

98
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

LINEAS DE TRANSMISION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N ·
JUAN JULIAN MARTINEZ DIAZ
OSWALDO PLIEGO AGUIRRE

DIRECTOR DE TESIS:
ING. RAFAEL ABURTO VALDES

CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F.

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Página
INTRODUCCION	1
I. GENERALIDADES	5
II. PROYECTO	25
III. PLANEACION DE LA CONSTRUCCION	58
IV. CONSTRUCCION	71
V. CONCLUSIONES	102
REFERENCIAS	

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Uno de los aspectos fundamentales para que exista el desarrollo en un país, es la generación y transmisión de energía eléctrica en donde la Ingeniería Civil tiene una participación muy importante en la realización de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

En este trabajo el objetivo principal es el describir de manera general -- los aspectos más importantes en donde interviene el Ingeniero Civil para la realización de este tipo de obras en apoyo con otras ramas de la Ingeniería, como son: Mecánica, Topográfica y Eléctrica.

La realización del presente trabajo está constituido de los siguientes capítulos:

El primer capítulo tratará sobre la descripción general de las líneas de transmisión, clasificación, elementos constitutivos y la función de éstos.

Se darán a conocer los criterios para el cálculo mecánico que deben tomarse en cuenta para el diseño de las líneas de transmisión, también se mencionará en forma somera el cálculo eléctrico que aunque no pertenece al campo de Ingeniería Civil, si es muy importante para el diseño de las líneas.

En la parte de la planeación de la construcción se hará un ejemplo por el método del camino crítico.

En lo referente a la construcción se explicará el proceso constructivo de las líneas de transmisión.

Finalmente en las conclusiones hablaremos sobre las etapas en donde participa el Ingeniero Civil, detallando las actividades que comprenden dichas etapas.

ANTECEDENTES

Por toda la República Mexicana se suceden las líneas de transmisión que tienen por objetivo transportar la energía eléctrica desde la fuente de producción hasta los lugares de consumo y consiste principalmente en estructuras para soportarlas, así como cables o alambres metálicos de gran conductividad eléctrica, éstos se usan generalmente de cobre o aluminio.

Para la transmisión de energía eléctrica de corriente alterna a grandes distancias se usan 3, 6, 9, etc. conductores, o sea un conductor por fase y por lo general la corriente a transmitir es trifásica, el número de conductores es en general múltiplo de tres. En ocasiones cada fase es de dos o más conductores y éstos están conectados en paralelo.

Los conductores de las fases deben estar aislados entre sí y también aislados de la tierra a fin de evitar cargas eléctricas o pérdidas de corriente, es importante por tal motivo que los conductores estén soportados y construidos de acuerdo a las condiciones de diseño que cumplan con estos requerimientos.

Para transmisiones largas los conductores se soportan en estructuras o postes que pueden ser metálicos, de concreto o madera.

Los conductores se colocan entre sí a una separación determinada y a una distancia de la tierra apropiadas, para que el aire sirva como aislamiento y elimine cualquier posibilidad de descargas eléctricas, también debemos de cuidar la distancia del conductor y la estructura para que le sirva como soporte y por ello se suspende o se ancla de una cadena de aisladores que por lo general se usan de porcelana o de vidrio para evitar descargas entre el conductor y la estructura de soporte.

En una línea de transmisión el espaciamento es muy variable, hay claros muy cortos entre 100 y 200 metros, algunos muy largos, por decir más de 1 000 metros, también hay quiebres o inflexiones en la línea que deben considerarse para ajustarlas a la topografía del terreno o para vencer obstáculos; en ocasiones en el trazo tenemos tangentes muy largas que pueden ser de 20 ó más kilómetros dependiendo de la zona en donde se construya la línea.

Existen esfuerzos en las torres de transmisión originados éstos, ya sea por el peso del cable que está en función de los claros de las torres, pre-

sión del viento, tensión producida por el conductor, ésto se refiere a la tensión que tiene el conductor, aquí es importante mencionar que el diseño de las torres es fundamental ya que se deberá tener la resistencia adecuada, el menor peso posible con el propósito de que sean más económicas.

IMPORTANCIA DE LAS TORRES DE TRANSMISION

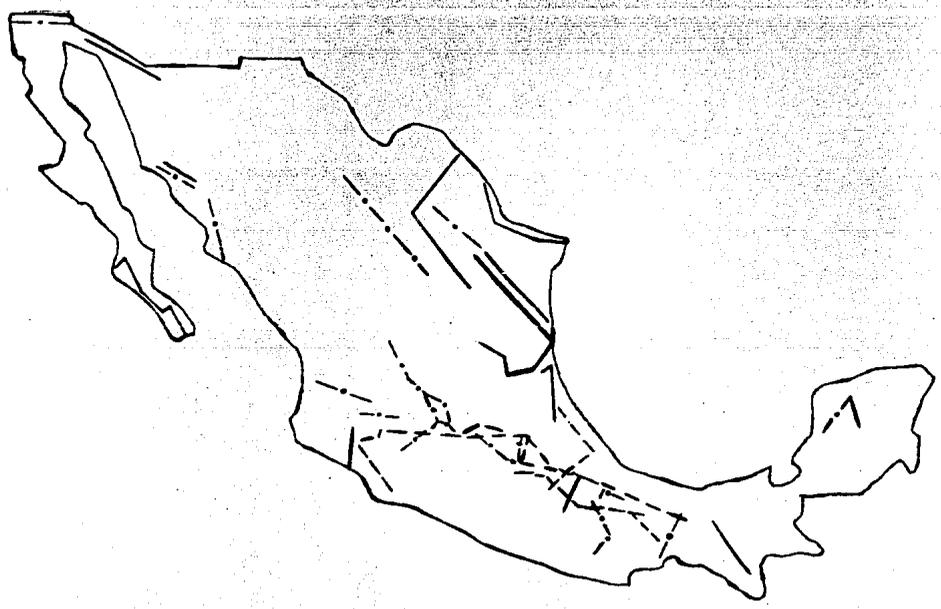
Año con año se construyen cientos de torres de transmisión para satisfacer las nuevas demandas de energía eléctrica.

El Sistema Eléctrico Nacional cuenta en la actualidad con 6500 Km. de líneas de transmisión de 400 Kv; 11000 Km. en 230 Kv. y 13000 Km. en 115 Kv. Es de 30100 Km. en total de instalaciones con voltajes mayores de 115 Kv.

Las estructuras de soporte de las líneas de transmisión están compuestas - de 13500 torres de 400 Kv.; 23100 de 230 Kv., un circuito (1c), 8250 de 230 - Kv. (2c), 27300 de 115 Kv. (1c) y 9750 de 115 Kv. (2c). El total de torres de transmisión en todo el país es de 81900.

En la figura I se muestra la localización de líneas de transmisión existentes en la República Mexicana.

LOCALIZACION DE LINEAS DE TRANSMISION EN MEXICO



L. T. 400 K. V. ——— L. T. 230 K. V. - - - - L. T. 115 K. V. — · — ·

Figura I

CAPITULO I

GENERALIDADES

1. Estructuras de soporte (Torres de Transmisión).
 - 1.A Características de las Torres de Transmisión.
 - 1.B Clasificación de las Torres de Transmisión.
 2. Cable Guarda.
 3. Cable Conductor.
 4. Accesorios.
 5. Sistema de Tierras.
 - 1.A.1 Material.
 - 1.A.2 Geometría.
 - 1.A.3 Tipo de Solicitaciones.
 - 1.B Clasificación de las Torres de Transmisión.
 - 1.B.1 Por su Función.
 - 1.B.2 Por su Estructuración.
 - 1.B.2.1 Torres Autosoportadas.
 - 1.B.2.2 Torres con Retenidas.
- Ventajas y Desventajas de una Torre con Retenidas y una Torre Autosoportada.

I.- GENERALIDADES

Las líneas de transmisión se construyen básicamente para transportar la energía eléctrica desde las fuentes de generación hasta los centros de distribución y consumo.

Las líneas de transmisión de corriente alterna pueden ser:

Subterráneas

Aéreas

Para las líneas subterráneas se requiere que los conductores se encuentren fuertemente aislados con hule y enterrados ya sea en zanjas o ductos.

Se usan únicamente para la transmisión de energía eléctrica en distancias cortas, pues este tipo de líneas es extremadamente caro y resultaría antieconómico en distancias largas.

Las líneas aéreas son la manera más económica de efectuar la transmisión de energía eléctrica.

En las líneas aéreas los conductores se instalan a una determinada distancia del terreno, éstos no necesitan recubrimiento debido a que el aire sirve como aislante y se evita la posibilidad de una descarga eléctrica.

Los principales elementos que forman una línea de transmisión aérea son los siguientes:

- 1.- Estructuras de soporte (Torres de Transmisión)
- 2.- Cable Guarda (Hilos de Guarda)
- 3.- Cable Conductor
- 4.- Accesorios
- 5.- Sistema de Tierras

Se describirá a continuación cada uno de los elementos mencionados:

- 1.- Estructuras de Soporte (Torres de Transmisión)

Las Torres de Transmisión son estructuras que tienen como objetivo soportar y tensionar los cables de guarda y los cables conductores para asegurar una buena conducción de la energía eléctrica.

- 1.A) Características de las Torres de Transmisión:

1.A.1.- Material

1.A.2.- Geometría

1.A.3.- Solicitaciones

1.B) Clasificación de las Torres de Transmisión:

1.B.1.- Por su función

1.B.2.- Por su estructuración

Posteriormente se explicará lo referente a las características y clasificación de las Torres de Transmisión en este capítulo.

2.- Cable Guarda (Hilos de Guarda)

Tiene como función la de transmitir rápidamente a través de él y de la torre, las descargas eléctricas atmosféricas, sin que provoquen ningún daño a los aisladores o al servicio eléctrico de la línea. Se utiliza para esto un cable de acero galvanizado, sin aislador, compuesto de siete hilos.

3.- Cable Conductor

Por medio de este cable fluye la energía eléctrica. Estos cables pueden ser de cobre o de aluminio. En la actualidad se está utilizando el de aluminio reforzado con acero conocido como ACSR, las ventajas que tiene con respecto al de cobre es que es más liviano y resistente a la tensión y sobre todo más económico. El cable conductor no se aísla.

4.- Accesorios

Aquí se cuenta con los aisladores, herrajes y accesorios de conductor y guarda.

Al conjunto de herrajes y aisladores se le conoce con el nombre de cadenas, las torres de suspensión se les dice cadenas de suspensión y en las torres de tensión se les llama cadenas de tensión. Se tienen que colocar los herrajes necesarios en cada tipo de cadena para sostener el cable conductor en las estructuras. Los aisladores sirven para evitar el contacto eléctrico entre los cables conductores y las estructuras que los sostienen.

Los materiales que se usan en la fabricación de los aisladores son el vidrio o la porcelana.

La cantidad de aisladores por cadena se determina por: el voltaje que se transmite, las condiciones atmosféricas y los niveles de contaminación que se tenga a lo largo de la zona que la línea de transmisión cruza.

Los aisladores pueden ser de tipo: calavera-bola y horquilla-ojo, las dimensiones por lo general son de 10 pulgadas de diámetro y de 5 3/4" el espacio entre calavera y bola.

Los accesorios para conductor son:

Empalmes.- Para la unión de los cables mecánica y eléctricamente pueden ser preforzados o a compresión.

Amortiguadores de vibración.- Son para evitar las vibraciones que pudieran dañar a los cables conductores.

Separadores.- Se utilizan cuando existen dos o más cables por fase.

Cuernos de arqueo y anillos equipotenciales.- Son para evitar en parte el efecto de corona.

Los accesorios que se usan para los hilos de guarda son similares a los usados en los cables conductores, en lo que se refiere a los empalmes y amortiguadores, pues son los que se usan en estos cables.

5.- Sistema de Tierras

Consiste en el hincado de una o más varillas en las cercanías de los miembros de las estructuras, conectadas a la misma con alambre.

Para el hincado de las varillas depende del terreno en el que se hinquen, se puede hacer con golpe o con perforación previa. La conexión se hará enterrando 1 m. el cable.

1.- Torres de Transmisión

1.A) Características de las Torres de Transmisión:

1.A.1.- Material

1.A.2.- Geometría

1.A.3.- Solicitaciones

1.A.1.- Material

Los materiales usados para la construcción de las estructuras de soporte son:

Madera

Celosía de Acero Galvanizado

Concreto

Las estructuras de madera se utilizan para voltajes de 68, 115 y 161 Kv.

Las estructuras de celosía de acero galvanizado se utilizan para voltaje de 68, 85, 115, 161, 230, 400, 500 y 735 Kv.

1.A.2.- Geometría

Las torres de transmisión, en general pueden dividirse en las siguientes secciones:

Cimentación

Cuerpo Inferior

Cuerpo Superior

Crucetas

Capiteles

La forma o geometría de las torres de transmisión está determinada por razones de seguridad eléctrica. Esto significa que los conductores tienen que estar soportados por la estructura de tal forma que cumplen algunos requisitos, éstos son:

Longitud de cadena de aisladores

Ancho total de la torre

Altura de los cables de guarda sobre el terreno (al pie de la estructura)

Altura de los conductores sobre el terreno (al pie de la estructura)

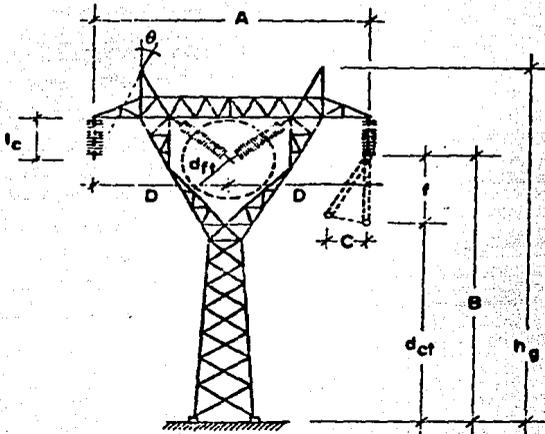
Flecha del conductor

Altura mínima del conductor sobre el terreno

Distancia de fase a tierra

Distancia entre centros de fases

Angulo de protección (blindaje)



- l_c longitud de cadena de aisladores
 A ancho total de la torre
 h_g altura de los cables de guarda sobre el terreno
 (al pie de la estructura)
 B altura de los conductores sobre el terreno
 (al pie de la estructura)
 f flecha del conductor
 d_{ct} altura mínima del conductor sobre el terreno
 d_{ft} distancia de fase a tierra
 D distancia entre centros de fases
 e ángulo de protección (blindaje)
 C máxima oscilación del conductor

DISTANCIAS DE AISLAMIENTO

Figura 1

Máxima oscilación del conductor. (Ver Figura 1)

El cumplimiento de las condiciones anteriores se hace con el fin de evitar que existan descargas eléctricas o posibles pérdidas de corriente y están determinadas por las características de la transmisión, altitud, topografía, — temperatura y las condiciones del medio ambiente.

