

**SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**REPORTE TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

**NOMBRE DEL PROYECTO:  
PROTECCIONES CONTRA SOBRETENSIONES POR DESCARGAS  
ATMOSFERICAS.**

**PRESENTA:  
HUGO RODOLFO SOLIS DIAZ.**

**ASESOR INTERNO:  
M.C. OSVALDO BRINDIS VELAZQUEZ.**

**ASESOR EXTERNO:  
ING. ÁNGEL GABRIEL BUSTILLOS NUCAMENDI**

**JUNIO 2018.**

## AGRADECIMIENTO

Le agradezco a **Dios** por darme la oportunidad de vivir hasta el día de hoy, acompañarme y guiarme a lo largo de mi carrera, por darme sabiduría, paciencia, por ser mi Fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias.

## DEDICATORIA

## INDICE.

Abreviaturas.....	6
Índice de figuras. ....	7
1. Introducción.....	9
1.1 Antecedentes.....	9
1.2 Estado del Arte.....	10
1.3 Justificación.....	12
1.4 Objetivos.....	16
1.4.1 Objetivo general.....	16
1.4.2 Objetivo específico.....	16
1.5 Metodología (diagrama de bloques).....	17
2. Fundamento Teórico.....	18
2.1 Historia de la Comisión Federal de Electricidad.....	18
2.2 Sistema de Potencia.....	21
2.2.1 Sistema de Transmisión.....	22
2.3 Protección de líneas de Transmisión.....	24
2.4 Tormentas eléctricas.....	25
2.5 Numero de descargas en una línea.....	27
2.6 Tipos De Fallas.....	28
2.7 Apartarrayos.....	30
2.8 Clasificación De Apartarrayos.....	30
2.8.1 Apartarrayos Para Subestaciones.....	31
2.8.2 Margen de protección.....	33
2.9 Medición del Factor de Potencia en apartarrayos.....	35
2.10. Hilos De Guarda.....	36
2.11 Angulo De Protección.....	38
2.11.1 Características Generales De Los Cables De Guarda.....	39
2.12 Protección Con Hilos De Guarda.....	40
2.13 Métodos De Hilos De Guarda.....	42
2.14 Influencia De Los Impactos De Rayos En Los Hilos De Guarda.....	43

2.15 Salidas de la línea.....	45
2.15.1 Tasa de salida por descargas retroactivas (Back Flash Over). ....	47
2.15.2 Tasa de salida en circuitos sin cables de guarda. ....	48
2.16 Protección con Interruptores. ....	48
2.16.1 Protección De Redes Subtransmision. ....	48
2.17 Interruptores De Potencia. ....	49
2.17.1 Relés (Relevadores). (Este esquema es el usado para líneas de 115KV).....	52
2.18 Relevadores auxiliares. ....	53
2.18.1 Relevadores de sobrecorriente.....	54
3. Desarrollo.....	58
3.1 Historia de las subestaciones a interconectarse. ....	60
3.1.1 Historia de la subestación Villaflores.....	60
3.1.2 historia de la subestación Independencia. ....	61
3.2 Reconocimiento visual del lugar a trazar.....	62
3.2.1 Trazado definitivo .....	63
3.2.2 Ubicación De Las Estructuras Tipo TAS Y TAR. ....	64
3.3 Nivel Cerámico. ....	65
3.4. Sobretensiones Por Rayos. ....	65
3.5 Efectos De Las Descargas Eléctricas. ....	66
3.5.1 Tipos De Impactos Por Descargas Atmosféricas. ....	68
3.6 Protecciones con apartarrayos tipo Alea para línea de subtransmision de 115 kv. ...	70
3.6.1 Operación de apartarrayos tipo Alea. ....	70
3.6.2. Descripción del Apartarrayos de Subtransmision tipo ALEA para la línea de subtransmision IPD-VFD. ....	73
3.7 Hilo De Guarda AG 516 .....	74
3.7.1 cables de guarda en torres TAS y TAR para la LST IPD-VFD. ....	74
3.8 Sistema de malla en torre de subtransmision. ....	79
3.8.1 Objetivo del sistema de puesta a tierra de mallas.....	80
3.9 Ubicación de los Apartarrayos ALEA En los Puntos Más Altos. ....	81
3.10 Blindaje Con El Hilo De Guarda Para Las Torres Tipo TAS Y TAR De La LST IPD- VFD.....	82
3.10.1 Angulo De Blindaje. ....	82
3.11 Flameos Inversos. ....	83

3.12. Determinación De La Resistencia A Tierra Para Obtener Un Índice De Interrupciones Deseado Por Flameos Inversos. ....	85
Conclusiones. ....	88
Referencias Bibliográficas. ....	90

## Abreviaturas.

ABREVIATURA	DESCRIPCION
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía.
TAS	Torres auto soportable de suspensión
OCZ	Subestación Ocozocoautla
VFD	Subestación Villaflores
LGZ	Subestación la Garza
TAR	Torres auto soportable de remate
LST	Líneas de Transmisión
ALEA	Apartarrayo de Línea con Entrehierro en Aire
SIAD	Sistema Integral de Administración en Distribución
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
SED	Sistema Eléctrico de Distribución
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
LST OCZ-73490-LGZ	Líneas de Transmisión la Garza
LGZ-73L00-VFD	Líneas de Transmisión Villaflores
ACSR	Alambre de Acero Galvanizado
KV	Kilovoltios
MW	Megawatts
TIU	Tiempo de Interrupción de Usuarios

## Índice de figuras.

FIG. 1 GRAFICA DE NIVELES CERAUNICO EN EL PAIS. _____	13
FIG. 2 APARTARRAYO DE LINEA. _____	14
FIG. 3 DIAGRAMA DE UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA _____	21
FIG. 4 SISTEMA ELECTRICO NACIONAL _____	22
FIG. 5 PROTECCION DE UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA. _____	23
FIG. 6 DESCARGA ATMOSFERICA _____	25
FIG. 7 DIAGRAMA DE DIAS CON TORMENTAS EN EL PAIS. _____	27
FIG. 8 DESCARGA ATMOSFERICA SOBRE TORRE DE TRANSMISION. _____	28
FIG. 9 PORCENTAJE DE $k_a$ DE UNA DESCARGA ATMOSFERICA _____	32
FIG. 10 FACTORES DE LA DESCARGA ATMOSFERICA _____	33
FIG. 11 ANGULO DE PROTECCION DE LOS APARTARRAYOS _____	34
FIG. 12 EQUIPO DE MEDICION A PRUEBAS DE APARTARRAYOS. _____	35
FIG. 13 ESTRUCTURA CON HILO DE GUARDA. _____	37
FIG. 14 CONDUCTOR DE HILO DE GUARDA. _____	39
FIG. 15 PROBABILIDAD DE CORRIENTE EXCEDIDA _____	47
FIG. 16 N° DE DESCARGAS EN LA ZONA. _____	47
FIG. 17 TASA DE SALIDAS. _____	48
FIG. 18 INTERRUPTORES DE POTENCIA. _____	50
FIG. 19 ESQUEMA DE CONEXION DE INTERRUPTOR. _____	51
FIG. 20 CURVAS DE PROTECCION DEL RELEVADOR. _____	53
FIG. 21 ESQUEMA DE PROTECCION. _____	57
FIG. 22 SUBESTACION VILLAFLORES. _____	60
FIG. 23 SUBESTACION INDEPENDENCIA. _____	61
FIG. 24 LLEGADA DEL TRAZO A LA SUBESTACION VILLAFLORES. _____	63
FIG. 25 AFECTACIONES EN LAS LINEAS DE TRANSMISION _____	69
FIG. 26 UBICACION DE LOS APARTARRAYOS. _____	70
FIG. 27 MONTURA DEL APARTARRAYO TIPO ALEA EN LST IPD-VFD _____	72

<i>FIG. 28 CARACTERISTICAS DEL APARTARRAYO TIPO ALEA</i>	<i>73</i>
<i>FIG. 29 HILO DE GUARDA EN LINEAS DE SUBTRANSMISION.</i>	<i>74</i>
<i>FIG. 30 DESCARGA ATMOSFERICA SOBRE HILO DE GUARDA.</i>	<i>75</i>
<i>FIG. 31 IMPACTO DE RAYO Y DREN DE SOBRECORRIENTE A TIERRA.</i>	<i>76</i>
<i>FIG. 32 PROTECCION CON HILO DE GUARADA EN LAS TORRES DE SUSPENSION.</i>	<i>77</i>
<i>FIG. 33 SISTEMA DE TIERRA TIPO MALLA.</i>	<i>80</i>
<i>FIG. 34 IMAGEN DEL GOOGLE EARTH, DONDE SE INSTALARAN LOS APARTARRAYOS.</i>	<i>81</i>
<i>FIG. 35 ANGULOS DE BLINDAJE SOBRE LOS HILOS DE GUARDA.</i>	<i>83</i>
<i>FIG. 37 FLAMEO INVERSO POR DESCARGA.</i>	<i>84</i>
<i>FIG. 38 COMPORTAMIENTO DEL FLAMEO INVERSO SOBRE LA ESTRUCTURA.</i>	<i>85</i>
<i>FIG. 36 MEDICION DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA ACOPLADO AL APARTARRAYO.</i>	<i>87</i>



## 1. Introducción.

### 1.1 Antecedentes.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una empresa del gobierno Mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 35.5 millones de clientes, lo que representa a más de 100 millones de habitantes, está compuesta de 211 Centrales Generadoras, con una capacidad de 52,862 Megawatts (MW). Para conducir la electricidad desde las Centrales de generación hasta el domicilio de cada uno de los clientes, la C.F.E.

La energía eléctrica se ha vuelto primordial en nuestra sociedad actual, ya que, en las actividades diarias de las personas, estas implican la electricidad para su uso en cualquier aparato o lugar. Por estos motivos si deben tener muy en cuenta que los elementos que conforman el Sistema Eléctrico de Potencia Nacional (SEP) deben ser cada vez de mayor calidad y veracidad, para de esta forma poder evitar los percances.

Las personas suelen hacer uso de la energía eléctrica en aparatos electrodomésticos o maquinas a diario, esto sin tener en cuenta el proceso y trabajo que lleva el generar, transmitir, distribuir y hasta consumir esa energía. En los últimos años los avances tecnológicos han sido sobresalientes, sin embargo, en el campo de la energía eléctrica no se han logrado y no se contemplan cambios tecnológicos sustanciales en el corto plazo.

El problema que se presenta son los voltajes inducidos por descargas atmosféricas en el estado de Chiapas pueden ser una de las principales causas de sobretensiones y posterior salida de los sistemas eléctricos o LST. Estos voltajes afectan los sistemas de transmisión y subtransmision incrementando los problemas de perturbaciones en los sistemas de potencia, basados en los registros estadísticos de la operación del SEN (Sistema Eléctrico Nacional en la Zona de Distribución Tuxtla.

Derivados de supervisiones anteriores se ha observado interrupciones transitorias y francas en la zona Villaflores en líneas de media tensión y subtransmision por las descargas atmosféricas que han ocasionado problemas en la continuidad de la LST. Se considera el sistema de tierra de las líneas de subtransmisión como un factor muy importante para la protección y disminución de fallas, estos problemas han venido repercutiendo en costos de

supervisiones, elevadas para la empresa en tiempo hombre y combustibles, así como también las interrupciones por tasa de salida afectando a los consumidores.

## **1.2 Estado del Arte.**

Las causas de las sobretensiones son variadas, mientras unas pueden ser externas, como lo son las causadas por los rayos o descargas atmosféricas, las internas son causadas por varias razones, una, la que corresponden a la apertura y cierre de interruptores de potencia, otra a la unión accidental con líneas de mayor tensión y finalmente con la generación de armónicas. [1]

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra. Aún con elementos de refuerzo, éstas deben tener una gran protección contra rayos, con terminales aéreas, cables de bajada y electrodos de aterrizado. [2]

Este artículo muestra la necesidad de evaluar el riesgo de la incidencia de las descargas atmosféricas sobre estructuras de concreto en las que se pueden presentar explosiones o implosiones. Es importante visualizar el riesgo al que se encuentran las estructuras conformadas por armazones de hierro con recubrimiento de cemento cuando una descarga atmosférica eléctrica recorre dichas estructuras en busca de un camino hacia tierra. [3]

Las líneas de transmisión son muy importantes para la operación de los sistemas eléctricos de potencia, en tal sentido, se les debe realizar mantenimientos programados, así como revisiones de diseño para verificar la calidad operativa de sus componentes y garantizar un suministro continuo y confiable de energía eléctrica a los consumidores. [4]

Procedimientos necesarios para realizar un mantenimiento y mejoras a las líneas de transmisión con el objetivo de brindar una mayor confiabilidad y así garantizar el suministro de la energía eléctrica de una forma rentable, al mismo tiempo que se pueden prevenir fallas identificando las áreas de oportunidad y deficiencias de las mismas. [5]

La idea central que se desarrolla es la del empleo de la energía eléctrica que es relativamente reciente en la historia humana. Hay personas aún vivas que recuerdan épocas de su infancia en las que debían arreglárselas sin electricidad. En pocos años, menos de una generación, alcanzamos una verdadera dependencia crítica, al punto de que ya no podemos prescindir de ese servicio más que durante muy breves períodos. [6]

### 1.3 Justificación.

Teniendo como base la nomenclatura en la línea de subtransmisión (LST) OCZ-73490-LGZ cuenta con 123 estructuras las cuales de ellas 18 son de tipo TAR (torres de acero de retenida) y 105 del tipo TAS (torres de acero autosoportadas). Con la oficina de líneas de subtransmisión se puede obtener el registro de todas las fallas que se han originado en la línea mediante los sistemas SIMOCE (Sistema de Monitoreo y Control de Energía) y SIAD (Sistema Integral de Administración Distribución) donde se hacen los registros de fallas y continuidad de energía.

Con base a esta información de la LST OCZ-73490-LGZ y LGZ-73L00-VFD se promueven acciones para identificar la zona más vulnerable y las estructuras que han presentado fallas sucesivamente. Se determinó que de la estructura número 76 a la estructura número 87 es la zona más vulnerable ya que se ha presentado descargas atmosféricas en cada una de esas estructuras.

La conexión de la subestación Villaflores, cuenta actualmente con una configuración y operación radial con 313 estructuras que parte de la subestación, OCZ y pasando por la subestación La Garza con una distancia de 69 km, las líneas son: LST OCZ-73490-LGZ y LGZ-73L00-VFD.

Teniendo como desventajas al presentarse una falla franca o transitoria, el tiempo de desconexión a los usuarios de la subestación VFD ocasionado pérdidas en consumo de potencia, a si también la desconexión de servicios importantes conectados en media tensión, caso el que se encuentra un hospital en el municipio de Villaflores el cual cuenta con planta de emergencia, pero no se puede autoabastecer durante periodos largos debido al consumo de combustible, a los equipos y emergencias que se presenten en el hospital.

Este sistema radial contempla el tener que seccionar la falla dejando a otros usuarios sin suministro, debido al mantenimiento y maniobra que se tenga que realizar en el tramo afectado a librar por la falla sea franca o transitoria.

Se hace el diseño de la conexión en anillo para subestación Villaflores para el mejoramiento de la continuidad del servicio y minimizar los tiempos de desconexión. Diseñando un nuevo circuito de la subestación Independencia de las LST IPD-73530-VFD

que tiene 48.8 kms. Aproximados tomando la conexión de la subestación de Independencia hacia la subestación Villaflores (VFD).

Al implementar este diseño se asegura la continuidad del suministro de energía disminuyendo perdidas económicas a la empresa suministradora de energía, en caso de contingencia se respalda con la conexión con la subestación IPD para realizar las maniobras o mantenimientos por fallas ocasionas en la LST LGZ-VFD. Sin tener que desconectar a los usuarios o afectar a terceros por mantenimiento o restablecimiento de la continuidad.

El tramo donde se hace el diseño se encuentra en mayor parte zonas bajas lo que hace mayor eficiente el ordenamiento de las estructuras, la supervisión de la LST cuando se presente alguna contingencia, el poder maniobrar e incorporar al personal al área para trabajos de rutina y/o mantenimiento.

$$N_0 = N_g \times A_e \times 10^{-6} \quad (1)$$

Donde:

$N_0$  es la frecuencia media anual de rayos directos a una estructura;

$N_g$  es el promedio anual de la densidad de rayos a tierra, en  $\text{km}^2 \times \text{año}$ ; véase figura III.1, y

$A_e$  es el área equivalente de captura de la estructura, en  $\text{m}^2$ .

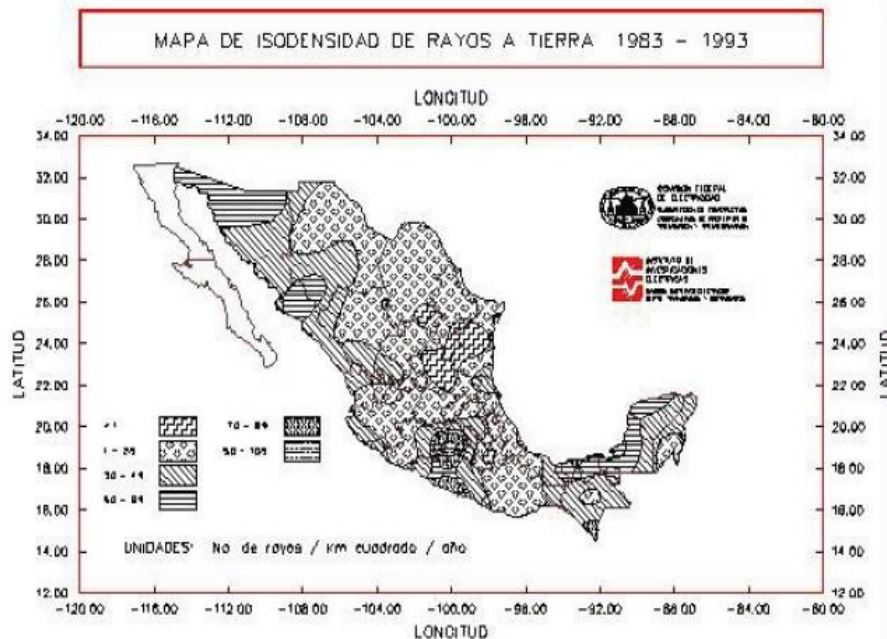


FIG. 1 GRAFICA DE NIVELES CERAUNICO EN EL PAIS.

Para la protección de la línea que cubrirá el sistema en anillo en la subestación de Villaflores se pretende usar un esquema de protección con apartarrayos y doble hilo de

guarda que cubrirán la línea contra descargas atmosféricas transitorios, que presenten una afectación hacia el circuito de manera que se pueda tener mayor confiabilidad y continuidad del suministro ya que en la subestación de Villaflores se encuentran cargas importantes como el Hospital General, el cual tiene equipos y salas de cirugía, haciendo más importante la protección del circuito y evitar afectaciones al lugar, debido al tiempo de interrupción que se pueda presentar.

Para la protección de la línea de anillo que alimentara la subestación Villaflores se utilizara el Apartarrayo de Línea con Entrehierro en Aire (ALEA) permite evitar el flameo del aislamiento por descargas directas o inducidas y por su diseño se reduce la probabilidad de flameo en fases adyacentes de la misma estructura (protegidas también con ALEA) o el regreso del sobrevoltaje (generación del flameo inverso) desde la propia estructura a otras fases, como podría suceder con los del tipo permanente. De manera que se pueda proteger contra incidencias o descargas atmosféricas a la línea de la alimentación evitando fallas y la afectación al suministro de la demanda de dicha subestación.



FIG. 2 APARTARRAYO DE LINEA.

