

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

**RESIDENCIA PROFESIONAL**

**PROYECTO:**

PARA SOLUCIONAR LOS DISPAROS RECURRENTES DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 115 KV POR QUEMA DE CAÑA EN SAN ANTONIO EL PARAJE, MUNICIPIO DE SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS

**DEPENDENCIA:** COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
ÁREA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN SAN CRISTÓBAL.

**ESPECIALIDAD:** INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ASESOR:** ING. RAFAEL MOTA GRAJALES

**PRESENTA:**  
ROSA ELENA ROBLES VÁZQUEZ

ENERO 2011

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	4
1.1 ANTECEDENTES.....	4
1.2 MISIÓN.....	5
1.3 SITUACIÓN ACTUAL.....	6
1.4 LOCALIZACIÓN.....	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
2.1 ANTECEDENTES.....	7
2.2 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA.....	8
2.3 OBJETIVO.....	9
2.4 METAS.....	9
2.5 JUSTIFICACIÓN.....	10
3. MARCO TEÓRICO.....	11
3.1 DEFINICIONES.....	11
3.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	12
3.3 CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO.....	13
3.4 ELEMENTOS PRINCIPALES EN UNA LÍNEA AÉREA DE TRANSMISIÓN.....	13
3.5 TIPOS DE ESTRUCTURA.....	14
3.6 SELECCIÓN DE UN POSTE.....	15
3.7 TIPOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	15
3.8. CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	20
3.9 SELECCIÓN DE LA TRAYECTORIA.....	20
3.10 MATERIALES UTILIZADOS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	21
3.11 SELECCIÓN DE CABLES CONDUCTORES Y DE GUARDA.....	22
3.12 NÚMERO DE CIRCUITOS.....	22
3.13 ELEMENTOS CONSTITUIDOS DE LA CADENA.....	23
3.14 AISLAMIENTOS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREA.....	24
3.15 FUNCIÓN DE UN AISLADOR.....	26
3.16 HERRAJES EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREA.....	27
3.17 LONGITUD ELÉCTRICA DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.....	28
3.19 CONFIGURACIÓN DE LOS APOYOS PARA LÍNEAS AÉREAS.....	29
3.20 ESFUERZOS A QUE ESTÁN SOMETIDOS LOS APOYOS EN LAS LÍNEAS AÉREAS.....	30
3.21 LIBRAMIENTOS, CRUZAMIENTOS Y PARALELISMO.....	31
3.22 PARÁMETROS DE DISEÑO UTILIZADOS.....	34
3.23 CALCULO MECÁNICO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS..	35
3.24 DETERMINACIÓN DE LOS CLAROS MEDIO HORIZONTAL Y VERTICAL.....	46
4. DESARROLLO.....	48
4.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	48
4.2 PROGRAMA PARA LA SIMULACIÓN DE LA CATENARIA.....	49
5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	51
5.1 RESULTADOS.....	51
5.2 CONCLUSIONES.....	54
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES.....	55
ANEXOS.....	56

## INTRODUCCIÓN.

Las Líneas de Transmisión son parte fundamental de los Sistemas Eléctricos de Potencia, para transportar la energía eléctrica de las plantas generadoras a los centros de consumo, como son los parques industriales, centros hospitalarios, centros de recreación, y usuarios domésticos. Debido a que las necesidades de energía eléctrica están distribuidas a lo largo y ancho del país, las líneas son construidas a través de diversas regiones con climas, topografía y campos de cultivo con diferentes grados de tecnificación, lo cual representa retos a superar para lograr instalaciones con un grado de confiabilidad que permita ofrecer a los usuarios el servicio de energía eléctrica con los estándares de cantidad y calidad que nos demandan esta época.

Una salida de Línea por falla causada por quema de caña se debe principalmente a la ionización del aire por las altas temperaturas resultado de la combustión en los cañaverales, combinado con los siguientes factores: la temperatura ambiente, ráfagas de viento, la distancia del conductor a piso, entre conductores y distancia de conductor a estructura afectando con este evento a usuarios con las consecuentes pérdidas en todos los sectores.

Con la ayuda del programa MATLAB se harán simulaciones para ver si es apropiado colocar las torres o postes en ese lugar o la altura apropiada que tengan las torres, sin que afecte a la línea por la quema de caña, dependiendo ya sea en terreno plano, o a distinto nivel.

# **1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.**

## **1.1 ANTECEDENTES.**

Para dar respuesta a las situaciones que no permitían el desarrollo económico del país, el Gobierno federal decidió crear, el 14 de agosto de 1937, la Comisión Federal de Electricidad, que en una primera etapa se dio a la tarea de construir plantas generadoras para satisfacer la demanda de energía eléctrica, y con ello beneficiar a más mexicanos mediante el bombeo de agua de riego, el arrastre y la molienda; pero sobre todo, con alumbrado público y para casas habitación.

Los primeros proyectos de CFE se emprendieron en Teloloapan, Guerrero; Pátzcuaro, Michoacán; Suchiate y Xíá, en Oaxaca, y Ures y Altar, en Sonora. En 1938, la empresa 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 la empresa se vio obligada a generar energía para que éstas la revendieran.

En 1960, de los 2,308 MW de capacidad instalada en el país, CFE aportaba 54%; la Mexican Light, 25%; la American and Foreign, 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. Tal situación del Sector Eléctrico Mexicano motivó al entonces Presidente Adolfo López Mateos a 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 del país. Para ello, el Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, mismas que operaban con serias deficiencias, por la falta de inversión y los problemas laborales.

Al finalizar los 70, se superó el reto de sostener el mismo ritmo de crecimiento, al instalarse entre 1970 y 1980 centrales generadoras por el equivalente a 1.6 veces, para llegar a una capacidad instalada de 17,360 MW. En la década de los 80, el crecimiento

fue menos espectacular, principalmente por la disminución en la asignación de recursos. No obstante, en 1991 la capacidad instalada ascendía a 26,797 MW.

La División inició sus operaciones el día 8 de septiembre de 1954, contratándose a personal que laboraba en el Sistema Hidroeléctrico "Bombaná". En ese entonces, las oficinas se ubicaban en la esquina de la Primera Avenida Norte y Tercera calle Oriente de la Cd. De Tuxtla Gutiérrez Chiapas, donde actualmente se localiza la Agencia Centro de la Zona de Distribución Tuxtla.

La plantilla fundadora de la División Sureste constaba de 16 personas encabezadas por el Ing. Francisco J. Carrión Maytorena quien fue el primer Gerente. En esta etapa se integraron a la División, todos los sistemas eléctricos ubicados en los estados de Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

En el año de 1957 se efectuó el traslado de las Oficinas Divisionales de la Cd. De Tuxtla Gutiérrez Chiapas a la Ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

La "nueva" Sede Divisional a partir de entonces se instaló en la calle de Reforma número 46, esquina con Humbolt, en donde estuvieron operando hasta el año de 1979 en que se cambiaron a la calle de Manuel Álvarez Bravo No. 600, donde actualmente se encuentran.

En el año de 1968 se creó la División Peninsular con las instalaciones y personal que existían en los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo quedándose la División Sureste con los estados de Oaxaca, Chiapas y Tabasco.

## 1.2 MISIÓN

Contribuir al bienestar y progreso de la sociedad satisfaciendo sus necesidades de energía eléctrica, cumpliendo y mejorando nuestros objetivos de calidad declarados en el SGC basados en la norma ISO-9001-2000.

### 1.3 SITUACIÓN ACTUAL

La capacidad de generación de energía eléctrica instalada en el país es de 46,672 MW\*, de los cuales 47.55% corresponde a generación termoeléctrica de CFE; 19.85% a \*productores independientes de energía (PIE); 22.04% a hidroelectricidad; 5.57% a centrales carboeléctricas; 2.06% a geotérmica; 2.92% a nucleoeleétrica, y 0.005% a eoloeléctrica.

En el área de San Cristóbal de las Casas se cuenta con dos subestaciones eléctricas que proveen del suministro de energía eléctrica a toda la ciudad y colonias aledañas estas subestaciones reciben la nomenclatura de CRI y SCO.

### 1.4 LOCALIZACIÓN.

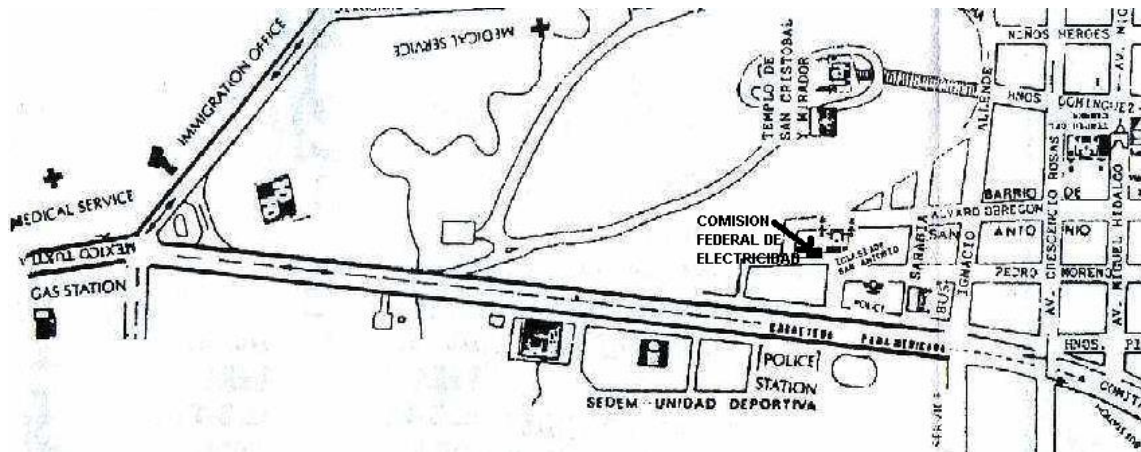


Fig. 1.4 Croquis de la localización de CFE

CFE (Línea de Transmisión San Cristóbal),

R.F.C.: *CFE 370814QIO*.

Domicilio: Clemente Robles y esquina Jaime Nuno S/N

Colonia: Barrio San Antonio

C. P. 06600

Ciudad: San Cristóbal de las Casas Teléfono (no celular) (01)9676749206

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### 2.1 ANTECEDENTES

La palabra *catenaria* se deriva de la palabra latina *catenaria*, que significa “cadena”. La curva también se llama el “alysoid”, “funicular”, y “chainette”. Galileo decía que la curva de una cadena que cuelga bajo gravedad tendría el nombre de parábola, solamente que esto fue refutado por Jungius en un trabajo publicado en 1669.<sup>[1]</sup>

En 1690 Huygens fue el primero que utilizó el término “catenaria” en una letra a Leibniz. David Gregory escribió un tratado de la catenaria en 1690. Sin embargo Thomas Jefferson se acredita generalmente con la palabra inglesa “catenaria”<sup>[2]</sup>.

El uso de la catenaria en la construcción de arcos es antiguo, como descrito más abajo; el redescubrimiento y la declaración de modernos es debido a Roberto Hooke, lo descubrió en el contexto de la reconstrucción Catedral del St Paul<sup>[3]</sup>, posiblemente viendo el trabajo de Huygen sobre la catenaria. En 1671, Hooke menciona a la Sociedad real que él había solucionado el problema de la forma óptima de un arco, y en 1675 publicó una solución cifrada como anagrama latino<sup>[4]</sup> en un apéndice del libro *Descripción de Helioscopes*,<sup>[5]</sup> donde escribió, que él había encontrado “una forma matemática y mecánica verdadera de toda la manera de los arcos para el edificio,” no publicó la solución de este anagrama.<sup>[6]</sup>

El nombre de catenaria se debe a Huygens.

Johann Bernoulli resolvió el problema de la siguiente manera:

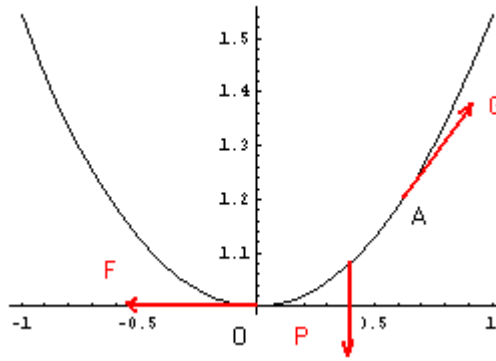


Fig. 2.1 Solución de la catenaria para Bernoulli

Consideró el trozo de cadena OA. Las fuerzas que actúan sobre ese trozo son el peso P, la fuerza F (que depende del lado izquierdo de la cadena y por lo tanto es constante) y G. [7]

## 2.2 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA.

Las fallas que ocurren en cualquier Sistema Eléctrico de Potencia, ponen a prueba una gran cantidad de elementos dinámicos (interruptores, transformadores y generadores) y estáticos (protecciones, comunicaciones y equipos de supervisión), por lo que de fallar cualquiera de ellos se genera una gran cantidad de condiciones anómalas para el Sistema Eléctrico en cuestión, pudiendo ser desde la desconexión del elemento fallado hasta un disturbio de grandes magnitudes. En el caso de las fallas provocadas por la quema de caña, normalmente ocurren del medio día a las primeras horas de la noche, que es el horario de demanda media y/o alta, porque al ocurrir la falla normalmente se operan los Disparos Automáticos de Generación.

