



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería

Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

“Coordinación de aislamiento para equipos de una línea de transmisión de 400kV de Tula a Poza Rica”



Proyecto Final

Asignatura: Coordinación de Aislamientos

Alumnos: Zaragoza Méndez Aldrin

Herrera Martínez Erubiel

Canales Hernández Enrique Francisco

Profesor: Ing. Carlos Morán Ramírez

Puebla, Pue., México. Noviembre 2015

Índice de contenido

1.- Introducción.....	1
2.- Diagrama Unifilar de la Línea de Transmisión Tula - Poza Rica.....	4
3.-Tablas de equipos de la S.E. Tula y S,E. PRD.....	5
4.- Ubicación geográfica.....	9
5.- Perfil de línea Tula - Poza Rica.....	11
6.- Cálculo de número de aisladores en la línea Tula-Poza Rica a 300 msnm.....	14
7.- Cálculo de número de aisladores en la línea de Tula-Poza Rica a 1200 msnm.....	15
8.- Cálculo del número de aisladores en la línea de Tula-Poza Rica a 2300 msnm.....	17
9.- Resumen ejecutivo del proyecto de coordinación de aislamiento.....	18
10.-Conclusiones.....	20
11,. Bibliografía.....	21

Índice de figuras

Fig. 1 Relación Tensión-Corriente de un Apartarrayos.....	2
Fig. 2 Característica de Niveles de Aislamiento.....	3
Fig. 3 Partes de un Apartarrayos.....	3
Fig. 4 Red troncal del sistema eléctrico mexicano.....	8
Fig. 5 Ubicación geográfica de la Subestación Eléctrica “Poza Rica II”.....	10
Fig. 6 Ubicación geográfica de la Central Termoeléctrica (Tula)....	10

Introducción

Uno de los aspectos más importantes para el diseño de redes eléctricas de AT y MT es la “Coordinación de los Aislamientos. La importancia del correcto dimensionamiento de una red eléctrica respecto a la coordinación del aislamiento radica en:

- a. Asegurar la continuidad del suministro de energía eléctrica que en cierta forma es una medida de la calidad del servicio, la cual se determina por la duración y frecuencia de las interrupciones por falla de funcionamiento del sistema y sus componentes. Una de las fallas más comunes es la ruptura dieléctrica de los aislamientos de aparatos e instalaciones que integran la red eléctrica.
- b. Considerar el aumento de tensiones nominales de operación del sistema eléctrico, fundamentando en razones técnico – económicas de utilización óptima de materiales y espacio, ante el crecimiento ininterrumpido de la demanda y el necesario transporte de elevados bloques de potencia.

La incidencia de los aislamientos en el costo de un equipo o instalación de AT se hace más notable a mayores tensiones de servicio, de tal modo que tiende a transformarse en uno de los factores económicos limitativos más importante. Por ello es primordial dimensionar los aislamientos de aparatos e instalaciones en la forma más ajustada posible, para lo cual se requiere un cabal conocimiento y sus condiciones de uso.

Definiciones:

Aislamiento: Se denomina al elemento que tiene la aptitud de soportar la tensión, o más general, los esfuerzos dieléctricos que le son aplicados

Coordinación de Aislamiento: Disposiciones y precauciones que se deben tomar en el diseño de las instalaciones eléctricas que están expuestas a sobretensiones para evitar que las máquinas y aparatos eléctricos en general puedan sufrir daños por efecto de estas sobretensiones.

Sobretensiones:

- De origen atmosférico o por rayo: Se manifiestan inicialmente sobre las líneas de transmisión, por rayos directamente en la líneas, descargas sobre las estructuras o sobre hilos de guarda; por descargas a tierra en las proximidades de la línea
- Por maniobra de interruptores: pueden ser originadas por procesos de conmutación. En instalaciones de alta tensión pueden actuar mediante

acoplamiento capacitivo (también sobre las instalaciones de baja tensión), produciendo en casos especiales sobretensiones de más de 15 kV.

Importancia de la ubicación de apartarrayos:

Apartarrayos: Es el dispositivo primario de protección usado en la coordinación de asilamiento, su función es limitar la sobretensión aplicada al equipo para dar protección al aislamiento. Las funciones específicas de los apartarrayos son:

1. Operar sin sufrir daño por tensiones en el sistema y corrientes que circulen por él.
2. Reducir las sobretensiones peligrosas a valores que no dañen el aislamiento del equipo,

Las características de protección del apartarrayos se pueden dividir en dos partes:

- a) Tensión de arqueo
 - b) Corriente de descarga
- a) La tensión de arqueo o magnitud de la tensión a la cual se produce el arqueo en el apartarrayos es una función de la forma de onda y la tensión aplicada.
 - b) La tensión de descarga o tensión causada por el flujo de corriente a través del apartarrayos (se refiere a la caída de tensión $I \cdot R$ en el apartarrayos es una función de la forma de onda y de la magnitud de la corriente).

En la figura 1 se muestran los conceptos relaciones con el apartarrayos.