Cuando los conductores se colocan en la torre en un solo nivel, a esta forma de colocación se le conoce como disposición horizontal.

Cuando los conductores están colocados en varios niveles en la torre se le conoce como disposición vertical.

En otras ocasiones se utiliza una solución intermedia en la que los conductores se encuentran en dos niveles, a esta solución se le conoce como disposición mixta.

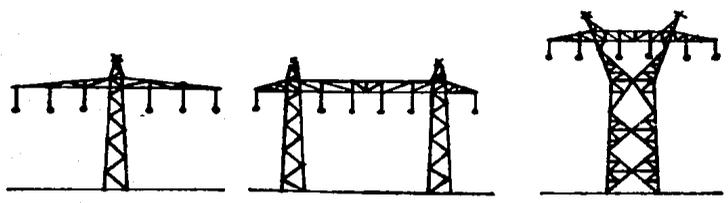
En la Figura 2 podemos observar los diferentes tipos de disposición de conductores.

Cuando se utiliza la disposición horizontal se tiene la ventaja de que en el momento de la colocación de los conductores no hay crucetas inferiores — que pudieran interferir en la instalación, por lo que ésta resulta más fácil, otra ventaja que tiene esta disposición es que las torres que se utilizan son de menor altura que las de disposición vertical.

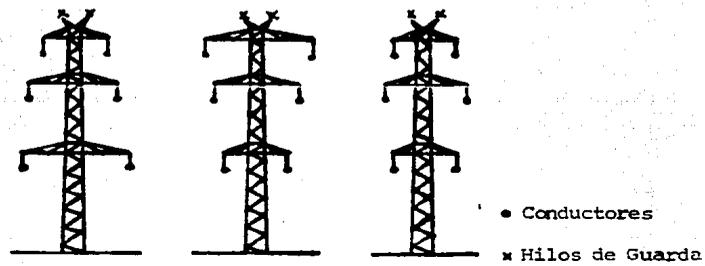
En zonas de clima frío, este tipo de disposición tiene la ventaja de que solo cuenta con una cruceta con lo que se evita el peligro de contacto o de aproximación entre los conductores superiores e inferiores cuando se desprende el hielo que se acumula en los conductores.

Las desventajas que presenta este tipo de disposición es la gran longitud de las crucetas que se requiere para la colocación de los conductores, lo que provoca que se tenga un mayor ancho del derecho de vía, debido a ésto se necesita una mayor tala de árboles y arbustos. Otra desventaja que presenta esta disposición ocurre cuando uno de los conductores de los extremos se rompe, — provocando ésto grandes esfuerzos de torsión sobre el cuerpo de la torre, estos inconvenientes se solucionan cuando se utiliza una disposición vertical de conductores.

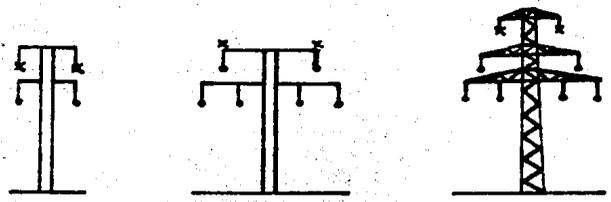
La evaluación de las ventajas y desventajas que presentan estas disposiciones de los conductores nos determina en cada caso particular la disposición — más adecuada a utilizar, en otras ocasiones se opta por utilizar la disposición mixta.



a) Disposición horizontal



b) Disposición vertical



c) Disposición mixta

Disposición de Conductores en Líneas de Transmisión

Figura 2

1.A.3.- Tipo de Solicitaciones

Las solicitaciones son las cargas que tienen que soportar las torres de transmisión. Hay diferentes tipos de cargas y no todas actúan permanentemente sobre la torre, a continuación se da una clasificación de estos tipos de cargas:

1.A.3.1.- Cargas Permanentes

Son las cargas que siempre estarán actuando sobre la torre y son debidas al peso propio de la torre, peso de los conductores, peso de los hilos de guarda, peso de los aisladores y demás accesorios.

1.A.3.2.- Cargas Variables

Son cargas que se presentarán en diferentes ocasiones y con diferentes magnitudes y direcciones. Se deben tanto al efecto del viento como a la acumulación del hielo en los cables y en la torre misma.

1.A.3.3.- Cargas Accidentales

Son cargas que se presentan en raras ocasiones y son debidas principalmente a la rotura de un cable conductor o uno de guarda. También en este tipo de carga se podría catalogar a las cargas producidas por los sismos, pero como sus efectos son muy pequeños comparados a los producidos por el viento, por lo general éstos no son tomados en cuenta en el diseño de las torres de transmisión.

Hay diferentes formas en que las cargas actúan sobre las torres de transmisión, por eso existe otra forma de clasificar a las cargas y esta es según la forma en que las cargas están aplicadas a las torres de transmisión, esta clasificación es la que se usa en el diseño y es la siguiente:

1.A.3.a.- Cargas verticales

Son cargas gravitacionales, esto es, que son producidas por el peso de los conductores, el de los hilos de guarda, el hielo y cargas producidas en el momento de la construcción y el mantenimiento.

Las cargas producidas por el peso de los conductores y los hilos de guarda, para fines de cálculo, se obtienen como las cargas debidas al peso de los cables que se encuentran dentro del tramo limitado por los puntos más bajos (puntos de inflexión) de las catenarias adyacentes a la torre en estudio. Por esto las torres que están situadas en lo alto de una colina soportarán más carga de vida a los cables que las torres adyacentes que se encuentren -

en niveles más bajos. (Ver Figura 3)

El estudio de las cargas de hielo se hace en base a la experiencia local, - debido a que estas cargas solo se presentan en zonas determinadas. Además como la distribución que guarda el hielo sobre los cables no es uniforme, para su - diseño, se tiene que buscar la condición en que la distribución de carga longitudinal sea la más desfavorable para cubrir todos los riesgos.

Las cargas de mantenimiento tienen que ser consideradas también en el diseño de las torres de transmisión porque es muy probable que la cruceta tenga - que soportar el peso de una o más personas durante la construcción o mantenimiento. No siempre se consideran estas cargas en el diseño y en torres ligeras pueden ser de importancia, por esto se exige que los elementos que conforman a las crucetas sean diseñadas para soportar el peso de un hombre con sus herramientas de trabajo.

Las cargas de instalación se producen al estar estirando los cables conductores o los hilos de guarda, las cargas que se producen en esta maniobra no deben de pasar del valor para el cual la torre fue diseñada.

1.A.3.b.- Cargas Transversales

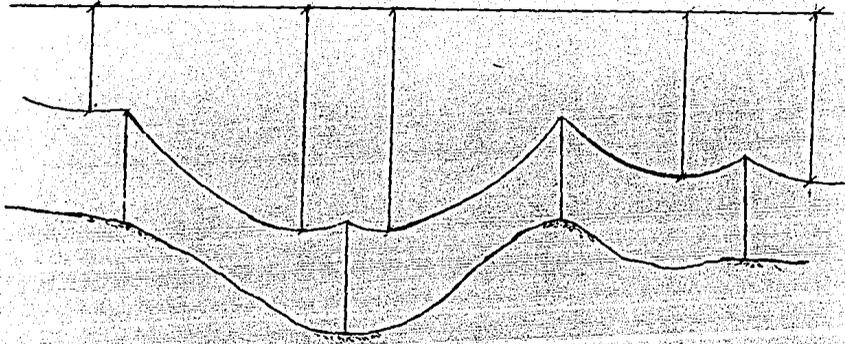
Son cargas producidas por el viento al incidir sobre los conductores y la - torre. Para calcular la magnitud de este tipo de carga sobre una torre se hace la semisuma de los claros horizontales adyacentes a la torre (Ver figura 4), - estos claros no están determinados por el tipo de terreno sino por la mitad de la distancia horizontal entre torre y torre, la intensidad de las cargas de - viento es función de la zona geográfica, la altura y la temperatura de la zona donde se ubique la torre.

1.A.3.c.- Cargas Longitudinales

Son aquellas que se producen cuando hay diferencia de tensiones entre un la - do y otro de la torre. Estas diferencias se producen cuando un conductor o un hilo de guarda se rompe.

Las cargas longitudinales han sido, en general, las que más efecto han tenido sobre el peso de una torre de transmisión. De acuerdo a estadísticas, se ha observado que el diseño para cargas longitudinales accidentales ha sido muy - conservador, ya que no es frecuente la rotura de un conductor. Con base en esto, la tendencia actual es reducir la influencia de estas cargas en el diseño. Sin embargo, la torre debe diseñarse con resistencia longitudinal suficiente -

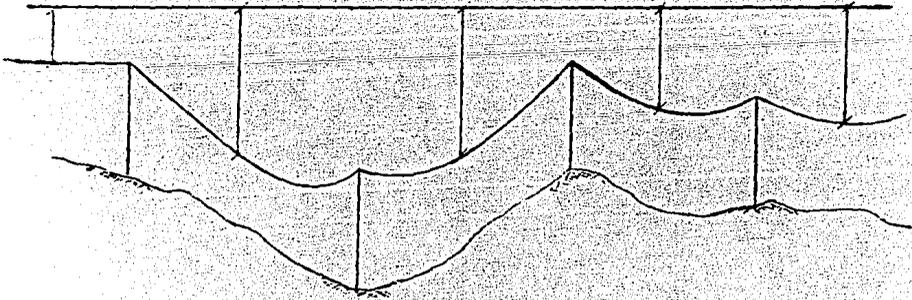
Claros



Claros para Carga Vertical

Figura 3

Claros



Claros para Carga de Viento

Figura 4

para protegerla de las cargas que ocurren durante la operación del estirado de los conductores.

1.3) Clasificación de las Torres de Transmisión.

1.3.1.- Por su Función

1.3.2.- Por su Estructuración

1.3.1.- Por su función

Esta clasificación de las torres de transmisión se hace respecto a la función que desempeña cada torre dentro de una línea de transmisión.

Hay diferentes tipos de torres dentro de una línea de transmisión, esta diferencia se debe a que las torres no soportan una misma carga, pues ésta es función del claro entre torres, la presión del viento, la tensión que se le da al conductor y la posición de la torre. Por eso cuando se hace el diseño de la línea se tiene que ver que tipo de solicitaciones tendrá la torre y habrá que diseñar dicha torre para que teniendo la resistencia adecuada, su peso sea el menor posible a fin de que resulte más económica. Esta clasificación se hace generalmente de la siguiente manera:

1.3.1.1.- Torres de Suspensión

Son también conocidas como torres de alineación, pues se utilizan en los tramos rectos de las líneas. En este tipo de torre el conductor simplemente se cuelga de la cadena de aisladores y ésta de la torre. Son las torres más ligeras que hay en las líneas de transmisión, pues bajo condiciones normales su diseño solo se hace para cargas verticales, pues las tensiones que pudiera haber son compensadas por las del otro lado adyacentes.

1.3.1.2.- Torres de Deflexión

Estas torres de Deflexión se utilizan cuando la línea cambia de dirección, son más robustas que las de suspensión, puesto que tienen que soportar el esfuerzo sobre la bisectriz del ángulo ocasionado por la tensión de los cables.

1.3.1.3.- Torres de Tensión

Se les conoce también como torres de amarre, pues proporcionan un punto firme en los tramos rectos de las líneas, donde usualmente están las torres de suspensión. Estas torres se colocan a cada 2 ó 3 kilómetros. Por el diseño de estas torres pueden resistir la tensión de los conductores aún en el caso de que en un lado de la torre se hayan roto algunos conductores.

1.3.1.4.- Torres de Remate

Estas torres se colocan al principio y al final de las líneas de transmi-

sión. Se diseñan para poder resistir la tensión de todos los cables de un lado si se encuentran rotos la totalidad de los cables del otro lado, por esto, estas son las torres más robustas que se tienen en una línea de transmisión.

1.B.1.5.- Torres Especiales

Son aquellas que tienen una función distinta a las torres definidas anteriormente. Entre éstas las más importantes son las torres de cruce, utilizadas para los lugares en que una línea se cruza con otra de transmisión, con vías de ferrocarril, con líneas de telecomunicaciones, etc.; y las torres de bifurcación y derivación que, como su nombre lo indica, se emplean para bifurcar y derivar la línea de transmisión en diversas direcciones.

1.B.2) Por su Estructuración

Esta clasificación se basa en la forma en que obtienen su estabilidad las torres de transmisión, pero en general se puede decir que existen solo dos tipos para fines estructurales:

1.B.2.1.- Torres Autosoportadas

1.B.2.2.- Torres con Retenidas

(Ver Figura 5)

Para determinar que tipo de torre es más conveniente utilizar en una línea de transmisión, la elección depende de los siguientes factores:

El voltaje a transmitir, el código de diseño adoptado, el costo del derecho de vía, la naturaleza del terreno, lo remoto de la localización y su accesibilidad, el costo de las diferentes labores que implican su fabricación e instalación, el costo del material, el costo de las cimentaciones y, en gran medida, de la familiaridad que se tiene con un tipo de torre, lo cual puede ayudar a perpetuar su uso.

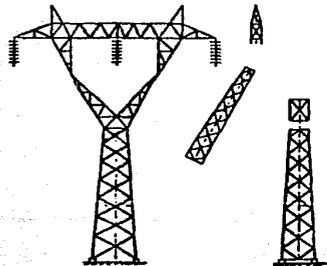
1.B.2.1.- Torres Autosoportadas

Son las estructuras que comúnmente se utilizan en México, por lo que se tiene una amplia experiencia en su diseño y construcción.