En lo que se refiere a los efectos provocados por las fallas en el sector industrial, estas salen de servicio por las variaciones de voltaje que se presentan durante los ciclos que dura la falla, antes de ser detectados por los esquemas de protecciones y liberados por los interruptores de las instalaciones asociadas, teniéndose reclamos por parte de los directivos de las industrias afectadas por la interrupción de sus procesos productivos y afectaciones económicas, ya que en algunos casos deben desechar los productos que



se están manufacturando en el momento del evento y no pueden ser reutilizados, tal es el caso de las industrias farmacéuticas, vidrieras y papeleras. En lo que se refiere a los usuarios comerciales y residenciales, también se ven afectados cuando se deja de suministrar energía eléctrica por periodos largos de tiempo motivados por algún disturbio en el Sistema Eléctrico de Potencia, ya que dejan de generar algún tipo de riqueza y/o bienestar a las personas que en la actualidad dependen de este servicio para las actividades cotidianas.

Otro problema, es el de los pagos que se tienen que realizar al personal ajeno a la C.F.E. por los trabajos de corte de caña en crudo (sin quemar) o por el doblado de la misma, ya que los tabuladores que manejan los ingenios no son únicos, sino que son puestos en base a las negociaciones del grupo directivo de cada ingenio azucarero y las asociaciones de productores de caña. Debido a lo anterior, los precios que se manejan son diferentes ya que cada grupo de quema y corte pide se le recompense de acuerdo a lo que ellos creen conveniente, además no se cuenta con bases administrativas y jurídicas para respaldar los pagos que normalmente realiza el personal sindicalizado de campo, contratado para llevar a cabo las actividades del control de quema de caña.

## 2.3 OBJETIVO.

Elaborar un programa que simule la catenaria, y calcular la altura apropiada de la torre, para evitar los disparos ocurrentes en las líneas de transmisión que atraviesan terrenos donde se encuentre algún cultivo de caña.

## 2.4 METAS.

- Disminuir los disparos en la línea de transmisión por la quema de caña
- Simular la catenaria y estimar la distancia y altura de las torres apropiadas para evitar los disparos.

## 2.5 JUSTIFICACIÓN.

La electricidad es el pilar del desarrollo industrial de todos los países, parte importante del desarrollo social, y elemento esencial para el desarrollo tecnológico.

Cuando en un terreno se tiene caña, estas para poderlas limpiar se queman, lo cual causa que se disparen las líneas de transmisión; con la utilización de un programa se puede simular la catenaria y obtener la altura apropiada de la torre y/o poste para que no suceda ese problema.

## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1 DEFINICIONES

#### 3.1.1 LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Es el conjunto de dispositivos para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo. Y estos son utilizados normalmente cuando no es costeable producir la energía eléctrica en los centros de consumo o cuando afecta el medio ambiente, buscando siempre maximizar la eficiencia, haciendo las pérdidas por calor o por radiaciones lo más pequeñas posibles.

Una **línea de transmisión** es una estructura material utilizada para dirigir la transmisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, comprendiendo el todo o una parte de la distancia entre dos lugares que se comunican.

#### 3.1.2 CONCEPTO DE VANO LUZ Y FLECHA

Se llama vano en una línea eléctrica a la distancia entre apoyo y apoyo. Esta distancia medidas en metros, se denomina luz.

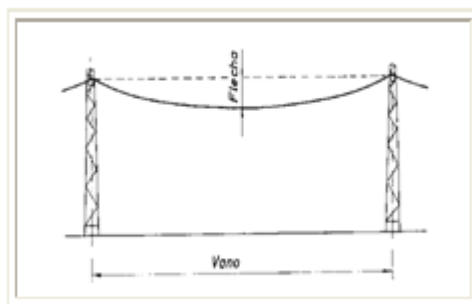


Fig. 3.1.2 Componentes de una catenaria

Se denomina flecha a la distancia entre la línea recta que pasa por las puntas de sujeción de un conductor en dos apoyos consecutivos, y el punto más bajo de este mismo conductor. La curva que provoca el cable se denomina catenaria.

### 3.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

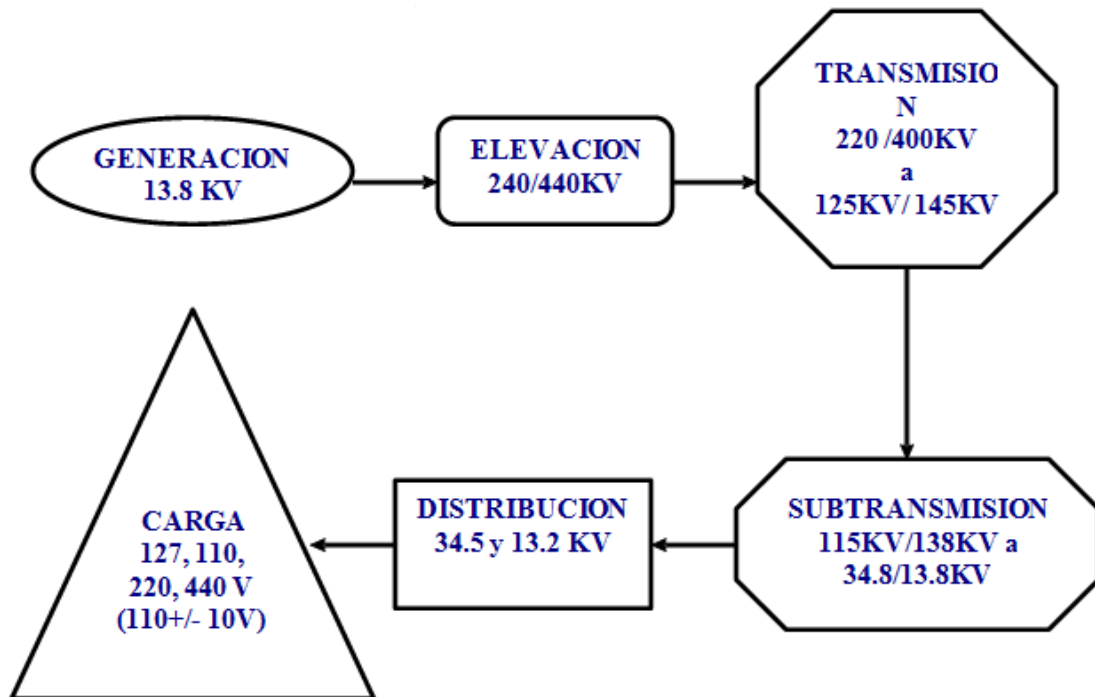


Fig. 3.2. Elementos de un sistema de energía eléctrica

El sistema de energía eléctrica consta de varios elementos esenciales para que realmente la energía eléctrica tenga una utilidad en las residencias e industrias.

Todo comienza cuando en las plantas generadoras de energía eléctrica de las cuales existen varias formas de generar la energía (plantas geotérmicas, nucleares, hidroeléctricas y térmicas).

Después de ese proceso la energía creada se tiene que acondicionar de cierta manera para que en su transportación a los centros de consumo se tenga el mínimo de pérdidas de esa energía, y para eso está el proceso de elevación de voltaje.

Al transmitir la energía se tiene alta tensión o voltaje y menos corriente para que existan menores pérdidas en el conductor, ya que la resistencia varía con respecto a la longitud, y como estas líneas son demasiado largas las pérdidas de electricidad por calentamiento serían muy grandes.

Esa electricidad llega a los centros de distribución el cual estos ya envían la electricidad a los centros de consumo, donde estos reciben electricidad ya acondicionada de acuerdo a sus instalaciones ya sean 110, 127, 220, 240 v.

### 3.3 CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

La energía eléctrica se puede clasificar de acuerdo a la cantidad de volts que esta contenga. En México la energía es clasificada de acuerdo al Artículo 2 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica la cual fue avalada por la Comisión Federal de Electricidad y Clasifica a la tensión de operación:

Voltaje < 1000 v ----- Baja tensión.

1001 < Voltaje < 35000 v ----- Mediana tensión.

220000 < Voltaje > 35000 v ----- Alta tensión (Para nivel de Subtransmision).

Voltaje > 220000 v ----- Alta tensión (para nivel de transmisión.)

### 3.4 ELEMENTOS PRINCIPALES EN UNA LÍNEA AÉREA DE TRANSMISIÓN

- Aisladores  
Vidrio-porcelana  
Hule sintético
- Postes. De madera, cemento, acero
- Seccionadores  
Cuchillas e interruptores
- Conductores
- Banco de capacitadores
- Apartarrayos
- Pararrayos
- Hilos de guarda

### 3.5 TIPOS DE ESTRUCTURA

El tipo o tipos de estructuras que se involucren en el proyecto por donde se construirá la L.S.T. dependen de varios factores como son el uso de suelo actual y futuro, así como de los planes de desarrollo urbano de la localidad; son importantes también el tipo de conductor y número de circuitos que requiera el sistema, además del costo beneficio y nivel de continuidad requerido dependiendo de la importancia de los servicios que se conecten y dependan de la línea.

Todas las estructuras deben apearse a las especificaciones C.F.E.

USO DE SUELO	ESTRUCTURA RECOMENDADA
Urbano	Poste de acero
Semiurbano sin influencia de ciclones	Poste ó Torre de acero diseño anterior
Semiurbano con influencia de ciclones	Torres de acero de nuevo diseño
Rural sin influencia de ciclones	Torre de acero o "H" de Madera o Concreto
Rural con influencia de ciclones	Torre de acero de nuevo diseño

NOTA: En el medio urbano, podrán utilizarse postes de madera únicamente cuando se tenga la certeza de que no se requerirá un segundo circuito, debido a que la utilización que se tiene con estos postes en banqueta o lindero no acepta esta condición.

## 3.6 SELECCIÓN DE UN POSTE

Selección de conductores

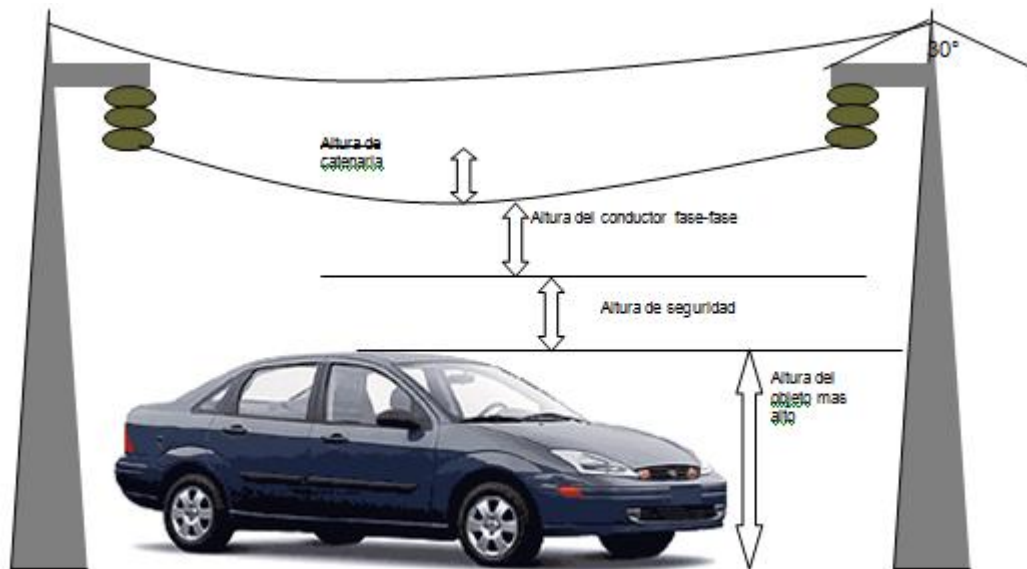


Fig. 3.6 Clasificación de las alturas

- 1.- Que tensión va a llevar la línea
- 2.- Clima de la zona
- 3.- Nivel de voltaje (altura)
- 4.- Altura deseada
- 5.- Altura del objeto más alto

## 3.7 TIPOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

Las líneas de transmisión se clasifican generalmente como balanceadas o desbalanceadas. Con líneas balanceadas de dos cables, ambos conductores llevan una corriente; un conductor lleva la señal y el otro es el regreso.