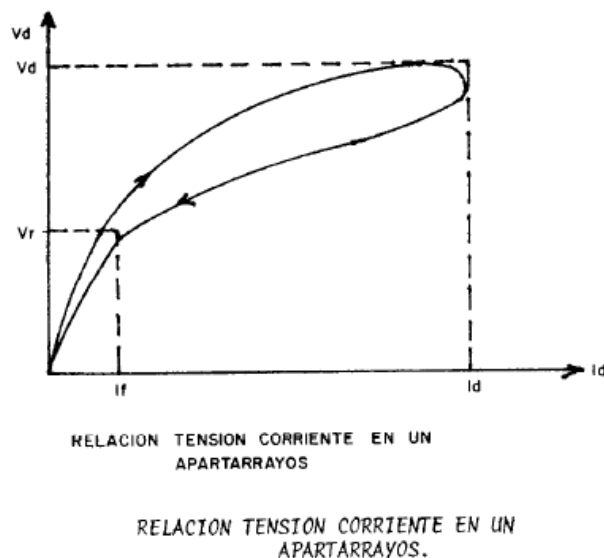
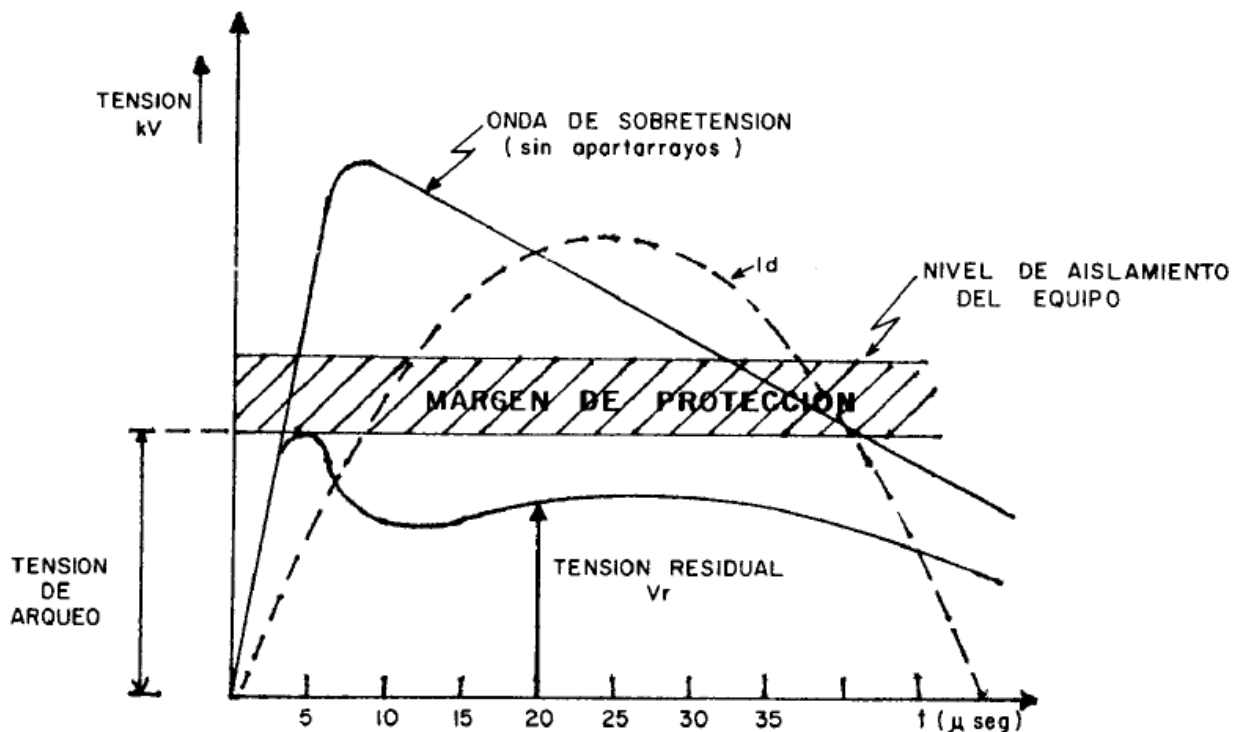


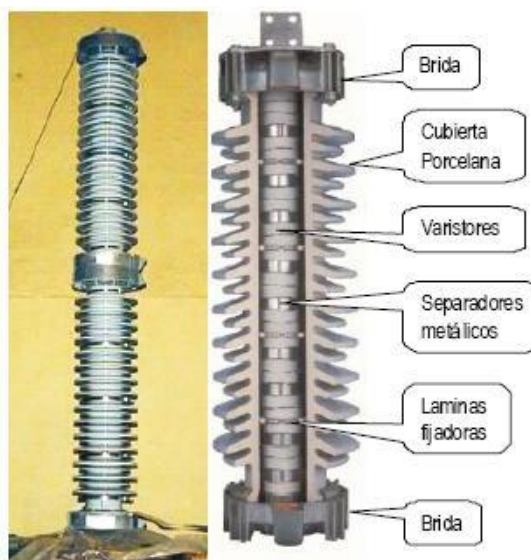
FIGURA 1

El concepto de coordinación de aislamiento se basa en la coordinación de los niveles de protección y de aislamiento siempre representadas son curvas descarga/tiempo. Se pueden representar con curvas de la figura.2