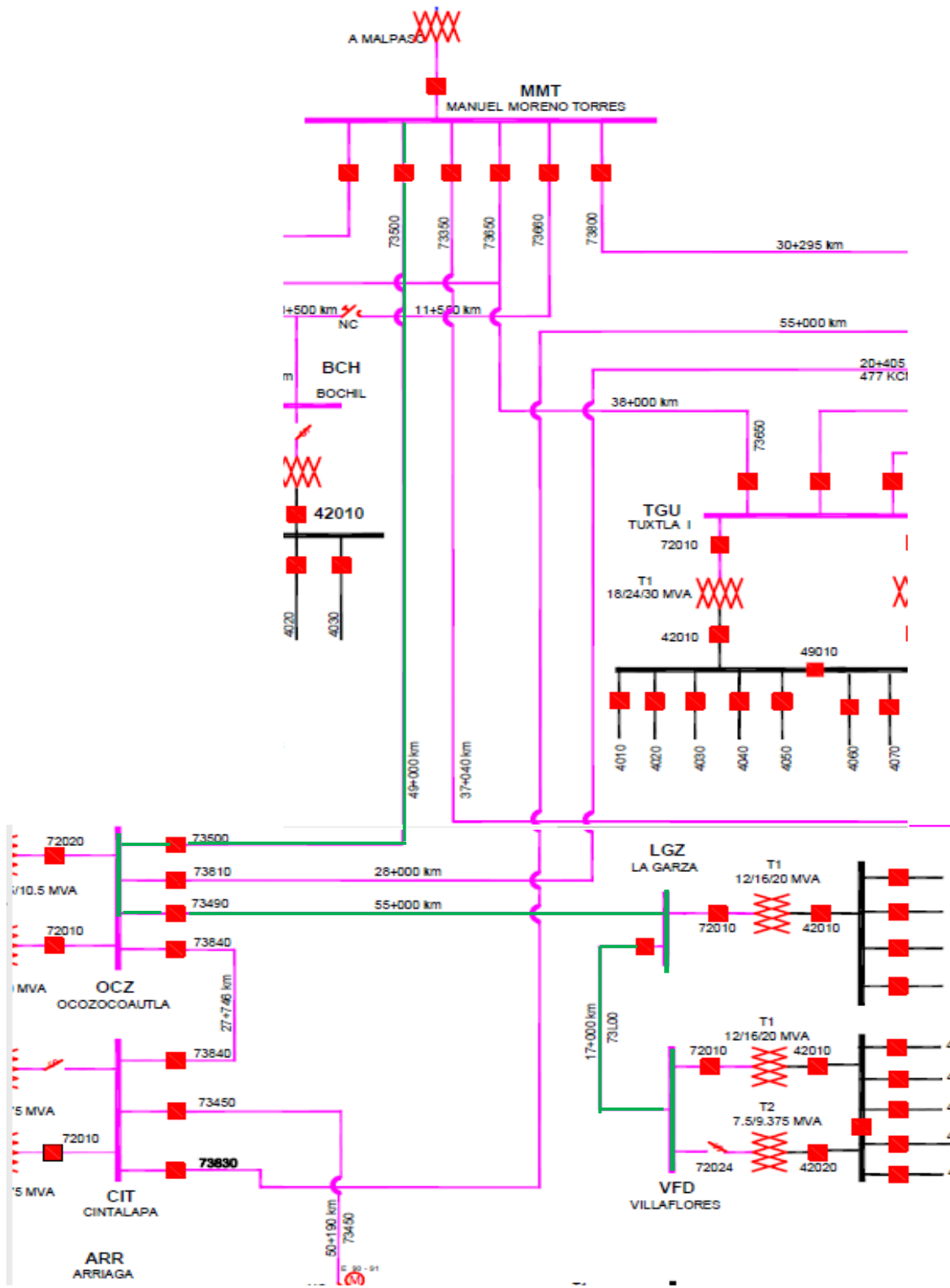


Diagrama unifilar de la LST LGZ-VFD

## **1.4 Objetivos.**

### **1.4.1 Objetivo general.**

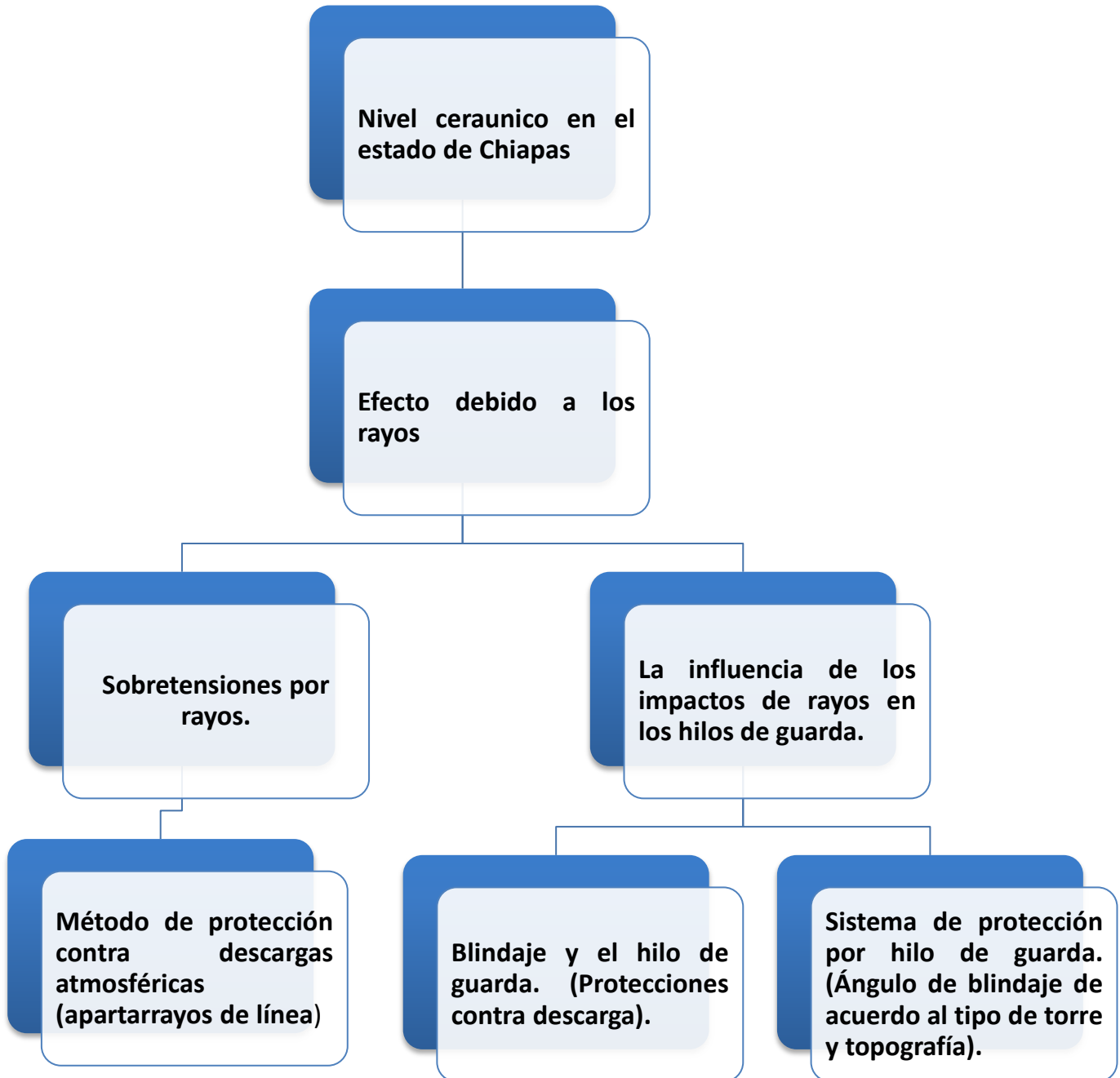
Abatir disparos transitorios en líneas de subtransmisión mediante métodos de protección contra descargas atmosféricas.

### **1.4.2 Objetivo específico.**

- Especificar la cantidad de rayos por  $\text{km}^2$  en el estado de Chiapas.
- Investigar sobre la intensidad de fuerza con la que cae el rayo, la resistividad de los suelos.
- Seleccionar los apartarrayos de línea para la protección de sobretensiones en sistemas de distribución de acuerdo a normatividad.
- Verificar el hilo de guarda de acuerdo al ángulo de blindaje de acuerdo al tipo de torre.
- Estudiar las sobretensiones de rayos, verificando parámetros de voltaje (aumento), tiempo de duración y/o descargas atmosféricas.
- Investigar zonas geográficas de la cantidad de impactos de rayos en líneas de 115 KV.



### 1.5 Metodología (diagrama de bloques).



## 2. Fundamento Teórico.

### 2.1 Historia de la Comisión Federal de Electricidad.

La generación de energía eléctrica inicio en México a fines del siglo XIX. La primera planta generadora que se instaló en el país (1879) estuvo en León, Guanajuato, y era utilizada por la fábrica textil “la americana”. Casi inmediatamente se extendió esta forma de generar electricidad dentro de la producción minera y, marginalmente, para la iluminación residencial y pública. En 1889 operaba la primera planta hidroeléctrica en Batopilas (Chihuahua) y extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales donde la población era de mayor capacidad económica.

No obstante, durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose las primeras 40 lámparas “de arco” en la Plaza de la Constitución, cien más en la Alameda Central y comenzó la iluminación de la entonces calle de Reforma y de algunas otras vías de la Ciudad de México. Algunas compañías internacionales con gran capacidad vinieron a crear filiales, como The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense, en el centro del país., el consorcio The American and Foreign Power Company, con tres sistemas interconectados en el norte de México, y la compañía eléctrica de Chapala, en el occidente.

A inicios del siglo XX México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80% los generaba The Mexican Light and Power Company, con el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. Las tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que sólo funcionaban en sus regiones.

En ese periodo se dio el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz. Fue el 2 de diciembre de 1933 cuando se decretó que la generación y distribución de electricidad son actividades de utilidad pública.

En 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes, de los cuales únicamente siete millones contaban con electricidad, proporcionada con serias dificultades por tres empresas privadas.

En ese momento las interrupciones de luz eran constantes y las tarifas muy elevadas, debido a que esas empresas se enfocaban a los mercados urbanos más redituables, sin contemplar a las poblaciones rurales, donde habitaba más de 62% de la población. La capacidad instalada de generación eléctrica en el país era de 629.0 MW.

Para dar respuesta a esa situación que no permitía el desarrollo del país, el gobierno federal creó, el 14 de agosto de 1937, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales. (Ley promulgada en la Ciudad de Mérida, Yucatán el 14 de agosto de 1937 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de agosto de 1937).

La CFE comenzó a construir plantas generadoras y ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando a más mexicanos al posibilitar el bombeo de agua de riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades. Los primeros proyectos de generación de energía eléctrica de CFE se realizaron en Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán), Suchiate y Xia (Oaxaca), y Ures y Altar (Sonora).

El primer gran proyecto hidroeléctrico se inició en 1938 con la construcción de los canales, caminos y carreteras de lo que después se convirtió en el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo, en el Estado de México, que posteriormente fue nombrado Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán. En 1938 CFE tenía apenas una capacidad de 64 kW, misma que, en ocho años, aumentó hasta alcanzar 45,594 kW. Entonces, las compañías privadas dejaron de invertir y CFE se vio obligada a generar energía para que éstas la distribuyeran en sus redes, mediante la reventa.

Hacia 1960 la CFE aportaba ya el 54% de los 2,308 MW de capacidad instalada, la empresa Mexican Light el 25%, la American and Foreign el 12%, y el resto de las compañías 9%. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, para esas fechas apenas 44% de la población contaba con electricidad. Por eso el presidente Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica, el 27 de septiembre de 1960.

A partir de entonces se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización. El Estado mexicano adquirió los

bienes e instalaciones de las compañías privadas, las cuales operaban con serias deficiencias por la falta de inversión y los problemas laborales. Para 1961 la capacidad total instalada en el país ascendía a 3,250 MW. CFE vendía 25% de la energía que producía y su participación en la propiedad de centrales generadoras de electricidad pasó de cero a 54%.

En esa década la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura. Se construyeron importantes centros generadores, entre ellos los de Infiernillo y Temascal, y se instalaron otras plantas generadoras alcanzando, en 1971, una capacidad instalada de 7,874 MW. Al finalizar esa década se superó el reto de sostener el ritmo de crecimiento al instalarse, entre 1970 y 1980, centrales generadoras que dieron una capacidad instalada de 17,360 MW.

Cabe mencionar que en los inicios de la industria eléctrica mexicana operaban varios sistemas aislados, con características técnicas diferentes, llegando a coexistir casi 30 voltajes de distribución, siete de alta tensión para líneas de transmisión y dos frecuencias eléctricas de 50 y 60 Hertz. Esta situación dificultaba el suministro de electricidad, por lo que CFE definió y unificó los criterios técnicos y económicos del Sistema Eléctrico Nacional, normalizando los voltajes de operación, con la finalidad de estandarizar los equipos, reducir sus costos y los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado.

Posteriormente se unificaron las frecuencias a 60 Hertz y CFE integró los sistemas de transmisión en el Sistema Interconectado Nacional. En los años 80 el crecimiento de la infraestructura eléctrica fue menor que en la década anterior, principalmente por la disminución en la asignación de recursos a la CFE. No obstante, en 1991 la capacidad instalada ascendió a 26,797 MW.

A inicios del año 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 35,385 MW, cobertura del servicio eléctrico del 94.70% a nivel nacional, una red de transmisión y distribución de 614,653 kms, lo que equivale a más de 15 vueltas completas a la Tierra y más de 18.6 millones de usuarios, incorporando casi un millón cada año.

## 2.2 Sistema de Potencia.

El sistema eléctrico de potencia es un conjunto de elementos que tiene como fin generar, transformar, transmitir, distribuir y consumir la energía eléctrica de tal forma que se logre la mayor calidad al menor costo posible. Un sistema eléctrico de potencia consta de plantas generadoras que producen la energía eléctrica consumida por las cargas, una red de transmisión y de distribución para transportar esa energía de las plantas a los puntos de consumo, así como el equipo adicional necesario para lograr que el suministro de energía se realice con las características de continuidad de servicio, regulación de tensión y control de frecuencia requeridas.

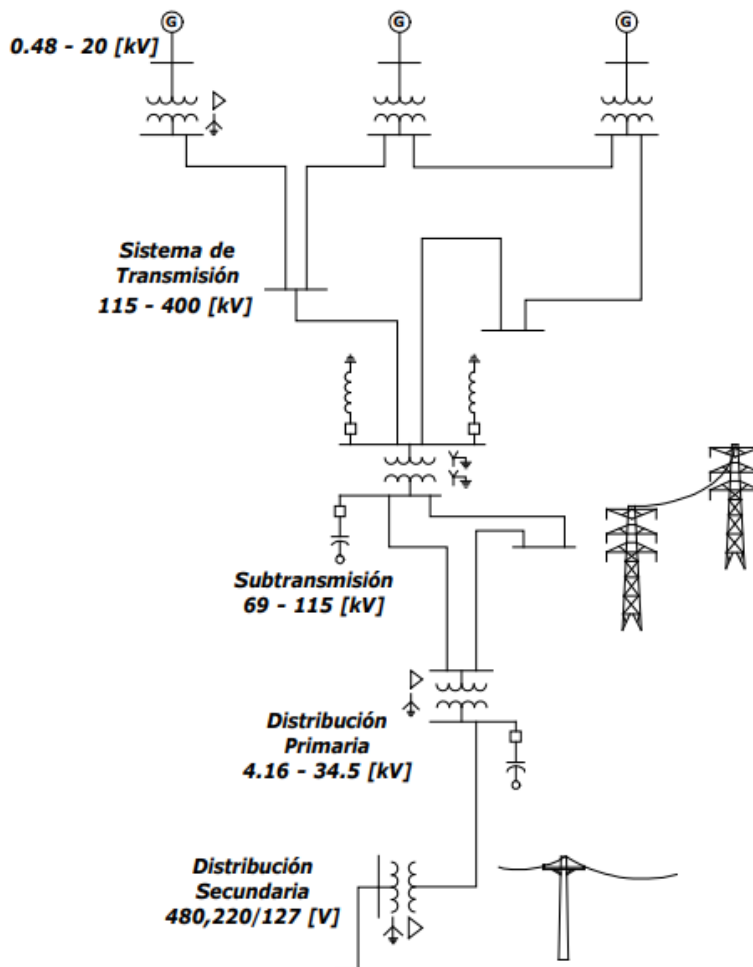


FIG. 3 DIAGRAMA DE UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA



FIG. 4 SISTEMA ELECTRICO NACIONAL

### 2.2.1 Sistema de Transmisión.

La red de transporte de energía eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico constituida por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas.

Para ello, los niveles de energía eléctrica producidos deben ser transformados, elevándose su nivel de tensión. Esto se hace considerando que para un determinado nivel de potencia a transmitir, al elevar la tensión se reduce la corriente que circulará, reduciéndose las pérdidas por Efecto Joule. Con este fin se remplazan subestaciones elevadoras en las cuales

dicha transformación se efectúa empleando transformadores, o bien autotransformadores. De esta manera, una red de transmisión emplea usualmente voltajes del orden de 220 KV y superiores, denominados alta tensión, de 400 KV.

Una línea de transporte de energía eléctrica o línea de alta tensión es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias. Está constituida tanto por el elemento conductor, usualmente cables de acero, cobre o aluminio, como por sus elementos de soporte, las torres de alta tensión. Generalmente se dice que los conductores “tienen vida propia” debido a que están sujetos a tracciones causadas por la combinación de agentes como el viento, la temperatura del conductor, la temperatura del viento, etc.

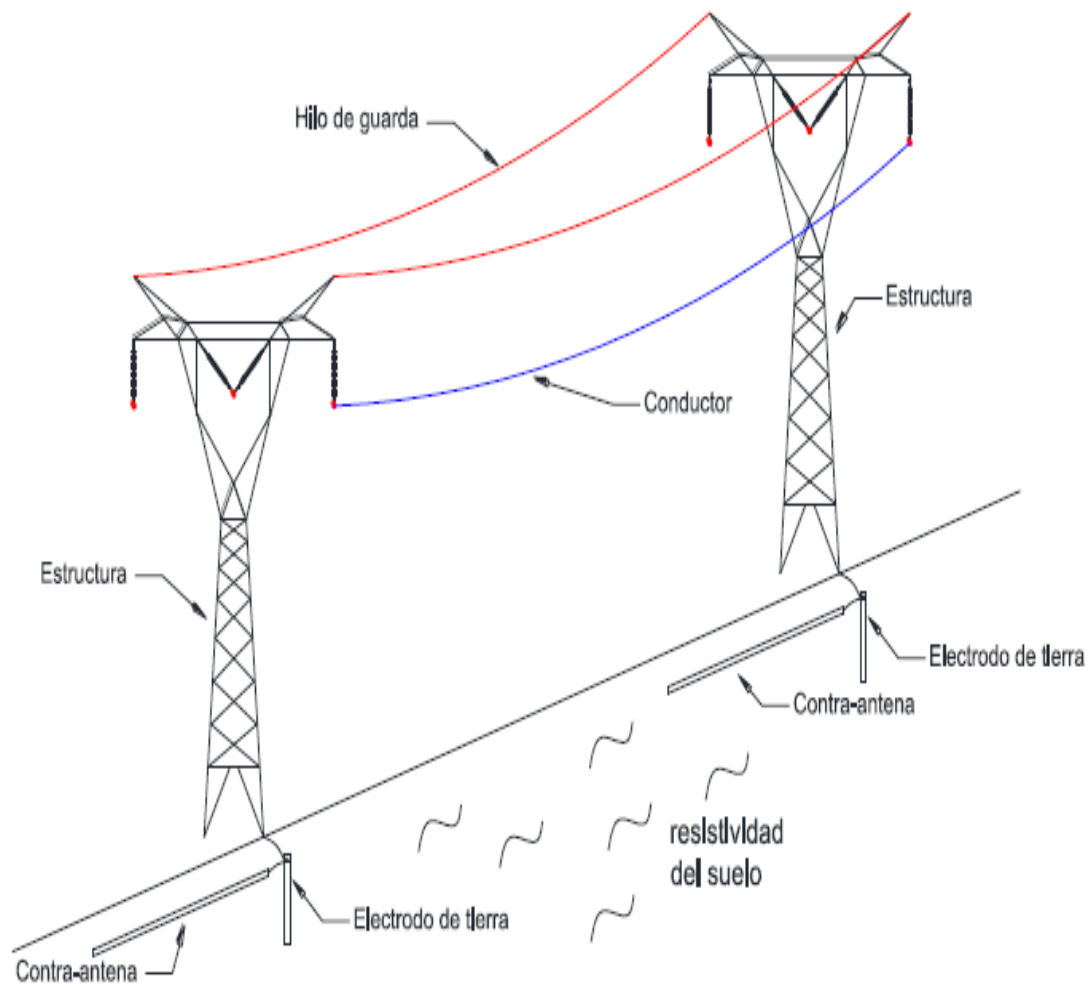


FIG. 5 PROTECCION DE UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA.

Existen una gran variedad de torres de transmisión como son conocidas, entre ellas las más importantes y más usadas son las torres de amarre, la cual debe ser mucho más fuertes para soportar las grandes tracciones generadas por los elementos antes mencionados, usadas generalmente cuando es necesario dar un giro con un ángulo determinado para cruzar carreteras, evitar obstáculos, así como también cuando es necesario elevar la línea para subir un cerro o pasar por debajo/encima de una línea existente.

Existen también las llamadas torres de suspensión, las cuales no deben soportar peso alguno más que el del propio conductor. Este tipo de torres son usadas para llevar al conductor de un sitio a otro, tomando en cuenta que sea una línea recta, que no se encuentren cruces de líneas u obstáculos.

La capacidad de la línea de transmisión afecta al tamaño de estas estructuras principales. Por ejemplo, la estructura de la torre varía directamente según el voltaje requerido y la capacidad de la línea. Las torres pueden ser postes simples de madera para las líneas de transmisión pequeñas hasta 46 kilovoltios (KV). Se emplean estructuras de postes de madera en forma de H, para las líneas de 69 a 231 KV. Se utilizan estructuras de acero independientes, de circuito simple, para las líneas de 161 KV o más. Es posible tener líneas de transmisión de hasta 1.000 KV.

Al estar estas formadas por estructuras hechas de perfiles de acero, como medio de sustentación del conductor se emplean aisladores de disco o aisladores poliméricos y herrajes para soportarlos.

### **2.3 Protección de líneas de Transmisión**

El diseño de Protección contra descargas eléctricas atmosféricas para Sistemas de Transmisión y subtransmisión, ha experimentado muy pocos cambios, y consecuentemente, ha tenido muy poco desarrollo en los últimos 50 años. Las herramientas y dispositivos usados para la Protección contra descargas eléctricas atmosféricas, están limitadas a productos y técnicas tales como:

- Apartarrayos.
- Espaciamiento.
- Hilos de Guarda (Líneas Estáticas o Hilos de Tierra).



- Relevadores para operar interruptores de circuitos.
- Componentes de Sistemas de Tierra convencionales.
- Incremento en los niveles básicos de aislamiento.

## 2.4 Tormentas eléctricas.

Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiestan por un resplandor breve (rayo). El rayo es una descarga electrostática que resulta de la acumulación de cargas positivas y negativas dentro de una nube de tormenta. Cuando las cargas adquieren la fuerza suficiente, aparecen los rayos. Una tormenta eléctrica se forma por una combinación de humedad, entre el aire caliente que sube con rapidez y una fuerza capaz de levantar a éste, como un frente frío, una brisa marina o una montaña.