Este tipo de transmisión se llama transmisión de señal y el otro es el regreso. Este tipo de transmisión se llama transmisión de señal diferencial o balanceada.

La señal que se propaga a lo largo del cable se mide como la diferencia de potencial entre los dos cables. Las corrientes que fluyen en direcciones opuestas por un par de cable balanceados se les llaman corriente de circuito metálico.

Las corrientes que fluyen en las mismas direcciones se le llaman corrientes longitudinales. Un par de cables balanceados tiene la ventaja que la mayoría de la interferencia por ruido (voltaje de modo común) se induce igualmente en ambos cables, produciendo corrientes longitudinales que se cancelan en las carga.

Cualquier par de cable puede operar en el modo balanceado siempre y cuando ninguno de los dos cables esté con el potencial a tierra. Esto incluye al cable coaxial que tiene dos conductores centrales y una cubierta metálica.

La cubierta metálica generalmente se conecta a tierra para evitar interferencia estática al penetrar a los conductores centrales. Con una línea de transmisión desbalanceada, un cable se encuentra en el potencial de tierra, mientras que el otro cable se encuentra en el potencial de la señal.

Este tipo de transmisión se le llama transmisión de señal desbalanceada o de terminación sencilla. Con la transmisión de una señal desbalanceada, el cable de la tierra también puede ser la referencia a otros cables que llevan señales.

### 3.7.1 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE CABLE ABIERTO.

Una línea de transmisión de cable abierto es un conductor paralelo de dos cables. Consiste en dos cables paralelos, espaciados muy cerca y sólo separado por aire.

Los espaciadores no conductivos se colocan a intervalos periódicos para apoyarse y mantenerse a la distancia entre las constantes entre los conductores. Las distancias entre los dos conductores generalmente están entre 2 y 6 pulgadas.

El dieléctrico es simplemente el aire, entre y alrededor de los conductores en donde se propaga la onda transversal electromagnética. La única ventaja real de este tipo de línea de transmisión de cable abierto es su construcción sencilla. Ya que no hay cubiertas, las pérdidas por radiación son altas y susceptibles a recoger ruido. Por lo tanto, las líneas de



transmisión de cable abierto normalmente operan en el modo balanceado.

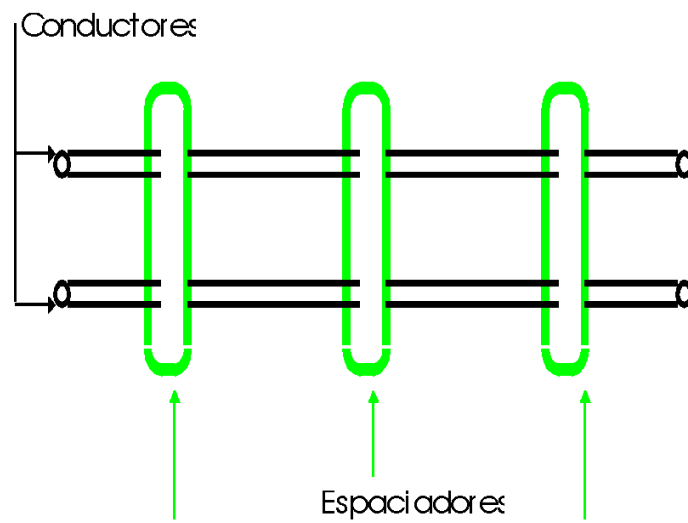


Fig. 3.7.1 Línea de transmisión de cable abierto

### 3.7.2 PAR DE CABLES PROTEGIDO CON ARMADURA

Para reducir las pérdidas por radiación e interferencia, frecuentemente se encierran las líneas de transmisión de dos cables paralelos en una malla metálica conductiva. La malla se conecta a tierra y actúa como una protección.

La malla también evita que las señales se difundan más allá de sus límites y evita que la interferencia electromagnética llegue a los conductores de señales.

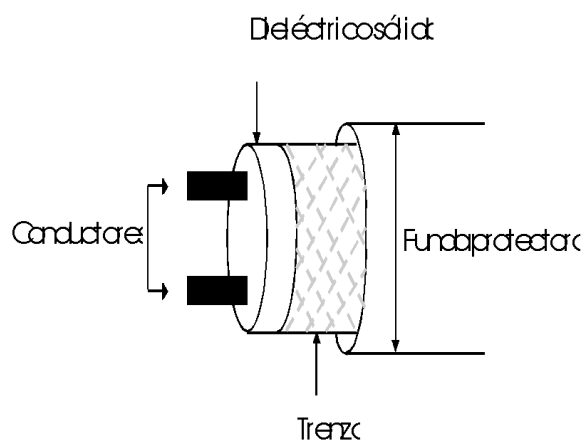


Fig. 3.7.2 Par de cables protegidos con armadura

### 3.7.3 CABLE DE PAR TRENZADO.

Un cable de par trenzado se forma doblando (trenzado) dos conductores aisladores juntos. Los pares se trenzan frecuentemente en unidades, y las unidades, a su vez, están cableadas en el núcleo.

Estas se cubren con varios tipos de funda, dependiendo del uso que se les vaya a dar. Los pares vecinos se trenzan con diferente inclinación (largo de la trenza) para poder reducir la interferencia entre los pares debido a la inducción mutua. Las constantes primarias del cable de par trenzado con sus parámetros eléctricos (resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia), que están sujetas a variaciones con el ambiente físico como temperatura, humedad y tensión mecánica, y dependen de las variaciones en la fabricación.

### 3.7.4 CABLES GEMELOS

Los cables gemelos son otra forma de línea de transmisión para un conductor paralelo de dos cables. Los cables gemelos frecuentemente son llamados cable de cinta. Los cables gemelos esencialmente son igual que una línea de transmisión de cable abierto, excepto que los espaciadores que están entre los dos conductores se reemplazan con un dieléctrico sólido continuo. Esto asegura los espacios uniformes a lo largo de todo el cable, es una característica. Típicamente, la distancia entre los dos conductores es de 5/16 de pulgada, para el cable de transmisión de televisión. Los materiales dieléctricos más comunes son el teflón y el polietileno.

### 3.7.5 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN COAXIAL O CONCÉNTRICA

Las líneas de transmisión de conductores paralelos son apropiadas para las aplicaciones de baja frecuencia. Sin embargo, en las frecuencias altas, sus pérdidas por radiación y pérdidas dieléctricas, así como su susceptibilidad a la interferencia externa son excesivas.

Los conductores coaxiales se utilizan extensamente, para aplicaciones de alta frecuencia, para reducir las pérdidas y para aislar las trayectorias de transmisión. El cable coaxial básico consiste de un conductor central rodeado por un conductor exterior concéntrico (distancia uniforme del centro).

A frecuencias de operación relativamente altas, el conductor coaxial externo proporciona una excelente protección más baja, el uso de la protección no es costeable. Además el conductor externo de un cable coaxial generalmente está unido a tierra, lo que limita su uso a las aplicaciones desbalanceadas.

Hay dos tipos de cables coaxiales: líneas rígidas llenas de aire y líneas sólidas flexibles. En una línea coaxial rígida de aire, el conductor central está rodeado de forma coaxial por un conductor externo tubular y el material aislante es el aire. El conductor externo físicamente está aislado y separado del conductor central por un espaciador, que generalmente está hecho de Pirex, polietileno, o algún otro material no conductor.

En un cable coaxial sólido flexible, el conductor externo estará trenzado, es flexible y coaxial al conductor central. El material aislante es un material de polietileno sólido no conductor que proporciona soporte, así como aislamiento eléctrico entre el conductor interno y externo. El conductor interno es un cable de cobre flexible que puede ser sólido o hueco. Los cables coaxiales rígidos llenos de aire son relativamente caros en su fabricación, y el aislante de aire debe de estar relativamente libre de humedad para minimizar las pérdidas.

Los cables coaxiales son relativamente inmunes a la radiación externa, y pueden operar a frecuencias más altas que sus contrapartes de cables paralelos. Las desventajas básicas de las líneas de transmisión coaxial es que son caras y tienen que utilizarse en el modo desbalanceado.

### 3.8. CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Las características de una línea de transmisión se determinan por sus propiedades eléctricas, como la conductancia de los cables y la constante dieléctrica del aislante, y sus propiedades físicas, como el diámetro del cable y los espacios del conductor.

Estas propiedades, a su vez, determinan las constantes eléctricas primarias:

- resistencia de CD en serie (  $R$  ),
- inductancia en serie (  $L$  ),
- capacitancia de derivación (  $C$  ),
- y conductancia de derivación (  $G$  ).

La resistencia y la inductancia ocurren a lo largo de la línea, mientras que entre los dos conductores ocurren la capacitancia y la conductancia.

Las constantes primarias se distribuyen de manera uniforme a lo largo de la línea, por lo tanto, se les llama comúnmente parámetros distribuidos.

Los parámetros distribuidos se agrupan por una longitud unitaria dada, para formar un modelo eléctrico artificial de la línea.

Las características de una línea de transmisión se llaman constantes secundarias y se determinan con las cuatro constantes primarias.

Las constantes secundarias son impedancia característica y constante de propagación.

### 3.9 SELECCIÓN DE LA TRAYECTORIA.

En este punto se debe definir la trayectoria más conveniente por donde se proyecte y construya la L.S.T., así como lo siguiente:

- a) La distancia entre los puntos de salida y llegada de la línea debe ser lo más corta posible. Debe estar lo más cerca posible de los accesos y vías de comunicación.

- b) Evitar cruzar, hasta donde sea posible, terrenos abruptos, difíciles o fangosos.
- c) Evitar cruzar zonas urbanas actuales o en futuros desarrollos.
- d) Evitar tener cambios bruscos de dirección a lo largo de su trayectoria.
- e) Utilizar los derechos de vía de líneas existentes y el cambio a estructuras multicircuitos, cuando operativamente sea factible.

### 3.10 MATERIALES UTILIZADOS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Existen varios materiales que son utilizados en las líneas de transmisión, esto de acuerdo a las necesidades de la línea. Por ejemplo el cobre duro es utilizado en las líneas aéreas donde se requiere más propiedades mecánicas de tensión ya que si se pone cobre suave la línea tendera a expandirse debido a la gravedad y a su propio peso. Y en líneas subterráneas se utiliza el cobre suave, debido a que si utilizamos el cobre duro le quitaría la flexibilidad, que estas requieren para su instalación y manejo.

Tabla 3.10.- Propiedades de los cables

Material	Densidad gr/cm <sup>3</sup>	Temp. de Fusion °C	Coef. de dilatacion X 10 <sup>-4</sup> °C	Temp. Ideal R ≈ 0 Ω	Resistividad Electrica ) 20 °C Ω-mm <sup>2</sup> /km	Coef. termico de resistividad 20 °C	Conductividad Electrica en % con el cobre suave
Acero	7.90	1400	13	208.5	575-115	0.0016- 0.0032	3-15
Aluminio	2.70	660	24	228	28.264	0.00403	61
Cobre duro	8.89	1083	17	241	17.922	0.00383	96.2
Cobre suave	8.89	1083	17	234.5	17.241	0.00383	100
Plomo	11.38	327	29		221	0.0040	7.8
Zinc	7.14	420	29		61.1	0.004	28.2
Estano	7.28	231.9	0.2270	269.42	120	.0046	

### 3.11 SELECCIÓN DE CABLES CONDUCTORES Y DE GUARDA.

Se debe seleccionar y especificar el calibre y tipo de cable a utilizar tanto para conductor como para guarda, de acuerdo a las especificaciones de C.F.E. E0000-12 y E0000-22 respectivamente, considerándose la necesidad de la demanda máxima que cubrirá la L.S.T. durante su vida útil y el grado y tipo de contaminación de la región donde se construirá, así como la carga máxima en contingencia.

Para regiones donde la contaminación es de tipo ácida o salina, se debe considerar que el núcleo del cable conductor sea de ALUMOWEALD.