Características de los Niveles de Aislamiento
FIGURA 2

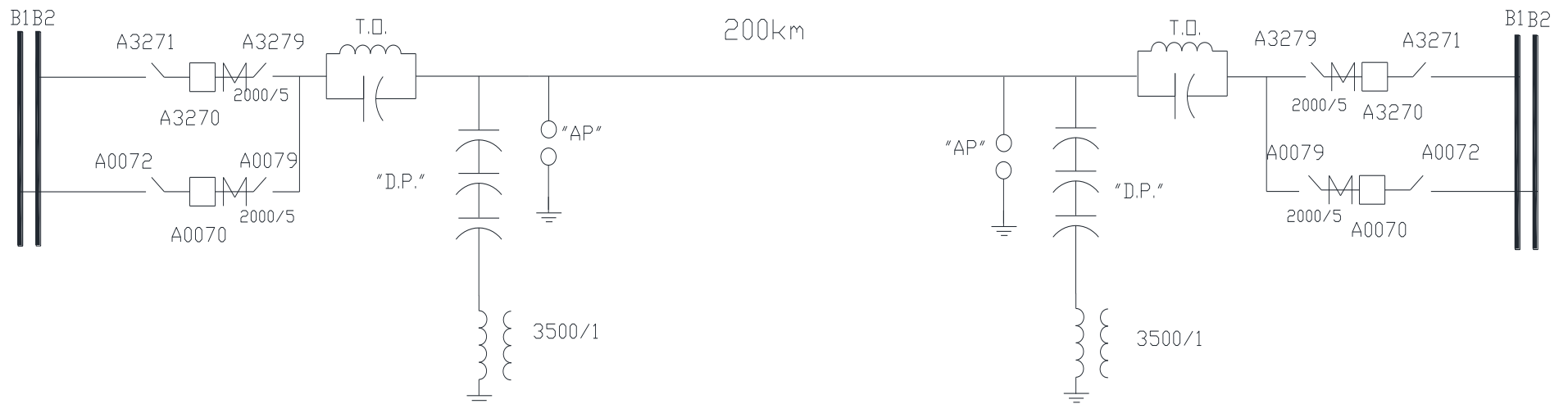
En la Figura 3 se muestran la forma física y las partes de un apartarrayos.



Partes del apartarrayos

Figura 3

2.-Diagrama Unifilar de la línea de transmisión Tula- Poza Rica



3.-Tabla de equipos del lado S.E. Tula

Cable bus- 400kV	V _{NOMINAL}	V _{MÁXIMO}	NBI	NBMS	m.s.n.m
Aisladores buses-400kv	400kV	420kV	1425kV	1050kV	300m
Cuchillas de bus	400kV	420kV	1425kV	1050kV	300m
Cuchillas de línea	400kV	420kV	1425kV	1050kV	300m
Interruptores de potencia	400kV	420kV	1425kV	1050kV	300m
Transformadores de corriente	400kV	420kV	1425kV	1050kV	300m
Dispositivos de potencial	400kV	420kV	1425kV	1050kV	300m
Trampa de onda	400kV	420kV	1425kV	1050kV	300m

SELECCIÓN DE APARTARRAYOS	
Voltaje de arco	1353 kV
Corriente de descarga	5700 Amperes
Voltaje de descarga	882 Kv

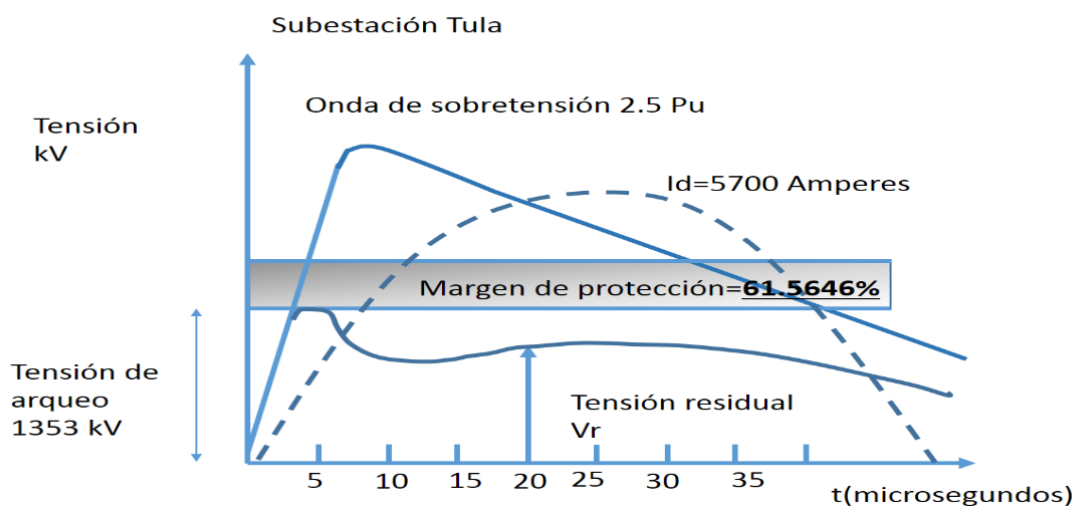
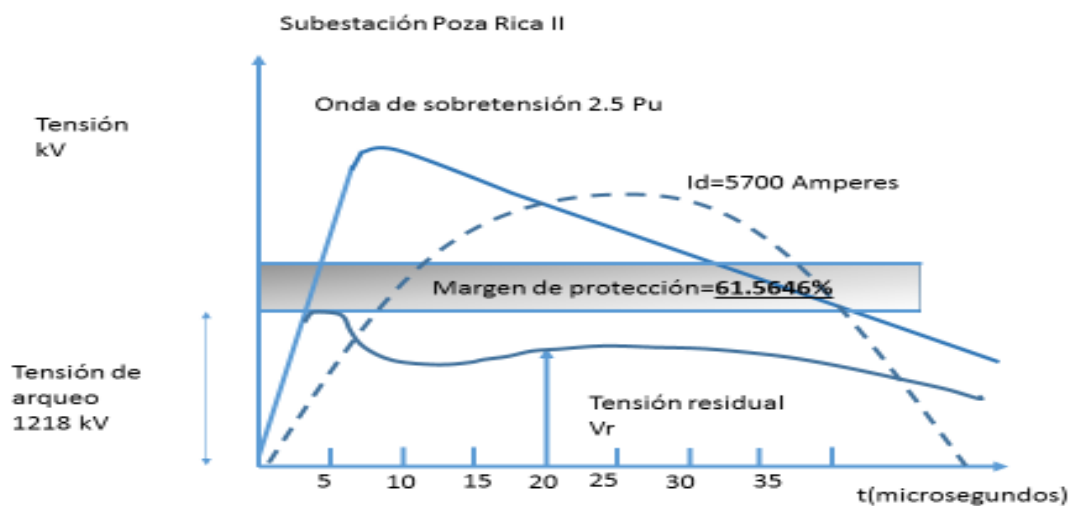