FIG. 6 DESCARGA ATMOSFERICA



La dependencia que el ser humano tiene con el clima es obvia, ya que éste tiene serias consecuencias en todas nuestras actividades, desde un buen clima para las labores agrícolas hasta condiciones de desastre para las personas y propiedades.

El rayo, o más técnicamente, la descarga eléctrica atmosférica a tierra, es una condición especial del clima que ha sido objeto, desde tiempos remotos, de fascinación y miedo.

En el planeta tierra, ocurren un promedio de 100 descargas atmosféricas cada segundo, por lo que se producen alrededor de 8 millones de actividades al día. De acuerdo a teorías generalmente aceptadas, los rayos juegan un papel importante en un intento de la naturaleza por mantener un balance dinámico entre las cargas de las capas superiores de la atmósfera y la superficie terrestre.

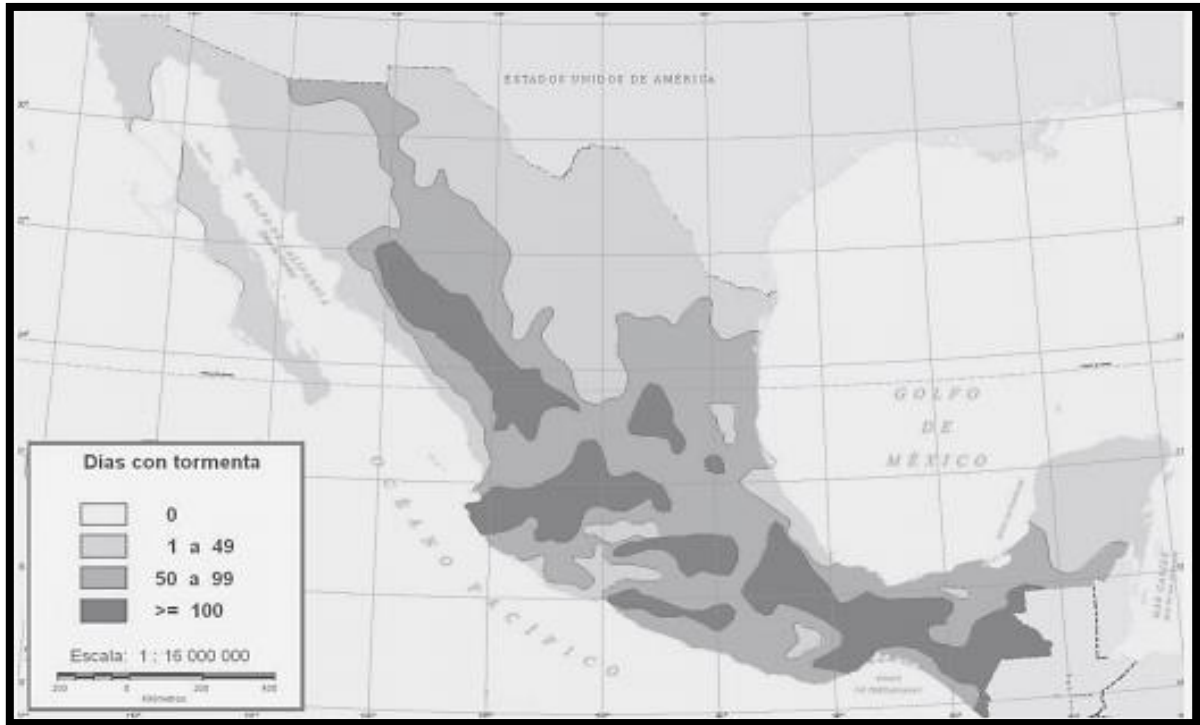


FIG. 7 DIAGRAMA DE DIAS CON TORMENTAS EN EL PAIS.

### 2.5 Numero de descargas en una línea.

El número de descargas a una línea para un nivel isoceráunico dado, no es conocido actualmente con mucha certeza. El problema es de naturaleza estadística, por lo tanto los métodos aquí expuestos, en los cuales este número se encuentra determinada, dan solo una aproximación al valor medio de la distribución.

Se parte de considerar una densidad de descargas (número de descargas / Km<sup>2</sup>) uniforme para una región con nivel ceráunico constante. A partir de esta densidad, se determina el número de esas descargas interceptado por la línea.

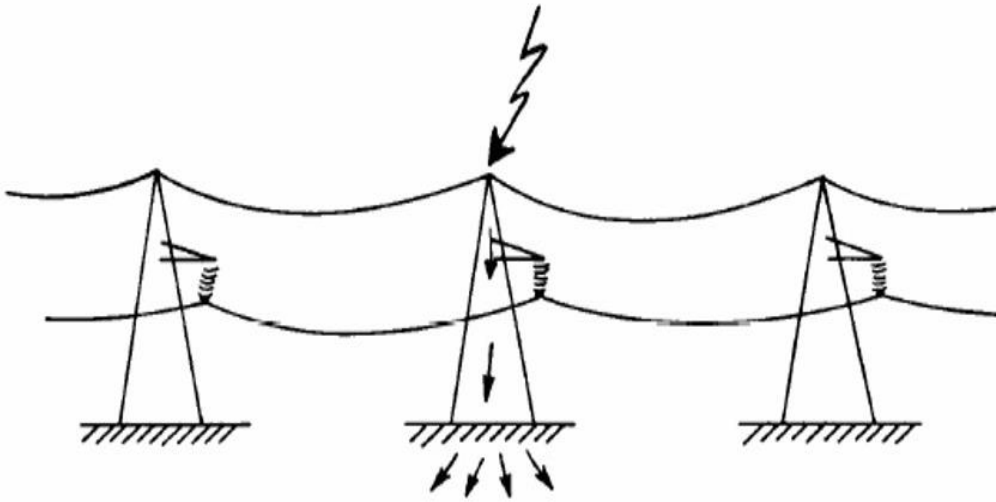


FIG. 8 DESCARGA ATMOSFERICA SOBRE TORRE DE TRANSMISION.

## 2.6 Tipos De Fallas.

Las líneas de transmisión, como los demás equipos asociados al sistema de potencia, están expuestos a fallas que pueden ser producidas por diferentes causas.

**Descargas atmosféricas:** Producen sobretensiones en las líneas y a su vez en el equipo de la subestación, capaces de perforar el aislamiento y/o el deterioro del equipo de patio e inclusive el de control y protección. Son producidas por el medio ambiente. Existen zonas de alto nivel isocerámico donde se presentan con mayor frecuencia. El nivel isocerámico da el número de días al año en los que se presentan tormentas que involucran descargas eléctricas.

**Cortocircuitos:** Producen altas corrientes que se manifiestan por el calentamiento excesivo de los conductores que se dilatan y por tanto, van a presentarse acercamientos con tierra y con las otras fases. Estas corrientes también circulan por el equipo de patio asociado, deteriorando el mismo debido a los efectos dinámicos y térmicos. Los cortocircuitos pueden originarse por las siguientes causas:

- Fallas entre fases: Cortocircuitos producidos por aves, mala operación, arcos ocasionados por ionización del aire.

- Fallas a tierra: ocasionadas por animales, mala operación, arcos, deterioro de aisladores, alta vegetación, desprendimiento del conductor a tierra o sobre estructura, etc.

**Sobrecargas:** Producen sobrecorrientes que conllevan a calentamiento de los conductores cuando estas son sostenidas también pueden averiar el aislamiento en el equipo asociado de la subestación. Si el deterioro del aislamiento es severo y progresivo puede producir un arco eléctrico provocando incendio, destruyendo total o parcialmente el equipo involucrado. Las sobrecargas son producidas por altas transferencias de energía que proporcionan aumentos considerables de corriente y que producen a su vez efectos mecánicos destructivos. Es necesario que cuando una de las fallas mencionadas anteriormente suceda, sea despejada, aclarada o aislada lo más rápidamente posible, por los interruptores involucrados en las fallas. Para ello, se debe proveer la línea con un adecuado sistema de protección.

**Sistemas de protección de líneas de transmisión:** Para proteger las líneas y equipo asociado en la subestación contra fallas ocasionadas por descargas atmosféricas (sobretensiones,) se utilizan los pararrayos y un buen sistema de puesta a tierra que incluya la malla de tierra de la subestación, buenas puestas a tierra de las torres y cables de guarda. Además, se recomienda la puesta a tierra de todo el equipo de la sala de control y en general, de todas las partes metálicas para garantizar la protección humana y del equipo mismo.

Es de anotar que para protección contra fallas por sobretensión ocasionadas por agentes externos (descargas atmosféricas) o por agentes internos (desconexiones de líneas largas), se debe contar con una muy buena coordinación de aislamiento. Se acostumbra también en líneas largas de gran capacitancia, compensadas con transformadores de potencial tipo inductivo o reactores. Para la protección contra cortocircuitos (producidos por fallas entre fases y fallas fase-fase), se utilizan en las líneas, relevadores de distancia y relevadores de sobrecorriente (direccionales y no direccionales). Para protección contra sobrecargas sostenidas, se utilizan relevadores de sobrecorriente.

Para seleccionar el esquema de protección más adecuado para una determinada línea de transmisión, se debe analizar una serie de componentes, tales como:

- Configuración del sistema de potencia.
- Parámetros del sistema: Longitud e impedancia de las líneas y transformadores.
- Estudio de cortocircuito.
- Carga máxima.
- Localización de transformadores de potencial y de corriente, entre otros.

## **2.7 Apartarrayos.**

El apartarrayos es un dispositivo que se encuentra conectado permanentemente en el sistema, opera cuando se presenta una sobretensión de determinada magnitud, descargando la corriente a tierra. Su principio general de operación se basa en la formación de un arco eléctrico entre dos explosores cuya operación está determinada de antemano de acuerdo a la tensión a la que va a operar.

Los apartarrayos se emplean para limitar las sobretensiones que se producen por acción tanto de efectos transitorios (sobretensión debida a operación de interruptores) como de descargas atmosféricas a niveles en los que los aislamientos del equipo no sufran deterioro, así como para asegurar la continuidad del servicio al presentarse dichas sobretensiones.

Cada apartarrayos se encuentra normalmente abierto y se encuentra calibrado para que a partir de cierta tensión entre línea y tierra se cierre automáticamente y filtre los frentes de onda. Esto se hace con un circuito de resistencia variable, con tensión, de los elementos dependiendo de la naturaleza de éstos. Al desaparecer la sobretensión el apartarrayos vuelve a la posición de abierto.

Se fabrican diferentes tipos de apartarrayos, basados en el principio general de operación; por ejemplo: los más empleados son los conocidos como "apartarrayos tipo autovalvular" y "apartarrayos de resistencia variable (de óxido metálico)".

## **2.8 Clasificación De Apartarrayos.**

### **Clase estación.**

Estos apartarrayos están diseñados para la protección de los equipos que pueden estar expuestos a cantidades de energía significativa debido a la apertura-cierre de las líneas

eléctricas y en lugares donde pueda existir una corriente de falla de gran magnitud se fabrican de 3 a 400 kV. Tienen un rendimiento eléctrico superior porque sus capacidades de absorción de energía son mayores, las tensiones de descarga son más bajas y el alivio de la presión es mayor. El valor del equipo protegido y la importancia de la continuidad del servicio en general, justifican el uso de apartarrayos clase estación a través de su rango de tensión.

### **Clase intermedia.**

Estos apartarrayos están diseñados para proporcionar protección económica y fiable de los equipos eléctricos de media tensión. Los apartarrayos clase intermedia son una excelente opción para la protección de transformadores tipo seco, para su uso en la apertura-cierre y seccionamiento de equipo en subestaciones de pequeña potencia y para la protección de los cables URD. Se encuentran disponibles en rangos de 3 a 144 kV.

### **Clase distribución**

Estos apartarrayos se utilizan con frecuencia para pequeños transformadores enfriados por aceite y tipo seco, también son utilizados para la protección de líneas de distribución aéreas, líneas de distribución subterráneas (tipo codo) y para transiciones aéreas subterráneas. Se fabrican en un rango de 3 hasta 34.5 kV.

## **2.8.1 Apartarrayos Para Subestaciones.**

Los apartarrayos también pueden clasificarse por su clase de descarga de línea:

- **Clase 2.** Para tensiones hasta 34.5 kV, en aplicaciones de transición aéreo-subterráneo.
- **Clase 3.** Para tensiones hasta 230 kV
- **Clase 4.** Para tensiones de 400 kV

### Localización.

La distancia entre el apartarrayos y el equipo a proteger debe ser tal, que proporcione un margen de protección cuyo valor debe ser al menos, por encima de los mínimos recomendados (20% para impulso por rayo y 15% para impulso por maniobra).

### Corriente de descarga.

Con relación a la selección de la corriente de descarga de los apartarrayos, se puede mencionar que sólo las descargas cercanas a las subestaciones, someten a los apartarrayos a condiciones severas de operación y para determinar este aspecto cuantitativamente se requiere de la determinación de datos estadísticos de mediciones de corriente de rayo. Para dar una idea de este aspecto se puede mencionar, que la norma americana ANSI C 62.2 (Standard Guide for Application of Valve Arresters for A. C. Systems), muestra que las corrientes de descarga de los apartarrayos en las subestaciones tienen una distribución como la indicada en la tabla.

<b>Tabla 1</b>	
Porcentaje de las corrientes del rayo que pueden exceder a los valores de corriente indicados	Valor en KA
5%	65
10%	50
20%	35
70%	9

**FIG. 9 PORCENTAJE DE KA DE UNA DESCARGA ATMOSFERICA**



La selección de los apartarrayos debería estar basada sobre las condiciones de sobretensiones máximas esperadas, de manera que el apartarrayos empleado debe ser capaz de soportar estas condiciones con un riesgo de falla mínimo en el mismo. Para tomar en consideración el efecto de las reflexiones sucesivas de las ondas del rayo desde el punto de la descarga y que tienden a incrementar la corriente de descarga del apartarrayos, a las expresiones para el cálculo de esta corriente se les multiplica por un factor “K” que depende de la distancia al punto de la descarga (D) y de la longitud de la cola de onda pudiéndose tomar los valores que aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 2	
D (mts)	Factor K
700	3
1,600	2
3,200	1

FIG. 10 FACTORES DE LA DESCARGA ATMOSFERICA

### 2.8.2 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 impulsos por rayo y 15% para impulsos por maniobra, generalmente se expresa en por ciento y se obtiene con las siguientes expresiones:

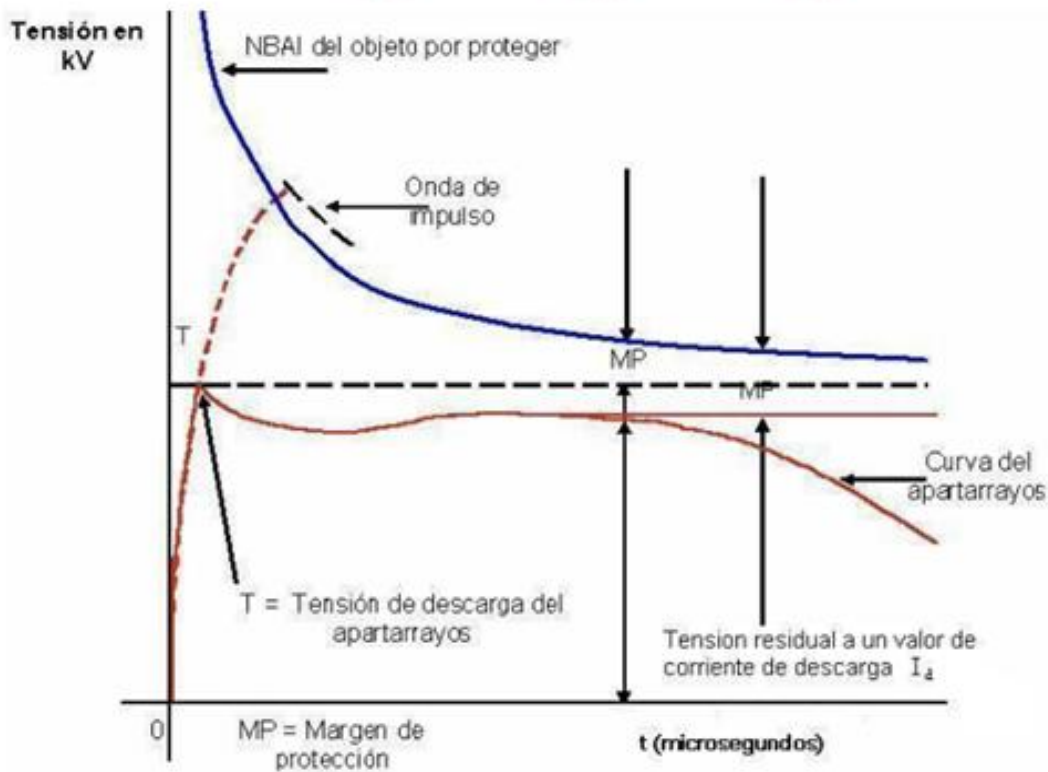


FIG. 11 ANGULO DE PROTECCION DE LOS APARTARRAYOS

### Tensión residual.

Es el valor cresta de tensión que aparece en las terminales de un apartarrayos durante el paso de la corriente de descarga.

Para que protejan adecuadamente, los apartarrayos deben cumplir las siguientes funciones:

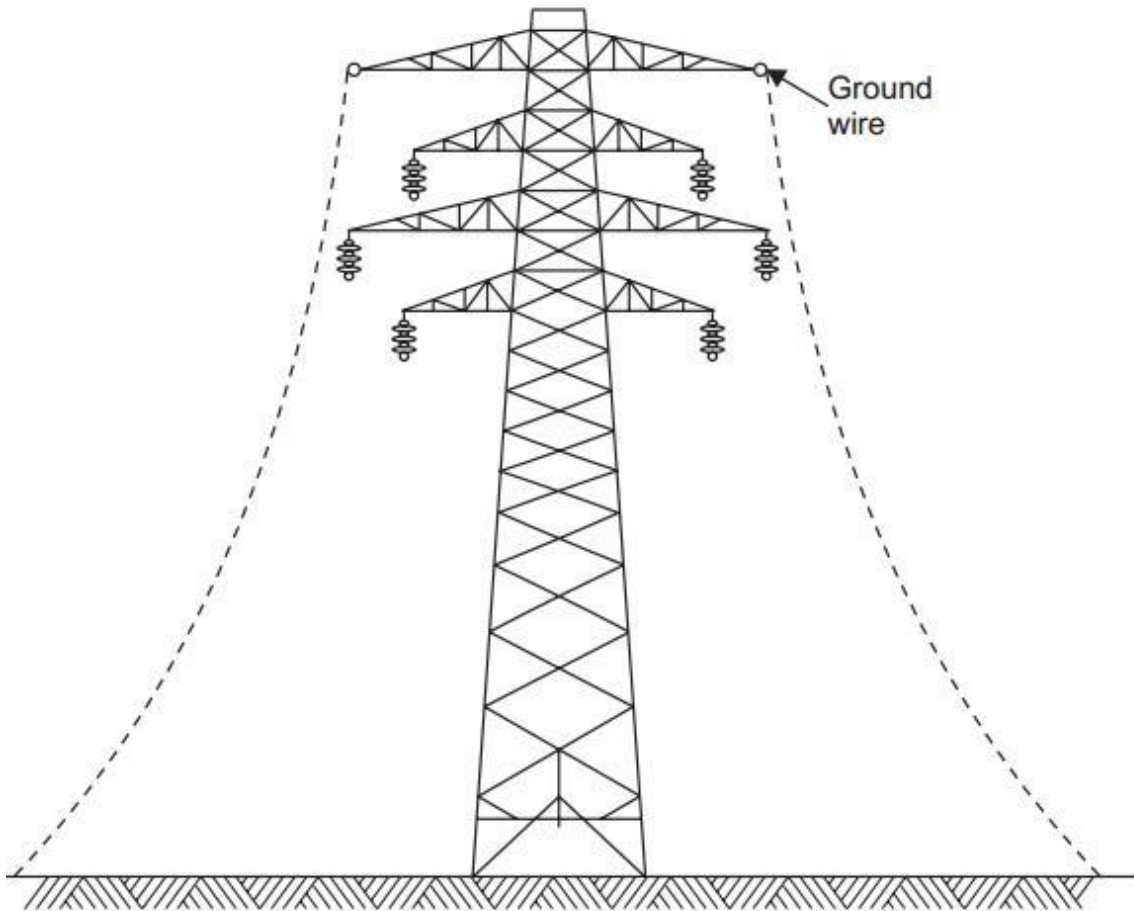
- No deben permitir el paso de corriente a tierra, cuando la tensión sea normal.
- Cuando el voltaje se eleva a una cantidad definida, deben proporcionar un camino a tierra para disipar la energía transitoria sin que haya un aumento en el voltaje del circuito.



## 2.10. Hilos De Guarda.

El cable de guarda es un conductor tendido en paralelo y sobre los conductores de fase de una línea de transmisión. Se encuentra ubicado en la parte superior de la estructura, de tal forma de cubrir o apantallar los conductores de fase.

Cuando se tiene una disposición de los conductores de fase en doble circuito, se requiere dos cables de guarda para proporcionar una protección eficaz a los conductores de fase, debido a descargas eléctricas directas (rayos), mientras que en la configuración vertical se requiere un solo cable de guarda. El cable de guarda generalmente está compuesto por hilos de acero galvanizado o es usual usar en las líneas de transmisión modernas el mismo calibre del conductor ACSR usado en los conductores de fase. El material y el tamaño del conductor requerido en el diseño provienen más de una consideración mecánica que eléctrica. Una reducción de la resistencia efectiva a tierra se puede lograr por medios relativamente simples y más baratos.