Tabla 3.11.- Tipos de cables para líneas aéreas

CABLE CONDUCTOR O GUARDA	TÉRMICA EN A CARGA REGULACIÓN	TIPO DE NÚCLEO	PARA USO EN AMBIENTE
266 ACSR	30	ACERO GALVANIZADO	NORMAL
266 ACSR/AW		ALUMOWEALD	CORROSIVO, SALINO
477 ACSR	50	ACERO GALVANIZADO	NORMAL
477 ACSR/AW		ALUMOWEALD	CORROSIVO, SALINO
795 ACSR	70	ACERO GALVANIZADO	NORMAL
795 ACSR/AW		ALUMOWEALD	CORROSIVO, SALINO
1/16" ACERO GALVANIZADO		ACERO GALVANIZADO	NORMAL
3#8 ALUMOWEALD		ALUMOWEALD	CORROSIVO, SALINO

El Conductor ACSR 266 MCM, solo se utiliza en L.S.T. donde su servicio sea para alimentar únicamente a usuarios que no requieran de una alta demanda y que no se contemplen futuros servicios que dependan de ésta, ya que por lo general las L.S.T.'s. que actualmente se construyen, son proyectadas con conductores de mayor calibre, con el objeto de transmitir demandas de energía altas y por otra parte para futuras derivaciones. [8]

### 3.12 NÚMERO DE CIRCUITOS.

De acuerdo al tipo de estructura, la cantidad de circuitos puede ser variable dependiendo primeramente de la necesidad del desarrollo, sin embargo es importante que cuando se construyan las L.S.T.'s. en estructuras que puedan llevar más de un circuito (Postes Multicircuitos) se deben considerar como mínimo dos, ya que con

esto se optimizan los trámites de los derechos de vía o servidumbres de paso para futuros crecimientos de la demanda, en los cuales se requiere de otra L.S.T., así como los costos de construcción, operación y mantenimiento.

Es importante definir en este punto el número de conductores por fase y su configuración, ya que esto debe considerarse para la elaboración del proyecto..

### 3.13 ELEMENTOS CONSTITUIDOS DE LA CADENA

Están constituidos por los aisladores y herrajes. Los aisladores deberán ser de vidrio o de otro material cerámico, del tipo caperuza y vástago.

Los herrajes utilizados son:

- Horquilla bola
- Grillete
- Anilla bola normal y de protección
- Ritula normal y de protección.
- Grapa de suspensión
- Varilla proferida para protección.

Los materiales férricos estarán galvanizados al fuego. Todas las partes roscadas de las tuercas se engrasarán para evitar oxidaciones.

**Horquilla bola.-** Se designará con las siglas HB, seguidas de las cifras 11 ó 16, según sea el tipo de enlace entre el vástago y la caperuza. Dispondrá de un pasador de seguridad adecuado para garantizar la fijación de la tuerca.

**Grillete.-** Se designará con las siglas GN. Cuando se desee dar mayor longitud a la cadena, en vez de la horquilla bola, se utilizará el grillete normal y la anilla bola. Dispondrá de una arandela y un pasador de seguridad adecuados para impedir la salida del burlón.

**Anilla bola normal y de protección.-** Se designará con las letras AB, seguidas de las

cifras 11 ó 16, según sea el tipo de enlace entre el vástago y la caperuza. Para designar la protección, cuyo vástago estará preparado para colocar el dispositivo de protección (descargador), se le agregará la sigla P.

**Rótula normal y de protección.-** La normal se designará con las siglas R, seguidas de las cifras 11 ó 16. Se añadirá la sigla A, cuando la patilla inferior tenga espesor superior al normal.

**Grapa de suspensión.-** Se designará con las siglas GS, seguidas de una cifra indicativa de un número de orden (GS1, GS2, GS3,GS4). Las grapas dispondrán de una arandela y un pasador de seguridad para impedir la salida del bulón.

**Grapas de amarre.-** Se designarán con las siglas GA, seguidas de una cifra indicativa de un número de orden (GA1, GA2, GA3). Las grapas dispondrán de una arandela y un pasador de seguridad, para impedir la salida del bulón.

### 3.14 AISLAMIENTOS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREA

Los sistemas de aislamiento en líneas de transmisión comprenden principalmente dos elementos: el aire y los elementos aisladores. Al ubicarse las líneas de transmisión al aire libre y cubrir, en muchos casos, cientos de kilómetros se hace necesario considerar diversos factores para un buen desempeño del aislamiento. Estos factores deben tomar en cuenta los espaciamientos mínimos línea-estructura, línea-tierra y entre fases, el grado de contaminación del entorno, la cantidad de elementos aisladores a considerar y la correcta selección de estos.

#### 3.14.1 EL AIRE EN EL AISLAMIENTO DE LÍNEAS

El aire es sin lugar a dudas el más usado de los aislantes para líneas de transmisión de energía. Los factores que pueden influir a la rigidez dieléctrica del aire son:

- Densidad del aire.
- Altura sobre el nivel del mar.
- Humedad y presencia de partículas contaminantes.



Este último factor adquiere gran importancia en el diseño y mantenimiento de los elementos aisladores.

### 3.14.2 AISLADORES DE LÍNEA

En las líneas de transmisión se distinguen básicamente tres tipos de aisladores:

- Suspensión.
- Barra larga.
- Poste.

Los aisladores de suspensión o disco, son los más empleados en las líneas de transmisión, se fabrican de vidrio o porcelana uniéndose varios elementos para conformar cadenas de aisladores de acuerdo al nivel de tensión de la línea y el grado de contaminación del entorno.

En esta figura se aprecian los principales tipos de aisladores de suspensión.

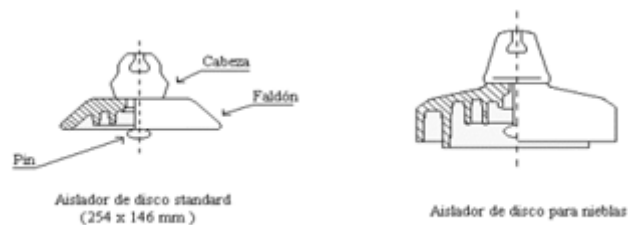


Fig. 3.12.2.1 Componentes de un aislador

Los aisladores de barra larga comenzaron a desarrollarse hace 30 años. Constituyen elementos de una sola pieza y se fabrican de porcelana o de materiales sintéticos. Estos aisladores requieren menos mantenimiento que los del tipo disco, no obstante su costo es más elevado. En esta figura se aprecia un aislador de barra larga sintético.



Fig. 3.12.2.2 Aislador de barra larga sintético.

Los aisladores de tipo poste se fabrican con porcelana o materiales sintéticos. Se utilizan poco en líneas de transmisión y para tensiones mayores de 230 kV. Su principal aplicación es en las subestaciones.



Fig. 3.12.2.3 Aislador tipo poste

Los aisladores de porcelana vidriada por lo general contienen un 50% de caolín, 25% de feldspatos y 25% de cuarzo, la porcelana debe ser moldeada por los procedimientos en húmedo, homogéneos, compactos sin porosidad y toda la superficie después de armado debe ser verificada.

### 3.15 FUNCIÓN DE UN AISLADOR

Los aisladores dentro de las líneas de transmisión realizan dos funciones básicas:

- Función eléctrica: Aislar el conductor de la tierra.
- Función mecánica: soportar al conductor.

Es necesario en el diseño de los aisladores de una línea de transmisión aérea, tomar en cuenta dos factores importantes:

- Exigencias Eléctrica de Explotación

Exigencias Mecánicas de Explotación

### 3.16 HERRAJES EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREA

Los herrajes son estructuras metálicas que acompañan la estructura de soporte de las líneas de transmisión aéreas, y que poseen muy variadas funciones. Una de las clasificaciones más común empleada es aquella que los incluye en dos grandes grupos:

- Herrajes que forman arreglos o conjuntos.
- Herrajes independientes

#### 3.16.1 HERRAJES QUE FORMAN ARREGLOS O CONJUNTOS

Los herrajes que forman arreglos son conjuntos de pieza metálica que se agrupan para llevar a cada una función muy particular. La selección de cada uno de los herrajes que conforman el arreglo no puede ser realizada sin tomar en cuenta el conjunto y los elementos a los cuales acopla. El arreglo de los herrajes puede ser:

- Herrajes de fijación de cadena de aisladores a torre.
- Herrajes para unir entre si los extremos de la cadena de aisladores y los conductores.
- Herrajes para proteger los aisladores.
- Mordazas de amarre y suspensión.
- Herrajes para el cable de guarda.

### 3.16.2 HERRAJES PARA LA FIJACIÓN DE AISLADORES A LAS TORRES

Para llevar a cabo la fijación de las cadenas de aisladores a las torres, existen básicamente dos alternativas, los grilletes y las articulaciones de fijación tipo bisagra (hinge).

## 3.17 LONGITUD ELÉCTRICA DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

La longitud de una línea de transmisión relativa a la longitud de onda que se propaga hacia abajo es una consideración importante, cuando se analiza el comportamiento de una línea de transmisión. A frecuencias bajas (longitudes de onda grandes), el voltaje a lo largo de la línea permanece relativamente constante. Sin embargo, para frecuencias altas, varias longitudes de onda de la señal pueden estar presentes en la línea al mismo tiempo.

Por lo tanto, el voltaje a lo largo de la línea puede variar de manera apreciable. En consecuencia, la longitud de una línea de transmisión frecuentemente se da en longitudes de onda, en lugar de dimensiones lineales. Los fenómenos de las líneas de transmisión se aplican a las líneas largas. Generalmente, una línea de transmisión se define como larga si su longitud excede una dieciseisava parte de una longitud de onda; de no ser así, se considera corta. Una longitud determinada, de línea de transmisión, puede aparecer corta en una frecuencia y larga en otra frecuencia.

### 3.17.1 PERDIDAS EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

Para propósitos de análisis, las líneas de transmisión frecuentemente se consideran totalmente sin pérdidas. Sin embargo, hay varias formas en que la potencia se pierde en la línea de transmisión, son;

- pérdidas del conductor,
- pérdida por radiación,

- pérdida por el calentamiento del dieléctrico,
- pérdida por acoplamiento, y descarga luminosa (corona).

### 3.17.2 PÉRDIDAS DEL CONDUCTOR.

Debido a que la corriente fluye, a través de una línea de transmisión, y la línea de transmisión tiene una resistencia finita, hay una pérdida de potencia inherente e inevitable. Esto a veces se llama pérdida del conductor o pérdida por calentamiento del conductor y es, simplemente, una pérdida por calentamiento.



Debido a que la resistencia se distribuye a lo largo de la línea de transmisión, la pérdida por calentamiento del conductor es directamente proporcional al cuadrado de longitud de la línea. Además, porque la disipación de potencia es directamente proporcional al cuadrado de la corriente, la pérdida del conductor es inversamente proporcional a la impedancia característica.

Para reducir las pérdidas del conductor, simplemente debe acortarse la línea de transmisión, o utilizar un cable de diámetro más grande (deberá mantenerse en mente que cambiar el diámetro del cable, también cambia la impedancia característica y, en consecuencia, la corriente).

## 3.19 CONFIGURACIÓN DE LOS APOYOS PARA LÍNEAS AÉREAS

Para la configuración de los apoyos, resulta de suma importancia la separación mínima entre los conductores y entre estos y el apoyo. También se debe de tener en cuenta distintos factores, tales como las condiciones del terreno y condiciones geográficas locales.

Las líneas aéreas se instalan con uno o con dos conductores por fase, lo que obliga al montaje de una o más crucetas, dando lugar a distintas configuraciones de apoyos. Algunas configuraciones típicas de los apoyos son las siguientes:

-  H.- Configuración en horizontal de los conductores. Simple circuito Fig.- 3 a.
-  T.- Configuración en T de los conductores. Simple circuito

- ✚ TB.- Configuración en tresbolillo. Simple circuito
- ✚ E.- Configuración en hexágono. Doble circuito
- ✚ R.- Configuración rectangular. Doble circuito
- ✚ B.- Configuración en bóveda. Simple circuito

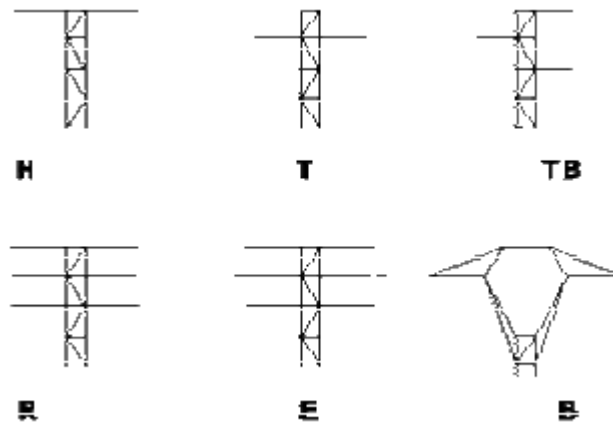


Fig. 3.19 Tipos de torres

### 3.20 ESFUERZOS A QUE ESTÁN SOMETIDOS LOS APOYOS EN LAS LÍNEAS AÉREAS

Los apoyos para líneas aéreas están sometidos a diferentes clases de esfuerzos, entre ellos podemos distinguir:

**Esfuerzos verticales.-** Son aquellos debidos al peso de los conductores y sobrecargas en los conductores.

**Esfuerzos transversales.-** Son debidos a la acción del viento sobre los apoyos, o a la acción resultante de los conductores cuando están formando ángulo.