Tabla de equipos del lado S.E. Poza Rica

Cable bus- 400kV	V _{NOMINAL}	V _{MÁXIMO}	NBI	NBMS	m.s.n.m
Aisladores buses-400kv	400kV	420kV	1425kV	1050kV	2300m
Cuchillas de bus	400kV	420kV	1425kV	1050kV	2300m
Cuchillas de línea	400kV	420kV	1425kV	1050kV	2300m
Interruptores de potencia	400kV	420kV	1425kV	1050kV	2300m
Transformadores de corriente	400kV	420kV	1425kV	1050kV	2300m
Dispositivos de potencial	400kV	420kV	1425kV	1050kV	2300m
Trampa de onda	400kV	420kV	1425kV	1050kV	2300m
Apartarrayos	400kV	420kV	1425kV	1050kV	2300m

SELECCIÓN DE APARTARRAYOS	
Voltaje de arco	1218 kV
Corriente de descarga	5700 Amperes
Voltaje de descarga	882 Kv



Calculo de los apartarrayos

$$V_n = k_e * V_{max}$$

V_n = Voltaje nominal

$k_e = 0.8$

$V_{max} = 420 \text{ kv}$

Realizando las operaciones

$$V_n = 0.8 * 420 \text{ Kv} = 336 \text{ KV}$$

Corriente de descarga

$$I_d = \frac{2NBI}{Z_o}$$

I_d = corriente de descarga

NBI = Nivel básico de aislamiento por impulso por rayo

Z_o = Impedancia característica de la línea de transmisión. (Los valores de la Impedancia característica en las líneas de transmisión son del orden de 300 a 500 ohm.) Elementos de diseño de subestaciones Enriquez Harper. Pag 285

Realizando Operaciones

$$I_d = \frac{2 * 1425 \text{ Kv}}{500 \text{ Ohm}} = 5700 \text{ Amperes}$$

Por tabla 8" Característica de protección de apartarrayos tipo intermedio" de la especificación CFE L0000 06.

Voltaje de descarga = **882kV**

Y de acuerdo con Tabla 2 de la Especificación CFE 52000-93 "Apartarrayos para líneas de transmisión de corriente alterna de 115kV a 400kV", el voltaje de arqueo es para Poza Rica: Tensión Crítica de Flameo **1218 kV**.

Para Tula **1353 kV**.

Se calcula el Margen de Protección:

$$MP = \frac{NBAI - V_d}{V_d} * 100$$

$$MP = \frac{1425 - 882}{882} * 100 = \underline{\underline{61.5646 \%}}$$

Red troncal del sistema Eléctrico Mexicano

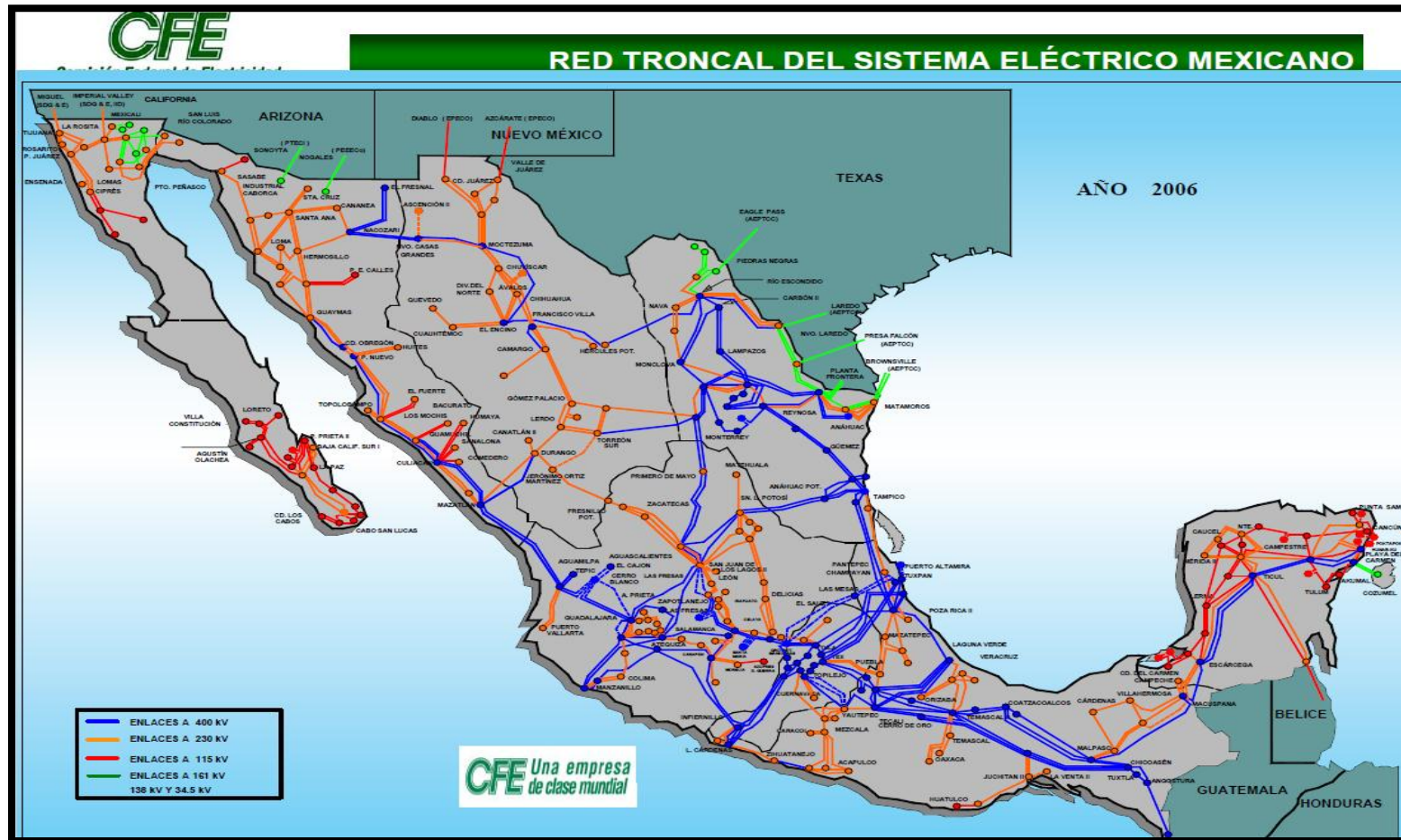
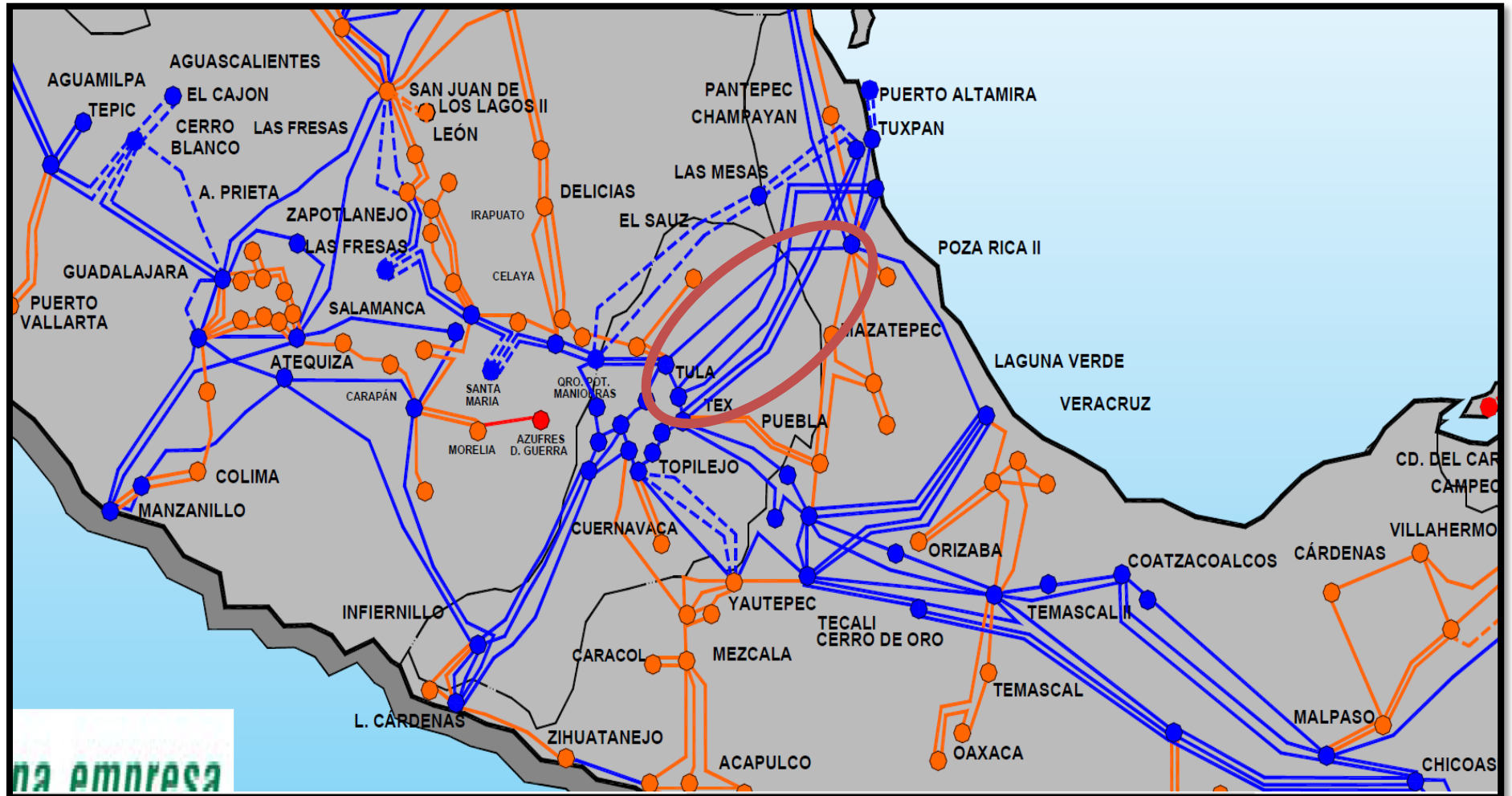


Figura 4

4.- Ubicación geográfica



SUBESTACIÓN POZA RICA

subestación eléctrica



Ciudades cercanas: Zona Conurbada de Poza Rica, Tuxpan, Martínez de la Torre
Coordenadas: 20°30'34"N 97°30'15"W