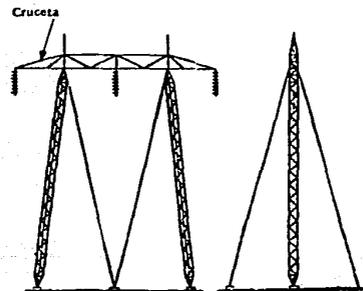
En general son estructuras metálicas de alma abierta en forma de pirámide truncada, de sección cuadrada o rectangular. Esta forma de diseño es para que la torre sea estable por sí misma ante la acción de las cargas que actúan sobre ella.

Estas estructuras se componen básicamente de las siguientes partes:

Cimentaciones.- Son de acero y se colocan una en cada uno de los apoyos que tiene la torre.



a) Torre autoportada



b) Torre con retenidas

Estructuraciones de torres de transmisión

Figura 5

Cuerpo Inferior.- Funciona como base del cuerpo superior.

Cuerpo Superior.- Sobre éste se colocan las crucetas.

Crucetas.- Sirven para sostener y separar de la estructura a los conductores.

Capiteles.- Son los elementos que están en lo más alto de las torres, su función es sostener a los hilos de guarda.

(Ver Figura 6).

1.B.2.2.- Torres con Retenidas

Estas estructuras basan su estabilidad en cables o retenidas (Ver Figura 7)

Las torres con retenidas son estructuras generalmente de acero, también se fabrican torres de aluminio, que aunque resultan bastante ligeras son en general más caras que las de acero, debido al alto precio del material, lo que no ha permitido su generalización.

En algunas líneas de transmisión se utiliza la madera, pero la longitud limitada de ésta para la construcción de postes restringe su uso, principalmente para líneas de baja tensión (115 Kv.). En algunos países se han utilizado estructuras de concreto y concreto presforzado.

Desde el punto de vista estructural existen tres tipos básicos de torres con retenidas: Portal, V y Y. En general no existe gran diferencia en el costo de torres tipo portal y tipo V, siendo estas últimas más adecuadas cuando se obtienen fuertes cargas de hielo, las tipo Y, que para claros de 300 a 400 m. son un poco más costosas que las anteriores, son más económicas para claros mayores de 500 a 600 m. (Ver Figura 8).

Ventajas y Desventajas de una torre con Retenidas y una Autosoportada.

Como ya se vio en el capítulo de la clasificación, en México comúnmente se han utilizado torres autosoportadas en las líneas de transmisión. Las torres con retenidas solo se han utilizado en pocas ocasiones y para voltajes pequeños únicamente. Actualmente hay gran interés en las torres con retenidas, pues en la experiencia que se ha conservado en otros países (especialmente en Finlandia), se ha visto que ofrecen ventajas en diferentes aspectos, como la eficiencia estructural, el transporte, el montaje y la fabricación.

Las ventajas que ofrecen las torres con retenidas respecto de las torres autosoportadas se debe principalmente a que en una torre con retenidas todas las fuerzas que actúan en ésta, ya sean transversales, longitudinales o de torsión, producen solo tensión en los cables de retén y compresión en el cuerpo de la -

Torre tipo Autocoportada

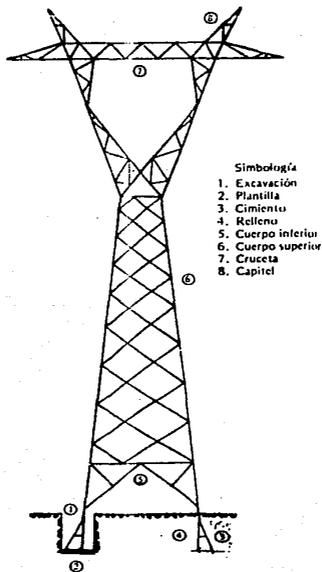


Figura 6

Torre tipo con Retenidas

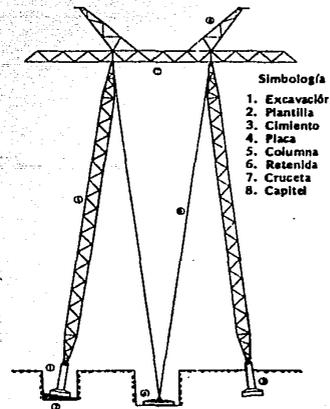
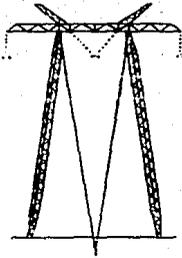
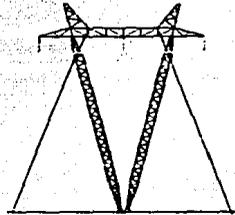


Figura 7

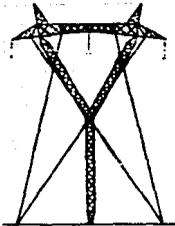
Tipos de torres con Retenidas



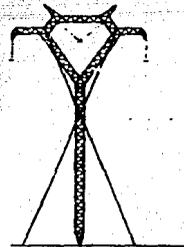
a) Tipo Portal



b) Tipo V

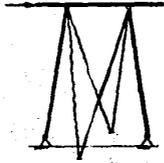


c) Tipo Y



d) Tipo Y-Delta

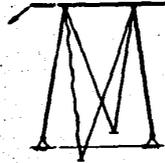
Figura 8



a) Transversal



b) Longitudinal



c) Torsionante

Comportamiento de una torre con retenidas ante
diferentes cargas externas.

Figura 9

torre (Ver Figura 9).

En las patas pueden presentarse pequeñas tensiones por flexión debidas al viento en la cara de la torre o a la rotura de un conductor. Las ventajas a las que se han hecho referencia se enlistan a continuación:

- Como hay más eficiencia estructural, la estructura es más ligera, ésto trae un ahorro de material hasta del 30% con respecto a una torre autosoportada; y como las torres representan un porcentaje muy alto en el costo de una línea de transmisión, se puede ver lo significativo de este ahorro.

- Las patas de las torres están formadas de mástiles uniformes que pueden ser sólidos, reticulados o tubulares, como trabajan solo a compresión, esta es una forma estructural ideal que se basa en la homogeneidad de las partes que componen la estructura. Todo lo anterior trae consigo la facilidad que hay en el almacenamiento, la clasificación y la distribución de las partes que componen una torre con retenidas.

- La fabricación de las torres con retenidas es a base de módulos soldados en taller (pues el diseño de la torre así lo permite). Esto quiere decir que se fabrican en tramos de 5 metros o más, por lo cual se tiene un control de calidad más estricto en las uniones, el costo de fabricación se reduce al igual que el de galvanizado, pues en este proceso se sumergen tramos enteros de estructura y únicamente las áreas expuestas se cubren cuando la inmersión se hace pieza por pieza, hay áreas galvanizadas que en el armado de la estructura no quedan expuestas gracias a que la fabricación es por módulos, el transporte como el armado de la torre se simplifican notablemente, lo que permite que se bajen los costos y tiempos.

- El armado de una torre con retenidas puede hacerse en el piso y ser levantada en una sola pieza con la ayuda de un tractor de carga o de una grúa de 6 a 9 toneladas, dependiendo del tipo de torre que se trate.

Esta misma técnica se usa actualmente en torres autosoportadas pero, debido a sus grandes dimensiones, es necesario usar maquinaria pesada, lo cual complica la operación. En algunos países, entre ellos Canadá y Estados Unidos, se han usado helicópteros para erigir torres con retenidas: las torres se arman por completo con todo y retenidas en un terreno cercano a las bodegas de material, y ahí son alzadas por un helicóptero que las transporta hasta su sitio correspondiente donde se colocan directamente sobre las cimentaciones, todo en una operación.

- En las torres autoportadas la cimentación de cada pata está sujeta a esfuerzos de compresión, tensión y cortante, por lo que se debe tener cuidado con el suelo en la parte de arriba y en la de abajo de la cimentación. En las torres con retenidas las cimentaciones de las columnas de la torre, están sujetas únicamente a esfuerzos de compresión y ocasionalmente a pequeños cortes, por lo que estas cimentaciones pueden ser esbeltas y con una base de área pequeña por lo que se necesita una excavación poco profunda. Esto permite el uso de cimentaciones de concreto reforzado prefabricadas que resultan más económicas debido a la facilidad y rapidez de su colocación. En algunos lugares se utilizan cimentaciones prefabricadas de acero.

Por otra parte, la cimentación de los cables de retén se diseña solamente contra arrancamiento.

Siendo así, la capacidad de carga del terreno es de poca importancia y basta proporcionar como lastre una placa ya sea de concreto o de acero.

- El nivelado del cuerpo inferior de una torre autoportada resulta crítico, pues las tolerancias no exceden los milímetros y si estas no se cumplirían se producirían grandes distorsiones en el cuerpo superior y se producirían esfuerzos secundarios en el cuerpo de la torre.

Las torres con retenidas en las cimentaciones pueden tener tolerancia hasta de 20 y 30 cm. horizontales sin que esto cause mayores problemas.

- Los esfuerzos que se producen en condiciones dinámicas y excepcionales se reducen por la gran flexibilidad de estas estructuras.

Experimentalmente se ha demostrado que el máximo esfuerzo de tensión debido a la rotura de un conductor en torres con retenidas es sólo 2/3 del máximo en una torre autoportada bajo las mismas condiciones. También se ha visto que en condiciones catastróficas, como en la rotura de todos los conductores e hilos de guarda, los esfuerzos máximos en torres con retenidas exceden en 70% los máximos a la rotura de un solo conductor, en tanto que en las torres autoportadas se tienen incrementos hasta de un 230%.

- Si por alguna razón la compactación del suelo es mala y la cimentación tiene movimientos, éstos no producen esfuerzos críticos en la estructura y se pueden contrarrestar posteriormente retensionando los tirantes.

En el caso de que una torre sufra una falla catastrófica, el colapso no es progresivo, únicamente se extiende unas cuantas torres cercanas, por lo que -

se reduce el número de torres de tensión. Solamente se requieren torres especiales para cruces de ríos, subestaciones eléctricas y en deflexiones de la línea mayores de 45° .

Las Desventajas que se presentan por utilizar Torres con Retenidas en lugar de las Torres Autosoportadas, son las siguientes:

- El área que se requiere es mayor que en una torre autosoportada, lo que eleva el costo de las indemnizaciones y no se recomienda su uso en las zonas densamente pobladas y en terrenos de alto valor comercial.

- En zonas montañosas o de mucha pendiente se restringe el uso de éstas, - pues del lado de la torre donde la pendiente está hacia abajo la longitud de las retenidas se alargaría demasiado.

El problema que más se les atribuye a las torres con retenidas es el de la posible ruptura accidental o voluntaria de una retenida, lo que tendría como consecuencia una falla parcial en la estructura; pero para provocar la falla de estos elementos, se tendrían que presentar esfuerzos similares a los que se necesitarían para romper una pata de una torre autosoportada, - - pues las retenidas para las torres de transmisión están hechas de simples cables, éstas son varillas lisas trenzadas y que en conjunto tienen una área - prácticamente equivalente al montante de una pata de una torre autosoportada.

Además, la experiencia de varios países en el uso de torres con retenidas y otros tipos de estructuras con cables, como antenas de radio y radar, ha demostrado que no existen problemas especiales debidos al uso de este tipo de elementos que las hagan más vulnerables a fallar o requerir un mantenimiento mayor que las demás partes de la torre. Si los cables se tensan propiamente no necesitan más atención que cualquier otra parte de la estructura.

CAPITULO II

PROYECTO

- a) Cálculo Eléctrico
- b) Cálculo Mecánico
 - Localización de Torres en las líneas.
 - FlECHAS y TENSIONES.
 - Plantilla para la localización de torres.
 - Criterios para el Diseño por Viento.
 - Cálculo de la Resistencia de los Elementos Estructurales.
- A. Relación Ancho-Espesor.
- B. Tensión Axial.
- C. Compresión Axial.
- D. Flexión.
- E. Flexocompresión.
- F. Cortante.
- G. Resistencia de Tornillos.
 - Cimentaciones.
 - Diseño de la Cimentación de Retenidas.

II.- PROYECTO

Para iniciar un proyecto de una línea de transmisión es necesario conocer la cantidad de energía a transmitir la cual podemos conocer mediante estudios realizados en la zona en donde se quiere abastecer.

La cantidad de energía comprenderá un porcentaje para ampliaciones futuras en un tiempo comprendido entre 25 y 30 años, a partir de esto podemos iniciar el proyecto, el cual podemos dividir en:

a) Cálculo Eléctrico.

b) Cálculo Mecánico.

a) CALCULO ELECTRICO

El Cálculo Eléctrico nos define las condiciones de trabajo y las características eléctricas de la línea.

El Cálculo Mecánico nos define las condiciones de trabajo de los cables y las condiciones de trabajo de las estructuras.

Mencionaremos algunas consideraciones que debemos tomar en cuenta para el cálculo eléctrico.

El cálculo eléctrico en una línea de transmisión, debe conducir a obtener una gran seguridad durante la operación de la línea, así como la solución más económica no solamente tomando la inversión inicial sino también los costos y pérdidas que se presentan por la operación de la línea. La realización del cálculo eléctrico para obtener estos factores es muy complejo y no está contemplado dentro de la Ingeniería Civil, por lo tanto en esta tesis solo se mencionará como anteriormente se dijo, de una manera cualitativa los fundamentos para orientar los cálculos.

Diremos que al aumentar el voltaje de transmisión, el diámetro y el costo de los conductores se reducen y por lo tanto su peso es menor y entonces las torres deberán ser más esbeltas y más económicas. También la presión del viento sobre el conductor de menor diámetro es menor y es por eso que se tendrán torres más económicas y esbeltas.

Ahora bien, sabemos que para un voltaje mayor se tendrán cadenas de aisladores más largas y más caras, la separación entre conductores será mayor conforme el voltaje es mayor, por tal motivo se requerirán crucetas más largas y torres más pesadas y caras.