**FIG. 13 ESTRUCTURA CON HILO DE GUARDA.**

El cable de tierra tiene los siguientes objetivos:

- Protege los conductores de fase de las descargas eléctricas directas.
- Cuando un rayo cae sobre la torre, los cables de guarda a ambos lados de la torre proporcionan caminos paralelos para la descarga, con lo que la impedancia efectiva se reduce y el potencial de la parte superior de la torre es relativamente menor.
- Existe acoplamiento eléctrico y magnético entre el cable de guarda y los conductores de fase, lo que ayuda a reducir las fallas de aislamiento.

## 2.11 Ángulo De Protección.

El ángulo de protección del cable de guarda se define como el ángulo entre la línea vertical que pasa por el cable de guarda y la línea que une el cable de guarda y el conductor de fase más alejado de la estructura. La zona de protección brindada es un cono con vértice en el cable de guarda y con una base que termina en el conductor de fase más alejado de la estructura. Según Lacey, un cable de guarda ofrece una protección adecuada a todos los conductores de fase que se encuentran debajo de un cuadrante circular con centro a la altura del cable de guarda y con su radio igual a la altura del cable de guarda por encima del suelo.

Si se utilizan dos o más cables de guarda, la zona de protección entre los dos cables adyacentes puede ser tomada como un semi-círculo que tiene como diámetro una línea que conecta los dos cables de guarda. La experiencia de campo junto a las investigaciones de laboratorio, han demostrado que el ángulo de protección debe ser de casi  $30^\circ$  en zonas llanas mientras que el ángulo disminuye en zonas montañosas en un valor igual a la pendiente de la colina.

La tensión a la que una torre de transmisión se eleva cuando un rayo cae sobre la torre, es independiente de la tensión de funcionamiento del sistema y por lo tanto el diseño de línea de transmisión contra rayos para un rendimiento deseado es independiente de la tensión de funcionamiento.

El requisito básico para el diseño de una línea basada en trazo directo es:

- Los cables de tierra utilizados para el blindaje de la línea deben ser mecánicamente fuerte y deben estar situados de manera que proporcionan protección suficiente.
- No debe haber espacio suficiente entre el poder conductores sí y entre los conductores de potencia y el suelo o la estructura de la torre para una tensión de servicio particular.
- La resistencia pie de la torre debe ser tan baja como puede ser justificado económicamente.

Para cumplir con el primer punto, el cable de tierra, como se dijo anteriormente está hecho de alambre de acero galvanizado o alambre ACSR y el ángulo de protección decide la ubicación del cable a tierra para blindaje efectivo. El segundo factor, es decir, un espacio libre adecuado entre el conductor y la estructura de la torre se obtiene mediante el diseño de una longitud adecuada de brazo transversal tal que cuando una cadena se le da un giro de 30 ° hacia la estructura de la torre del espacio de aire entre el conductor de alimentación y estructura de la torre debe ser lo suficientemente bueno para soportar la tensión de conmutación esperada en el sistema, normalmente cuatro veces el voltaje de línea a tierra.

### 2.11.1 Características Generales De Los Cables De Guarda.

Número de hilos y paso de trenzado. Deben ser de 7 hilos con trenzado izquierdo con un paso no menor de 10, ni mayor de 16 veces del diámetro nominal del alambre. Los alambres que forman el cable de guarda deben ser de acero de extra alta resistencia.

No se aceptan uniones de ninguna clase en los tramos del cable, se permite uniones soldadas eléctricamente a tope, hechas antes de iniciar el enfriado del cable.

Los alambres deben estar galvanizados de tal forma que como mínimo la capa de zinc tenga una masa de 0,396kg/cm<sup>2</sup> (superficie del alambre sin recubrir) Con base a la Especificación. CFE-E0000-22, Cables de guarda.

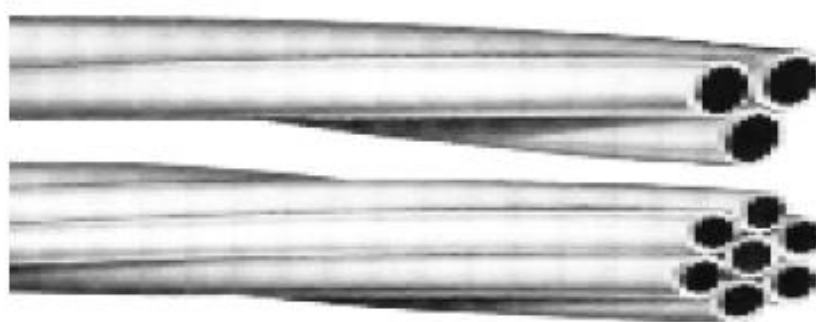


FIG. 14 CONDUCTOR DE HILO DE GUARDA.

Cada compañía eléctrica establece especificaciones de acuerdo a sus necesidades, privilegiando la resistencia mecánica, la conductividad eléctrica o las dimensiones. En

México la Comisión Federal de Electricidad tiene una especificación muy severa, el cable debe tener como mínimo 36 fibras ópticas y una gran resistencia a la tensión mecánica, arcos eléctricos, alta conductividad en corto circuito y un requisito poco común de prueba contra corrosión salina.

Probablemente la razón para una especificación tan estricta es que en los planes de CFE el cable de guarda óptico no es sólo una solución para comunicaciones propias y enlaces locales para control y protección de las líneas, sino un aspecto adicional que permite transmitir una cantidad muy alta de información, como un nuevo giro de negocio para la empresa.

## **2.12 Protección Con Hilos De Guarda.**

- Los hilos de guarda de Estaciones y líneas desempeñan dos funciones importantes:
- Proteger las líneas aéreas contra descargas atmosféricas siendo su objetivo primordial
- Reducir la tensión inducida en la línea aérea por los rayos que caen en las cercanías,
- Proteger los conductores de fase, absorbiendo las descargas atmosféricas,
- Reducir la acción devastadora del rayo descargado directamente en la línea aérea.

Para todo lo cual, tiene mera importancia la disposición con respecto a los conductores.

Reducir el efecto de la corriente de cortocircuito y participando por lo tanto en la disminución de la resistencia de tierra, y disminuyendo las tensiones de paso que puedan poner en peligro a las personas o animales.

Al disminuir la resistencia de tierra se tiene una disminución en la influencia sobre los circuitos de telecomunicación situados cerca de la línea, en caso de producirse cortocircuito a tierra. La acción protectora del hilo de guarda se determina por “zonas de protección” o también conocidos como “ángulos de protección”. Dichas zonas son fundamentales en la configuración de líneas eléctricas aéreas y Estaciones de Transformación, dado que la misma influye considerablemente sobre su diseño.



Inicialmente se había considerado la acción protectora del hilo de guarda teniendo en cuenta que la carga del conductor de fase, estaba limitada por la vecindad y la capacidad que existía con dicho conductor. En base a esto, se habían ubicado los hilos de guarda al lado de los conductores de fase. Investigaciones realizadas considerando características y desarrollo del rayo, han demostrado que el principal peligro no se debe buscar en las pequeñas cargas por intermedio de los denominados golpes indirectos y la vecindad de las líneas eléctricas aéreas, sino en la magnitud de la carga producida por los golpes directos en los conductores.

Con esto se ha decidido claramente que solamente los hilos de guarda, que en forma de una jaula de Faraday, protegen los conductores contra las nubes; efectuando una protección eficaz debiéndose ubicar los mismos sobre los conductores y no al lado de ellos. El costo consiste no solamente en el hilo de guarda propiamente dicho, sino también tienen importancia los gastos por alargamiento y refuerzo de los soportes.

Los hilos de guarda o hilos de tierra se colocan 1 o 2 sobre los conductores de fase en la parte más alta de los soportes y conectados a tierra. Suele utilizarse como hilo de guarda el cable de acero galvanizado de 50 o 70 mm<sup>2</sup> o bien el cable de Al/Ac. Para el dimensionado de los hilos de Al/Ac, se aplica una regla práctica aproximada la cual determina que la sección del hilo de guarda en acero es aproximadamente igual a la sección del alma de acero del conductor.

El problema de cómo colocar el hilo de guarda para conseguir una protección total contra las descargas directas de los rayos a los conductores ha sido muy discutido, no llegándose hasta ahora a ningún resultado definitivo. Por ello se enuncian las principales propuestas para resolver el problema, a fin de elegir una solución adecuada que garantice el funcionamiento seguro de la línea y que sea económicamente aceptable.

Los hilos de guarda se instalan directamente sobre las estructuras por lo general son de acero galvanizado con una sección no inferior a 500 mm<sup>2</sup> usándose conectores para unirlos

a la estructura se conectan a tierra por lo menos en dos puntos con cable de acero galvanizado también con una sección no inferior a 500 mm<sup>2</sup> . La distancia de protección horizontal de los conductores de guardia, se los llama “distancia protegida” esta y su altura efectiva definen el ángulo de apantallamiento, y por lo tanto el ángulo de apantallamiento correspondiente considera además la magnitud de la corriente del rayo y su distribución estadística.

### 2.13 Métodos De Hilos De Guarda.

El diseño del cable de guarda se refiere a la determinación de los conductores de la fase para evitar que las descargas atmosféricas incidan directamente sobre estos. Para el diseño existen varias metodologías.

**BEWLEY:** Asume que el rayo choca siempre el objeto más próximo a la nube cargada y deduce de esta hipótesis las fórmulas para la colocación de los hilos de guarda. Estas fórmulas dependen de la altura de las nubes cargadas, lo que es un factor difícil de determinar. Bewley llega a la conclusión de que, para las nubes de una altura de 5 a 30 veces la altura de los hilos de guarda sobre la tierra, el ángulo protector es de 55° a 75°.

**WAGNER:** En base a ensayos de laboratorio, recomienda adoptar un ángulo protector del hilo de guarda de 30° a 40° para los conductores externos y de 70° a 80° para los colocados entre los hilos de guarda.

**GOLDE:** Llega a la conclusión de que el ángulo protector del hilo de guarda es aproximadamente 64° y aumenta con la intensidad de la corriente del rayo.

**LEWIS:** Recomienda para conductores dispuestos horizontalmente, la aplicación de 2 hilos de guarda, colocados sobre los conductores a una altura igual a  $\frac{2}{3}$  de la distancia entre los conductores. La distancia entre los hilos de guarda debe ser igual a la existente entre los conductores. El ángulo protector resulta de 36°.

**SCHWAIGER:** Determina la zona protectora del hilo de guarda como la zona incluida entre la vertical que pasa por el cable y el arco que pasa por el mismo cable y es tangente a la tierra. El radio del arco es igual a la altura del hilo sobre tierra. La zona de protección entre 2 hilos de guarda es la semicircunferencia de diámetro  $C$  igual a la distancia entre los mismos y cuyos puntos extremos coinciden con dichos hilos de guarda. Más claramente, la zona protegida por los hilos de guarda, está determinada por círculos de radios iguales a la altura sobre el suelo del hilo de guarda. La zona propiamente protegida, está aún disminuida por una zona de dispersión que hay que tomar en cuenta con un ancho del 2 al 4 % del radio correspondiente.

**LANGREHR:** Determina la zona protegida por el hilo de guarda de manera similar a Schwaiger, solamente que los centros de los arcos deben ser el doble de la altura del hilo de guarda sobre tierra.

**GRÜNEWALD:** Recomienda asumir el ángulo protector de  $32^\circ$ .

**PECK:** Plantea que todos los puntos se encuentran sobre una circunferencia de radio  $h$  tomados del centro de una nube cargada, tienen la misma probabilidad de ser alcanzadas si se produce una descarga. Por esta razón, el método plantea que el cable de guarda debe ubicarse a una altura del 10% más grande que el conductor de fase más externo respecto a un punto de la circunferencia de igual probabilidad.

**ZIEGLER:** Con base en lo planteado por Peck se dice que varias fases y cables de guarda el único que puede ser impactado es el más cercano a la nube cargada. Además, el punto más crítico en el que se puede iniciar un rayo es a una altura igual a la del cable de guarda.

#### **2.14 Influencia De Los Impactos De Rayos En Los Hilos De Guarda.**

Los sistemas eléctricos, maquinarias, herramientas y personal que se encuentran a la intemperie y están permanentemente expuestos a la acción de las descargas atmosféricas y entre ellas a la más común, conocida como Rayo, en este estudio descargas atmosféricas o rayo se los empleara como sinónimos. La protección clásica de una instalación o equipos se

debe protegerse en forma semejante a las líneas de transmisión contra las descargas directas e indirectas ya que los pararrayos convencionales sirven para proteger únicamente contra ondas entrantes, porque es necesario apantallar ya sea con mástiles, hilos de guarda para subestaciones eléctricas, y actualmente con elementos electrónicos como son los de ionización, que sirve para las industrias petroquímicas, eléctricas, grandes edificios.

La forma de apantallamiento, o blindaje contra descargas atmosféricas. Forma de apantallamiento contra descargas atmosféricas Para poder realizar un adecuado apantallamiento es necesario conocer el proceso básico de formación y descarga de los rayos hacia la tierra y luego como interceptarlos y desviarlos a tierra, para que ocasionen daño, constituyéndose este método la filosofía de este tipo particular de protección. El proceso de descarga determina que el punto final de incidencia siga un patrón probabilística, esta característica se la considera al emplear los diferentes métodos de apantallamiento de describiremos luego.

El elemento protector o guardia (mástil, hilo de guarda) tiene entonces por finalidad atraer sobre si la descarga y conducirla a tierra, de la forma que no dañe a los elementos protegidos. Este efecto se denomina “apantallamiento o blindaje” y constituye uno de los medios más utilizados para el control de los rayos. Está claro que mientras más alto esté el elemento protector sobre los elementos protegidos, mayor será la probabilidad de intercepción de un rayo, y por lo tanto existirá un mayor grado de protección.

Pero por otra parte, subsiste la probabilidad de que el rayo no sea interceptado, esta ocurrencia se denomina “falla del apantallamiento” una elevación extrema de la guardia produce situaciones no aceptables en ingeniería e incrementan excesivamente los costos de la protección, por lo que una cierta probabilidad de falla del apantallamiento debe ser aceptada. Esta probabilidad se la define cuantitativamente, según Link, como el número de años que debe transcurrir para que ocurra una única falla del apantallamiento y que denominaremos “periodo de protección del blindaje” que es el tiempo en el cual podría haber una probabilidad de una descarga eléctrica.

## 2.15 Salidas de la línea

Entre las salidas producidas por descargas atmosféricas se deben distinguir dos tipos: las salidas debidas a fallas de apantallamiento y las debidas a flameo inverso.

### Salidas por fallas de apantallamiento

Estas salidas se deben a la caída de un rayo directamente sobre el conductor de fase, por falla del cable de guarda, encargado del apantallamiento de la línea.

Un rayo de 30kA, (que es muy probable) produce en una línea con impedancia característica de 400 ohmios, ondas de voltaje de lado y lado del punto de impacto de 6000 kV, que exceden por amplio margen el BIL de una línea de 220kV (aproximadamente de 1050kV).

Por esta razón la probabilidad de que haya flameo entre el conductor y la cruceta o entre dos fases adyacentes y se presente una posterior salida de la línea, es muy cercana al 100% si falla el apantallamiento.

### Salidas por flameo inverso

Cuando la descarga cae sobre el cable de guarda, viaja hasta la torre más cercana, (a cada lado del punto de impacto), donde busca su camino a tierra. Parte de la onda de choque se reflejará por el cable de guarda hacia atrás, parte se refractará por el cable hacia delante y la mayor parte, baja por la torre hacia tierra. Debido a la impedancia de la torre y a la resistencia de puesta a tierra, se forman a todo lo largo de aquella, voltajes de un valor bastante alto.

Cuando el voltaje en la cruceta es muy alto con respecto al conductor, tenemos el flameo cuyo punto de mayor voltaje es la cruceta, llamado flameo inverso, (back flashover). Este flameo puede ocasionar, dependiendo de la calibración del sistema de protección, una salida de la línea.

Para mantener la calidad del sistema de puesta a tierra, se hacen los siguientes procedimientos:

- Medición de la Resistividad previamente al diseño del S.P.T
- Diseño del Sistema de Puesta a Tierra por cada Estructura
- Selección Especializada de los D.P.S
- Selección Especializada de Materiales – RETIE
- Selección Especializada de Herramientas
- Selección Especializada de Equipos de Medición
- Talento Humano Certificado (Realización de Pruebas Previas)
- Medición de la Equipotencialización
- Medición en Baja Frecuencia del S.P.T.- ( Método de la Caída de Potencial )
- Medición en Alta Frecuencia del S.P.T. – ( Método de la Caída de Potencial )
- Y el Porcentaje permitido del 10 % máximo como diferencia entre el valor del S.P.T. diseñado VS el Construido

Estas prácticas nos permiten construir óptimamente: El Apantallamiento, El Sistema de Puesta a Tierra, y la Instalación de los D.P.S; y de esta forma poder garantizar en un 100% que no ocurran salidas de las Líneas por Sobretensiones causadas por los Rayos.

Las fallas de apantallamiento ocurren cuando el cable de guarda no protege los conductores de fase contra las descargas atmosféricas (debido principalmente a diseño incorrecto del ángulo de apantallamiento), pudiendo incidir rayos en dichos conductores con suficiente corriente como para ocasionar una falla.

La tasa de salida por fallas de apantallamiento ( $T_{salFA}$ ) puede ser calculado por medio de la ecuación.

$$T_{salFA} = N_{desc} * [P(I_{min}) - P(I_{max})] \quad \text{fallas/100km - año}$$

P (I): es la probabilidad de que la corriente I sea excedida. Esta distribución probabilística ha sido estudiada por diversos autores, de las cuales la más reciente y de uso recomendado por el EPRI e IEEE, es la desarrollada por Anderson y Eriksson, la cual tiene validez hasta una corriente de 200 kA.

$$P(I) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{I}{31} \right]^{2,6}}$$

FIG. 15 PROBABILIDAD DE CORRIENTE EXCEDIDA

Ndesc: Número de descargas sobre la zona no protegida de la línea.

$$N_{desc} = \left[ \frac{0,04 * T^{1,25} * 10^{-1} * X_s}{2} \right] \text{descargas/100 km-año}$$

FIG. 16 N° DE DESCARGAS EN LA ZONA.

T: Nivel cerámico de la zona por donde atraviesa la línea. [Días de tormenta/año].

Xs: Ancho de la zona desprotegida [m].

### 2.15.1 Tasa de salida por descargas retroactivas (Back Flash Over).

La descarga retroactiva (Back Flash Over) se produce cuando se excede la rigidez dieléctrica de la cadena de aisladores debido a la elevación del potencial de la torre o estructura de soporte respecto al conductor de fase; lo cual ocurre cuando un rayo incide sobre el conductor de guarda o directamente sobre la torre [17]. Al igual que para el caso de fallas de apantallamiento, la verificación del aislamiento se realiza considerando las salidas de servicio de la línea debido a este fenómeno (cálculo de la tasa de salida). En esta parte del trabajo no son considerados los efectos producidos por la reflexión de la onda viajera en

las estructuras de soporte subsiguientes, ni en la impedancia de puesta a tierra. La diferencia de potencial a la cual será sometida la cadena de aisladores ante la ocurrencia de una descarga en el cable de guarda o estructura de soporte

### 2.15.2 Tasa de salida en circuitos sin cables de guarda.

En circuitos sin cables de guarda el impacto de un rayo será sobre los conductores del sistema, por lo cual la tasa de salida se calcula de acuerdo a la expresión.

$$T_{sal_{SCG}} = \frac{N_g * Long * W_{SCG} * P(I_{min})}{100} \quad (\text{fallas/año})$$

FIG. 17 TASA DE SALIDAS.

Dónde:

**$N_g$** : Densidad de descargas a tierra, calculada de acuerdo a la ecuación.

**$P(I_{min})$** : Probabilidad de que sea excedida la corriente mínima del rayo que puede causar la ruptura del aislamiento.

**$W_{SCG}$** : Ventana de atracción transversal para circuitos sin cables de guarda (sin considerar el posible apantallamiento por objetos cercanos a la línea). Considerándose ahora el parámetro  $b$ , como la distancia horizontal en [m] entre los conductores más elevados.

## 2.16 Protección con Interruptores.

### 2.16.1 Protección De Redes Subtransmision.

Para un funcionamiento adecuado del sistema eléctrico, es necesario un diseño adecuado de los esquemas de protección empleadas en las redes de distribución, para lo cual es necesario conocer todos los parámetros de la misma, tales como: Niveles de corrientes de cortocircuito, equipos conectados, las impedancias de los alimentadores, distribuidores y transformadores.



Los principales dispositivos y equipos de protección más empleados en redes de distribución, son:

- Interruptores de potencia.
- Relés.
- Reconectores (Restauradores).
- Seccionalizadores.
- Fusibles y seccionador-fusible.
- Descargadores (Apartarrayos y Pararrayos).