FIGURA 5

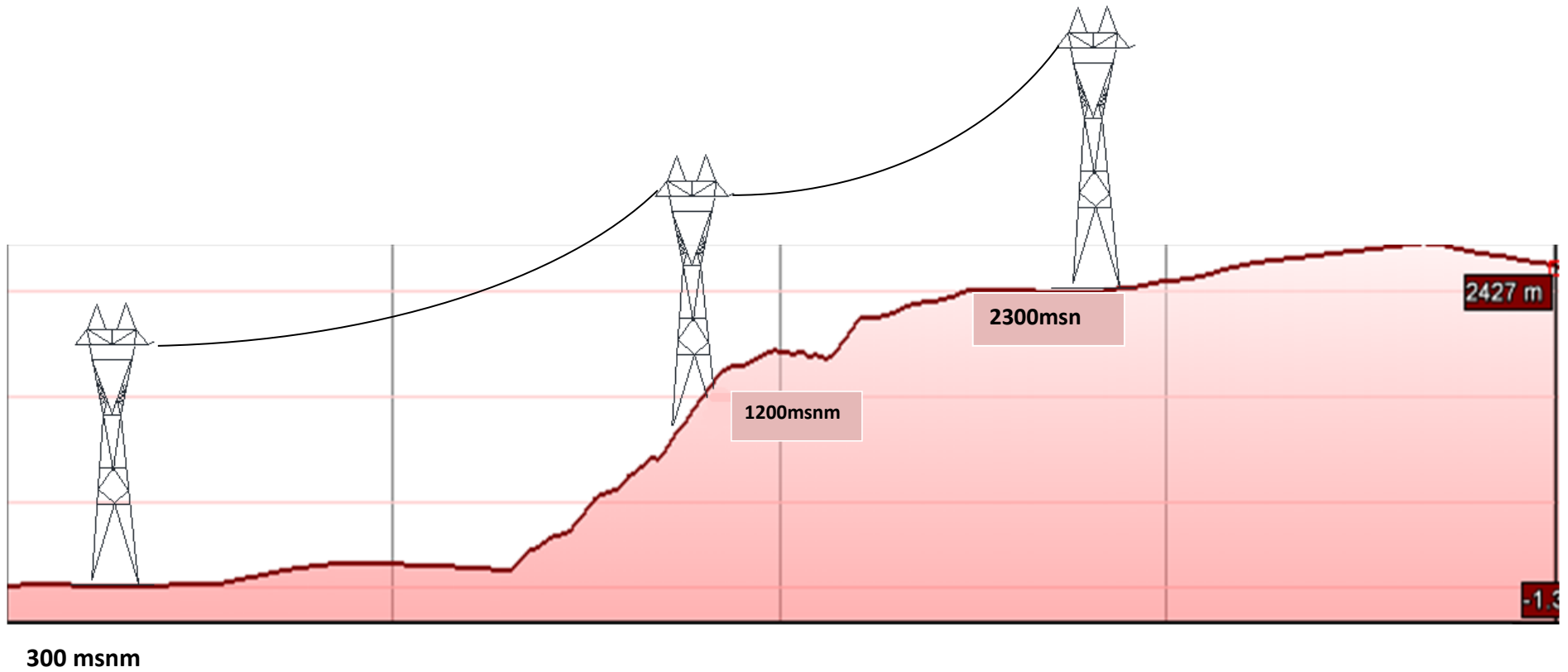
CENTRAL TERMOELÉCTRICA TULA

Coordenadas: Latitud 20° 3'24.57"N Longitud 99°16'30.67"O



FIGURA 6

5.- Perfil de la línea de transmisión Tula-Poza Rica



6.- Calculo de la cadena de aisladores

Para el cálculo del número de aisladores se consideran los siguientes datos:

- **Aislador CFE-29SVC160:** 280x146 mm, Distancia de fuga de **370 mm/KV**
- **K3= 550** (Tabla 1-Apendice, que corresponde al factor de la configuración Conductor-Estructura)
- **NBS= 1425** (Tabla 6-Apendice, nivel básico de aislamiento al impulso por Rayo)
- **GRADOS DE CONTAMINACIÓN:** de acuerdo a Norma IEC 71-2 Insulation Coordination Application Guide

ZONA DE CONTAMINACION	CARACTERISTICAS NOTABLES	MÍNIMA DISTANCIA DE FUGA
EXTRA FUERTE (EF)	Polvos de carbón, petróleo, productos químicos, grandes cantidades de partículas salinas en suspensión. Zonas desérticas con grandes periodos sin lluvia.	31 (mm/KV)
FUERTE (F)	Lluvia marina, polvos de carbón, petróleo, zonas con lluvia ligera y niebla. Áreas expuestas a los vientos del mar o muy cercanas a la costa.	25 (mm/KV)
MEDIA (M)	Lluvia marina ligera, irrigación con plaguicidas y fertilizantes, niebla ligera y pocas lluvias áreas expuestas a los vientos del mar pero no muy cercanas a la costa.	20 (mm/KV)
LIGERA (L)	Niebla, fertilizantes, plaguicidas, lluvias intensas, zonas rurales sin quema de pastizales. Áreas sin industrias, zonas agrícolas.	16 (mm/KV)

• FORMULARIO PARA EL CÁLCULO DE AISLADORES

Calculo del número de aisladores.

$$N = \frac{\text{Distancia de fuga requerida corregida}}{\text{Diametro del aislador}}$$

Distancia de fuga mínima.

$$d_{f1} = (1,05)(d_f - t)$$

Dónde: d_{f1} = Valor de la distancia al aire mínima de la cadena de aisladores
 1.05= Corresponde al 5% adicional, por efecto de herrajes.
 d_{f-t} = Distancia de Fase a Tierra.

Calculo de la distancia dieléctrica de Fase a Tierra.

$$d_{f-t} = \frac{TCF}{K_3}$$

Dónde: TFC= Tensión Critica de Flameo
 K_3 = Corresponde al factor de la configuración Conductor-Estructura

Calculo de la tensión critica de flameo.

$$TCF = \frac{NBAI}{(0,961)} (K_a)$$

Dónde: K_a = Factor de corrección por altura.
 NBAI= Nivel de aislamiento al impulso por rayo (Tabla 6-Apendice).

Calculo del factor de corrección por altura.

$$K_a = e^{(H / 8150)}$$

Dónde: H= Altura sobre el nivel del mar; msnm (Tabla-Apéndice).