También es obvio que la electricidad no puede emplearse en los usos frecuentes ni generarse comercialmente, como los utilizados en la transmisión para —

voltajes mayores.

Para poder realizar el cambio de voltaje de generación al de transmisión y en el lugar de utilización de este voltaje de transmisión al de distribución, se usan un conjunto de aparatos como son: transformadores, interruptores, pararrayos, restauradores, etc., que son proyectados adecuadamente y que a todo el conjunto de aparatos se le conoce como subestación elevadora y subestación reductora, puede decirse que las subestaciones son más costosas si es mayor el voltaje de la línea de transmisión.

De lo anterior debe indicarse que el cálculo económico de una línea de transmisión debe incluir el costo de la propia línea, así como el de las subestaciones elevadora y reductora.

En general el costo de la línea de transmisión se reduce, en cambio el costo de las subestaciones elevadora y reductora aumenta y así se obtiene una solución que en conjunto es la más económica.

Otro factor importante en el cálculo económico de una línea de transmisión es el que se tiene debido al costo de operación y las pérdidas de energía eléctrica.

Podemos citar por ejemplo los siguientes casos:

- El construir una línea de transmisión muy económica con soportes que fueran postes de madera sin tratar y cuya vida útil fuera muy corta, en este caso la inversión inicial se reduce, pero aumentan los costos de conservación y reposición de los postes, no teniéndose por lo tanto la supuesta economía de reducción en el costo inicial.
- Podría construirse una línea económica usando conductores muy delgados pero ocasionando pérdidas eléctricas muy grandes, que se convierten en calor y que se disipan en la atmósfera; digamos, en forma exagerada para que se comprenda el ejemplo, y las pérdidas son: de un 30 ó 40%, hubo una economía muy mal entendida en el costo de los conductores, pues se está desperdiciando un 30 ó 40% de toda la inversión que se hizo en las plantas generadoras, ya que esa proporción de energía se disipó en forma de calor y no produjo ningún ingreso económico ni utilidad.

Ahora bien, podemos decir que este tipo de factores deben de considerarse para tener el cálculo económico adecuado de una línea de transmisión, el cual deberá ser aquel en donde la inversión inicial más el costo de operación y pérdidas eléctricas capitalizadas al interés usado en el mercado tenga un valor mínimo.

Indudablemente que para obtener la solución más económica se necesitaría - hacer un gran número de proyectos, hasta obtener la mejor solución, pero esto llevaría mucho tiempo además de ser muy complejo y laborioso, por lo que en la práctica solamente se evalúan tres o cuatro proyectos, en los cuales debe considerarse la línea así como las subestaciones en las que se usarán voltajes iguales o cercanos al requerido y en base a estos proyectos se encontrará la solución económica mejor dentro de los fines prácticos. En la solución intervendrá también de manera decisiva el precio de venta de la energía eléctrica y por lo tanto el valor que debe asignarse a las pérdidas eléctricas que no producen ningún ingreso económico.

Por otra parte, para conocer la demanda o mercado eléctrico en las horas - pico o de máximo consumo en los lugares donde se abastecerán de energía eléctrica aplicaremos la siguiente fórmula:

La potencia (Kw. o K.v.a. kilowatts o kilovoltamperes) es proporcional al voltaje (V) multiplicado por la intensidad de la corriente (I) y las pérdidas en una línea de transmisión son proporcionales a la resistencia del conductor (R) y al cuadrado de la intensidad de la corriente (I^2).

R, a su vez, es proporcional a la longitud del conductor, inversamente proporcional a su área o sea:

$$KW = CVI; \text{pérdidas } KW = C \cdot RI^2.$$

Si se aumenta el voltaje, la intensidad disminuirá; las pérdidas eléctricas disminuirán como el cuadrado de la intensidad; por lo tanto, para igualdad de pérdidas, el área del conductor y su costo se reducirán para aumentar el voltaje.

Hay otros factores que influyen en el cálculo eléctrico, como son la capacitancia, que es una especie de resistencia al paso de corrientes alternas; - la regulación que es la variación en por ciento del voltaje en el punto de recepción con las variaciones de la potencia transmitida; el efecto corona que hace aumentar grandemente las pérdidas eléctricas porque el conductor desprende efluvios (luminosos a la vista) cuando su diámetro es menor que el requerido para el voltaje usado y para la altitud de la línea y existen otros varios factores que hay que tomar en cuenta.

El cálculo técnico y económico de la línea requiere un proyecto técnicamente correcto y encontrar el voltaje para el que el valor de las pérdidas capitalizadas más el costo de la línea y subestaciones que son función de dicho -

voltaje de transmisión tengan un valor mínimo.- En estos cálculos se encuentra el diámetro económico del conductor, cuyo costo es una importante proporción del costo total de la línea.

b) CALCULO MECANICO

Localización de torres en las líneas.

Después de haberse calculado el tipo de conductor más económico que se usará en la línea y teniendo el perfil topográfico del proyecto y el trazo, en planta de la línea, se procede a determinar la localización de las estructuras sobre el eje de la línea.

Este paso consiste esencialmente en localizar sobre el perfil topográfico la posición, la altura y el tipo de torres que se requerirán en la línea. La posición y altura de las torres en la línea están ligadas estrechamente a la tensión y flechas del cable conductor que esté más bajo en la torre.

La localización de las estructuras de soporte sobre el perfil topográfico de la ruta de una línea de transmisión tiene como objetivos:

a) Mantener las distancias mínimas del conductor al terreno para las diversas condiciones de servicio de la línea.

b) Determinar las cargas actuantes sobre cada estructura, pues las cargas dependen de los tipos de claros adyacentes a cada torre.

c) Seleccionar el tipo de estructura más adecuado en cada caso para estar en condiciones de comparar costos entre diferentes alternativas y llegar a la solución más apropiada.

En resumen los objetivos buscan encontrar las torres cuyo peso total sea el menor posible. Así por ejemplo en un terreno plano, si se usan torres más altas podrán colocarse a distancia mayor que si son torres más bajas, pero en cambio las torres más altas son de mayor peso, por lo que usar torres muy altas resultaría costoso, por lo que tiene que haber una combinación que sea la más económica.

El problema para la localización de torres consiste, en dar una flecha o una tensión a un conductor, para un determinado claro entre dos torres, que pueden estar a un mismo nivel o no. Ahora bien, cuando se hace la instalación del conductor, existe en ese momento una temperatura cualquiera y puede estar soplando o no el viento. Después de instalado el cable, la temperatura aumentará o disminuirá, podrá haber viento y aún podrá depositarse una capa de hielo sobre el conductor y todos estos factores afectarán las tensiones y las flechas que

tendrán los cables conductores o de guarda.

El estado más severo respecto a la fatiga del conductor, es cuando hace mucho frío, pues se acorta y aumenta su tensión. En realidad el conductor es taría más fatigado si se supusiera también que tuviera una capa de hielo alrededor de él; pero la acumulación de hielo en los cables o en las estructuras es un fenómeno muy raro en México, por eso las recomendaciones que presenta la CFE en su manual son conservadoras y si además se considera que en Estados Unidos este caso no se toma en cuenta para la zona que denominan "ligera" que es la que se encuentra en la frontera con México.

El estado más severo respecto a la condición, en que la distancia que hay entre el conductor y el suelo o algún objeto, no sea menor, en ningún caso, que la fijada por las normas eléctricas, es cuando hace mucho calor pues el conductor se dilata, por lo que aumenta su flecha, y es cuando más se acerca al suelo o a los objetos que cruza, para este caso se supone que la temperatura generalmente es de 50°C .

Los cambios de temperatura y de tensión tienen una doble liga y de signos opuestos debido a las propiedades elásticas del conductor. En efecto, si la temperatura disminuye, el cable se acorta y aumenta su tensión; pero al aumentar la tensión el cable se alarga debido a su deformación elástica lo que a su vez tiende a disminuir la tensión.

Flechas y tensiones.

Para poder iniciar la solución al problema de la localización de las estructuras, se tiene como primer paso, el cálculo de Flechas y Tensiones en los cables para diversas condiciones de carga y temperatura. De este paso se obtienen los datos necesarios para la elaboración de las plantillas, que serán las que finalmente se usarán para la localización de las estructuras.

La forma que toma el cable conductor entre dos torres, es la misma que tendría un hilo flexible y pesado, con un peso constante por unidad de longitud que se suspende entre dos soportes espaciados a una longitud, esta forma es la de una curva denominada Catenaria.

Las ecuaciones analíticas y las soluciones de problemas relativos a esta curva, son laboriosos y de expresión matemática complicada, por esto en el manual de Obras Civiles de la CFE, las expresiones recomendadas se basan en la suposición de que la curva descrita por los cables entre dos torres es una parábola y no una catenaria.

Ahora bien, la ecuación de la parábola y la resolución de los diversos problemas relativos a ella tienen expresiones matemáticas y resoluciones mucho más simples que las correspondientes a la catenaria. Por eso es que en las líneas de transmisión, salvo casos especiales en los que los claros entre los soportes son superiores a tres o más kilómetros, se considera, y esto es sin error apreciable, que los conductores al ser suspendidos de los soportes o torres, toman la forma de una parábola y no de una catenaria como es la realidad.

Además, la flecha que se tiene es menor del 4% de la longitud del claro y en estas condiciones se tiene un error no mayor del 0.5% respecto a las flechas y tensiones calculadas con las ecuaciones de las catenarias.

Las condiciones para las que se calcularán las flechas y tensiones mecánicas en cables serán las siguientes (siempre incluyendo el peso propio):

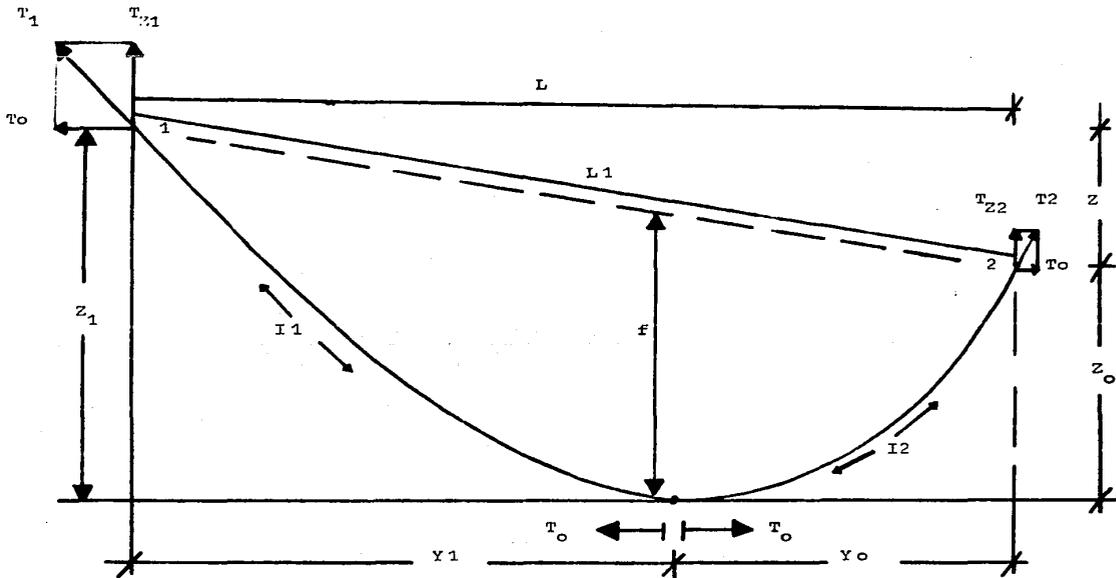
- 1) La temperatura ambiente mínima promedio sin presión de viento, para realizar libramiento vertical en cruces con otras líneas.
- 2) La temperatura ambiente mínima promedio con velocidad de viento reducida, para revisar tensiones máximas en los cables, aquí se desprecian los efectos que produciría el viento.
- 3) La temperatura ambiente media sin presión de viento, para revisar tensiones en los cables para la condición normal de servicio.
- 4) La temperatura ambiente máxima anual sin presión de viento, para revisar libramientos respecto al terreno y otros objetos.

En áreas donde se considere necesario revisar alguna condición de diseño, ésta deberá realizarse en adición a las anteriores.

A continuación se dan las expresiones recomendadas en el Manual de Obras Civiles de la CFE para el cálculo de las flechas y tensiones en los cables de las líneas de transmisión. Las expresiones son sencillas, pero por la gran diversidad de claros, temperaturas, condiciones de carga y por los diversos materiales que pueden presentarse, resulta prácticamente obligatorio emplear una computadora para poder realizar los cálculos, que se tienen al diseñar una línea de transmisión.

Las expresiones están referidas a la Figura 10. En esta figura se muestra el cable visto de perfil en un claro entre dos apoyos a distinto nivel, sujeto a una presión del viento y al peso propio del cable.

El peso en el cable actúa verticalmente, la carga de viento se supone que actúa horizontal y en ángulo recto con el cable. La resultante W_T es la suma vectorial siguiente:



Trayectoria del cable entre apoyos a distinto nivel

Figura 10

$$W_t = \sqrt{W_z^2 + W_v^2}$$

donde

W_z ; carga vertical uniforme debida al peso del cable.

W_v ; carga horizontal uniforme debida a la acción del viento sobre el cable.

Por la acción de estas cargas el cable se desplaza a un plano inclinado al cual corresponden las flechas y tensiones calculadas.

Para calcular la tensión mecánica en el punto más bajo, que se considera igual a la componente horizontal de las tensiones en ambos apoyos, se tiene la siguiente expresión:

$$T_0 = \frac{W_t L_1^2}{8 f}$$

donde

W_t ; carga total en el cable por unidad de longitud, en kg/m

L_1 ; distancia entre apoyos, en m.

f ; flecha, distancia vertical del punto más bajo del cable hasta la línea imaginaria que une ambos soportes, en m. Esta flecha es muy aproximada a la que resulta en un cable con apoyos al mismo nivel y claro L_1 .