### **2.17 Interruptores De Potencia.**

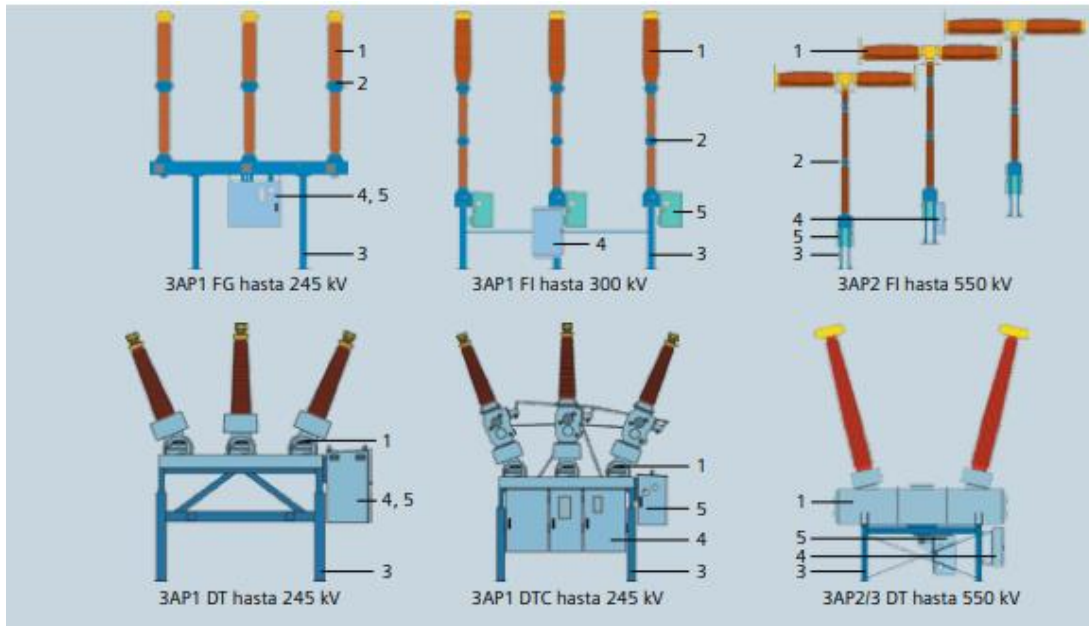
El interruptor de potencia, es un dispositivo de apertura o cierre mecánico, capaz de soportar tanto la corriente de operación normal como altas corrientes durante un tiempo específico, debidas a fallas en el sistema los interruptores pueden cerrar o abrir en forma manual o automático por medio de relés.

Las partes principales de un interruptor, son:

- Cámara de interrupción.
- Contactos: fijo y móvil.
- Medio de interrupción.
- Accionamiento.

La interrupción del arco se realiza en un medio, como ser:

- Aceite.
- Vacío.
- Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).
- Soplo de aire.
- Soplo de aire – magnético.



**FIG. 18 INTERRUPTORES DE POTENCIA.**

Los interruptores tienen un mecanismo de almacenamiento de energía, que le permite cerrar hasta cinco veces, antes de que la energía sea interrumpida totalmente, estos mecanismos tienen un accionamiento:

- Neumático (aire comprimido).
- Hidráulico (nitrógeno comprimido).
- Neumático - hidráulico (combinación).
- Mecanismo de resorte.

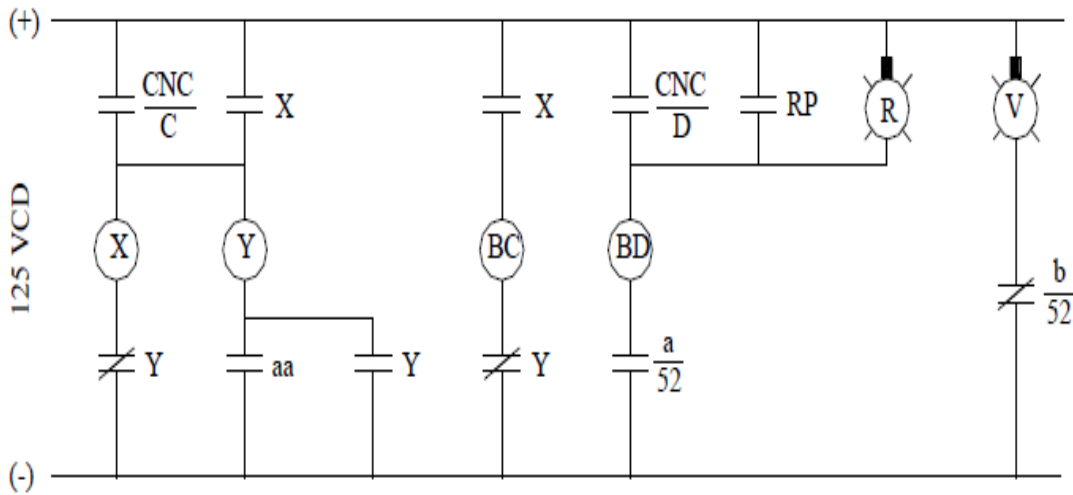


FIG. 19 ESQUEMA DE CONEXION DE INTERRUPTOR.

### Para cerrar el interruptor:

En las subestaciones de un sistema de potencia se tienen tableros de control, estos tableros disponen de un conmutador de control, si se acciona este conmutador a la posición de cierre, se cerrará el contacto CNC/C (cierre) energizándose el relevador auxiliar de cierre X y cerrando sus dos contactos respectivos en las siguientes dos ramas del circuito (los contactos X), quedando enclavado por el relevador de la segunda rama (de izq. a der.). El segundo contacto auxiliar X energiza la bobina de cierre BC, al terminar el ciclo de cierre (se cerraron los contactos “a” del interruptor de potencia, quedó cerrado el interruptor). El contacto auxiliar de fin de carrera del interruptor cierra solo por un instante y vuelve a abrir, este instante es suficiente para energizar la bobina del relevador auxiliar Y quedando enclavado cuando cierra su contacto Y normalmente abierto.

### Para abrir el interruptor:

En el tablero de control se acciona el conmutador de control hacia la posición de disparo, en ese momento se cierra el contacto CNC/D con el cual se energiza la bobina de disparo BD ya que el contacto auxiliar a/52 se encontraba cerrado. Para lograr la apertura del interruptor también se hace por medio del contacto del relevador de protección RP el cual cerrará en el momento en que se produzca una falla, ya que al cerrar su contacto también se

energiza la bobina de disparo BD. Cuando se abre el interruptor de potencia se cierra el contacto auxiliar b/52 con lo cual se enciende la lámpara verde que indica que el interruptor está abierto, simultáneamente se abre el contacto auxiliar a/52 con lo que se desenergiza la bobina de disparo y se apaga la lámpara roja.

### **2.17.1 Relés (Relevadores). (Este esquema es el usado para líneas de 115KV)**

Los relés son dispositivos, por medio de los cuales un equipo eléctrico es operado cuando se producen variaciones en las condiciones en el equipo o circuito en que están conectados o en otro equipo o circuito asociado. Es el elemento sensor. Es el que detecta la falla y envía señal de disparo al interruptor. Se alimenta a través de los T. C. y/o T. P.

En las redes de distribución se utilizan básicamente protecciones de sobrecorriente con relevadores instantáneos y con retardo, ya sea de tiempo inverso o de tiempo definido (NOM. ANSI 50 / 51 para las fallas entre fases y 51N para las fallas a tierra). Los relevadores de tiempo inverso son relevadores de tipo de inducción electromagnética, cuyo tiempo de disparo depende del valor de la corriente que hace operar al relevador.

Los relevadores instantáneos normalmente son de atracción magnética, al igual que los de tiempo definido; sin embargo, en estos últimos se tiene un relevador de tiempo que retarda el disparo según se requiera. Actualmente se usan relevadores estáticos, que pueden tener características similares a los de tiempo definido, y de tiempo inverso, aunque sus curvas generalmente son en mayor número y sus tiempos de disparo de mayor precisión. Los relevadores estáticos generalmente incluyen también funciones de medición, con lo que se reducen los equipos en los tableros.

Los relevadores estáticos están finalmente desplazando a los relevadores electromecánicos tanto en los sistemas de distribución como en los de potencia. Los relevadores de tiempo inverso están basados en el principio de operación de inducción magnética. En ellos se tiene un disco en el que dos flujos desfasados inducen corrientes con las que interactúan y dan lugar a un momento de giro, el disco gira en función del valor de la corriente, por lo cual el tiempo de operación del relevador es variable.

La corriente de disparo de los relevadores de inducción se modifica cambiando el número de espiras de la bobina por medio del tap y el retardo por medio del dial. Incrementar el dial significa hacer que el disco tenga que describir un ángulo de giro mayor para poder cerrar los contactos. El ajuste del tap es discreto, tiene valores en amperes que van desde unos 2 amperes hasta unos 16 para los relevadores 51 y hasta unos 180 A para los relevadores instantáneos (ANSÍ 50). El valor del dial es de ajuste continuo.

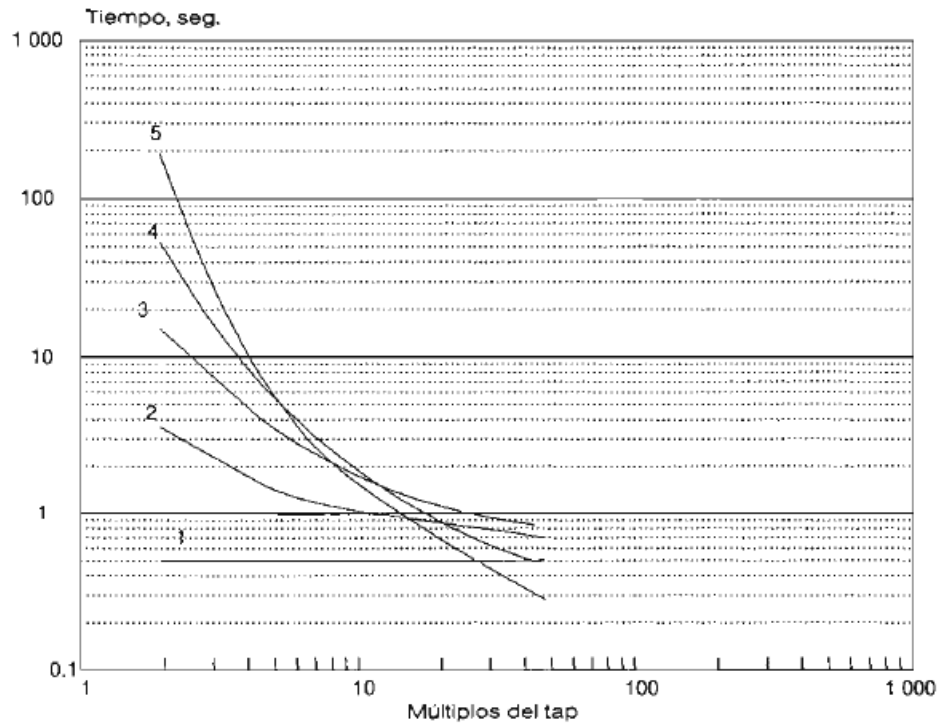


FIG. 20 CURVAS DE PROTECCION DEL RELEVADOR.

### 2.18 Relevadores auxiliares.

Los relevadores auxiliares son utilizados en esquemas de protección cuando un dispositivo de protección no puede por sí mismo alcanzar todas las funciones requeridas para una protección satisfactoria. Este tipo de relevador es ofrecido con amplios rangos de características en bobinas, arreglos de contactos y funciones de disparo, cada una adecuada para una aplicación particular, algunas de las aplicaciones más comunes de los relevadores auxiliares son:

1. Bloqueo de interruptores.

2. Abanderamiento o indicación de operación.
3. Multiplicación de contactos
4. Temporización.
5. Supervisión de circuitos y alarmas.

### **2.18.1 Relevadores de sobrecorriente.**

Es el elemento más propenso a fallas en una red eléctrica de transmisión, por estar expuesto por su longitud a las condiciones climatológicas y ambientales. El 95% de las fallas ocurren de una fase a tierra, ya sea, por descargas atmosféricas o por problemas de aislamiento, contaminación, animales, etc. La impedancia de una línea de transmisión con determinadas características y configuración de los conductores, es proporcional a la longitud. La protección de las líneas de transmisión puede efectuarse con relevadores de sobrecorriente a continuación se describe este tipo de relevador.

Dependiendo de los requisitos que se deberán de cumplir, las líneas de transmisión se protegen con equipo de protección de sobrecorriente, de distancia o de hilo piloto. La protección de sobrecorriente es la más sencilla y la más barata, pero también la más difícil de aplicar y la que más rápido necesita de un reajuste o de un reemplazo a medida que cambia el sistema.

Por lo general, se utiliza en los circuitos de servicio propio de la estación y en los circuitos de distribución de servicio eléctrico y en sistemas industriales, en algunas líneas de transmisión para:

1. Protección contra la falla de fase.
2. Protección contra fallas a tierra.

También se utiliza para la protección primaria de falla a tierra en las líneas de transmisión donde se emplea la protección de distancia para fallas de fase, y para la protección de respaldo de tierra en las líneas de transmisión que emplean protección por hilo piloto.

Además se utiliza en localidades de transformadores de potencia para la protección de respaldo contra falla externa. Además de que estos relevadores son para protección de fase y de tierra, se utilizan también de la siguiente manera:

1. Relevadores de sobrecorriente no direccionales.

1.1 De sobrecorriente con unidad de tiempo (51)

1.1.1 51 - 52 Característica de tiempo inverso.

1.1.2 53-54 Característica de tiempo muy inverso.

1.1.3 77 -78 Característica de tiempo extremadamente inverso.

1.2 De sobrecorriente direccional de tiempo (67)

1.2.1 Característica de tiempo inverso.

1.2.2 Característica de tiempo muy inverso.

1.2.3 Característica de tiempo extremadamente inverso.

Relevador de sobrecorriente direccional instantáneo. Cuando se trata de un relevador de sobrecorriente de tiempo, pero que sea de tierra, se le agrega la letra "N" a la nomenclatura (51N). En la práctica se utilizan generalmente conjuntos de dos o tres relevadores de sobrecorriente para la protección contra fallas entre fases y un relevador de sobrecorriente separado para fallas monofásicas a tierra. Generalmente se prefieren los relevadores de tierra separados porque pueden ajustarse para proporcionar protección más rápida y más sensible en fallas monofásicas a tierra que la que puedan proporcionar los relevadores de fase.

Selección de la característica de tiempo.

Cuando menor es el cambio en la magnitud de la corriente de cortocircuito con cambios en la capacidad de generación conectada para una falla en un punto dado, mayor será el beneficio que puede obtenerse de la mayor inversidad. En la protección de circuitos de distribución de servicio eléctrico, puede aprovecharse la máxima ventaja de la característica de tiempo inverso, debido a que la magnitud de la corriente de falla depende la mayoría de las veces de la localización de ésta, y se mantiene prácticamente sin ser afectada por

cambios en la generación o en el sistema de transmisión de alta tensión. Además estos relevadores proporcionan la mejor selectividad con fusibles y restauradores.

En resumen, se puede decir lo siguiente con respecto a la aplicación de la característica de tiempo:

Característica de tiempo inverso.

Se utiliza generalmente, con los mejores resultados, cuando la magnitud de la corriente de cortocircuito al ocurrir la falla depende en gran parte de la capacidad de generación del sistema.

Característica de tiempo muy inverso.

Se utiliza más adecuadamente en sistemas donde la magnitud de la corriente de cortocircuito depende principalmente de la posición relativa respecto al punto donde se ha producido la falla y muy poco o casi nada de las características de generación del sistema.

3. Característica de tiempo extremadamente inverso.

Son excelentes para aplicaciones en las que se necesite suficiente retardo para permitir a un circuito de cerrar una suma de cargas que han estado desconectadas sin disparos innecesarios durante el cierre y al mismo tiempo coordinar adecuadamente con fusibles.



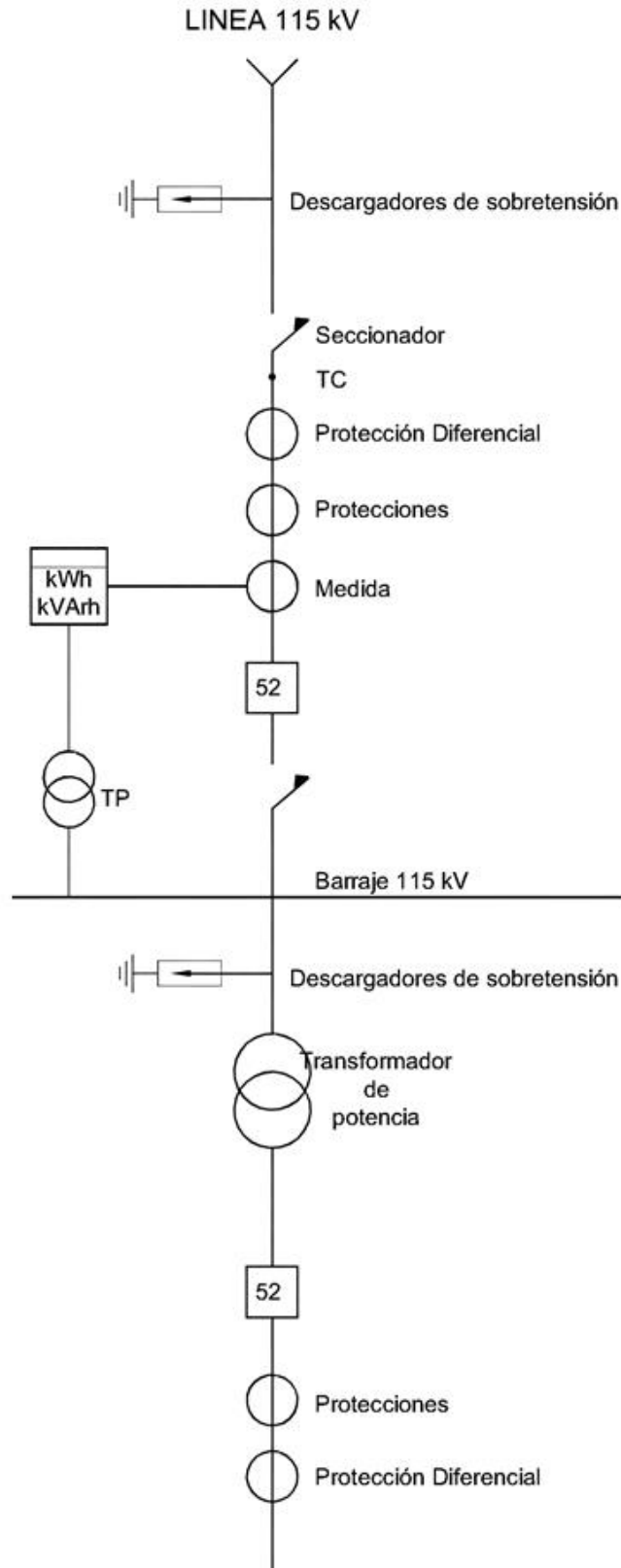
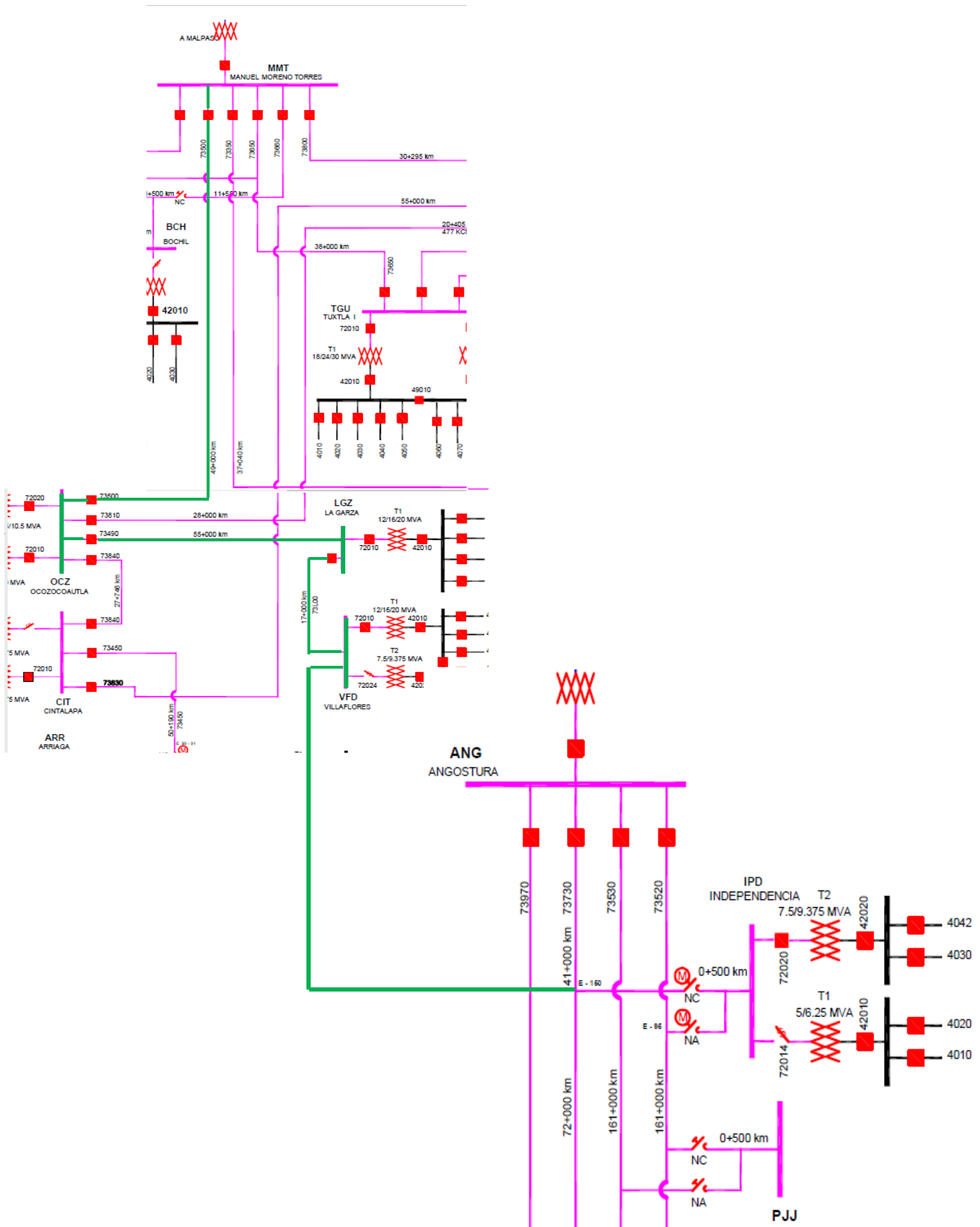


FIG. 21 ESQUEMA DE PROTECCION.