**Esfuerzo longitudinales.-** Provocados en los apoyos de principio o final de línea, por la tracción longitudinal de los conductores.

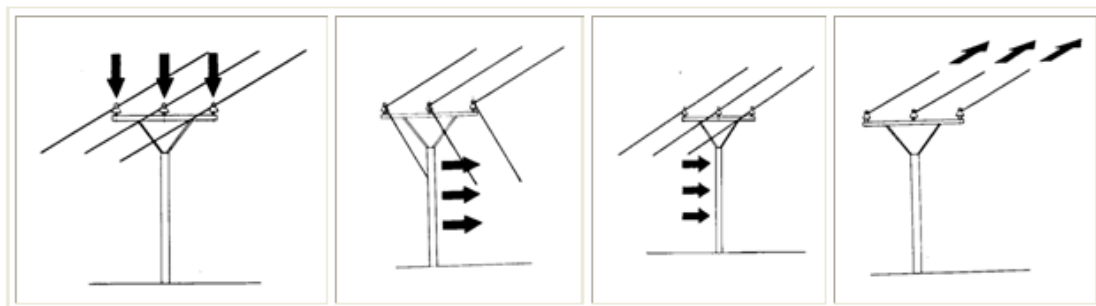


Fig. 3.20 Tipos de esfuerzos a los que están sometidos los apoyos en las líneas aéreas

### 3.21 LIBRAMIENTOS, CRUZAMIENTOS Y PARALELISMO

En la operación de las Líneas de Transmisión y Subtransmisión se deben de considerar ciertas medidas de seguridad en lo que respecta a las distancias mínimas en aire en los casos de cruzamientos con otras líneas de energía eléctrica, calles, carreteras, vías de ferrocarril, ríos navegables y otras líneas de comunicación. Así mismo, deben hacerse éstas consideraciones para el paralelismo, adicionándose a los casos mencionados en los cruzamientos, el caso especial de ductos subterráneos para evitar los efectos de altos potenciales debido a condiciones de corriente de falla a tierra. La especificación CFE L0000 06 de Coordinación de Aislamiento prevé estos casos de cruzamiento y paralelismo y se resumen a continuación.

#### 3.21.1 DISTANCIAS MÍNIMAS DE CRUZAMIENTOS

Con una vía de ferrocarril no energizada:

- Vertical  $h = 8.0 + 0.015v$
- Horizontal debe ser *mayor que la altura de la estructura.*

Con una vía de ferrocarril electrificada o tranvía:

- Vertical  $h = 1.5 + 0.015v$
- Horizontal debe ser *mayor que la altura de la estructura.*

Con autopista, carretera o calle:

- Vertical  $h = 7.0 + 0.005v$
- Horizontal debe ser *mayor que la altura de la estructura.*

Con un río navegable:

- Vertical al nivel mas alto de agua  $h=7.0+0.015v$ ,  $d=3.0+0.01v$  a la parte más alta del barco
- Horizontal debe ser *mayor que la altura de la estructura.*

Entre líneas de energía eléctrica:

Para líneas de hasta 161 kV fase a fase (línea que cruza)

- Vertical  $d > 1.5+0.02v$  ( $v$  es kV máxima de fase a fase de la línea de mayor tensión)
- Horizontal  $d > 3.0+0.02v$  ( $v$  es kV máxima de fase a fase de la línea de mayor tensión)

Para líneas con voltajes mayores de 161 kV (línea que cruza)

- vertical  $d > 3.3+v/100$  ( $v$  es kV máxima de fase a fase de la línea de mayor tensión)
- horizontal  $d > 5.0+v/150$  ( $v$  es kV máxima de fase a fase de la línea de mayor tensión)

### 3.21.2 PARALELISMO

De líneas de energía eléctrica

- Líneas en estructuras independientes  $d > 1.5h$  ( $d$  = distancia entre conductores y  $h$  es igual a la altura del conductor de línea de mayor voltaje)
- Líneas compartiendo la misma estructura:

Hasta 69 kV  $d > 1.5+v/100$

Superiores a 69 kV  $d > 3.3+v/100$  (en ambos casos  $v$  es el voltaje de fase a fase de la línea de mayor tensión  $d$  esta dado en metros)

Con líneas de telecomunicación  $d > 1.5h$  ( $h$  es la altura del conductor más alto y puede ser de cualquiera de las líneas,  $d$  se obtiene en metros)

Con carreteras y autopistas  $d > 25$  metros entre conductor extremo y extremo más cercano de la vía.



Vías de ferrocarril o cursos de agua navegables, la distancia entre conductor extremo y vía o cauce, superior a 25 metros.

En el caso de líneas a lo largo de calles de zonas urbanas, se debe de conservar una distancia entre el conductor más cercano a la construcción o edificio:

Para líneas menores de 69 kV  $d > 2$  metros

Para líneas entre 69 y 230 kV  $d > 5$  metros

Para líneas mayores de 230 kV  $d > 7$  metros

Lo anterior, da como resultado que las líneas urbanas deben de instalarse en calles cuyas banquetas sean mayores de 2.6 metros.

Para derechos de vía compartidos con ductos subterráneos de tubería metálica, se recomienda una separación mínima de 10 metros entre el sistema de tierra de la línea de energía eléctrica y la tubería, cuando ésta separación no es posible deben utilizarse técnicas de aterrizamiento de la tubería.

En la Tabla 3.21.2 se proporcionan las distancias mínimas en metros que deben respetarse para cruzamientos de Líneas de Subtransmisión de 69 y 115 kV.

Tabla 3.21.2 Distancia radial mínima en metros desde el cable conductor a 50 °c y sin viento en líneas de subtransmision

	VOLTAJE EN kV		
	69	115	138
<b>CRUZAMIENTOS SOBRE</b>			
VÍAS DE FF.CC.	9.10	9.80	10.10
CARRETERAS Y AUTOPISTAS	7.40	7.60	7.70
CALLES CALLEJONES Y CAMINOS VECINALES	7.40	7.60	7.70
ESPACIOS NO TRANSITADOS POR VEHÍCULOS	6.50	7.0	7.50
ZONAS CON CULTIVO DE CAÑA	14.0	14.0	14.0
<b>A LO LARGO DE</b>			
CALLES O CALLEJONES EN DISTINTOS URBANOS	4.00	4.50	4.70
CAMINOS EN DISTINTOS RURALES	15.00	15.00	15.00
DUCTOS METÁLICOS SUBTERRÁNEOS (1)	10.00	10.00	10.00
<b>SEPARACIÓN MÍNIMA ENTRE CONDUCTORES QUE SE CRUZAN</b>			

LÍNEAS DE COMUNICACIÓN	2.30	2.90	3.10
CABLES DE GUARDA O RETENIDAS	2.30	2.90	3.10
L. D. HASTA DE 50 kV	2.30	2.90	3.10
L ST DE 69 kV	2.30	2.90	3.10
L ST DE 115 kV	2.30	2.90	3.10
L.T. DE 230 kV	4.20	4.20	4.20
L.T. DE 400 kV	6.20	6.20	6.20

(1) MEDIDO DESDE EL SISTEMA DE TIERRA DE LAS ESTRUCTURAS O LA PROPIA ESTRUCTURA.

## 3.22 PARÁMETROS DE DISEÑO UTILIZADOS

Existen parámetros normalizados para el diseño de líneas de subtransmisión, los cuales como se podrá observar en la tabla que se presenta a continuación, dependen del tipo de estructura a utilizar y el tipo de lugar donde se construirá.

Tabla 3.22  
Parámetros aproximados a 50 °c sin viento y en condiciones finales para estructuras normalizadas en c.f.e.

TIPO DE LINEA	CONDUCTOR	ESTRUCTURA	PARÁMETRO CONDUCTOR	CLARO	PARÁMETRO CABLE DE GUARDA
RURAL	266	HC, HM	1200	170	1800
	477	postes de 15 m	1300	210	1800
	266	TA	1500	360	1800
URBANA	477	Nivel +0	1600	400	1800
	795				
URBANA	266	PMO	350	100	450
	477	Poste Tipo I			
URBANA	266	PTA 1C	1200	144	550
	477		800	130	
	795		600	130	

## 3.23 CALCULO MECÁNICO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS

### 3.23.1 ECUACIÓN CARTESIANA DE LA CATENARIA

La curva que adopta un cable flexible, con una carga uniformemente distribuida a lo largo del cable, suspendido de dos puntos, se llama catenaria.

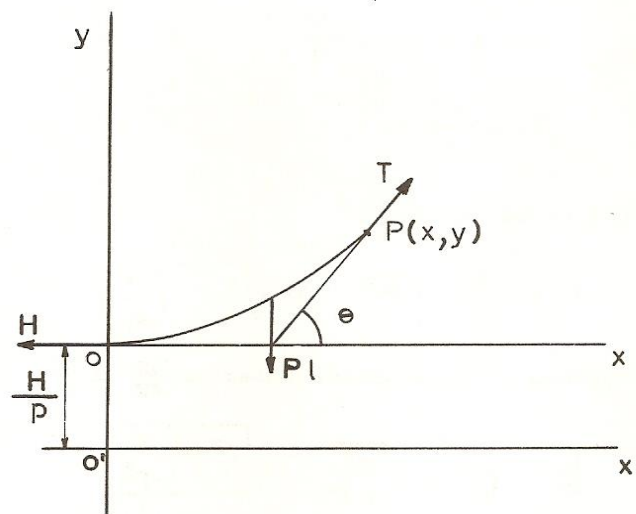


Fig 3.23. Condición de equilibrio del arco de catenaria OP

Considérese el arco de catenaria OP de la Fig. 12

Sean:

$l$  = longitud del arco de la catenaria OP.

$T$  = tensión mecánica en el punto P

$H$  = tensión mecánica en el punto inferior de la catenaria

$p$  = peso del cable por unidad de longitud

Se pueden escribir las siguientes ecuaciones de equilibrio para el arco de catenaria OP:

$$T \cos\theta - H = 0 \quad (1)$$

$$T \sen\theta - pl = 0 \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2):

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{pl}{H}$$

$$dy = \frac{pl}{h} dx \quad (3)$$

Por otro parte se tiene:

$$dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dy \sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior  $\frac{dx}{dy} = \frac{H}{pl}$

$$\frac{dl}{dy} = \sqrt{1 + \frac{H^2}{p^2 l^2}} = \frac{\sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}}{l}$$

$$dy = \frac{l}{\sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}} dl \quad (4)$$

Integrando

$$y + c_1 = \sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}$$

Si se toma un nuevo eje de las abscisas  $0' x'$  paralelo a  $0x$  y a una distancia de este igual a  $\frac{H}{p}$ , se verifica, para los ejes  $0' y$ ,  $0' x'$ :

$$\text{Si } l=0, y = \frac{H}{p}$$

Por lo tanto  $c_1 = 0$

$$y = \sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}} \quad (5)$$

Considérense ahora las ecuaciones (3) y (4). Eliminando  $dy$  entre estas ecuaciones:

$$\frac{pl}{H} dx = \frac{ldl}{\sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}}$$

$$dx = \frac{H}{p} \frac{dl}{\sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}}$$

Integrando

$$x + c_2 = \frac{H}{p} \text{Ln} \left( 1 + \sqrt{\frac{H^2}{p^2} + l^2} \right)$$

$$l=0 \text{ cuando } x=0 \therefore c_2 = \frac{H}{p} \text{Ln} \frac{H}{p}$$

$$x = \frac{H}{p} \text{Ln} \frac{l + \sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}}{\frac{H}{p}}$$

$$\frac{px}{H} = \text{Ln} \frac{l + \sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}}{\frac{H}{p}}$$

Por lo tanto:

$$\frac{px}{e^H} = \frac{l + \sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}}{\frac{H}{p}}$$

$$\frac{H}{p} \frac{px}{e^H} = \frac{l + \sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}}{\frac{H}{p}} \quad (6)$$

De la ecuación anterior

$$\frac{1}{\frac{H}{p} \frac{px}{e^H}} = \frac{1}{1 + \sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}}$$

Multiplicando el numerador y el denominador del segundo término de la ecuación anterior por  $\sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}} - l$ :

$$\frac{H}{p} \frac{px}{e^H} = \sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}} - l \quad (7)$$

Sumando (6) y (7):

$$\frac{H}{p} \left( \frac{px}{e^H} + e^{-\frac{px}{H}} \right) = 2 \sqrt{l^2 + \frac{H^2}{p^2}}$$

Sustituyendo en la ecuación (5) y recordando que:

$$\text{Cosh } a = \frac{e^a + e^{-a}}{2}$$

$$y = \frac{H}{p} \text{Cosh} \frac{px}{H} \quad (8)$$

Que es la ecuación cartesiana de la catenaria.