La posición del punto más bajo respecto al apoyo inferior se puede determinar por:

$$y_0 = \frac{L}{2} \left(1 - \frac{z}{4f} \right)$$

$$z_0 = f \left(1 - \frac{z}{4f} \right)^2$$

Se puede considerar que la longitud del cable es igual a L_1 y que la tensión es constante en todo el claro; expresiones más aproximadas son:

$$l_1 = y_1 \left(1 + \frac{8}{3} \frac{z_1^2}{y_1^2} \right)$$

$$l_2 = y_0 \left(1 + \frac{8}{3} \frac{z_0^2}{y_0^2} \right)$$

Que es la longitud del arco de curva entre dos apoyos consecutivos, determi-

nada por propiedades de la parábola.

La tensión en el cable en el apoyo superior es

$$T_1 = T_0 + W_t z_1$$

La tensión en el cable en el apoyo inferior es

$$T_0 = T + W_t z_0$$

Para encontrar la tensión mecánica cuando hay cambios de temperatura, se determina encontrando las raíces positivas de la ecuación siguiente:

$$T^3 + T^2 \left(AE \frac{W^2 L_1^2 m^2}{24 T_0^2} + AE \alpha \Delta \theta - T_0 \right) + \frac{AE W^2 L_1^2 (m')^2}{24} = 0$$

donde

- A área del cable, en cm^2
- T_0 tensión mecánica para el estado inicial, en kg.
- T_1 tensión mecánica para el incremento de temperatura, en kg.
- $\Delta \theta$ variación de temperatura ($\theta' - \theta$), en $^{\circ}\text{C}$
- E módulo de elasticidad del cable, en kg/cm^2
- α coeficiente de dilatación lineal del cable, en $1/^{\circ}\text{C}$
- W peso propio del cable, en kg/m
- m', m coeficiente igual a $\sqrt{(W_v^2 + W^2)/W^2}$
- W_v carga en el cable por viento, en kg/m
- W_z peso en el cable, incluyendo hielo acumulado, en kg/m
- L_1 distancia entre apoyos, en m
- θ, θ' temperatura inicial y final

Plantilla para la localización de las torres.

Después de que se conoce la forma que tomará el conductor al estar suspendido entre dos torres, se procede a escoger la altura y la separación que deben tener las torres. Ya fue indicado anteriormente que las torres pueden proyectarse sobre el perfil topográfico a distancias más o menos grandes y de alturas mayores o menores y que el problema consiste en elegir una combinación de torres para la cual el peso y por lo tanto el costo sea mínimo. En la actualidad se usan programas de computación que permiten hacer una selección económica con más rapidez y aproximación. Pero por otra parte, todos los programas realizados hasta la fecha sólo resuelven el problema siguiendo los mismos procedimientos manuales con pequeñas variantes, éstos no garantizan una solución óptima, ya que sólo ejecutan de manera más rápida la parte mecánica del proyectista, incluso muchos de los programas no abandonan el método tradicional de ubicar gráficamente las torres sobre el perfil de la línea. En algunos otros se deja la elección de donde se van a emplear torres de tensión o en donde torres de suspensión.

El procedimiento manual que a continuación se describe es el que emplean comúnmente en el sector eléctrico. Este método se aplica para la localización de torres de transmisión a lo largo de una franja de terreno ya establecida y consiste en determinar gráficamente por medio de una plantilla, el emplazamiento, de las estructuras y las alturas correspondientes dentro de la altura de las torres disponibles, con objeto de obtener los libramientos necesarios, determinar las cargas en cada estructura y seleccionar el tipo adecuado para cada caso, relacionar las estructuras y cambiar las alturas y tipos de las mismas en aquellos lugares donde la primera localización no sea económica, calculando los costos y comparándolos en las distintas opciones.

Con lo primero que se tiene que contar para elaborar este método son los planos del perfil del terreno, aquí se muestra la línea en toda su longitud con el kilometraje sucesivo, los puntos terminales de la línea, el perfil del eje de la línea en toda su longitud. Este plano de ruta debe ser suficientemente detallado y se deben de indicar los cruces con carreteras, ríos, canales, ferrocarriles, con otras líneas eléctricas o de otra clase y con los señalamientos de límites de propiedad. El perfil de la línea se hace figurar en forma gráfica en una serie de hojas de acuerdo con escalas horizontales y verticales apropiadas, con acotaciones en metros.

Para localizar gráficamente a las estructuras se necesita una plantilla -

de mica transparente, en la que se marcan las parábolas. La plantilla se -- construye con las flechas finales obtenidas por medio de un cálculo de flechas y tensiones, según el conductor de que se trate y en las condiciones de carga que se requieran. Si esta plantilla se preparó para una flecha y una temperatura máxima, los libramientos que representan son mínimos. Las escalas horizontal y vertical en la plantilla deberán corresponder a las escalas de los planos del perfil del terreno sobre los cuales se va a utilizar. La escala vertical deberá ser menor que la horizontal para determinar los libramientos con la precisión necesaria. En las normas se recomienda tomar para la escala vertical un valor de 1:480 y para la horizontal 1:4800.

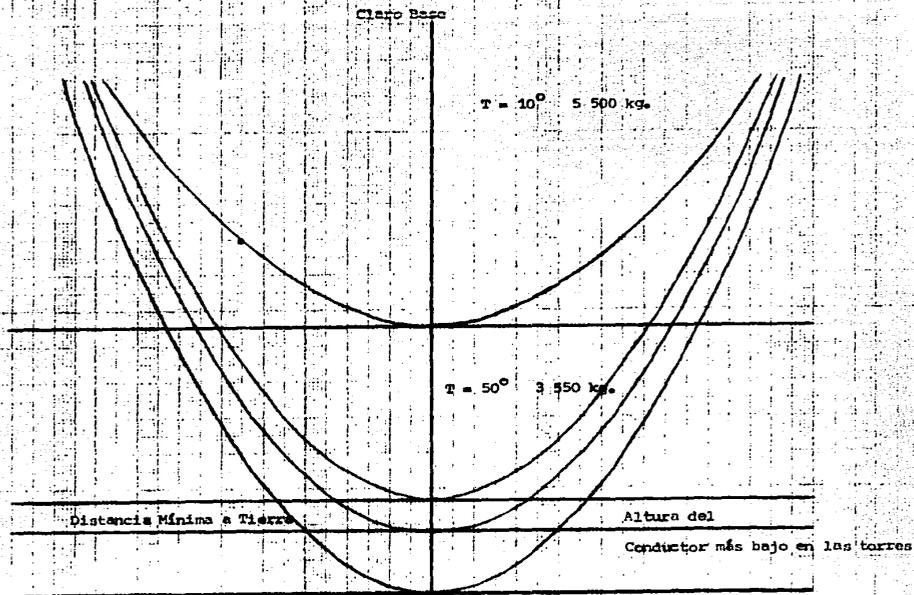
Paralelamente a la parábola que representa al conductor cuando hay temperatura máxima, se dibujan parábolas iguales, una que representa la distancia del conductor al piso y otra a una distancia igual a la altura que hay en una torre característica en el punto de suspensión del conductor más bajo a la base de dicha torre. (Ver Figura 11).

Para una línea de transmisión se requiere contar estrictamente con una serie de plantillas para varios claros reguladores. Se le denomina claro regulador al claro que hay entre dos torres de tensión consecutivas, también se les dice claro virtual o claro equivalente. En este caso la tensión tiene un mismo valor para todos los claros que se encuentran en éste y que son los que están entre torres de suspensión, por esto se requiere contar con una sola plantilla para el claro regulador.

Para determinar la localización y altura de las torres sobre el perfil -- se procede de la siguiente forma, una vez que se localizó una torre y se quiere localizar la siguiente, la parábola A (Figura 12) de la plantilla de mica se desliza hasta que la parábola B, que representa la curva de libramiento mínimo al terreno sea tangente al perfil topográfico.

La rama derecha de la parábola C cortará el perfil del terreno en un determinado punto que será la posición de la torre 2; y en la vertical de este punto donde corte a la parábola A, se tendrá el punto de suspensión del conductor para el caso de que sea del tipo normal.

El procedimiento descrito se comprende fácilmente, por lo que al ser la parábola B tangente al perfil del terreno, quiere decir que el conductor más bajo suspendido de la torre y representado por la parábola A, no se acercará al piso sino hasta el punto del libramiento mínimo al terreno, ya que las parábolas A y B están dibujadas a esta distancia vertical.



PLANTILLAS PARA LA LOCALIZACION DE TORRES
Figura 11

LOCALIZACION DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE UNA PLANTILLA

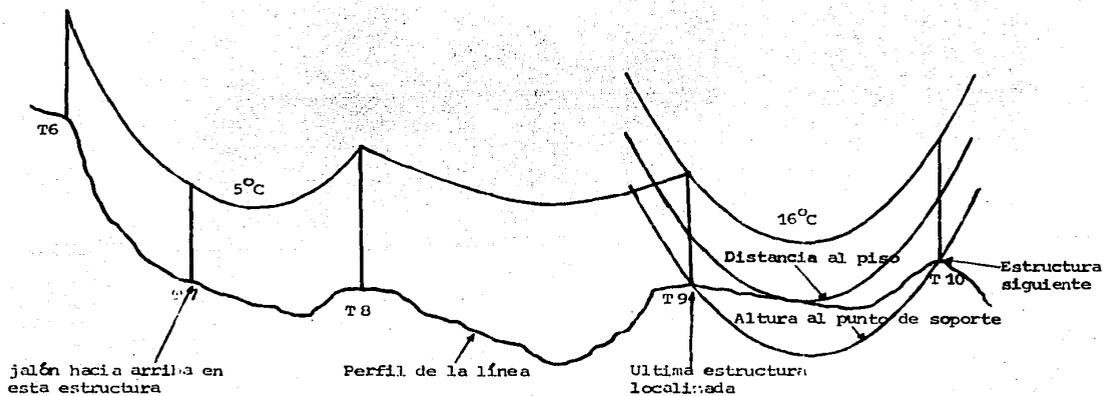


Figura 12

Por otra parte la parábola C cortará al perfil en la base de la torre Núm. 2 puesto que la distancia a que están dibujadas las parábolas A y C es la correspondiente a la altura de suspensión del cable.

El punto donde la torre Núm. 2 corta a la parábola A, será el punto de suspensión de esta torre, que servirá de base para localizar la torre Núm. 3 y así sucesivamente.

Pudiera ser que localizando la torre 2 en el lugar indicado las torres inmediatamente siguientes, digamos 3, 4 y 5 quedarán sumamente cercanas y que en cambio acortando el claro 1 a 2, se pudiera economizar una torre en los claros inmediatamente siguientes. Este es el tipo de variaciones que hay que hacer tanto en distancia como en altura para llegar a la localización total más económica de torres.

Para los cruzamientos con ferrocarriles, carreteras o con otras líneas, se puede modificar el perfil del terreno, aumentando la altura real del terreno en esos sitios, de tal forma que el libramiento mínimo del perfil modificado coincida con el libramiento que se requiera en el cruce. Después de que se de terminaron la localización y las alturas correspondientes de las torres se hace la selección del tipo de estructuras más adecuado a un sitio específico sobre el nivel topográfico de la línea, se hará con base en gráficas o tablas de utilización que consideren el ángulo de deflexión de la línea y la relación entre el claro de peso y el claro de viento máximo que pueda soportar la estructura en cuestión. Con el objeto de evitar tensiones longitudinales desbalanceadas de importancia, al localizar las estructuras debe procurarse que la diferencia entre los claros a cada lado de las mismas nunca se aproxime al 50%, excepto en las torres de remate.

En las estructuras de suspensión se considerará además el ángulo de balanceo de las cadenas de aisladores por medio de la relación claro de peso entre claro de viento que debe ser igual o mayor de un mínimo.

En dado caso de que esta relación sea menor del mínimo especificado podrá aumentarse la altura de la estructura y por lo tanto, el claro de peso, o emplear una torre de tensión.

Al localizar gráficamente las estructuras se deberá tener en cuenta lo siguiente para tener una buena solución económicamente.

- Procurar que la curva que indica la distancia de aislamiento del conductor al terreno coincida con el perfil topográfico tanto como sea posible.

- Que la altura de las estructuras de tensión y de remate sea la menor posible.

Criterios para el Diseño Por Viento

Como las líneas de transmisión se tienden a lo largo de zonas con topografía y características climatológicas diversas, que pueden ser desde zonas montañosas, desérticas, costeras, etc., siempre están expuestas a la acción de la lluvia, la temperatura y sobre todo el viento pues éste se puede presentar en forma de ciclones, tornados y huracanes, poniendo en peligro la estabilidad de la estructura especialmente en zonas costeras.

Los criterios que propone el Manual de Obras Civiles de la CFE, para encontrar la presión que ejerce el viento sobre una estructura, empiezan proponiendo dos tipos de velocidades para el diseño, éstas son: la velocidad máxima, con un periodo de retorno de 200 años, que tiene una probabilidad muy baja de ser alcanzada o sobrepasada durante la vida útil de la estructura, y la velocidad media, con periodo de retorno de 10 años, que es la velocidad que comúnmente actúa en la estructura para fines de diseño.

Las torres de transmisión están clasificadas por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en el diseño por viento, dentro de las construcciones del Tipo 2, que comprende las estructuras cuya esbeltez o dimensiones reducidas en su sección transversal las hace especialmente sensibles a ráfagas de corta duración.

Para efectos de diseño estructural de líneas de transmisión, la República Mexicana se divide en tres tipos de zonas de velocidades regionales eólicas, cuyas velocidades medias y máximas se ven en la Figura 13.

En lugares donde se tengan registros confiables que indiquen que se pueden presentar velocidades regionales distintas, mayores o menores, a las propuestas, el diseñador podrá emplear dichas velocidades.

La velocidad regional se debe modificar para tomar en cuenta la topografía de la ruta que siga el tendido de la línea de transmisión. En la tabla II.2 - se presentan los factores propuestos para efectuar dicha modificación. A la velocidad que resulta se le conoce como velocidad básica.

$$V_B = V_R K$$

donde

V_B = Velocidad Básica, Km/h.

V_R = Velocidad Regional, Km/h.

