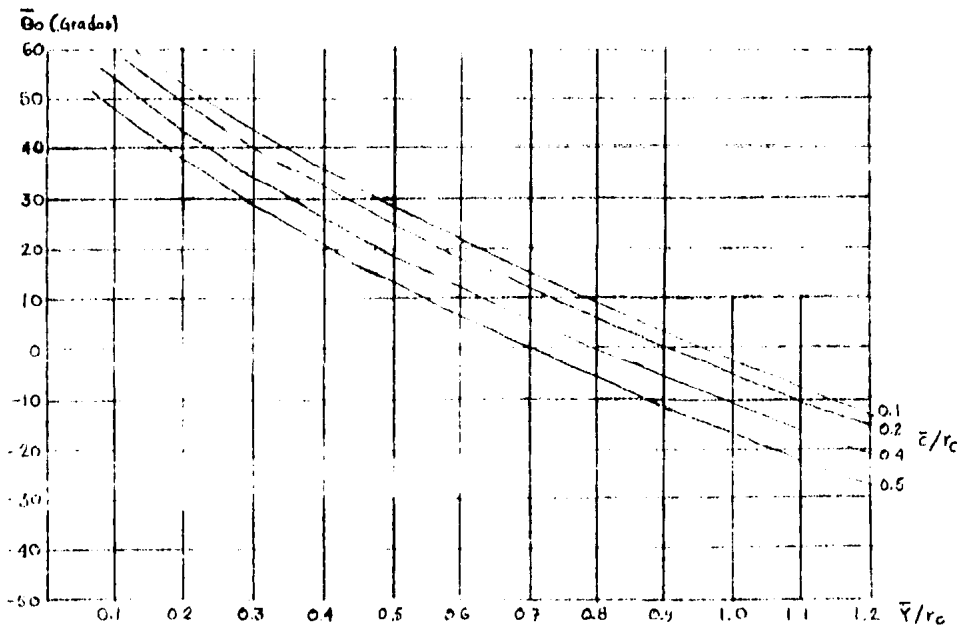
† La mayoría usa tamaños de multicapas.

‡ Reproducidas de "Aluminum Electrical Conductor Handbook", con autorización de Aluminum Association, New York, Septiembre 1971.

GRAFICA A 2

GRAFICA PARA LA DETERMINACION O VERIFICACION DEL ANGULO DE BLINDAJE.

- 1.- SE CALCULAN LOS VALORES DE \bar{Y} , \bar{C} Y R_C .
- 2.- SE OBTIENEN LAS RELACIONES \bar{Y}/R_C Y \bar{C}/R_C
- 3.- SE ENTRA EN EL EJE DE LAS ABCISAS CON LA RELACION \bar{Y}/R_C Y SE CORTA LA CURVA CORRESPONDIENTE A LA RELACION \bar{C}/R_C .
- 4.- EN EL EJE DE LAS ORDENADAS SE ENCUENTRA EL ANGULO DE BLINDAJE CORRESPONDIENTE.



CURVAS PARA DETERMINACION DEL ANGULO DE BLINDAJE .

BIBLIOGRAFIA

1. MANUAL DE DISEÑO Y NORMALIZACIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, COMPAÑIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A., GERENCIA DE PLANEACIÓN E INGENIERÍA, C.F.E., MÉXICO 1980.
2. ANÁLISIS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA, WILLIAM D. STEVENSON, Mc. GRAW HILL, 2^A EDICIÓN EN ESPAÑOL 1979.
3. TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK / 115 - 138 KV, COMPACT LINE DESIGN, L. O. BARTHOLD, R.E. CLAYTON, I. S. GRANT, Y OTROS ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, PROYECTO RP 260-1, 1978
4. COMPACT TRANSMISSION LINES INCREASE ROW EFFICIENCY, DELANO D. WILSON, REVISTA TRANSMISSION AND DISTRIBUTION, SEPTIEMBRE 1978.
5. BUNDLED CIRCUIT DESIGN FOR 115-138 KV, COMPACT TRANSMISSION LINES, VOL. 1
IAN S. GRANT, DELANO D. WILSON, VITO J. LONGO, JAMES R. STEWART ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, PROYECTO RP 260.2 REPORTE FINAL, FEBRERO 1980.
6. ELECTRICIDAD EN MÉXICO
JORGE GUTIÉRREZ VERA
MEMORIA DE LA CONFERENCIA LATIN COM 84
7. LAPP HORIZONTAL VEE, COMPACT TRANSMISSION LINE DESIGN 115-345 KV.
AISLADORES LAPP, INTERPACE CORPORATION, CATÁLOGO 606
8. UNDERGROUND SYSTEMS REFERENCE BOOK,
EDISON ELECTRIC INSTITUTE TRANSMISSION AND DISTRIBUTION COMMITTEE, NUEVA YORK 1957.

9. EHV TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK,
EDISON ELECTRIC INSTITUTE - GENERAL ELECTRIC EHV TRANSMISSION
RESEARCH PROJECT (RP 68) STEERING COMMITTEE, 1968.
10. SYSTEMS AND TRANSMISSION HANDBOOK,
ELECTRICAL WORLD, MC GRAW HILL 1973
11. COMPACTACIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE CUATRO CIRCUITOS
TRIFÁSICOS DE 230 KV EN LA CIUDAD DE MÉXICO,
JAVIER CAMPOS S. Y ROBERTO MUÑOZ Y A.,
COMPAÑÍAS DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S.A., DEPTO. DE INGENIE
RÍA ELÉCTRICA, DOCUMENTO IEEE MEXICON-81, PP 401-406
12. REDES ELÉCTRICAS,
VIQUEIRA LANDA, JACINTO
EDITADO POR REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERÍA,
2^A EDICIÓN, 2 TOMOS, TOMO I, MÉXICO 1975.
13. GUÍA PARA LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN LÍNEAS DE TRANS
MISIÓN C.F.E. SUBCOMISIÓN DE CONSTRUCCIÓN, GERENCIA DE PRO-
YECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN, SUBGERENCIA DE INGE
NIERÍA BÁSICA DE S.E. Y I.T.