La longitud del arco de la catenaria  $l$  se obtiene de la siguiente forma:

Restando (7) de (6)

$$\frac{H}{p} \left( e^{\frac{px}{H}} - e^{-\frac{px}{H}} \right) = 2l$$

Recordando que  $\text{Senh } a = \frac{e^a - e^{-a}}{2}$ :

$$l = \frac{H}{p} \text{Senh } \frac{px}{H} \quad (9)$$

La tensión mecánica  $T$  en un punto  $P$  de la catenaria, de coordenadas  $x$ ,  $y$ , está dada por la siguiente expresión:

Elevando al cuadrado las ecuaciones (1) y (2) y sumando:

$$T^2 \cos^2 \theta + T^2 \text{sen}^2 \theta = H^2 + p^2 l^2$$

$$T^2 (\cos^2 \theta + \text{sen}^2 \theta) = p^2 \left( \frac{H^2}{p^2} + l^2 \right)$$

$$T^2 = p^2 y^2$$

$$T = py$$

Sustituyendo en la ecuación anterior la expresión de  $y$  dada por la ecuación (8)

$$T = H \text{Cosh } \frac{px}{H} \quad (10)$$

### 3.23.2 FÓRMULAS DE LA CATENARIA

Considérese el caso de un cable flexible, de peso uniforme, suspendido de dos puntos que están a un mismo nivel y a una distancia uno del otro, como se indica en la Fig. 12

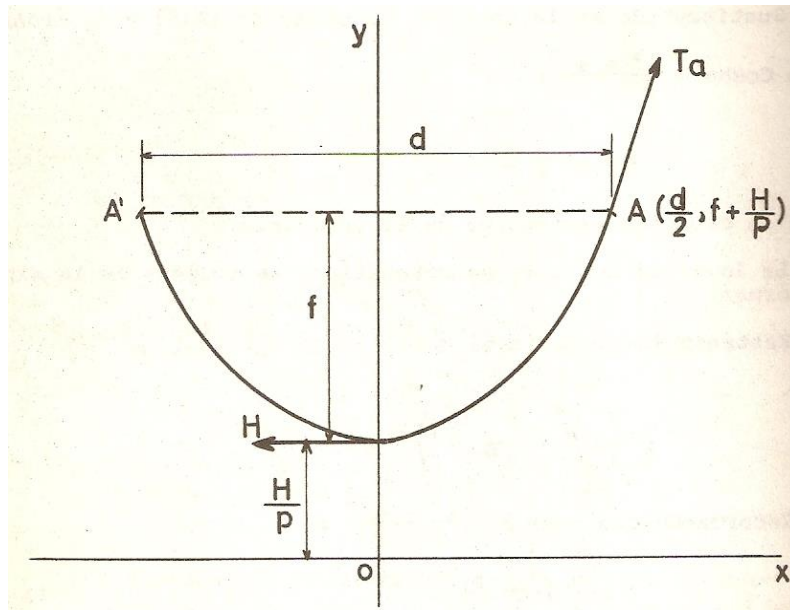


Fig. 3.23.2 Cable suspendido de dos puntos de apoyo colocados al mismo nivel

En la fig. 13

$d$  = claro o vano

$f$  = flecha

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

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

$p$  = peso del cable por unidad de longitud

$L$  = longitud del arco de la catenaria A A'

Aplicando las expresiones (8), (9) y (10) para el caso en que:

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

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

Se tiene:

$$f = \frac{H}{p} \left[ \left( \cosh \frac{pd}{2H} \right) - 1 \right] \quad (11)$$

$$L = \frac{2H}{p} \operatorname{sen} h \frac{pd}{2H} \quad (12)$$



$$T\alpha = H \cosh \frac{pd}{2H} \quad (13)$$

### 3.23.3 FORMULA DE LA PARÁBOLA

La ecuación cartesiana de la catenaria es

$$y = \frac{H}{P} \text{Cosh} \frac{px}{H}$$

Desarrollando el coseno hiperbólico en una serie infinita:

$$y = \frac{H}{P} \left( 1 + \frac{p^2 x^2}{2H^2} + \frac{p^4 x^4}{24H^4} + \dots \right)$$

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

$$y = \frac{H}{p} + \frac{px^2}{2H} \quad (14)$$

Que es la ecuación de una parábola.

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

La flecha está dada por la expresión:

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

Sustituyendo en la expresión anterior el valor de  $y$  dado por la ecuación (14) y haciendo

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

$$f = \frac{pd^2}{8H} \quad (15)$$

La longitud del cable puede deducirse de la siguiente forma:

Partiendo de la expresión:

$$L = \frac{2H}{P} \operatorname{Senh} h \frac{pd}{2H}$$

Desarrollando el seno hiperbólico es una serie infinita:

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

Y tomando únicamente los dos primeros términos de la serie:

$$L = \frac{2H}{P} \left( \frac{pd}{2H} + \frac{p^3 d^3}{48H^3} \right)$$

$$L = d + \frac{p^2 d^3}{24H^2} \tag{16}$$

La longitud del cable puede expresarse también en función de la flecha.

Partiendo de la ecuación (16) y teniendo en cuenta que:

$$\frac{p^2 d^3}{24H^2} = \frac{p^2 d^4}{64H^2} \cdot \frac{8}{3d}$$

Y que, de acuerdo con la ecuación (15)

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

Resulta:

$$L = d + \frac{8f^2}{3d} \tag{17}$$

La tensión mecánica en los apoyos se deduce de la siguiente manera:

Partiendo de la expresión:

$$T_a = H \operatorname{Cosh} \frac{pd}{2H}$$

Desarrollando el coseno hiperbólico en una serie infinita y tomando únicamente los dos primeros términos.

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

$$T_a = H + \frac{p^2 d^2}{8H} \quad (18)$$

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

Frecuentemente se obtienen resultados suficientemente aproximados suponiendo  $H=T_a$

### 3.23.4 CLAROS CON APOYO A DISTINTO NIVEL

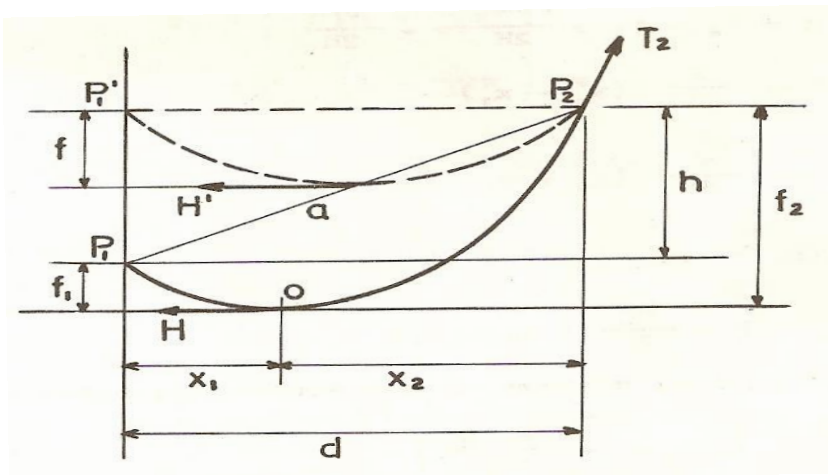


Fig. 3.24.4 Claros con apoyos a distinto nivel

Los datos del problema son:

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

D= proyección horizontal del claro “a”

H= diferencia de nivel entre los apoyos

P= peso del cable por unidad de longitud

T<sub>2</sub>= tensión mecánica en el soporte superior

El problema puede resolverse, siempre que el desnivel sea pequeño comparado con el claro, calculando primero la flecha f (haciendo uso de las formulas de la catenaria o de la parábola) para un claro con apoyos al mismo nivel, de longitud igual a la proyección horizontal del claro inclinado y a partir de f calcular las flecha f<sub>1</sub> y f<sub>2</sub>, haciendo uso de las formulas de la parábola, como se deduce a continuación:

OP<sub>1</sub> es la mitad del arco de catenaria, para un claro igual a 2x<sub>1</sub>, con apoyos al mismo nivel.

OP<sub>2</sub> es la mitad del arco de catenaria, para un claro igual a 2x<sub>2</sub>, con apoyos al mismo nivel.

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

$$h = f_2 - f_1 = \frac{px_2^2}{2H} - \frac{px_1^2}{2H}$$

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

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

Pero  $(x_2 + x_1) = d$ . Por lo tanto:

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

Resolviendo el sistema de dos ecuaciones simultaneas:

$$(x_2 - x_1) = \frac{2Hh}{pd}$$

$$(x_2 + x_1) = d$$

Se obtiene

$$x_2 = \frac{d}{2} + \frac{Hh}{pd} \quad (19)$$

$$x_1 = \frac{d}{2} - \frac{Hh}{pd} \quad (20)$$

Para el caso con apoyo al mismo nivel  $P_1$   $P_2$  se verifica que:

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

En la práctica puede considerarse que  $H' = H$

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

Sustituyendo la expresión anterior de  $\frac{H}{p}$  en las ecuaciones (19) y (20):

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

$$x_2 = \frac{d}{2} \left(1 + \frac{h}{4f}\right)$$

$$x_1 = \frac{d}{2} \left(1 - \frac{h}{4f}\right)$$

Sustituyendo estos valores de  $x_2$  y  $x_1$  en las expresiones:

$$f_2 = \frac{p(2x_2)^2}{8H}$$

$$f_1 = \frac{p(2x_1)^2}{8H}$$

Se obtiene

$$f_2 = f\left(1 + \frac{h}{4f}\right)^2 \quad (21)$$

$$f_1 = f\left(1 - \frac{h}{4f}\right)^2 \quad (22)$$

## 3.24 DETERMINACIÓN DE LOS CLAROS MEDIO HORIZONTAL Y VERTICAL.

### 3.25.1 CLARO MEDIO HORIZONTAL (CLARO DE VIENTO)

Es la distancia máxima que soporta una estructura sin rebasar los límites de probabilidad de falla de ésta, por efecto de cargas de viento sobre los conductores, guarda y la estructura de soporte, definiéndose ésta como la semisuma de los claros adyacentes a la estructura bajo análisis. La fórmula para calcular dicho claro es la siguiente:

$$CMH = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

Donde:  $L_1$  = longitud del claro anterior a la estructura

$L_2$  = longitud del claro posterior a la estructura

### 3.25.2 CLARO VERTICAL (CLARO DE PESO).

Es la distancia máxima que soporta una estructura sin rebasar los límites de probabilidad de falla de ésta por efecto del peso de los conductores o guarda definiéndose éste, como la distancia existente entre los vértices de las catenarias a uno y otro lado de la estructura que se analiza.

Para efectos de proyecto, este claro no se calcula, se obtiene gráficamente midiendo dicha distancia en el plano de perfiles con localización de estructuras.

Las estructuras utilizadas para proyectos de líneas de subtransmisión, están normalizadas existiendo para éstas, tablas que nos definen las distancias máximas que pueden soportar.<sup>[9]</sup>

## 4. DESARROLLO

### 4.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

#### PROGRAMA MATLAB

MATLAB es el nombre abreviado de “MATrix LABoratory”. MATLAB es un programa para realizar cálculos numéricos con *vectores* y *matrices*. Como caso particular puede también trabajar con números escalares (tanto reales como complejos), con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Una de las capacidades más atractivas es la de realizar una amplia variedad de *gráficos* en dos y tres dimensiones. MATLAB tiene también un lenguaje de programación propio.