K = Factor de corrección por topografía, adimensional

La Velocidad Básica aumenta con la altura sobre el terreno según la ley - expresada por la siguiente fórmula:

$$V_Z = V_B K_1$$

donde

V_Z = Velocidad a una altura $z \geq 10$ m. Se recomienda tomar z como la altura de los conductores sobre el terreno medida al pie de la estructura.

$K_1 = (z/10)^\alpha$

α = Coeficiente que depende del tipo de terreno y que se tomará de la - tabla II.3.

Finalmente, para establecer la velocidad de diseño es necesario multiplicar la velocidad V_Z por un factor de ráfaga.

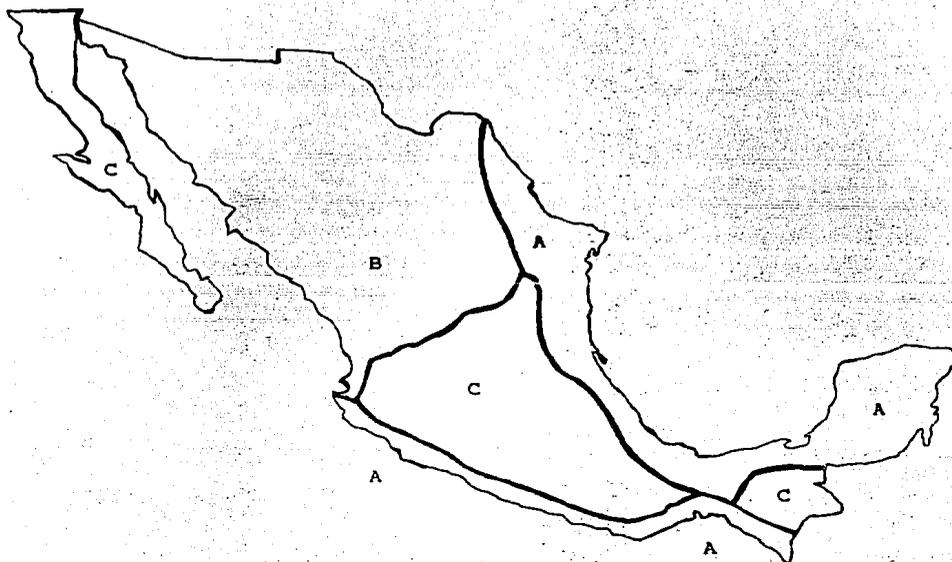
$$V_D = FR \times V_Z$$

donde

V_D = Velocidad de diseño

FR = Factor de ráfaga; 1.0 para cables y estructura. Solamente cuando la torre tenga altura mayor de 60 m. y se considere actuando viento mediano, se tomará para la estructura $FR = 1.3$.

Una vez que se tiene la velocidad de diseño, la presión que ejerce el viento sobre una estructura se calcula mediante la siguiente expresión



REGIONALIZACION EOLICA DE LA REPUBLICA MEXICANA

Figura 13

VELOCIDAD REGIONAL (Km/h)

ZONA	VEL. MEDIA	VEL. MAXIMA
A	125	180
B	100	135
C	70	100

TABLA II.1

FACTOR DE CORRECCION POR TOPOGRAFIA, K

K	TIPO DE TOPOGRAFIA
0.7	Muy accidentada (bosques donde la altura de los árboles sea mayor que la de las torres; centro de grandes ciudades, etc.)
0.8	Zonas arboladas donde la altura de los árboles sea menor que la de las torres, pero <u>ma</u> yor de 10 m
1.0	Campo abierto
1.2	Promontorios al descubierto

TABLA II.2

VALORES DE α

α	TIPO DE TERRENO
0.14	litoral o campo abierto interior
0.22	zonas suburbanas
0.33	centro de grandes ciudades

TABLA II.3

$$p = 0.0048 G c v_D^2$$

donde

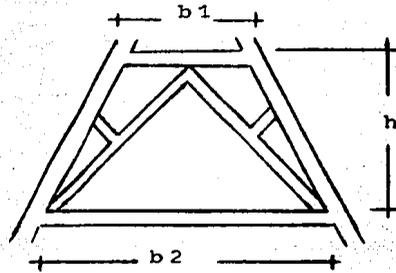
p = Presión sobre la estructura, en kg/m^2

G = Factor correctivo por altitud; se puede calcular en forma aproximada con la expresión: $(8+h)/(8+2h)$, siendo h la altura, en km., sobre el nivel del mar.

c = Coeficiente de arrastre, adimensional.

El coeficiente de arrastre, c, se tomará de la figura 15, según sea la geometría de la torre, la forma de los miembros que la componen y del factor de solidez; éste último se define como la relación de la proyección vertical del área expuesta de los miembros al área total encerrada por el perímetro exterior de la zona en consideración (ver figura 14.a). Para postes $c = 0.7$.

Para elementos cilíndricos como cables conductores, cables de guarda, redes y cadenas de aisladores $c = 1.2$.



$$\phi = \frac{2A_o}{(b_1 + b_2)h}$$

A_o = Proyección vertical del área expuesta de los miembros.

Figura 14.a

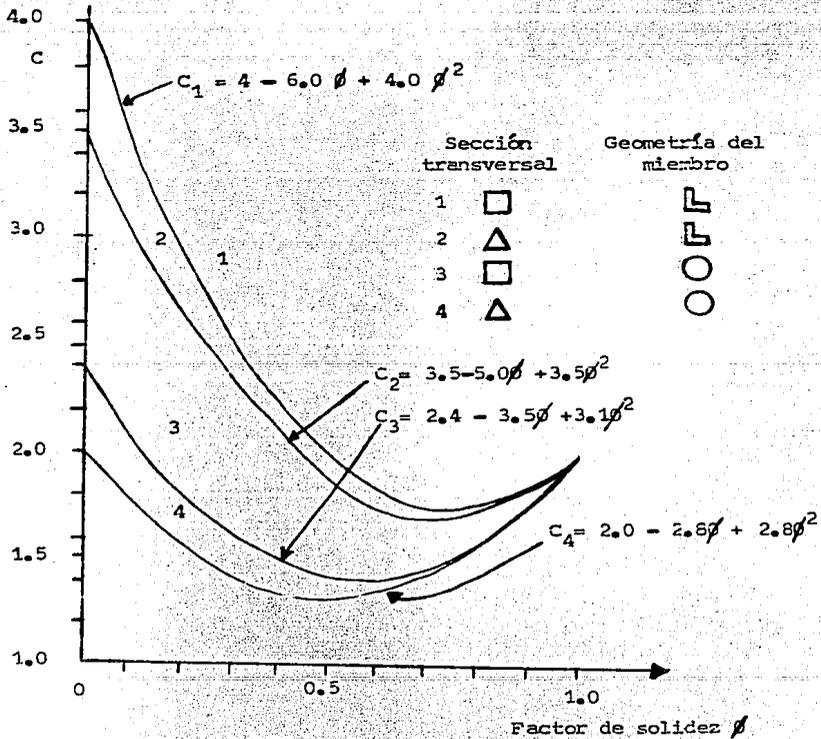


Figura 15

Coefficiente de arrastre para torres

Cálculo de la Resistencia de los Elementos Estructurales

Desde el punto de vista estructural una torre debe resistir los esfuerzos máximos a que pueda estar sujeta, por tal motivo, para diseñar los elementos de las estructuras de soporte se establece en términos generales, que la resistencia del elemento tiene que ser mayor o igual a las acciones provocadas en el elemento por las solicitaciones a que está sujeta, afectado además por factores de reducción y de carga.

Las cargas que se usan en los diseños de los miembros de una estructura, son los que se obtienen al considerar las solicitaciones y las hipótesis que se hagan para un determinado tipo de torre. Las solicitaciones que intervienen en el diseño son las que se vieron en el capítulo anterior.

Las hipótesis que se hacen para el diseño, son suposiciones en donde aparecen cargas accidentales por desbalanceo, así por ejemplo, en las torres de suspensión, las hipótesis pueden ser:

Caso 1, servicio normal; aquí se toman en cuenta las cargas por peso propio, peso de los conductores, hilos de guarda, de los accesorios y herrajes, carga de viento en la torre y en los cables, cargas en el mantenimiento.

Caso 2, conductor roto; se consideran las mismas cargas anteriores, pero con un conductor roto en la posición más desfavorable.

Caso 3, hilo de guarda roto; se consideran las mismas cargas que en el caso 1, pero con un hilo de guarda roto en la posición más desfavorable, esto puede producir una carga longitudinal del 100% de la tensión máxima.

En el cálculo de la resistencia de los elementos estructurales, cada miembro de la estructura se diseña para los siguientes casos:

- A) Relación Ancho-Espesor
- B) Tensión axial
- C) Compresión axial
- D) Flexión
- E) Flexocompresión
- F) Cortante
- G) Resistencia de los tornillos

A continuación se dan las expresiones que la CFE recomienda para el cálculo de los incisos anteriores.

- A) Relación Ancho-Espesor

Para el cálculo de la relación ancho-espesor de perfiles estructurales en ángulo, laminados o de placa doblada, se considerará como ancho efectivo a la

distancia entre el borde del ángulo y el punto donde se inicia la curvatura.

La relación ancho-espesor es crítica para valores bajos del coeficiente (L/r) que es la longitud del miembro entre apoyos (L) sobre el radio de giro (r) , principalmente en aceros de alta resistencia, por lo que se propone limitar la relación ancho-espesor o reducir la capacidad del miembro cuando se sobrepasa dicho límite.

Se recomienda además, que en ningún caso se empleen elementos cuya relación ancho-espesor exceda de 20.

Es conveniente que los ángulos principales del cuerpo de la torre tengan una relación ancho-espesor no mayor de $640/\sqrt{f_y}$, si no se cumple esta limitación la resistencia que se calcule en la segunda ecuación de la compresión axial se afectará por el factor Q_s calculado como a continuación se muestra:

$$\text{Si } b/t < 640/\sqrt{f_y} \quad Q_s = 1.0$$

$$640/\sqrt{f_y} < b/t < 1300/\sqrt{f_y} \quad Q_s = 1.34 - 0.00052 (b/t) \sqrt{f_y}$$

$$1300/\sqrt{f_y} < b/t \quad Q_s = 1.090,000/(f_y (b/t)^2)$$

B) Tensión axial

La resistencia de la tensión axial se calcula como sigue:

$$R_T = A f_Y F_R$$

donde

R_T = Resistencia a la tensión, en kg

A = Area neta del miembro, en cm^2

f_Y = Esfuerzo de fluencia, en kg/cm^2

F_R = Factor de reducción de resistencia, igual a 0.9

C) Compresión axial

Esta resistencia se calcula como sigue:

Si $KL/r \geq C_c$;

$$R_c = F_R \frac{20,134,000}{(KL/r)^2} A$$

Si $KL/r < C_c$;

$$R_c = F_R \left(1 - \frac{(KL/r)^2}{2 C_c^2}\right) f_Y A Q_s$$

donde

R_c = Resistencia a compresión, en kg.

A = Area de la sección transversal, en cm^2

L = Longitud entre soportes laterales, en cm.

r = Radio de giro en cm.

KL/r = Relación de esbeltez de los miembros de la torre

C_c = Se calcula como $6340/\sqrt{Q_s f_y}$

F_R = Factor de reducción de resistencia que vale 0.85 para $KL/r = 0$, decrece linealmente hasta 0.75 para $KL/r = C_c$ y conserva este valor - para relaciones de esbeltez mayores. (Ver Figura 15).

D) Flexión

El momento flexionante crítico de los ángulos que forman la estructura se calcula como sigue:

$$M = F_R \frac{EAt}{L/r_z} \leq S f_y$$

donde

M = Momento flexionante resistente, en kg-cm

E = Módulo de elasticidad (2×10^6 kg/cm²)

A = Area de la sección, en cm^2

t = Espesor del patín, en cm

r_z = Radio de giro mínimo, en cm.

F_R = Factor de reducción de resistencia, igual a 0.85

S = Módulo de sección, en cm^3

E) Flexocompresión

El momento resistente de diseño en flexocompresión, es igual al menor valor calculado en las siguientes expresiones:

$$MR = (1 - Pu/p_r) M_x$$

$$MR = (1 - Pu/p_{cr}) (1 - Pu/p_r) M_x$$

donde

M_R = Momento resistente en flexocompresión, en kg-cm

P_U = Carga axial actuante, en kg

P_R = Carga axial resistente = $F_R A f_y$; $F_R = 0.85$

M_x = Momento flexionante resistente, en kg-cm

R_C = Resistencia a carga axial

$P_{CR} = F_R \pi^2 EI_x / (KL/r_x)^2$; $F_R = 0.85$

I_x = Momento de inercia alrededor del eje de flexión

F) Cortante

La resistencia a cortante se determinará como sigue:

$$V_R = 0.55 f_y dt F_R$$

donde

V_R = Fuerza cortante resistente, en kg

d = Peralte, en cm

t = Espesor del alma, en cm

F_R = Factor de Reducción igual a 0.9

G) Resistencia de los Tornillos

En este caso se toma la resistencia garantizada por el fabricante, aplicando un factor de reducción de la resistencia, que será igual a 0.9

Se aplican factores de carga diferentes para tomar en cuenta aquellas acciones que contienen un mayor grado de incertidumbre en su ocurrencia

Cimentaciones

Las cimentaciones de una torre para líneas de transmisión deben tener un alto grado de seguridad, pero sin que éste eleve demasiado su costo.

Por esto la elección del tipo de cimentación que va a utilizarse depende del grado de seguridad y del costo que éste trae consigo, también se tienen que tomar en cuenta otros factores como las propiedades del suelo, la magnitud y tipo de solicitaciones que soportará la cimentación.

Las cimentaciones de una torre de transmisión están sujetas a elementos mecánicos tales como esfuerzos cortantes, de compresión y de tensión, que son producidos principalmente por el viento que actúa sobre los cables conductores y de guarda, así como en la torre misma. Pero también sobre la cimentación actúan otras solicitaciones, que son producidas por el suelo en que se apoyan, debidas a sismo y fricción negativa o por el empuje del agua, en el caso que el tirante de ésta sea considerable.