### 3. Desarrollo.



En este nuevo diseño se pretende resguardar al circuito la LST IPD-VFD. De manera que se mantenga la continuidad del servicio, todo el sistema de protecciones con apartarrayos e hilo de guarda bajo las normativas y especificaciones de la CFE de manera que sea eficiente para el drenaje de fallas de cortocircuito y sobrevoltajes ocasionados por descargas atmosféricas en esta zona. Las principales desventajas al presentarse una falla franca o transitoria, los tiempos de desconexión a los usuarios de la subestación VFD ocasiona pérdidas en consumo de potencia, los datos que determinan las fallas en este tramo, se pueden verificar en los sistemas SIMOCE (Sistema de Monitoreo y Control de Energía) y SIAD (Sistema Integral de Administración Distribución) donde se hacen los registros de fallas y continuidad de energía y la conclusión para erradicar situaciones de las fallas en este tramo es construyendo el tramo con un diseño de la conexión en anillo para subestación Villaflores para el mejoramiento de la continuidad del servicio y minimizar los tiempos de desconexión. Diseñando un nuevo circuito de la subestación Independencia de las LST IPD-73530-VFD que tiene 48.8 kms. Aproximados tomando la conexión de la subestación de Independencia hacia la subestación Villaflores (VFD).

Al implementar este diseño se asegura la continuidad del suministro de energía disminuyendo perdidas económicas a la empresa suministradora de energía, en caso de contingencia se respalda con la conexión con la subestación IPD para realizar las maniobras o mantenimientos por fallas ocasionas en la LST LGZ-VFD. Si tener que desconectar a los usuarios o afectar a terceros por mantenimiento o restablecimiento de la continuidad.

El tramo donde se hace el diseño, se encuentra en mayor parte zonas bajas lo que hace mayor eficiente el ordenamiento de las estructuras, la supervisión de la LST cuando se presente alguna contingencia, el poder maniobrar e incorporar a los trabajadores al área para trabajos de rutina y/o mantenimiento.

Las descargas atmosféricas son variables en este tramo, dependiendo de la época de lluvia, los meses con más incidencias atmosféricas son el mes de mayo a octubre en el estado de Chiapas. De acuerdo a datos estadísticos y a los kilómetros del tramo en el proyecto, se pretende construir torres de TAS 1C-CC (TORRE AUTOSOPORTABLE DE SUSPENSION) TAR (TORRE AUTOSOPORTABLE DE REMATE) TAR 1C-CC, de 115

KV, a 350 metros, de distancia del cual las descargas son aproximadamente 6 descargas por kilómetros.

### **3.1 Historia de las subestaciones a interconectarse.**

#### **3.1.1 Historia de la subestación Villaflores.**

En el área distribución villa flores tenemos una subestación tipo urbana, con capacidad de: 12/16/20 MVA T1 7.5/9.375 MVA. Con fecha de entrada en operación en 1983.

- Nivel ceraunico: 40
- Capacidad de transmisión: 105 MVA.
- Amp. Por línea 600 Amp.
- Tipo de topografía de terreno donde pasa la línea: plano con áreas de cultivo.
- Demanda máxima del T1 subestaciones Villaflores. 9.995 MW. 2017
- Su máxima histórica: 11.36 MW. 2016
- Demanda máxima: T2 subestaciones Villaflores: 5.76 MW.



**FIG. 22 SUBESTACION VILLAFLORES.**

### 3.1.2 historia de la subestación Independencia.

En el área distribución independencia tenemos una subestación tipo rural, con capacidad 12/16/20 MVA T1 IPD.

Con fecha de entrada de operación en 1983.

Nivel ceraunico: 40

Capacidad de transmisión: 105 MVA.

Amp. Por línea: 600 Amp.

Tipo de topografía de terreno donde pasa la línea: plano con áreas de cultivo.



FIG. 23 SUBSTACION INDEPENDENCIA.

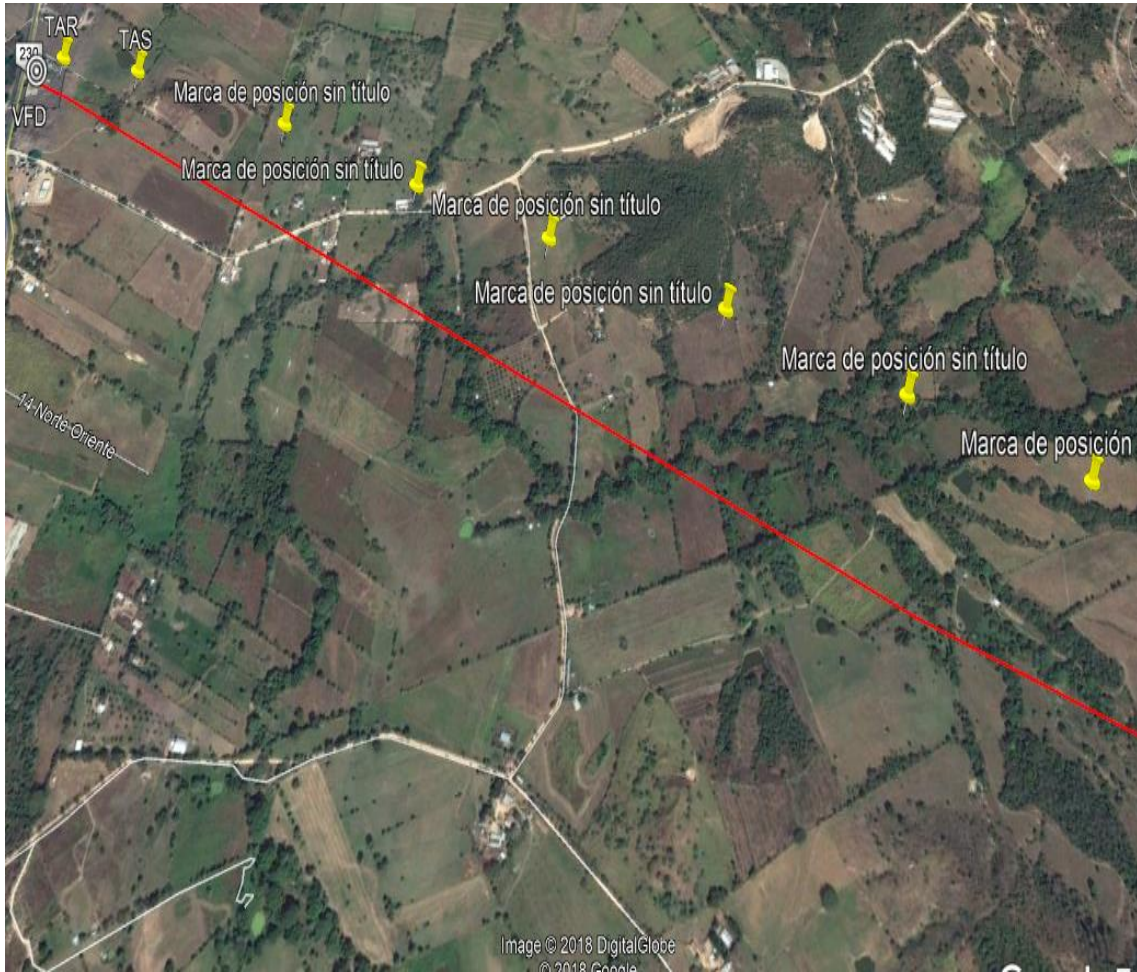
### **3.2 Reconocimiento visual del lugar a trazar.**

En base a la definición del trazado de la LST, se efectúa un reconocimiento recorriendo la zona que comprende el estudio. Este recorrido normalmente se hace en forma terrestre, Sin embargo, de acuerdo a análisis del proyecto y a las dificultades de acceso terrestre, éste puede incluir un recorrido aéreo, principalmente en helicóptero. El objetivo es confirmar los puntos singulares encontrados en los antecedentes, definir en terreno la posición aproximada de algunos de los vértices (siempre en terreno es posible ver las ventajas y desventajas de alguna zona del trazado, lo cual no siempre entregan los antecedentes y en general tomar conocimiento de las características de la morfología por donde pasará posteriormente la línea de transmisión.

A sí mismo, en esta visita o en una posterior, se pueden estimar las dificultades para la construcción de la línea, evaluar las posibilidades de acceso a algunos puntos singulares del trazado, también reconocer algunos tipos de suelo en forma básica, y en general para formarse una idea del tipo de terreno en que se estaría remplazando el proyecto de línea de alta tensión, por ejemplo, en zonas con alta densidad de vegetaciones (Bosques nativos o de explotación) o zonas con dificultades topográficas y de grandes desniveles de altura.

En esta etapa también es necesaria la participación del personal profesional que evaluará los aspectos ambientales del proyecto del trazado de una línea de transmisión, en donde participan botánicos, arqueólogos, paisajistas, ingenieros forestales, entre otros, quienes levantarán la información base para la presentación de los estudios ambientales ante la autoridad, ya sea a través de una “Declaración de Impacto Ambiental” o la presentación de un “Estudio de Impacto Ambiental”.

El reconocimiento en terreno de estos aspectos ambientales muchas veces define la forma que toma del trazado preliminar de una línea de transmisión.



**FIG. 24 LLEGADA DEL TRAZO A LA SUBESTACION VILLAFLORES.**

### 3.2.1 Trazado definitivo

En esta etapa, teniendo como base el trazado preliminar y con la participación de personal de Topografía, se materializan en terreno, mediante estacas o construcción de monolitos, los vértices definitivos de la línea. Se debe tener presente, que se requerirá la autorización de los propietarios de los predios a atravesar para tener acceso a los lugares que se elegirán para posicionar los vértices, para posteriormente realizar el estudio topográfico completo con el objeto de determinar el perfil longitudinal y planimetría de la franja de servidumbre.

Cuando se vea que es imposible obtener permisos de acceso con los propietarios prediales para la colocación de vértices, el proyectista de la línea deberá considerar la utilización de levantamientos topográficos con tecnología GOOGLE EARTH, que proporciona la ventaja

de levantar la topografía del trazado con gran precisión, en poco tiempo, sin necesidad de tener permisos de acceso (terrestres), pero muchas veces a un costo mayor que para un levantamiento con topografía tradicional, sobre todo cuando los Trazados de líneas son de longitudes menores a 10 km.

Esta etapa no necesariamente significa la finalización del estudio del trazado, en efecto, muchas veces ocurre que por situaciones legales o de negociación complicada con algunos propietarios no es posible trazar la línea, y por lo tanto el mandante de la línea de transmisión está obligado a estudiar otras alternativas o variantes para salvar estos aspectos. Aquí cobra mucha importancia la incorporación de tecnología GOOGLE EARTH, ya que de haber problemas con propietarios, se puede levantar topográficamente el trazado con esta tecnología con las ventajas de flexibilizar el estudio de variantes.

El trazado definitivo generalmente se entrega dibujado a escala en uno o varios planos de planta, indicando el propietario de la línea, la lista de coordenadas (casi siempre UTM), el dibujo del trazado con sus vértices y la firma de los responsables del estudio. Asimismo, como resultado del estudio topográfico se obtiene el levantamiento del perfil longitudinal que será fundamental para proyectar las posiciones de las estructuras de la línea.

### **3.2.2 Ubicación De Las Estructuras Tipo TAS Y TAR.**

En el diseño de líneas de transmisión mayores a 115 kV se deben considerar cada uno de los elementos que componen la línea y su relación mecánica, eléctrica y física.

Los conductores son los encargados de transmitir la energía eléctrica, su capacidad de transmisión depende de los materiales involucrados en su fabricación.

Otro factor importante son los hilos de guarda que se encuentran encargados del blindaje, los cuales proporcionan una trayectoria física que drena, hacia el sistema de puesta a tierra la corriente eléctrica de las descargas atmosféricas que inciden en las estructuras o en los propios conductores.

De acuerdo a su función las estructuras son divididas en los siguientes tipos:



**Suspensión:** Estructuras cuya característica es soportar las cargas verticales y la presión del viento, actuando perpendicularmente con respecto a la dirección de la trayectoria de la línea.

**Remate:** Estructuras que soportan permanentemente de un solo lado el jalado de todos los conductores.

Se pretende hacer el diseño de la conexión en anillo para subestación Villaflores para el mejoramiento de la continuidad del servicio abriendo un nuevo circuito de la subestación Independencia de las LSTIPD-73530VFD-73L00 que tiene 48.8 km. Aproximados tomando la conexión de la subestación de Independencia y dirigirse hacia la subestación de Villa flores.

### **3.3 Nivel Cerámico.**

El nivel cerámico está definido como el número de días del año en los cuales se escucha, por lo menos, un trueno en el lugar de observación.

Los niveles cerámicos se suelen llevar a mapas isocerámicos, es decir, a mapas con curvas de igual nivel cerámico.

La comparación del mapa isocerámico de Colombia con el de Europa y aún el de EE.UU. Muestra la magnitud que este problema tiene para nosotros.

### **3.4. Sobretensiones Por Rayos.**

Sobretensiones producidas por las descargas eléctricas Los sistemas eléctricos están sometidos esporádicamente a varios tipos de fenómenos transitorios, envolviendo variaciones repentinas de tensión y corriente provocadas por descargas electro atmosféricas, faltas en el sistema o por la operación de interruptores y llaves seccionadoras.

Los estudios de las sobretensiones en los sistemas eléctricos han adquirido una mayor importancia en los últimos años en la medida que se han elevado los niveles de tensión de los sistemas y por la necesidad de sistemas cada vez más confiables y económicos. Una sobretensión puede ser descrita como cualquier tensión entre fase y tierra, o entre fases, cuyo valor de pico excede el valor de pico deducido de la tensión máxima.

La tensión máxima de un sistema, se define como la máxima tensión de línea eficaz que pueda ser mantenida en condiciones normales de operación, en cualquier punto del sistema. La determinación de las sobretensiones que pueden ocurrir en un sistema eléctrico es de fundamental importancia ya que provee subsidios para la coordinación del aislamiento de redes de distribución, líneas de transmisión y subestaciones, así como para la especificación de los equipamientos.

Las sobretensiones debido a descargas electroatmosféricas que inciden directamente en los conductores de fase de líneas aéreas, en los cables, pararrayos o en las estructuras de líneas de transmisión o por descargas a tierra o en estructuras próximas a la línea considerada producen sobretensiones de frente rápida. Las sobretensiones de frente rápida se caracterizan como sobretensiones entre fase-tierra o entre fases, en un cierto punto del sistema, debido a una descarga electroatmosféricas, cuya forma de onda presente tiempos hasta el pico con duraciones entre  $0,1 \mu\text{s}$  hasta  $20 \mu\text{s}$  y tiempos hasta el medio valor (tiempos de cola) de  $300 \mu\text{s}$ . Esas sobretensiones en general son fuertemente amortiguadas.

### **3.5 Efectos De Las Descargas Eléctricas.**

La corriente de rayo es una corriente eléctrica de alta frecuencia, del orden de 1 MHz. Además de los efectos de inducción y de sobretensiones importantes, provoca los mismos efectos que toda corriente de alta frecuencia cuando circula por un conductor.

- **Efectos térmicos.**

Fusión en los puntos de impacto del rayo y efecto Joule debido a la circulación de corriente, pudiendo provocar incendios.

- **Efectos electrodinámicos.**

Las corrientes de rayo circulan por los conductores paralelos creando unas fuerzas de atracción o repulsión entre los cables y provocando roturas o deformaciones mecánicas (cables aplastados).

- **Efectos de deflagración.**

El canal de rayo provoca una dilatación del aire y una compresión hasta unos 10 m de distancia.

Un efecto de onda de choque rompe los vidrios y tabiques, y puede proyectar a personas o animales a algunos metros de distancia. Esta onda se transforma al mismo tiempo en onda sonora: trueno.

- **Las sobretensiones conducidas.**

Por un impacto sobre las líneas aéreas de alimentación eléctrica, telefónica o de datos.

- **Las sobretensiones inducidas.**

Por el efecto de la radiación electromagnética del canal de rayo.

- **La elevación de potencial de la tierra.**

Debida a la corriente de rayo en el suelo. Las líneas aéreas, los cables suspendidos y los enterrados, pueden resultar dañados directamente por los rayos o recibir una influencia eléctrica de mayor o menor grado de las descargas atmosféricas próximas. Se distinguen tres tipos de sobretensiones atmosféricas en función de la caída del rayo

- **Sobretensiones transitorias conducidas.**

La caída de un rayo directo sobre una línea de distribución de energía o de comunicaciones (línea telefónica) crea una onda de corriente que se propaga por ambas partes del punto de impacto. Esta sobretensión, que puede propagarse varios kilómetros, acabará llegando a los

equipos del usuario y derivándose a tierra por medio de estos equipos, a los que producirá averías o su destrucción.

- **Sobretensiones transitorias inducidas.**

La caída de un rayo sobre un poste, árbol o irregularidad en el terreno será equivalente a una antena de gran longitud que emiten campo electromagnético muy elevado (La radiación emitida tan importante como el frente creciente de corriente radiado, de 50 a 100 kA/ $\mu$ s) induce corrientes transitorias en las líneas eléctricas o telefónicas, transmitiéndolas al interior de la instalación y provocando averías o la destrucción de los equipos conectados.

### 3.5.1 Tipos De Impactos Por Descargas Atmosféricas.

Tipos de Impacto que pueden presentar una Descarga Atmosférica Las descargas atmosféricas se clasifican según el sitio donde inciden:

- IMPACTO A TIERRA
- Las descargas que pudieran caer en las cercanías de las líneas sin que sean atraídos ni por el conductor de guarda ni por los conductores de fase, es decir, caer directamente en la tierra. Aun cuando la descarga logre impactar en la tierra puede ocasionar sobretensión en la línea.
- IMPACTO A CONDUCTOR DE GUARDA Y/O ESTRUCTURAS (POSTES O TORRES)
- Cuando la descarga impacta al conductor de guarda o a las estructuras, se dice que los conductores de fase están perfectamente apantallados. Sin embargo, no es extraño que ocurran fallas debido a las descargas retroactivas que pudieran superar al CFO (CriticalFlashover) de los aisladores y en algún momento ocasionar una falla de la línea a tierra y por consecuencia una interrupción del servicio eléctrico.
- IMPACTO A CONDUCTOR DE FASE
- Se da el caso en el que el conductor se encuentra desprotegido, es decir que no se encuentra bajo el apantallamiento del conductor de guarda. En estos casos la

descarga puede impactar directamente sobre el conductor y existe casi un 100% de probabilidad de que ocasione la salida de la línea en cuestión.

### TIEMPO DE FRENTE

- El valor de la tensión inducida depende del tiempo de frente que presente la descarga de retorno, es por ello que la combinación de esta característica junto con la magnitud de la descarga los convierte en factores determinantes para la variación de la Tensión Inducida. Para una magnitud de descarga dada, se observa que a menor tiempo de frente mayor es el valor de la Tensión Inducida y viceversa.

### ANGULO DE INCIDENCIA

- Como bien se sabe generalmente las descargas atmosféricas inciden con cierto ángulo. Este ángulo de incidencia trae efectos directos sobre los valores de tensión inducida, sin embargo para el desarrollo de este trabajo se asume que las descargas inciden a tierra con un ángulo de 90 grados.

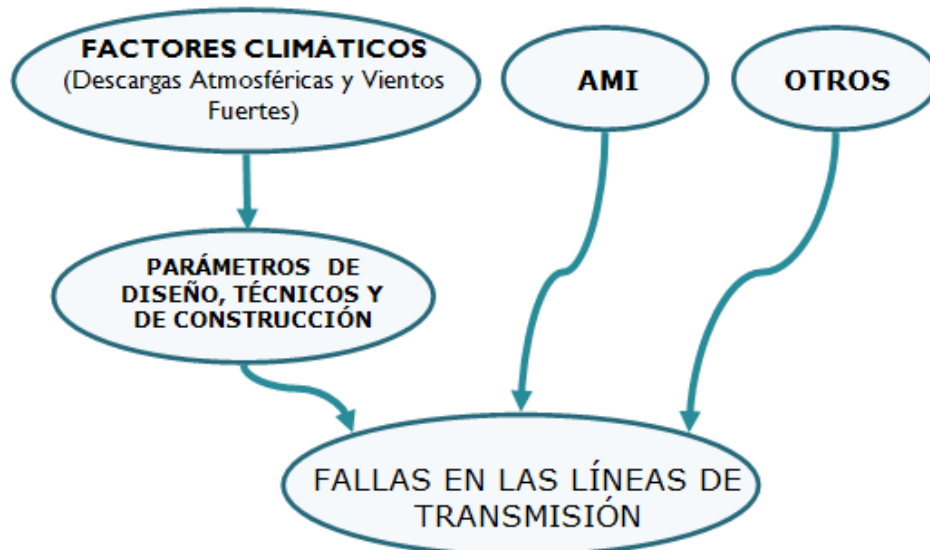


FIG. 25 AFECTACIONES EN LAS LINEAS DE TRANSMISION

Las descargas atmosféricas que inciden en los cables de guarda y en las torres, tienen la tendencia de caer en las proximidades de éstas, porque se constituyen en los puntos más elevados de las líneas de transmisión. Dependiendo del tipo de torre y de su masa metálica pueden llegar a caer hasta el 60% de los rayos en las proximidades de la torre.