Calculo del número de aisladores, considerando correcciones de contaminación del ambiente y diámetro del aislador.

$$N2 = \frac{(1.05) * \text{Distancia de fuga requerida corregida}}{\text{Distancia de fuga del aislador}}$$

Dónde: 1.05=Corresponde al 5% adicional, por efecto de herrajes.

Calculo de la distancia de fuga mínima corregida.

$$Df2 = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} * (Kfe) * (Kd) * (Ka)$$

Dónde: Kfe= Coeficiente de fuga, mm/kV (Tabla de grados de contaminación)

Kd= Factor de corrección por diámetro del aislador, para un diámetro menor a 300 mm corresponde a 1 pu. [CFE L0000 06 -1991]

Ka= Factor de corrección por altura.

(6.1) Número de aisladores en la Línea Tula-Poza-Rica [60 km]

DATOS ZONA 1:

Longitud: Primeros 60 km

Altura: 300 msnm

Nivel de contaminación: Fuerte: 25 mm/KV (Según características de la zona)

K3=550 (Tabla 1)

NBAI=1425 Kv

Dda=diámetro del aislador=146 mm

Dfga=distancia de fuga del aislador=370 mm

- **Calculo del número de aisladores sin consideran contaminación.**

$$K_a = e^{\left(\frac{H}{8150}\right)} = e^{\left(\frac{300}{8150}\right)} = 1.0374$$

$$TCF = \frac{NBIA}{0.961} (K_a) = \frac{1425 \text{ kv}}{0.961} (1.0374) = 1538.42 \text{ kv}$$

$$Df_t = \frac{TCF}{K3} = \frac{1538.42 \text{ kv}}{550} = 2.7971 \text{ m} = 2797.1 \text{ mm}$$

$$Df_1 = (Df_t)(1.05) = (2797.1 \text{ mm})(1.05) = 2936.95 \text{ mm}$$

$$N = \frac{Df_1}{Dda} = \frac{2936.95 \text{ mm}}{146 \text{ mm}} = 20.11$$

N = 20 aisladores

- **Calculo del número de aisladores considerando el factor de contaminación y diámetro del aislador.**

$$Df2 = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} (Kfe) * (Kd) * (K_a) = \frac{420 \text{ kv}}{\sqrt{3}} \left(25 \frac{\text{mm}}{\text{kv}}\right) * (1) * (1.0374)$$

$$Df2 = 6288.9032 \text{ mm}$$

$$N2 = \frac{(1.05) * Df_1}{Dfga} = \frac{(1.05) * 6288.9032 \text{ mm}}{370 \text{ mm}} = 17.8468$$

N2 = 18 Aisladores.

6.2_ Número de aisladores en la Línea Tula-Poza-Rica [40 km]

DATOS ZONA 2:

Longitud: Siguietes 40 km

Altura: 1200 msnm

Nivel de contaminación: Fuerte: 25 mm/KV (Según características de la zona)
 K3=550 (Tabla 1)
 NBAI=1425 Kv
 Dda=diámetro del aislador=146 mm
 Dfga=distancia de fuga del aislador=370 mm

- **Calculo del número de aisladores sin consideran contaminación.**

$$K_a = e^{\left(\frac{H}{8150}\right)} = e^{\left(\frac{1200}{8150}\right)} = 1.1586$$

$$TCF = \frac{NBIA}{0.961} (K_a) = \frac{1425 \text{ kv}}{0.961} (1.1586) = 1718.42 \text{ kv}$$

$$Df_t = \frac{TCF}{K3} = \frac{1718.42 \text{ kv}}{550} = 3.1244 \text{ m} = 3124.4 \text{ mm}$$

$$Df_1 = (Df_t)(1.05) = (3124.4 \text{ mm})(1.05) = 3280.62 \text{ mm}$$

$$N = \frac{Df_1}{Dda} = \frac{3280.62 \text{ mmmm}}{146 \text{ mm}} = 22.47$$

N = 22 aisladores

- **Calculo del número de aisladores considerando el factor de contaminación y diámetro del aislador.**

$$Df2 = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} (K_{fe}) * (K_d) * (K_h) = \frac{420 \text{ kv}}{\sqrt{3}} \left(25 \frac{\text{mm}}{\text{kv}}\right) * (1) * (1.1586)$$

$$Df2 = 7023.6392 \text{ mm}$$

$$N2 = \frac{(1.05)*Df_1}{Dfga} = \frac{(1.05)*7023.6392 \text{ mm}}{370 \text{ mm}} = 19.9319$$

N2 = 20 Aisladores.

(6.3) Número de aisladores en la Línea Tula-Poza-Rica [100 km]

DATOS ZONA 3:

Longitud: últimos 100 km

Altura: 2300 msnm

Nivel de contaminación: Fuerte: 25 mm/KV (Según características de la zona)

K3=550 (Tabla 1)

NBAI=1425 Kv

Dda=diámetro del aislador=146 mm

Dfga=distancia de fuga del aislador=370 mm

- **Calculo del número de aisladores sin consideran contaminación.**

$$K_a = e^{\left(\frac{H}{8150}\right)} = e^{\left(\frac{2300}{8150}\right)} = 1.3260$$

$$TCF = \frac{NBIA}{0.961} (K_a) = \frac{1425 \text{ kv}}{0.961} (1.3260) = 1966.23 \text{ kv}$$

$$Df_t = \frac{TCF}{K3} = \frac{1966.23 \text{ kv}}{550} = 3.5794 \text{ m} = 3579.4 \text{ mm}$$

$$Df_1 = (Df_t)(1.05) = (3579.4 \text{ mm})(1.05) = 3753.12 \text{ mm}$$

$$N = \frac{Df_1}{Dda} = \frac{3753.12 \text{ mm}}{146 \text{ mm}} = 25.70$$

N = 26 aisladores

- **Calculo del número de aisladores considerando el factor de contaminación y diámetro del aislador.**

$$Df2 = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} (K_{fe}) * (K_d) * (K_h) = \frac{420 \text{ kv}}{\sqrt{3}} \left(25 \frac{\text{mm}}{\text{kv}} \right) * (1) * (1.3260)$$

$$Df2 = 8038.4477 \text{ mm}$$

$$N2 = \frac{(1.05) * Df_1}{D_{fga}} = \frac{(1.05) * 8038.4477 \text{ mm}}{370 \text{ mm}} = 22.8118$$

N2 = 23 Aisladores.