Todas estas solicitaciones se deben de tener en cuenta, pero el problema principal que se presenta en el análisis y diseño de cimentaciones para las torres, surge por la posición elevada de los cables, que provoca en las torres importantes momentos de volteo, mientras que las cargas verticales son relativamente bajas. Esto hace que las cimentaciones se tengan que diseñar contra el levantamiento.

Para encontrar la resistencia al levantamiento se utiliza un método en el que no es necesario conocer con mucha precisión las propiedades del suelo, para este método es necesario conocer el peso propio de la zapata y el peso del suelo que se encuentra sobre ella contenido dentro de una pirámide truncada invertida cuyas caras tienen una inclinación de β grados respecto a la vertical. Este método solo es válido para cimentaciones superficiales en las que exista una buena compactación. Se considera que una cimentación es superficial cuando la relación profundidad de desplante a la dimensión menor de la base es menor que 6. Este método es muy empleado, pero no es totalmente confiable debido a que se desconocen las propiedades del suelo.

Existe otro método para conocer la resistencia al levantamiento de una cimentación. En este procedimiento se tienen que conocer varias características del suelo, que en ocasiones solo se pueden determinar mediante ensayos de laboratorio o de manuales donde vengan determinadas las mismas para una gran variedad de suelos. Esto crea muchas dificultades en la práctica por el hecho de que las líneas de transmisión se extienden por varios kilómetros donde se

encuentran con diferentes tipos de terreno. A continuación se describe el método para calcular la resistencia al levantamiento. Este método considera si la falla es profunda o superficial; para el caso de cimentaciones de planta rectangular, la resistencia al levantamiento (Q_u), en toneladas, se calcula con las siguientes expresiones:

I) En Cimentaciones Superficiales

$$Q_u = 2cD(B+L) + \gamma D^2(2sB + L - B) K_u \tan \phi + W$$

II) En Cimentaciones Profundas

$$Q_u = 2cH(B+L) + \gamma (2D - H) H (2sB + L - B) K_u \tan \phi + W$$

donde

c = Cohesión del suelo, en t/m^2

H = Profundidad superficial límite, en m, ver tabla II.4

D = Profundidad de desplante, en m

B = Dimensión mayor de la zapata, en m

L = Dimensión menor de la zapata, en m

γ = Peso volumétrico efectivo del relleno, en t/m^3

s = Factor de forma, ver tabla II.4

K_u = Coeficiente de presión de tierra nominal (varía entre 0.7 y 1)

ϕ = Angulo de fricción interna del material, en grados

W = Peso de la zapata y del relleno encima de ésta, en toneladas. Para relleno se considera que la superficie de falla corresponde con el perímetro de la zapata.

Cuando el tipo de suelo es malo, el diseño de la cimentación se tiene que basar en su capacidad a la compresión, existen teorías y métodos confiables para calcular la capacidad del suelo para estos casos. Sin embargo los sondeos son necesarios para determinar las características del suelo porque la aparición de asentamientos diferenciales entre los cimientos de torres autosoportadas introducen grandes esfuerzos en los miembros, los cuales pueden causar la falla de la torre. Cuando ocurren fallas por compresión generalmente se presentan por pandeo de los miembros que se emplean en los emparrillados de acero, por esta causa se está generalizando el uso de las cimentaciones de concreto reforzado, por lo general prefabricado.

Las cimentaciones están diseñadas para resistir generalmente las cargas de tipo accidental como son la de roturas de cables y los vientos máximos, por -

lo que solo una parte de las cargas calculadas para una cimentación tiene carácter permanente, con excepción de las cargas en las torres de remate y de deflexión. Pero a pesar de lo anterior, en el diseño de la cimentación se incrementa el valor de las cargas en un 10% para evitar que se inicie la falla de la torre por ineficiencia de la cimentación.

Cuando se usan cimentaciones formadas por parrillas de acero, la presión de contacto para la cual se deberán diseñar no debe exceder de 2 kg/cm^2 en terreno firme. Cuando se usan cimentaciones de concreto reforzado, éstas deberán sobresalir aproximadamente 40 cm. del nivel del terreno y se diseñarán a base de zapatas cuadradas, pilas o pilotes, suponiendo que el concreto tenga una resistencia a la compresión igual o mayor de 150 kg/cm^2 .

Cuando se hace el diseño de la cimentación se tiene que recordar, que esta deberá tener tal forma que pueda intercambiarse fácilmente, de acuerdo con los distintos tipos de terreno en los que se localicen las estructuras, sin que para ello deba necesitarse, en lo que sea posible, ningún aditamento especial.

VALORES * DE H, m y S							
θ°	20	25	30	35	40	45	48
H/B	2.5	3	4	5	7	9	11
m	0.05	0.10	0.15	0.25	0.35	0.50	0.60
S_m	1.12	1.30	1.60	2.25	3.45	5.50	7.60

$$* S = 1 + m \frac{D}{B}; \text{ si } D/B > H/B, S \leq S_m$$

TABLA II.4

Diseño de la Cimentación de Retenidas

El diseño de las cimentaciones de las torres con retenidas resulta bastante sencillo, pues las patas de las torres únicamente soportan esfuerzos de — compresión, ya que las retenidas son las que toman los esfuerzos de tensión o arrancamiento.

Por lo general las cimentaciones de las patas son de concreto reforzado — prefabricadas, están formadas por una columna y una pequeña base (ver Figura 16 A). También se usan en algunos lugares cimentaciones de acero, su forma es un armazón piramidal con una parrilla de acero o de madera en la base (ver Figura 16 B). El tipo de cimentación se elige dependiendo de los siguientes factores: el código que se usa, las condiciones del terreno, el costo del material y de la mano de obra, la accesibilidad del lugar, la experiencia que se tenga en determinado tipo y el equipo que se utilizará.

Como los esfuerzos del terreno prácticamente se distribuyen en forma uniforme debajo de la cimentación de las patas, los diferentes tipos de suelo — pueden tratarse con un mismo criterio de diseño, simplemente variando las dimensiones de la cimentación.

Para sujetar a las retenidas en el suelo, se usan anclajes, los cuales — únicamente están sujetos a fuerzas de tensión. Los anclajes que más se usan en las torres con retenidas son: para suelos no cohesivos las placas de anclaje, planas o curvas, pueden ser de acero o concreto reforzado (Figura — 16 C); para los suelos cohesivos anclajes de multihélice; y para suelos rocosos, los pernos o tornillos de anclaje.

Para calcular la resistencia a tensión de placas de anclaje, se utiliza un método desarrollado en Finlandia, el cual dice que la fuerza resistente de tensión (T_u) es igual a la suma del peso del anclaje, del peso del prisma de tierra que está sobre la cimentación y de la fuerza cortante que actúa en la superficie lateral del prisma de suelo, esto es:

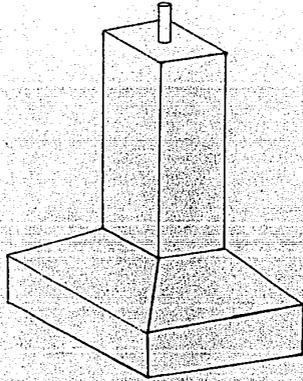
$$T_u = W_p + W_s + R_c$$

donde

W_p = Peso propio de la placa, en ton.

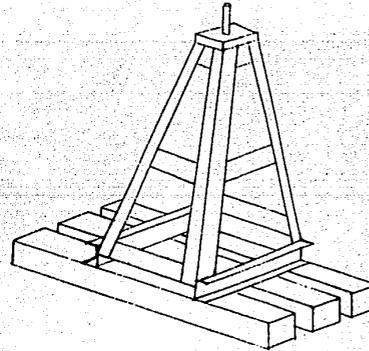
W_s = Peso del suelo en ton., dentro del prisma de falla limitado por el perímetro de la placa (Figura 16 D).

R_c = $A_p C S$; Resistencia, en ton, debida al esfuerzo cortante que se desarrolla sobre la superficie lateral del prisma de falla (Figura — 16 B) y que depende del tipo de suelo.



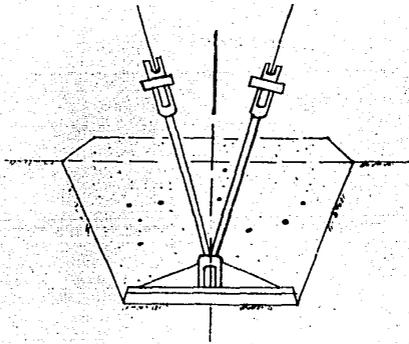
a) Cimentación de concreto reforzado

Figura 16



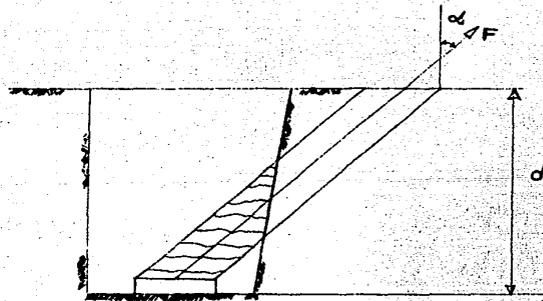
b) Cimentación de acero

Figura 16



c) Anclaje de concreto reforzado

Figura 16



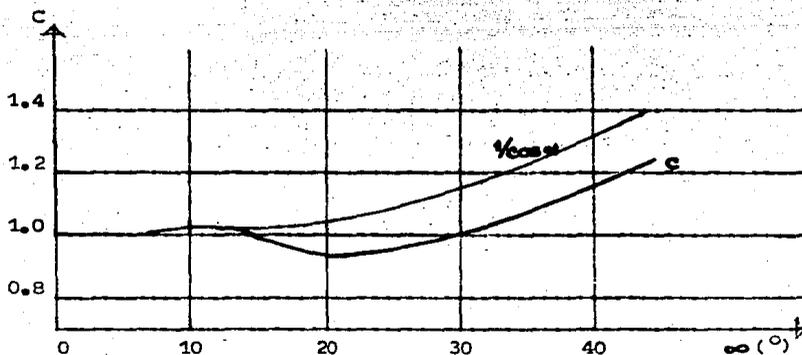
d) Prisma de tierra

Figura 16

- Ap = Area de las paredes del prisma de falla, en m^2
- C = Coeficiente adimensional que depende de la inclinación de la fuerza de levantamiento con la vertical, su valor se toma de la tabla II.6
- S = Coeficiente que depende de las características del suelo; ver tabla II.5.

TIPO DE SUELO	D (m)	S (t/m ²)
Arena bien graduada (suelta) compacidad 70-90%	1.5	0.7-0.9
	3.0	1.3-1.7
Arena bien graduada (compactada) Compacidad 92-100%	1.5	1.2-1.6
	2.5	2.0-2.6
Arena graduada (intacta) Compacidad 90-107%	1.5	1.55-2.0
	2.5	2.4-3.1
Arena uniforme (intacta) Compacidad 101-120%	1.5	2.1-2.7
	2.5	3.3-4.2
Arcilla de plasticidad media (no intacta) con resistencia al corte 0.1-0.6 kg/m ²	1.5	1.2-1.8
	2.5	1.2-1.8
Arcilla de plasticidad media (intacta) con resistencia al corte 0.1-0.6 kg/m ²	1.5	2.1-2.9
	2.5	2.1-2.9
Otros	Obtener S en base a los valores anteriores	

TABLA II.5 Valores del coeficiente S

TABLA II.6 Valores del coeficiente C en función de la pendiente α de la fuerza de arrancamiento.

CAPITULO III

PLANEACION DE LA CONSTRUCCION

- Método del Camino Crítico.

2. Lista de Actividades del Proceso Constructivo.
- 3 y 4. Duración de cada Actividad y Asignación de Recursos.
7. Diagrama de Actividades.
8. Tabla de Holguras.
9. Diagrama de Barras.
Programa de Mano de Obra.
Programa de Maquinaria.
Asignación de Recursos (Cabos).

III.- PLANEACION DE LA CONSTRUCCION

Se mostrará en forma general el proceso que se sigue para la aplicación del Método del Camino Crítico en la Construcción de una Línea de Transmisión, de ninguna manera se trata de realizar un estudio completo, pues ésto requeriría una mayor cantidad de actividades de las que se utilizarán en el ejemplo que se hará en esta parte del trabajo.

Cabe mencionar que en el ejemplo no se realizarán diferentes alternativas debido a que para obtener los resultados se necesitaría el uso de computadora, pues de otra manera harían largo y muy tardado el estudio, cosa que no se pretende en este trabajo.

Después de haber expuesto lo anterior, es importante decir que los resultados que se obtengan no deben tomarse como reales, sino únicamente como una forma demostrativa en la aplicación del Método del Camino Crítico.

METODO DEL CAMINO CRITICO

Antes de aplicar el Método del Camino Crítico en nuestro ejemplo, hablaremos en forma general en que consiste el método, los elementos de que se constituye, así como los pasos para su realización.

En los años 50 en Estados Unidos de América se desarrolla el Critical Path Method (CPM) para su aplicación en la construcción.

- El Método del Camino Crítico tiene como elementos principales:

- a) Diagrama de actividades.
- b) Análisis de los tiempos de todas las actividades.

Existen varias formas de efectuar el método, pero para nuestro estudio aplicaremos el método de Fondahl, el cual estableció una manera más simple para el manejo de diagramas sin necesidad de usar computadora.

A continuación veremos la aplicación del método del Camino Crítico a la Construcción:

Partimos de la Red Básica de Actividades, conocida así, porque comprende solo aquellas que forman parte constitutiva de la obra, quedando fuera por lo tanto, las actividades de suministros, instalaciones, licencias, proyectos, etc.

Los pasos para la elaboración de la Red Básica de Actividades son los siguientes:

- 1) Definir el proceso de construcción.

- 2) Lista de Actividades.
- 3) Determinación de Cantidad de Obra correspondiente a cada actividad.
- 4) Asignación de Recursos:

Esta actividad consiste en definir la cantidad que le corresponde a cada uno de los recursos, necesarios para realizarla, ya sea, mano de obra, materiales o maquinaria.

En el inicio de la elaboración de un programa esta designación es tentativa y debe revisarse en forma detallada para optimizar el uso de recursos.

Para la revisión de la asignación de recursos, seguiremos el proceso siguiente, partiendo del programa de barras.

4.1) Todas las actividades se iniciarán en la fecha de su iniciación próxima.