### 3.6 Protecciones con apartarrayos tipo Alea para línea de subtransmisión de 115 kv.

#### 3.6.1 Operación de apartarrayos tipo Alea.

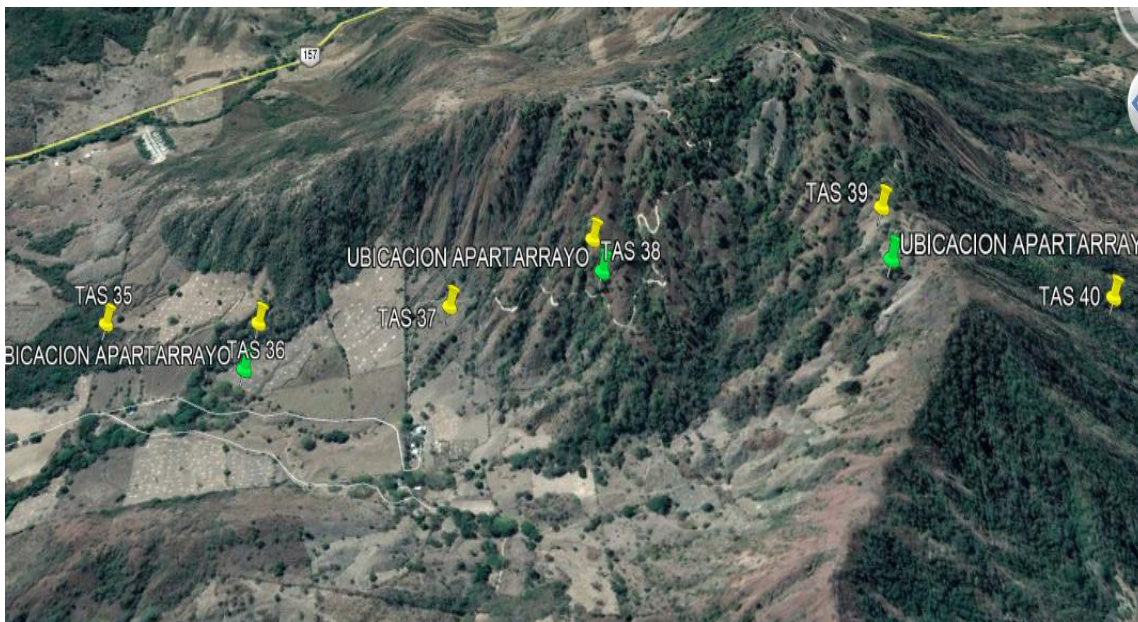


FIG. 26 UBICACION DE LOS APARTARRAYOS.

En los puntos verdes se señalan los apartarrayos que irán montados sobre las estructuras de la LST IPD-VFD con la manera de contrarrestar los sobre voltajes por las sobretensiones originadas por las descargas atmosféricas con el uso eficiente de apartarrayos de línea.

El Apartarrayo de Línea con Entrehierro en Aire (ALEA) es un equipo diseñado para proteger los sistemas de Subtransmisión (69-138 kV) contra Descargas Atmosféricas. El equipo no está permanentemente conectado al sistema, por lo que solo opera cuando existen sobrevoltajes. Por el tipo de diseño, el ALEA elimina muchos de los problemas registrados en los apartarrayos convencionales y con varias ventajas tales como presentar una

impedancia alta a voltaje nominal para minimizar las pérdidas y una impedancia baja durante transitorios (sobrevoltajes), incrementando además la confiabilidad de los sistemas y apoyando en la reducción del Tiempo de Interrupción al Usuario (TIU) y sin agregar un punto de falla al sistema. Los apartarrays protectolite, su característica es 100% sintético y no es muy resistente a las inclemencias del lugar de instalación, debido a que estos equipos no cumplen con los procedimientos de seguridad de las estructuras y sobre todo para fallas en las estructuras por flameo del aislamiento por descargas atmosféricas de la red de Subtransmision de 115 KV.

La diferencia del Apartarrayo (ALEA) de Línea con Entrehierro en Aire (ALEA) su fabricación cuyos elementos resistivos no lineales son varistores de óxido de zinc encapsulados en Concreto Polimérico y confinado en una envolvente de Hule Silicón. Cumple con la NRF-045 (ALEA 230 y 400), IEC 60099-8 e IEC 60099-4. Permite evitar el flameo del aislamiento por descargas directas o inducidas y por su diseño se reduce la probabilidad de flameo en fases adyacentes de la misma estructura (protegidas también con ALEA) o el regreso del sobrevoltaje (generación del flameo inverso) desde la propia estructura a otras fases, como podría suceder con los del tipo permanente, debido a que los Sistemas de Transmisión están expuestos a niveles altos de Isodensidad e incluso a una combinación con la capacidad de corriente de corto circuito, estos equipos garantizan la operatividad continua de la red de Subtransmision.



**FIG. 27 MONTURA DEL APARTARRAYO TIPO ALEA EN LST IPD-VFD**

El Apartarrayo de Línea con Entrehierro en Aire (ALEA) permite evitar el flameo del aislamiento por descargas directas o inducidas y por su diseño se reduce la probabilidad de flameo en fases adyacentes de la misma estructura (protegidas también con ALEA) o el regreso del sobrevoltaje (generación del flameo inverso) desde la propia estructura a otras fases, como podría suceder con los del tipo permanente. Debido a la diferencia de niveles de Isodensidad a lo largo de la república mexicana y con el fin de eficientar los recursos disponibles de nuestros clientes, MAPPEC ofrece tres niveles de capacidad de corriente de descarga: Clase 1, Clase 2 y Clase 3 de acuerdo con la Esp. CFE 52000-66 y norma IEC 60099-8 e IEC 60099-4. Para el caso de ALEA 69-138 kV se utiliza el envoltorio de Hule Silicón tipo HTV con alta resistencia al tracking (plano inclinado y rueda de tracking).



### 3.6.2. Descripción del Apartarrayos de Subtransmision tipo ALEA para la línea de subtransmision IPD-VFD.

Descripción del Apartarrayos de Subtransmisión tipo ALEA									
	ALEA115 C1			ALEA115 C2			ALEA115 C3		
Altura nominal (mm)	550			615			771		
Diámetro nominal (mm)	147			162			215		
Tensión nominal (kV)	115			115			115		
Corriente nominal (kA)	10			10			10		
Capacidad de corriente en corto circuito (kA sim)	20			31.5			50		
Tensión residual a impulso (0.5) $I_{nom}$ , $I_{nom}$ , (2) $I_{nom}$ (kV)	113.4	181.8	266.4	123.9	176.4	283.5	208.0	226.4	255.0
Tensión critica flameo rayo (kV)	400			400			428		
Vibración resonancia (ciclos-Hz)	1x10 <sup>6</sup> -13,6			1x10 <sup>6</sup> -14,8			1x10 <sup>6</sup> -13,4		
Flameo en seco a 60 Hz (kV)	245			245			245		
Flameo en húmedo a 60 Hz (kV)	217			217			217		
Descargas parciales (pC)	<10			<10			<10		
Resistencia en cantiléver (kN)	0.5			2			4		
Propiedades del Envoltente									
Envoltente	Hule Silicón								
Resistencia a UV (horas)	>1000								
Tracking (plano inclinado)	6 kV@6hrs								
Rigidez dieléctrica (kV/mm)	>22								
Dureza (shore A)	60-70								

**FIG. 28 CARACTERISTICAS DEL APARTARRAYO TIPO ALEA**

En el diseño del sistema de protección de la línea se utilizaran los apartarrayos clase 2 el cual servirá de referencia a las características que se manifiestan en el tramo IPD-VFD, asegurando la protección a las sobretensiones y respaldando la vida de los aisladores, que se utilizan en las torres haciendo el ahorro y el mantenimiento por parte de la empresa suministradora actualmente CFE, y ayudando el respaldo de la continuidad.

La implementación de estos apartarrayos es necesario ya que cumple con las características normativas de seguridad y protección a si mismo que evitan la corrosión y daño en su interior por parte del medio ambiente y la diversidad de fauna que rodea la brecha en el camino del trayecto del tendido eléctrico de subtransmision.

### 3.7 Hilo De Guarda AG 516

#### 3.7.1 cables de guarda en torres TAS y TAR para la LST IPD-VFD.

El hilo de guarda que se implementara en la línea de 115 KV que partirá de la subestación IPD a la subestación Villaflores, son cables sin tensión que se colocan en la parte más alta en las redes de alta tensión, se conectan a la misma estructura metálica en cada torre y servirán para varios.

Uno es el generar un equipotencial de tierra en todo el trazado de la línea, rebajando al mínimo la resistencia de tierra ya que con el cable se unen todas las torres y por defecto toda la toma de tierra del trazado. Otro motivo es para intentar captar el rayo durante las tormentas y conducirlo a tierra cosa que no siempre sucede.

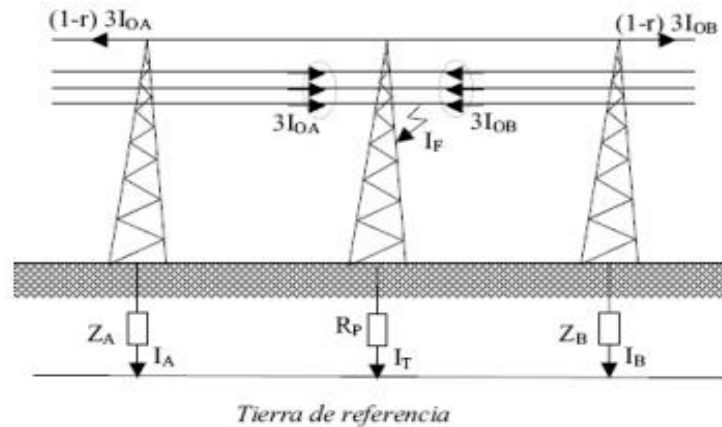


FIG. 29 HILO DE GUARDA EN LINEAS DE SUBTRANSMISION.

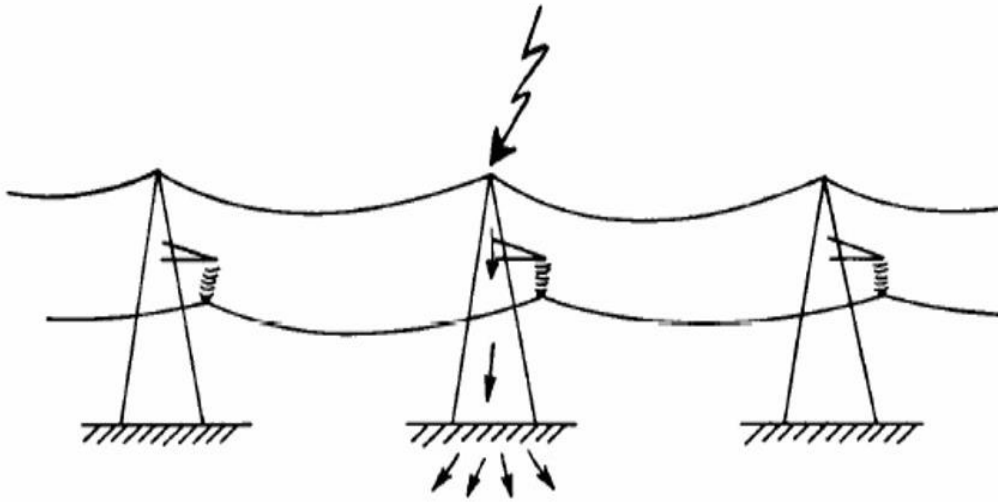
Por una parte lo primero es bueno para reducir el riesgo eléctrico a las personas que toquen una torre de alta tensión, y minimizar así las posibles tensiones de paso que pueden generarse. Por otra parte es perjudicial porque es sabido que esto facilita que el rayo encuentre un camino de resistencia baja en los puntos más altos, cuando el rayo impacta en la torre, aparecen en más o menos medida fugas de corriente de alta tensión por las estructuras, poniendo en riesgo a las personas que estén cerca de la torre en ese preciso instante.



**FIG. 30 DESCARGA ATMOSFERICA SOBRE HILO DE GUARDA.**

Otro motivo perjudicial a nivel de seguridad eléctrica y del propio transporte de energía es cuando un rayo impacta en el cable, éste sufre una degradación de material, es decir, la energía generada del rayo en el punto de contacto del cable, crea la fusión del material y pérdida de éste por un lado, y por otro, la modificación de su resistencia mecánica a través de las torres tipo TAR y TAS en la brecha de la línea.

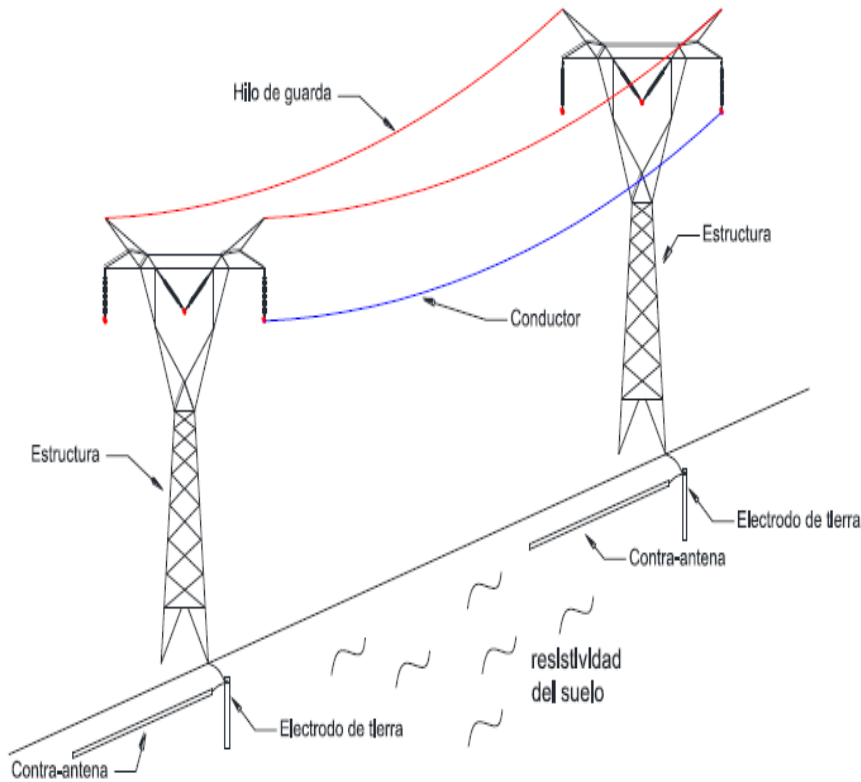
Una fase afectada por rayo, es un peligro inminente para el suministro eléctrico, ya que se puede partir y cortocircuitar los cables de tensión que están por debajo de él, creando más chispazos y fusión de los cables de tensión. El problema no es la desconexión del servicio, el problema es que seguramente este deterioro no se percibe en el momento de la reparación y el mantenimiento de las mismas líneas lo que provoca un gran inversión al no utilizar el hilo de guarda.



**FIG. 31 IMPACTO DE RAYO Y DREN DE SOBRECORRIENTE A TIERRA.**

En la imagen se observan como impactaría el rayo al no tener un hilo de guarda afectando a la estructuras y a los apartarrayos provocando una falla franca o transitoria. El cual dejaría sin suministro de energía a la subestación Villaflores.

Las sobretensiones producidas por las descargas eléctricas Los sistemas eléctricos están sometidos esporádicamente a varios tipos de fenómenos transitorios, envolviendo variaciones repentinas de tensión y corriente provocadas por descargas electro atmosféricas, faltas en el sistema o por la operación de interruptores y llaves seccionadoras. Los estudios de las sobretensiones en los sistemas eléctricos han adquirido una mayor importancia en los últimos años en la medida que se han elevado los niveles de tensión de los sistemas y por la necesidad de sistemas cada vez más confiables y económicos. Una sobretensión puede ser descrita como cualquier tensión entre fase y tierra, o entre fases, cuyo valor de pico excede el valor de pico deducido de la tensión máxima.



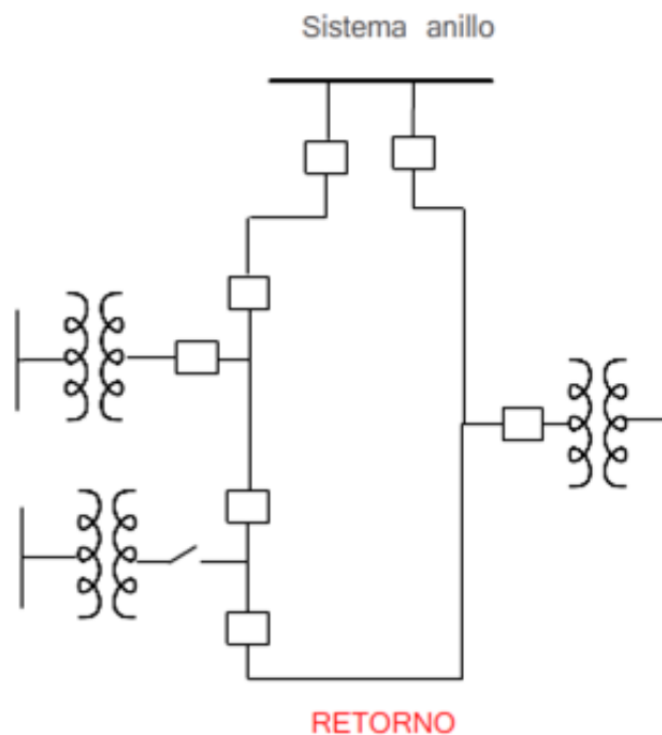
**FIG. 32 PROTECCION CON HILO DE GUARADA EN LAS TORRES DE SUSENSION.**

En la imagen se representan la postura de los hilos de guarda sobre las torres tipo TAS las cuales se encargaran de llevar los conductores de subestación a subestación de una manera eficiente. Para mayor ángulo de blindaje se obtienen doble hilo de guarda debido al nivel ceramico en el estado de Chiapas ya que los apantallamiento se dan de vertical y horizontal el cual con este dice nos ayudara a aumentar el nivel de protección de los conductores.

En el trazo de línea se propone hacer el diseño de la conexión en anillo para subestación Villaflores para el mejoramiento de la continuidad del servicio abriendo un nuevo circuito de la subestación Independencia de las LST IPD-73530VFD-73L00 que tiene 48.8 km. Aproximados tomando la conexión de la subestación de Independencia y dirigirse hacia la subestación de Villaflores. Al implementar este diseño se asegura la continuidad del suministro de energía disminuyendo perdidas económicas a la empresa suministradora de energía, en caso de contingencia se respalda con la conexión con la subestación IPD para realizar las maniobras o mantenimientos por fallas ocasionas en la LST LGZ-VFD. Si tener

que desconectar a los usuarios o afectar a terceros por mantenimiento o restablecimiento de la continuidad.

El tramo donde se hace el diseño, se encuentra en mayor parte zonas bajas lo que hace mayor eficiente el ordenamiento de las estructuras, la supervisión de la LST cuando se presente alguna contingencia, el poder maniobrar e incorporar a los trabajadores al área para trabajos de rutina y/o mantenimiento.



Sistema de conexión en anillo

Las ventajas en operación de este sistema:

- Son los más confiables ya que cada carga en teoría se puede alimentar por dos trayectorias.

- Permiten la continuidad de servicio, aunque no exista el servicio en algún transformador de línea.
- Al salir de servicio cualquier circuito por motivo de una falla, se abren los dos interruptores adyacentes, se cierran los interruptores de enlace y queda restablecido el servicio instantáneamente. Si falla un transformador o una línea la carga se pasa al otro transformador o línea o se reparte entre los dos adyacentes.
- Si el mantenimiento se efectúa en uno de los interruptores normalmente cerrados, al dejarlo des energizado, el alimentador respectivo se transfiere al circuito vecino, previo cierre automático del interruptor de amarre.

### **3.8 Sistema de malla en torre de subtransmision.**

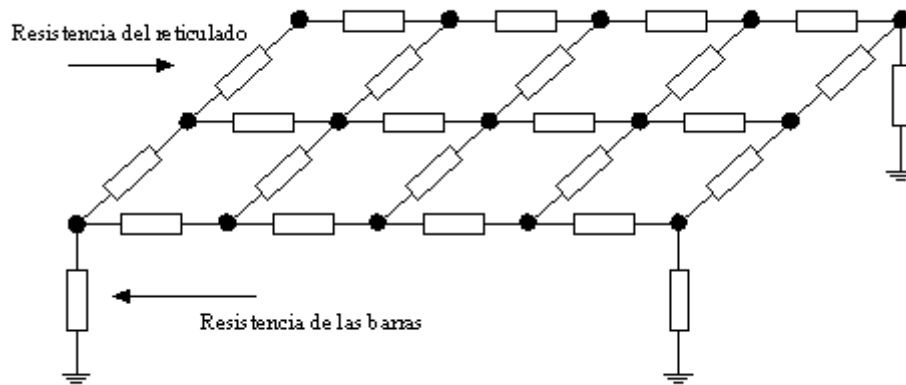
Sistema de tierra tipo malla: se considera este tipo por ser el más seguro y apropiado cada pie de estructura.