MATLAB es un gran programa de cálculo técnico y científico. Para ciertas operaciones es muy rápido, cuando puede ejecutar sus funciones en código nativo con los tamaños más adecuados para aprovechar sus capacidades de vectorización. En otras aplicaciones resulta bastante más lento que el código equivalente desarrollado en C/C++ o Fortran. En la versión 6.5, MATLAB incorporó un *acelerador JIT* (Just In Time), que mejoraba significativamente la velocidad de ejecución de los ficheros *\*.m* en ciertas circunstancias, por ejemplo cuando no se hacen llamadas a otros ficheros *\*.m*, no se utilizan estructuras y clases, etc. Aunque limitado en ese momento, cuando era aplicable mejoraba sensiblemente la velocidad, haciendo innecesarias ciertas técnicas utilizadas en versiones anteriores como la *vectorización* de los algoritmos. En cualquier caso, el lenguaje de programación de MATLAB siempre es una magnífica herramienta de alto nivel para desarrollar aplicaciones técnicas, fácil de utilizar y que, como ya se ha dicho, aumenta significativamente la productividad de los programadores respecto a otros entornos de desarrollo.

MATLAB dispone de un código básico y de varias librerías especializadas (*toolboxes*).



MATLAB se puede arrancar como cualquier otra aplicación de *Windows*, clicando dos veces en el icono correspondiente en el escritorio o por medio del menú *Inicio*). Al arrancar MATLAB se abre una ventana similar a la mostrada en la Figura 4.1. Ésta es la vista que se obtiene eligiendo la opción *Desktop Layout/Default*, en el menú *View*. Como esta configuración puede ser cambiada fácilmente por el usuario, es posible que en muchos casos concretos lo que aparezca sea muy diferente. En cualquier caso, una vista similar se puede conseguir con el citado comando *View/Desktop Layout/ Default*. Esta ventana inicial requiere unas primeras explicaciones.

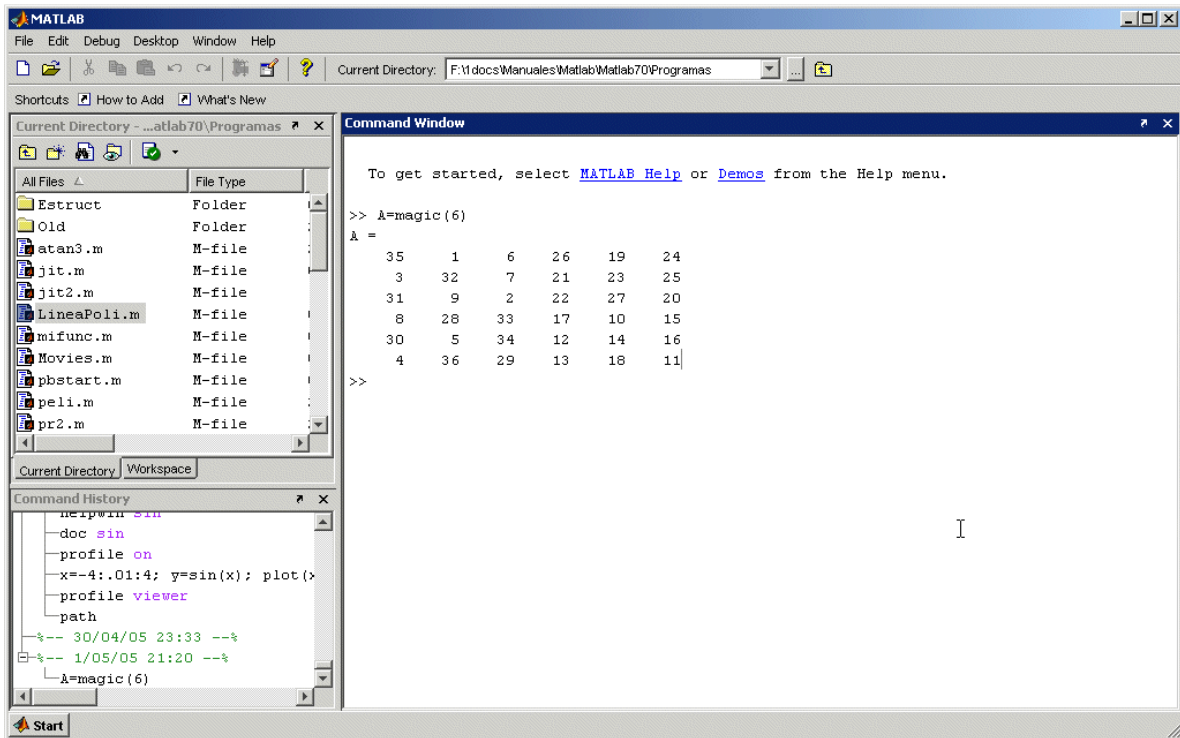


Fig. 4.1 Ventana inicial de MATLAB

## 4.2 PROGRAMA PARA LA SIMULACIÓN DE LA CATENARIA

### PROGRAMA PARA CATENARIA A UN MISMO NIVEL

```
clc; clear all;
```

```

%datos que se pueden cambiar
p= 0.925; %peso del cable por unidad de longitud (metros)
d=150;% proyección horizontal del claro "a"
t=1250;%tensión mecánica en el soporte superior

%formulas
H=t-((p^2*d^2)/(8*t));
F=H/p*(cosh((p*d)/(2*H))-1); % ecuación (11)
f=(p*d^2)/(8*H); % flecha ecuación (15)

%colocar la altura de la torre y la altura del suelo a parte mas baja de la catenaria
A=17 %altura de la torre (metros)
r= A-f; %(metros)

x=-d/2:d/2
y=H*cosh(x/H); % flecha
y1=H/2*(exp(x/H)+exp(-x/H))
plot (x, y)
%subplot(2,2,1), plot (x,y)
%subplot (2,2,2), plot (x,y1)

```

## PROGRAMA PARA CLARO A DISTINTO NIVEL

```

clc; clear all;

%datos que se pueden cambiar
p= 0.925; %peso del cable por unidad de longitud (metros)
d=300;% proyección horizontal del claro "a"
t=1250;%tensión mecánica en el soporte superior
h=10; %diferencia de nivel entre los apoyos

%formulas
H=t-((p^2*d^2)/(8*t));
f=(p*d^2)/(8*H); % flecha ecuación (15)
a=sqrt (d^2+h^2);% claro entre apoyos a distinto nivel
x1=d/2*abs(1-(h/(4*f)));% distancia del primer poste o torre a la parte mas baja de la
catenaria ecuación (20)
x2=d/2*(1+(h/(4*f)));% distancia mas parte de la catenaria al segundo poste o torre
ecuación (19)
f1=f*(1-(h/(4*f)))^2; ecuación (21)
f2=f*(1+(h/(4*f)))^2; ecuación (22)

x=[0,x1,d]; y=[f1,0,f2];
plot(x,y)

```

## 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

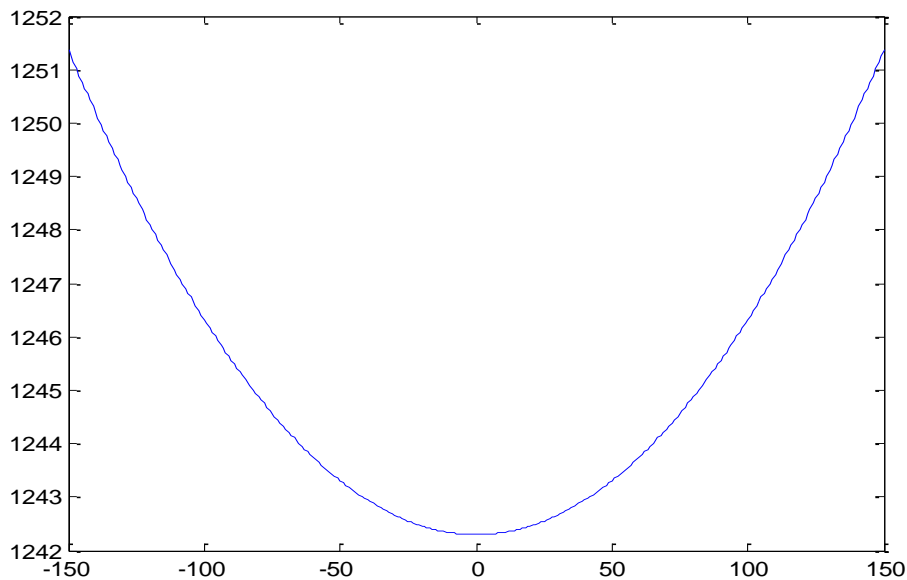
### 5.1 RESULTADOS

#### PROGRAMA PARA CATENARIA A UN MISMO NIVEL

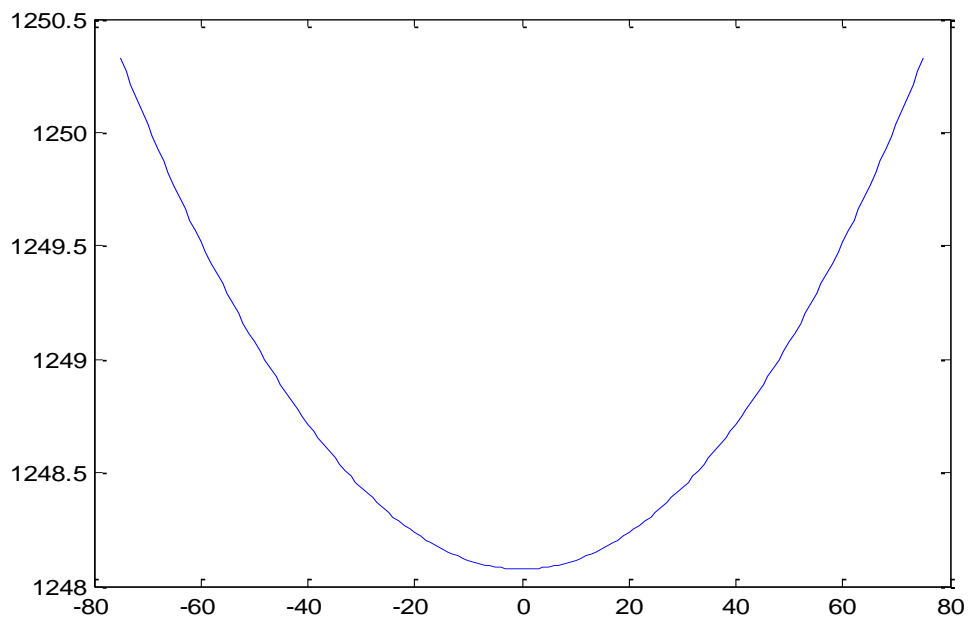
En una línea de transmisión de 115 kv, se utiliza el cable Hawk calibre 477, el cual su peso por unidad de longitud es de 0.928 Kg/mts (p). La tensión (t) es de 1250 Kg., estos valores son constantes en el programa.

Para calcular la catenaria y la flecha, el valor que se cambian es la distancia entre las torres (d), conforme aumenta la distancia es proporcional a la catenaria.