Resumen de cantidad de aisladores en la cadena.

LOCALIZACIÓN	SIN CONSIDERAR FACTOR (Kfe)	CONSIDERARANDO FACTOR (Kfe)
Zona 1	20 Aisladores	18 Aisladores
Zona 2	22 Aisladores	20 Aisladores
Zona 3	26 Aisladores	23 Aisladores

9.-Resumen ejecutivo del proyecto de coordinación de aislamiento.

En la siguiente figura se muestra el precio del aislador CFE- **29SVC160C** el cual se propone para usarse en las torres de la línea de transmisión en estudio.



INDUSTRIAS UNIDAS,S.A.

Km. 109 Carretera Panamericana México - Querétaro
Jocotitlán, Edo. de México CP. 50734

Eléctricos Alta Tensión

AISLADOR TIPO SUSPENSION, DE VIDRIO TEMPLADO						Precio
Código	Catálogo	C.F.E.	Especificaciones	Empaque	Genética	Unitario
310950	CT-4	16SVH044/52-1	165 MM HORQUILLA Y OJO	6	A	136.76
310961	N-12	25SVC111/52-5	10" CALAVERA Y BOLA	6	A	301.73
311682	N-12 C/M	25SVC111C/52-5	10" CALAVERA Y BOLA CON MANGUILLO DE ZINC	6	A	319.10
311401	N-160	29SVC160/52-8	11" CALAVERA Y BOLA	3	C	482.60
392914	N-160 C/M	29SVC160C	11" CALAVERA Y BOLA CON MANGUILLO DE ZINC	3	C	504.71
311402	N-120-P	28SVC111CC/52-5	11" CALAVERA Y BOLA TIPO NIEBLA	6	C	488.13
311403	N-160-P	32SVC160CC/52-8	11" CALAVERA Y BOLA TIPO NIEBLA	3	C	845.13
318712	N-111 SN	32SVC111CM/52-5	12" CALAVERA Y BOLA TIPO NIEBLA	3	C	1,042.60

CT-4

N-12





N-160

N-120P





Figura 7

El cual es de 504.71 pesos por paquete de 3 aisladores. Para saber el precio total de los aisladores debemos calcular el número de aisladores que se tendrán que instalar en cada una las 400 torres que sostiene a nuestra línea de transmisión. (considerando que hay una por cada 500m).

Num. de aisladores por zona

*= Num de torres * Num de aisladores * Num de cadenas por torre*

Zonas	Longitud (Km)	MSNM	Núm. de torres	Núm. de aisladores Por cadena	Núm. de cadenas por torre	Numero de aisladores por zona
Zona I	40	300	80	18	4	5760
Zona II	60	1200	120	20	4	9600
Zona III	100	2300	200	23	4	18400
TOTAL	200		400			33,760

El total de la suma del número de aisladores por las tres zonas asciende a 33,760 aisladores y los paquetes tienen tres aisladores cada uno.

Así que se necesitaran comprar 11,254 paquetes de aisladores.

Costo total $11,254 * 504.71 = 5,679,669.867$ Pesos

10.- Conclusiones

Para los estudios de coordinación de aislamiento es de importancia la determinación de cuál es la tasa de falla aceptable, o de la confiabilidad deseada para el sistema. La tarea de coordinar los aislamientos requiere del conocimiento tanto de las fallas sobre el aislamiento del equipamiento y sobre las distancias en aire, como así también del comportamiento de los diferentes tipos de aislamientos frente a dichas fallas, tomando en cuenta las condiciones ambientales y la ubicación de los elementos.

No es económico realizar equipos y sistemas con grados de seguridad tales que permitan soportar sobretensiones excepcionales. Se admite que aún en un material bien dimensionado puedan producirse fallas y el problema es entonces limitar su frecuencia teniendo en cuenta un criterio económico basado en costo y continuidad del servicio. La coordinación de la aislación está esencialmente basada en limitar el riesgo de falla, en lugar de fijar a priori un margen de seguridad.

11.- Bibliografía

-CFE. (2014). Apartarrayos de Óxidos Metálicos para subestaciones. 2015, de CFE Sitio web: <http://lapem.cfe.gob.mx/normas/nrf/pdfs/t/NRF-003.pdf>

-Gilberto Enríquez Harper. (2002). Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas. México: Limusa.

- CFE (1995), Guía De Aplicación de la Especificación de Coordinación de Aislamiento, 2015, de CFE.

-Lista de Precios IUSA, Sitio web:

http://www.iusa.com.mx/Lista_Precios/Electricos_MT_IUSA_Oct_2014.pdf

.-Catálogo de productos IUSA Media y Alta Tensión, Sitio Web:

<http://www.tyc.com.mx/fichas/Catalogo%20de%20Media%20y%20Alta%20Tension.pdf>

-M.C. Luis Aaron Vergara Valdez. (2007). SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL MEXICANO . 2015, de Elektroshagg Sitio web:

<http://elektroshagg.com/articulos/sistema-electrico-nacional-mexicano-mexico.ht>