La malla de tierra es un conjunto de conductores desnudos que permiten conectar los equipos que componen una instalación a un medio de referencia, en este caso la tierra. Tres componentes constituyen la resistencia de la malla de tierra:

- La resistencia del conductor que conecta los equipos a la malla de tierra.
- La resistencia de contacto entre la malla y el terreno.
- La resistencia del terreno donde se ubica la malla.

Una malla de tierra puede estar formada por distintos elementos:

- Una o más barras enterradas.
- Conductores instalados horizontalmente formando diversas configuraciones.
- Un reticulado instalado en forma horizontal que puede tener o no barras conectadas en forma vertical en algunos puntos de ella.



**FIG. 33 SISTEMA DE TIERRA TIPO MALLA.**

Las barras verticales utilizadas en la construcción de las mallas de tierra reciben el nombre de barras copperweld y están construidas con alma de acero revestidas en cobre. El valor de la resistencia de una malla de tierra depende entre otros parámetros de la resistividad del terreno. El método más usado para determinar la resistividad del terreno es el de Schlumberger, el cual permite determinar las capas que componen el terreno, como también la profundidad y la resistividad de cada uno de ellos.

### **3.8.1 Objetivo del sistema de puesta a tierra de mallas.**

El sistema de puesta a tierra es una parte básica de cualquier instalación eléctrica, y tiene como objetivo: Limitar la tensión que presentan las masas metálicas respecto a tierra. - Eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material eléctrico utilizado.

Los objetivos fundamentales de una malla de tierra son:

- Evitar tensiones peligrosas entre estructuras, equipos y el terreno durante cortocircuitos a tierra o en condiciones normales de operación.
- Evitar descargas eléctricas peligrosas en las personas, durante condiciones normales de funcionamiento.



- Proporcionar un camino a tierra para las corrientes inducidas. Este camino debe ser lo más corto posible.

### 3.9 Ubicación de los Apartarrayos ALEA En los Puntos Más Altos.

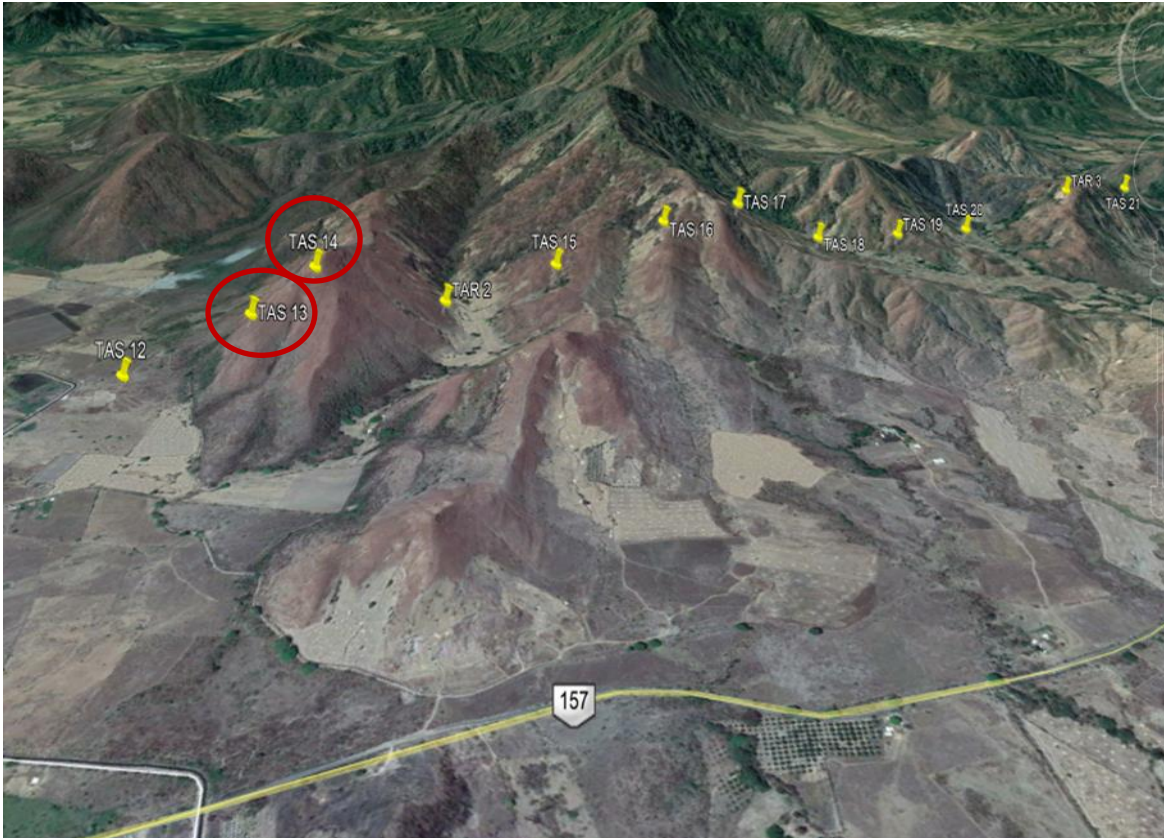


FIG. 34 IMAGEN DEL GOOGLE EARTH, DONDE SE INSTALARAN LOS APARTARRAYOS.

Como se puede observar en el Google EARTH, los apartarrayos tipo ALEA, se instalarán en las estructuras más altas como ejemplo se observa las estructuras tipo TAS números 13 y 14 los apartarrayos por el tipo de diseño, el ALEA elimina muchos de los problemas registrados en los apartarrayos convencionales y con varias ventajas tales como presentar una impedancia alta a voltaje nominal para minimizar las pérdidas y una impedancia baja durante transitorios (sobrevoltajes), incrementando además la confiabilidad de los sistemas y apoyando en la reducción del Tiempo de Interrupción al Usuario. Y sin agregar un punto de falla al sistema. El Apartarrayo de Línea con Entrehierro en Aire (ALEA) permite evitar el flameo del aislamiento por descargas directas o inducidas y por su diseño se reduce la

probabilidad de flameo en fases adyacentes de la misma estructura (protegidas también con ALEA) o el regreso del sobrevoltaje (generación del flameo inverso) desde la propia estructura a otras fases, como podría suceder con los del tipo permanente. Debido a la diferencia de niveles de Isodensidad a lo largo de la república mexicana y con el fin de eficientar los recursos disponibles de nuestros clientes, MAPPEC ofrece tres niveles de capacidad de corriente de descarga: Clase 1, Clase 2 y Clase 3 de acuerdo con la Esp. CFE 52000-66 y norma IEC 60099-8 e IEC 60099-4. Para el caso de ALEA 69-138 kV se utiliza el envoltente de Hule Silicón tipo HTV con alta resistencia al tracking (plano inclinado y rueda de tracking). El hule Silicón Cumple con las pruebas indicadas en las normas IEC 60587 e IEC62217.

### **3.10 Blindaje Con El Hilo De Guarda Para Las Torres Tipo TAS Y TAR De La LST IPD- VFD.**

Es una malla formada por cables de guarda que se instala sobre la estructura de la subestación.

Cables de guarda.- se entiende por cables de guarda una serie de cables desnudos, generalmente de acero, que se fijan sobre la estructura de una subestación, formando una red que actúa como blindaje, para proteger partes vivas de la subestación de las descargas directas de los raios.

La red de cables de guarda actúa como contra parte del sistema de tierras. A veces se complementa o se sustituye por una serie de bayonetas de tubo de acero galvanizado, también conectadas a la red de tierras de la instalación, que se fijan en la parte superior de los remates de las columnas de la estructura de la subestación.

#### **3.10.1 Angulo De Blindaje.**

Se muestra la variación del ángulo de blindaje de positivo a negativo, al variar la posición del hilo de guarda con respecto a un conductor de fase para un tipo de torre. El objetivo de

la selección del número de hilos de guarda y su posición es el de interceptar los rayos y reducir las fallas de blindaje a un número aceptable.

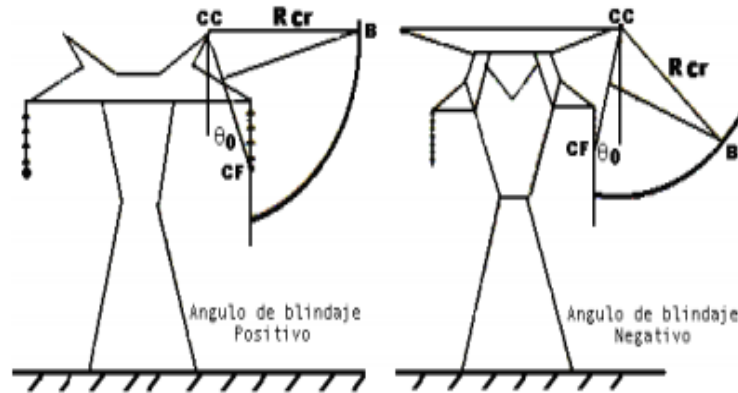
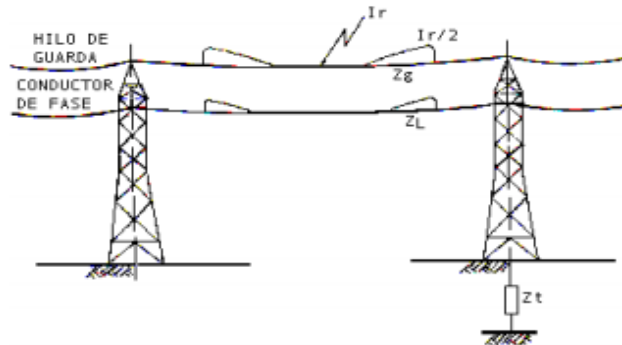


FIG. 35 ANGULOS DE BLINDAJE SOBRE LOS HILOS DE GUARDA.

### 3.11 Flameos Inversos.

Cuando se tiene una descarga atmosférica en el hilo de guarda se crean ondas transitorias de corriente y de voltaje que viajan hacia ambos lados del conductor. Al llegar la onda a un punto de cambio de impedancia, como lo es una torre, se producen ondas reflejadas y transmitidas en la punta de la torre, estas ondas crean diferencias de potencial en los aislamientos entre conductores de tierra y conductores de fase, en diferentes puntos de la línea, estos puntos pueden ser a lo largo del claro o en los aislamientos se producirán flámeos entre las estructuras y conductor de fase, estos flámeos se denominan “flámeos

inversos” en la figura se muestra el concepto general de flameos inversos.



**FIG. 36 FLAMEO INVERSO POR DESCARGA.**

Los flameos inversos en las torres son mas frecuentes. Por lo que para el diseño de proteccion por flameos inversos se deben considerar problemas por flameos inversos en las torres, despreciando los flameos inversos en los claros de las líneas. En general el flameo inverso es influenciado por los factores sigueintes:

- Distancia conductor-conductor y conductor-es
- Longitud de claro entre torres.
- Numero de hilos de guarda y su posición.
- Geometría de la estructura.
- Resistencia de la conexión a tierra de la torre.
- Punto de incidencia del rayo.
- Distribución de amplitudes de corrientes de rayo y formas de onda.
- Densidad de rayo a tierra de la zona.
- Tensión de operación de la línea.

Para obtención del número de salidas por flameos inversos se consideran todos los parámetros anteriores, los cuales varían de acuerdo a su distribución de probabilidad. En análisis obtenidos se consideró un valor de  $N_s=2,0$  rayos/km<sup>2</sup>/año.

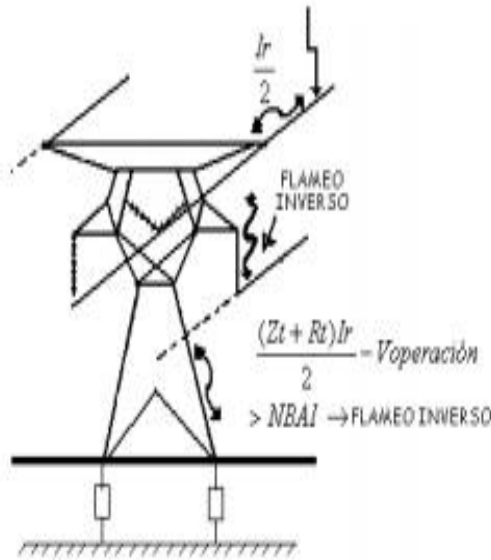


FIG. 37 COMPORTAMIENTO DEL FLAMEO INVERSO SOBRE LA ESTRUCTURA.

### 3.12. Determinación De La Resistencia A Tierra Para Obtener Un Índice De Interrupciones Deseado Por Flameos Inversos.

El proceso de flameos inversos depende de varios factores, uno de los principales es la resistencia al pie de la torre la cual puede ser diseñada para obtener un índice de las fallas por flameos inversos.

La actividad consta en realizar la medición de resistencia del terreno en cada estructura que conforme la línea de transmisión, antes de las épocas de estiaje para que en temporadas de lluvia se tenga la seguridad de que se drenaran las posibles descargas eléctricas que lleguen a caer sobre las líneas.

La resistencia de la malla de tierra de una subestación, depende del terreno en el cual se instale, la superficie de la cubierta, la resistividad equivalente del terreno, el valor de la resistencia de los electrodos, etc.

Según Schwartz, la resistencia de una malla compuesta es:

$$R = \frac{R_1 * R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2 * R_{12}} \quad (5.10)$$

Donde

R 1 : Resistencia del reticulado

R 2 : Resistencia de las barras

R 12 : Resistencia mutua entre el reticulado y las barras

Para calcular cada una de las resistencias se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi * L_1} * \left( \ln \left( \frac{4 * L_1}{\sqrt{d} * h} \right) + K_1 * \frac{L_1}{\sqrt{A}} - K_2 \right) \quad (5.11)$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi * n * L_2} * \left( \ln \left( \frac{4 * L_2}{r} \right) - 1 + \frac{2 * K_1 * L_2}{\sqrt{A}} * (\sqrt{n} - 1) \right) \quad (5.12)$$

$$R_{12} = \frac{\rho}{\pi * L} * \left( \ln \left( \frac{2 * L}{l} \right) + \frac{K_1 * L}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right) \quad (5.13)$$

Dónde:

D: Diámetro del conductor (m)

H: Profundidad de la malla (m)

A : Área que cubre la malla (m<sup>2</sup> )

L 1 : Longitud total de los conductores de la malla (m)

L 2 : Longitud de los electrodos verticales (m)

R: Resistividad del terreno (O m)

N: Cantidad de electrodos verticales

R: Radio de los electrodos verticales (m)

L: Longitud de la barra (m)

Los factores K 1 y K 2 se calculan de acuerdo con las siguientes expresiones.

$$K_1 = 1.43 - \frac{2.3 * h}{\sqrt{A}} - 0.044 * \left(\frac{a}{b}\right) \quad (5.14)$$

$$K_2 = 5.5 - \frac{8 * h}{\sqrt{A}} + \left(0.15 - \frac{h}{\sqrt{A}}\right) * \frac{a}{b} \quad (5.15)$$

Dónde:

a : Ancho de la malla (m)

b : Largo de la malla (m)



FIG. 38 MEDICION DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA ACOPLADO AI APARTARRAYO.

## Conclusiones.

El proceso que se realiza en este proyecto está basado en las experiencias obtenidas en campo, manuales y procedimientos de CFE, como antecedente se hace mención que actualmente la alimentación de la subestación Villaflores, cuenta con una conexión radial con 313 estructuras que parte de la subestación, OCZ y pasando por la subestación La Garza con una distancia de 69 km, las líneas son: LST OCZ-73490-LGZ y LGZ-73L00-VFD.

Por lo que se pretende hacer el diseño de la conexión en anillo para subestación villaflores para el mejoramiento de la continuidad del servicio abriendo un nuevo circuito de la subestación Independencia de las LSTIPD-73530VFD-73L00 que tiene 48.8 kms. Aproximados tomando la conexión de la subestación de Independencia y dirigirse hacia la subestación de Villaflores, se instalaran 139 estructuras a 350 mts, cada una, las estructuras de remate se construirán a 3 kms. 0 3 mil Mts.

Se registra en sistemas meteorológicos que en este tramo son áreas donde en los meses de mayo a octubre, existen constantes descargas atmosféricas, y por ello se requiere implementar un sistema de anillo, para un mejor servicio a usuarios, por lo que los resultados que se espera implementando los equipos de protección apartarrayos tipo ALEA y doble hilo de guarda de la línea de subtransmisión de 115 kv., se utilizara un esquema de protección con apartarrayos y doble hilo de guarda que cubrirán la línea subestación Independencia a Villaflores, en conexión tipo anillo, contra descargas atmosféricas transitorios que se presenten una afectación hacia el circuito de manera que se pueda tener mayor confiabilidad y continuidad del suministro ya que en la subestación de Villaflores se encuentran cargas importantes como el Hospital General, el cual tiene equipos y salas de cirugía, haciendo más importante la protección del circuito y evitar afectaciones al lugar, debido al tiempo de interrupción que se pueda presentar. Para la protección de la línea de anillo que alimentara la subestación Villaflores se utilizara el Apartarrayo de Línea con Entrehierro en Aire (ALEA) permite evitar el flameo del aislamiento por descargas directas o inducidas y por su diseño se reduce la probabilidad de flameo en fases adyacentes de la misma estructura (protegidas también con ALEA) o el regreso del sobrevoltaje (generación del flameo inverso) desde la propia estructura a otras fases, como podría suceder con los del



tipo permanente. De manera que se pueda proteger contra incidencias o descargas atmosféricas a la línea de la alimentación evitando fallas y la afectación al suministro de la demanda de dicha subestación. Esta mejora es a futuro se pondrá como un proyecto para análisis de los superiores, ya que con esto se tendrá una productividad de un 99.9 % en continuidad del servicio de energía eléctrica, dándole un servicio de calidad a los usuarios finales, teniendo un ahorro Horas-Hombre, uso de vehículos y consumo de combustibles, es por ello que se está implementando esta mejora a la línea de enlace Ocozocoautla a la Garza que actualmente funciona como Radial, se pretende hacer circuito de la subestación independencia a la Subestación en sistema anillo, trabajar en la mejora continua de un servicio es la calidad que los usuarios finales requieren para la venta eficiente del producto que se ofrece.

## Referencias Bibliográficas.

<http://bitacora.ingenet.com.mx/2013/08/la-historia-de-la-cfe/>

<http://www.mappec.com/apartarrayos.html>

<http://es.scribd.com/doc/58928393/86/APARTARRAYOS>

<http://isiesa.com.mx/apartarrayos-y-conectores/>

<http://apartarrayos6im6.blogspot.mx/>

- LIBRO Análisis de sistemas de potencia, AUTOR Grainger Power, EDITORIAL McGraw-Hill, ISBN- 10:0070612935. 784 pp.
- Diseño de estructuras para líneas de transmisión y sus cimentaciones, colegio de ingenieros civiles.
- Los Sistemas de Potencia – Walter Brockering Christie, Rodrigo Palma Behnke, Luis Vargas Díaz) – Ed. Prentice Hall.
- IEEE 998 (2010) - Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations.

(4) (4) Grzybowski, Stan, “Effectiveness of Dissipators Used for Lightning Protection on 115 KV Transmission and 13 KV Distribution Lines” (Rev. 1). Reporte final fechado Enero 1992.

- (6) (6) Lightning Protection Manual for Rural Electric Systems, NRECA Proyecto de Investigación 82-5, 1983, REA Washington DC.
- SCHELMER, T, Manual de baja tensión, Indicadores para la selección de aparatos de maniobra, instalaciones y distribuciones: Siemens, 1984.
- Alta tensión y sistemas de transmisión.-luis A. Siegert C.- Edición 1988.
- <http://www.sectorelectricidad.com/12673/proteccion-ofrecida-por-dos-cables-de-tierra/>

- [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5030324&fecha=22/02/2008&print=true](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5030324&fecha=22/02/2008&print=true)
- LIBRO Líneas de transmisión de energía AUTOR Luis María Checa. (2008)
- Análisis del comportamiento de líneas aéreas frente al rayo (Apunte de cátedra) – UTN F. R. Los Sistemas de Potencia – Walter Brockering Christie, Rodrigo Palma Behnke, Luis Vargas Díaz) – Ed. Prentice Hall.

[1] Protección contra sobretensiones de una subestación eléctrica en 400kv localizada en la planta de HYLSA ing. Hilario García González, Universidad Autónoma de Nuevo León facultad de ingeniería mecánica y eléctrica división de estudios de post-grado].

[2] Instalaciones eléctricas: c Sobretensiones de origen atmosférico. Sobretensiones de funcionamiento o maniobra. c Sobretensiones de transitorios de frecuencia industrial. Sobretensiones producidas por descargas electrostáticas. Sobretensiones de origen atmosférico.

[3] SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA ESTRUCTURA DE FERROCONCRETOS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS ELÉCTRICAS JORGE HUMBERTO SANZ ALZATE Profesor Asociado, Universidad Tecnológica de Pereira , Programa Tecnología Eléctrica,jsanz@utp.edu.com.

[4] DETERMINACIÓN DE ALTURAS DEL CABLE DE GUARDA PARA MINIMIZAR EL NÚMERO DE SALIDAS DE UNA LÍNEA DE ALTA TENSIÓN DE 230kv POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, ALEYDA BENAVIDES JIMÉNEZ FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA UNIVERSIDAD DE LA SALLE 2013.

[5] Universidad Nacional Autónoma De México Facultad De Ingeniería, Trabajos De Mantenimiento A Líneas De Transmisión, Raúl Miguel Meza Hernández.

[6][Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Saavedra 789. C1229ACE. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina. 2011].