**ALTURA DE LAS TORRES: 17 METROS**  
**DISTANCIA DE 300 METROS ENTRE LAS TORRES**  
**RESULTADO:**  
**FLECHA: 8.32**



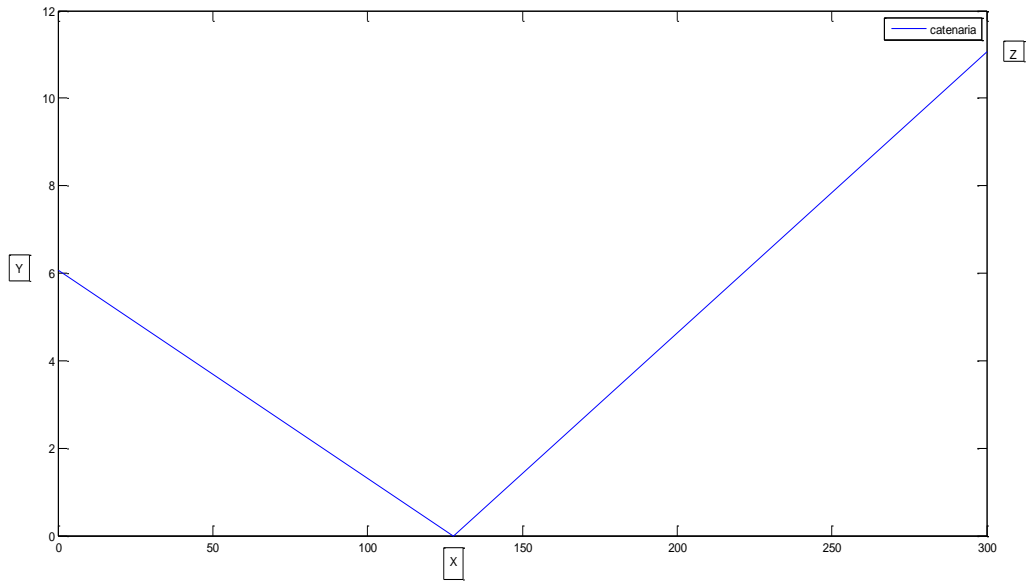
**DISTANCIA DE 150 METROS  
RESULTADO:  
FLECHA: 2.08 METROS**



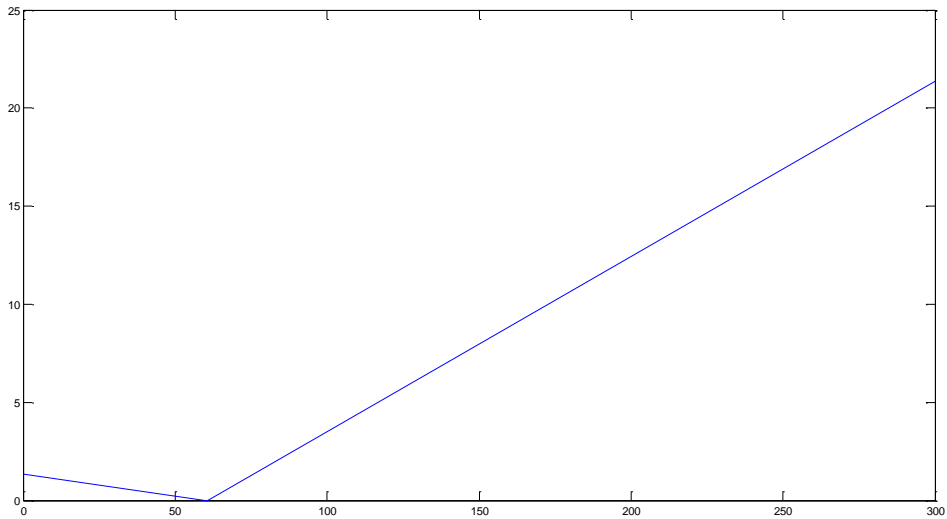
**PROGRAMA PARA CLARO A DISTINTO NIVEL**

Para este caso, los valores del cable (p) y de la tensión (t) siguen siendo constantes; los que se cambiarán será la diferencia de altura (h) y la distancia entre las torres (d).

**DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE LOS APOYOS H=5 M.  
DISTANCIA ENTRE LAS TORRES = 300 METROS  
RESULTADO:  
F1=6.01 METROS, F2 =11.01 METROS  
X1= 127.47 METROS, X2=172.52 METROS**



**DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE LOS APOYOS H=20 M.  
 DISTANCIA ENTRE LAS TORRES = 300 METROS  
 RESULTADO:  
 F1= 1.32 METROS, F2= 21.32 METROS  
 X1= 59.911 METROS, X2= 240.088 METROS**



Nota: En este programa la distancia mínima utilizable es entre las torres de 60 metros, la diferencia de altura entre las torres máxima es de 1 metro, al irle aumenta 20 metros a la distancia entre la torre es proporcionar a un metro de diferencia de altura entre estas.

Esto sucede porque en la simulación se distorsiona pero el cable se iría más hacia la torre, ya que el peso del cable se inclinaría más hacia la torre.

Tabla 5.- Rango de distancia y diferencia de altura entre las torres para obtener la catenaria

Distancia entre las torres (metros)	Diferencia de altura entre las torres (metros)
60	1
80	2
100	3
120	4
140	6
160	8
180	10
190	11
200	13
210	14

## 5.2 CONCLUSIONES

- Investigamos las formulas de la catenaria, en los dos casos: a un mismo nivel y a distinto nivel.
- Simulación de la catenaria a un mismo nivel apropiado para el problema.
- Simulación de la catenaria a distinto nivel.

En las simulaciones observamos que cuando el terreno es a un mismo nivel mientras crezca la distancia entre las torres es proporcional a la catenaria.

Para un terreno a distinto nivel depende la distancia entre las torres y diferencia de altura entre ellas.

En este caso para una línea de transmisión de 115 Kv se utiliza, el cable Hawk calibre 477, el cual su peso es de 0.925 por unidad de longitud en metros, y la tensión mecánica en el soporte superior de 1250 Kg.

La altura máxima que utilizan para las torres es de 22 metros donde pasa la línea más baja.

La altura máxima promedio que llega alcanzar la caña es de 2.5 a 3 metros, y al quemarse la altura que puede llegar a tener el fuego es de 10 metros.

Un terreno a un mismo nivel la distancia máxima entre las torres que se puede utilizar para no tener disparos en la línea es de 260 metros, con una flecha de 6.26 metros, se obtendría una altura del suelo hasta la catenaria de 15.74 metros.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

1.- Swetz, Faauvel, Bekken, “aprende de los amos”, 1997, MAA [ISBN0883857030](#), pp.128-9

2.- más orígenes 8 de la palabra

3.- [http://links.jstor.org/sici?sici=0035-9149\(200105\)55%3A2%3C289%3AMAMSTO%3E2.0.CO%3B2-X](http://links.jstor.org/sici?sici=0035-9149(200105)55%3A2%3C289%3AMAMSTO%3E2.0.CO%3B2-X)

4.- cf. el anagram para Ley de Hooke, que apareció en el párrafo siguiente.

5.- Diseño del arco

6.- Cadena, cuerda, y catenaria - sistemas del ancla para los barcos pequeños

7.-

<http://www.telefonica.net/web2/lasmaticasdemario/Geometria/Diferencial/Curvas/Enelplano/Catenaria.htm>

8.-Manual de diseño de líneas aéreas de subtransmision.

9.-Viqueira Landa Jacinto, Redes Eléctricas, 1ª parte, 3ra. Edición, Edit. Representaciones y servicios de ingeniería, S.A., México D.F., 1986, Pag. 433-456

10.- <http://www.viakon.com/products.aspx?productId=10>

## ANEXOS



Fig. 16 Tipo de torre a utilizar en el proyecto

### ESTRUCTURAS TIPO CON TORRES AUTOSOPORTADAS. (DISEÑOS ANTERIORES)

- 1° Se relacionan las características, usos, siluetas y materiales de las estructuras en torres (diseños anteriores), utilizadas en líneas de subtransmisión para uno y dos circuitos, con utilización en suspensión y en remate.
  
- 2° Dado que el diseño de estas torres es para una velocidad normal de viento menor a 120 km/h, su uso es recomendado para zonas que no tienen influencia de vientos fuertes.<sup>[8]</sup>

Tabla 6 Resumen utilización de torres diseño antiguo

TIPO DE TORRE	VOLTAJE KV	No. DE CIRCUITOS	TENSION MAX. DE COND. A -10 °C	UTILIZACIÓN	CLARO MEDIO HORIZONTAL AL METROS	CLARO VERTICAL METROS	DISPOSICIÓN DE CONDUCTORES	DEFLEXIÓN	ALT. COND. AL PISO METROS
<b>CONDUCTOR</b>				<b>ACSR 477 MCM</b>					
<b>TAS</b>	<b>115</b>	<b>1</b>		<b>SUSPENSIO</b>	<b>450</b>	<b>650</b>	<b>DELTA</b>	<b>0°</b>	<b>18</b>



				N					
TASG	115	1		SUSPENSIO N	750	1050	DELTA	0°	18
TAD 30°	115	1	2700	DEFLEXIO N	450	750	DELTA	30°	18.10
TAD 60°	115	1	2700	DEFLEXIO N	450	750	DELTA	60°	18.10
TAR 30°	115	1	2700	REMATE	375	750	DELTA	30°	18

CONDUCTOR ACSR 795 MCM

TASP	115	1		SUSPENSIO N	500	700	DELTA	0°	21
TASGP	115	1		SUSPENSIO N	500	1050	DELTA	0° A 3°	21
TADP 30°	115	1	3720	DEFLEXIO N	500	800	DELTA	30°	21.10
TADP 60°	115	1	3720	DEFLEXIO N	500	800	DELTA	60°	21.10
TARP 30°	115	1	3720	REMATE	350	800	DELTA	30°	21

CONDUCTOR ACSR 795 MCM

TAS2P	115	2		SUSPENSIO N	450	650	HEXAGONA L	0°	19
TASG2P	115	2		REMATE	700/560	1000/1000	HEXAGONA L	0°/3°	19
TAD2P 30°	115	2	3720	DEFLEXIO N	450	750	HEXAGONA L	30°	19.15
TAD2P 60°	115	2	3720	DEFLEXIO N	450	750	HEXAGONA L	60°	19.15
TAR2P 30°	115	2	3720	DEFLEXIO N	350	750	HEXAGONA L	30°	19

CONDUCTOR ACSR 477 MCM

A MODIF.	115	2		SUSPENSIO N	465	570	HEXAGONA L	30°	19.10
C	115	2	2700	REM./DEFL E.	460	575	HEXAGONA L	75°	19.10
BS	115	2		SUSPENSIO N	490	600	HEXAGONA L	0°	19.10
B	115	2	2700	DEFLEXIO N	490	600	HEXAGONA L	40°	19.10

CABLE DE GUARDA  
PRESION DE VIENTO

AG 5/16 A.R.  
47 kg/m<sup>2</sup>

Tabla 7.- Especificaciones de tipos de cables

CABLE VIAKON® DE ALUMINIO DESNUDO CON ALMA DE ACERO RECUBIERTOS CON ALUMINIO (ACSR/AS)												
Designación	Calibre AWG o kcmil	Hilos de Aluminio Núm.	Diámetro nominal	Hilos de Acero Núm.	Diámetro nominal	Area nominal de la sección transversal	Diámetro total nominal	Peso aprox.	Capacidad de conducción de corriente (1)	Carga nominal de ruptura por tensión	Resistencia eléctrica CD a 20°C	Calibre equivalente en Cobre
			mm		mm	mm <sup>2</sup>	mm	kg / km	Ampere	kg	ohm / km	AWG/kcmil
SPARROW	2	6	2,67	1	3	33,62	8,01	129	180	12,3	0,853	4
RAVEN	1/0	6	3,37	1	3	53,48	10,11	205	230	18,9	0,535	2
PIGEON	3/0	6	4,25	1	4	85,01	12,75	326	300	28,0	0,336	1/0
PENGUIN	4/0	6	4,77	1	5	107,2	14,31	411	340	34,2	0,267	2/0
PARTRIDGE	266,8	26	2,57	7	2	135,2	16,31	520	465	48,0	0,214	3/0
LINNET	336,4	26	2,89	7	3	170,5	18,29	654	535	60,0	0,170	4/0
HAWK	477,0	26	3,44	7	3	241,7	21,79	928	670	84,3	0,119	300,0
DRAKE	795,0	26	4,44	7	3	402,8	28,14	1 549	920	136,0	0,071 6	500,0
CANARY	900,0	54	3,28	7	3	456,0	29,52	1 653	980	138,0	0,063 3	566,0
BLUEJAY	1 113,0	45	4,00	7	3	564,0	31,98	1 819	1 095	130,0	0,051 1	700,0

NOTA: Datos aproximados sujetos a tolerancias de manufactura.

(1) Calculada para un conductor desnudo, expuesto al sol, operando a una temperatura de 75 °C. Temperatura ambiente: 25°C, velocidad del viento: 0,61 m/s y emisividad térmica relativa de la superficie del conductor: 0,5.

Basada en datos de Aluminum Association.

[10]

TABLA 8. Niveles básicos de aislamiento por impulso tipo rayo, nbai y niveles básicos de aislamiento por impulso tipo maniobra, nbam, de fase a tierra y de fase a fase y distancia mínimas de fase a fase y de fase a tierra, para diferentes niveles de tensión de subtransmisión

TENSIO N NOMINAL kV	TENSIO N MÁXIMA kV	NBAI FASE- TIERRA kV	NBAM FASE- TIERRA kV	NBAI FASE- FASE kV	NBAM FASE- FASE kV	DISTANC IA FASE- TIERRA mm	DISTANC IA FASE- FASE mm
4.4	4.4	75	-	75	-	120	120
6.9	7.2	95	-	95	-	160	160
13.8	15.5	110	-	110	-	220	220
24	26.4	150	-	150	-	320	320
34.5	38	200	-	200	-	480	480
69	72.5	350	-	350	-	630	630
115	123	450 550	-	450 550	-	900 1100	900 1100
138	145	450 550 650 550	-	550 650 650 650	-	1100 1300 1100	1100 1300 1300
161	170	650 750	-	650 750	-	1300 1500	1500