4.2) Se iniciará en cada uno de los periodos de tiempo en que se divide la duración de la actividad, la cantidad de recursos necesarios.

4.3) Se sumarán verticalmente los recursos empleados en un mismo periodo.

4.4) Se graficarán los resultados.

5) Determinación del tiempo de duración de cada actividad.

6) Definir que actividades preceden a cada una.

7) Elaborar diagrama de actividades:

El diagrama de actividades es un modelo gráfico que nos representa la forma como se sucederán las actividades en un proceso.

8) Determinar la duración total, ruta crítica y holguras:

Para entender mejor la forma en que se determinan estos conceptos, diremos lo siguiente:

Para calcular la duración total, ruta crítica y las holguras es preciso conocer tanto los inicios y terminaciones próximas y remotas para éstos, los cuales se refieren a lo siguiente.

Iniciación Próxima (IP): Es el menor tiempo posible en que puede iniciarse una actividad, dependiendo de las secuencias del diagrama de actividades, puede decirse también que es igual a la mayor de las terminaciones próximas de las actividades que le preceden. Para la primera actividad de cualquier diagrama, su valor siempre es cero.

Por lo tanto, podemos escribir la siguiente expresión:

$$IP = TP - D; \text{ donde } D = \text{Duración}$$

Terminación Próxima (TP): Es igual a su iniciación próxima "más" su duración. $TP = IP + D$.

Iniciación Remota (IR): Es el tiempo máximo posible en que puede iniciarse una actividad, sin alterar la duración total del proceso, además, es igual a su terminación remota "menos" su duración.

Por lo tanto, podemos escribir la siguiente expresión:

$$IR = TR - D$$

Terminación Remota (TR): En las últimas actividades de un proceso es igual a la terminación próxima.

Ahora que conocemos estos conceptos, podemos calcular la tabla de holguras, así como determinar la ruta crítica.

Hogura Total (HT): Es el tiempo máximo posible que tiene una actividad para variar su fecha de inicio sin alterar la duración total del proceso.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$HT = IR - IP = TR - TP \quad \delta$$

$$HT = TR - D - IP$$

Holgura Libre (HL): Es el margen de tiempo que tiene una actividad, cuando todas las actividades se inician tan pronto como sea posible para variar su fecha de inicio.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$HL = TP - D - IP$$

Ruta Crítica: Es la cadena consecutiva de actividades que no pueden variar sus fechas de inicio.

Debe cumplirse para que una actividad sea crítica que:

$$\text{Holgura Total} = 0 \quad \text{HT} = 0$$

9) Diagrama de Barras

9.1. El Diagrama de Barras es una representación gráfica de un diagrama de actividades en una escala de tiempo.

9.2. Las actividades se representarán por una barra cuya longitud es proporcional al tiempo de duración.

Es importante mencionar que deben de graficarse también las actividades "ficticias", que son aquellas que no consumen tiempo ni recursos, pero forman parte del diagrama, se usan éstas para unir actividades en donde una de éstas deberá realizarse una vez efectuada la otra, su representación gráfica es por medio de una flecha punteada.

Para conocer los recursos emplearemos la siguiente expresión:

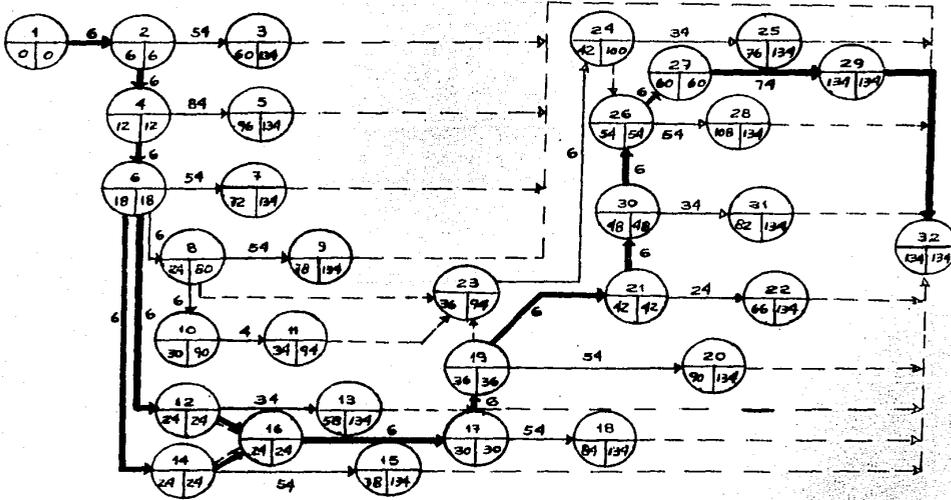
$$\text{Recursos} = \frac{\text{Cantidad de Obra} \times \text{Rendimiento}}{\text{Duración}}$$

2) Lista de Actividades del Proceso Constructivo	Actividad
Localización de Estructuras	1 - 2, 2 - 3
Apertura de Brecha	2 - 4, 4 - 5
Camino de Acceso	4 - 6, 6 - 7
Prearmado de Torres	6 - 8, 8 - 9
Excavación de Zapatas	6 - 12, 12 - 13
Prearmado de Bottom Panel	6 - 14, 14 - 15
Colocación de Bottom Panel	16 - 17, 17 - 18
Nivelación de Bottom Panel y Plantilla de Concreto	17 - 19, 19 - 20
Sistema de Tierras	19 - 21, 21 - 22
Relleno	21 - 30, 30 - 31
Cable Guarda	30 - 26, 26 - 28
Cable Conductor	26 - 27, 27 - 29
Vestido de Torres	8 - 10, 10 - 11
Montaje de Torres	23 - 24, 24 - 25

Duración de cada Actividad y Asignación de Recursos

ACTIVIDAD	CANTIDAD DE OBRA	RENDIMIENTO	MAQUINARIA (RENDIMIENTO)	DURACIÓN	RECURSOS	MAQUINARIA (RECURSOS)	IMPORTE POSTO MILES (\$)
[2-4], [4-5]	97 Km	1.86 P/Km 0.47 c/km	4.9 Hr/km	90 Días	2 p 0.50 c	0.677 0.601	8814
[4-6], [6-7]	97 Km.	0.5 p/km 0.17 c/km	23 Hrs.	60 Días	0.80 p 0.30 c	0.40	3650
[1-2], [2-3]	225 Torres	0.42 c/Torre 0.57 p/Torre		60 Días	1.60 c 2.10 p		1723
[6-12], [12-13]	5626 m ³	0.029 c/m ³ 0.058 p/m ³	0.24 Hrs	40 Días	0.40 c 8.20 p	3.70	28918
[6-14], [14-15]	330 Ton	2.42 M 0.20 c/Ton		60 Días	1.33 M 1.10 c		2500
[16-17], [17-18]	225 Ton	0.08 A 0.32 p		60 Días	0.30 A 1.20 p		5000
[6-8], [8-9]	1320 Ton	2.42 M 0.20 c		60 Días	53.20 M 4.40 c		7500
[23-24], [24-25]	1650 Torres	4.16 M 0.50 p	0.50 Hrs.	40 Días	171.60 M 20.62 p	2.30	81624
[19-21], [21-20]	225 Torres	0.33 A 1.32 p		30 Días	2.50 A 10 p		2992
[8-10], [10-11]	225 Torres	1.00 L 1.00 p		10 Días	22.50 L 22.50 p		4089
[30-26], [26-28]	194 Km	1.33 L 1.72 p	4.1 Hr	60 Días	4.30 L 5.60 p	1.50	9394
[26-27], [27-29]	584 km	3.20 L 2.50 p	4.8 Hrs	80 Días	23.50 L 18.40 p	3.90	46676
[17-19], [19-20]	1940 m ³	0.08 A/m ³ 0.32 p/Torre 0.08 c/Torre		60 Días	2.60 A 1.20 p 0.30 c		24050
[21-30], [30-31]	5944 m ³	0.05 c 0.31 p		40 Días	6.30 c 38.90 p		14157

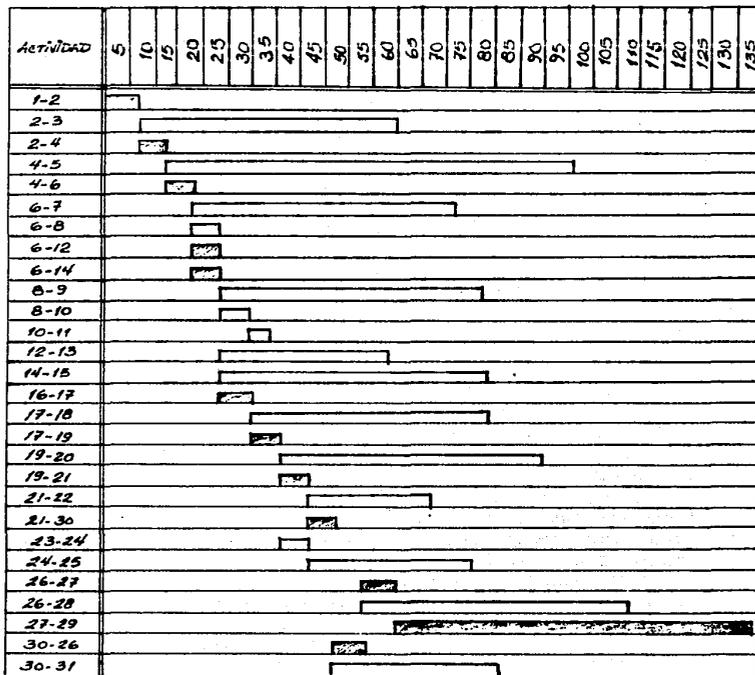
DIAGRAMA DE ACTIVIDADES



Actividad	Duración	Inicio		Termino		Holgura Total	Holgura Libre	Actividad Crítica
		Próxima	Remota	Próxima	Remota			
1 - 2	6	0	0	6	6	0	0	*
2 - 3	54	6	6	60	134	74	0	
2 - 4	6	6	6	12	12	0	0	*
4 - 5	84	12	12	96	134	38	0	
4 - 6	6	12	12	18	18	0	0	*
6 - 7	54	18	18	72	134	62	0	
6 - 8	6	18	18	24	80	56	0	
6 -12	6	18	18	24	24	0	0	*
6 -14	6	18	18	24	24	0	0	*
8 - 9	54	24	80	78	134	56	0	
8 -10	6	24	80	30	90	60	0	
10 -11	4	30	90	34	94	60	0	
12 -13	34	24	24	58	134	76	0	
14 -15	54	24	24	78	134	56	0	
16 -17	6	24	24	30	30	0	0	*
17 -18	54	30	30	84	134	50	0	
17 -19	6	30	30	36	36	0	0	*
19 -20	54	36	36	90	134	44	0	
19 -21	6	36	36	42	42	0	0	*
21 -22	24	42	42	66	134	68	0	
21 -30	6	42	42	48	48	0	0	*
23 -24	6	36	94	42	100	58	0	
24 -25	34	42	100	76	134	58	0	
26 -27	6	54	54	60	60	0	0	*
26 -28	54	54	54	108	134	26	0	
27 -29	74	60	60	134	134	0	0	
30 -26	6	48	48	54	54	0	0	*
30 -31	34	48	48	82	134	52	0	

TABLA DE HOLGURAS

DIAGRAMA DE BARRAS



PROGRAMA DE MANO DE OBRA

Cabos

Actividad	Cabos	Duración	Recursos
1 - 2	2	6	12
2 - 3	2	54	108
2 - 4	1	6	6
4 - 5	1	84	84
4 - 6	1	6	6
6 - 7	1	54	54
6 - 8	5	6	30
6 - 12	1	6	6
6 - 14	2	6	12
8 - 9	5	54	270
8 - 10	0	6	-
10 - 11	0	4	-
12 - 13	1	34	34
14 - 15	2	54	108
16 - 17	0	6	-
17 - 18	0	54	-
17 - 19	1	6	6
19 - 20	1	54	54
19 - 21	0	6	-
21 - 22	0	24	-
21 - 30	7	6	42
23 - 24	0	6	-
24 - 25	0	34	-
26 - 27	0	6	-
26 - 28	0	54	-
27 - 29	0	74	-
30 - 26	0	6	-
30 - 31	7	34	238
=			1 070 Cabos

Para obtener un uso más eficiente de Recursos de Mano de Obra, es conveniente que los requerimientos tiendan a ser constantes o por lo menos que adopten la forma siguiente; a partir de sacar un promedio de cabos por día necesarios, y solamente tomaremos el tiempo de duración real.

$$\text{Promedio} = \frac{1070 \text{ cabos}}{96 \text{ días}} = 11.14 = 12 \text{ cabos/día.}$$

PROGRAMA DE MANO DE OBRA

Peones

Actividad	Peones	Duración	Recursos
1 - 2	3	6	18
2 - 3	3	54	162
2 - 4	2	6	12
4 - 5	2	84	168
4 - 6	1	6	6
6 - 7	1	54	54
6 - 12	9	6	54
8 - 10	23	6	138
10 - 11	23	4	92
12 - 13	9	34	306
16 - 17	2	6	12
17 - 18	2	54	108
17 - 19	2	6	12
19 - 20	2	54	108
19 - 21	10	6	60
21 - 22	10	24	240
21 - 30	39	6	234
23 - 24	21	6	126
24 - 25	21	34	714
26 - 27	19	6	114
26 - 28	6	54	324
27 - 29	19	74	1406
30 - 26	6	6	36
30 - 31	39	34	1326

5830 Peones

$$\text{No. Peones} = \frac{5830}{134} = 43.50 = 44 \text{ peones}$$

PROGRAMA DE MANO DE OBRA

Montadores

Actividad	Montadores/día	Duración	Recursos
6 - 14	2	6	12
14 - 15	2	54	108
6 - 8	54	6	324
8 - 9	54	54	2916
23 - 24	172	6	1032
24 - 25	172	34	5848
		=	10240

$$\text{Montadores} = \frac{10240}{60} = 170.67 = 171 \text{ Montadores/día}$$

Albañiles

Actividad	Albañiles	Duración	Recursos
16 - 17	1	6	6
17 - 18	1	54	54
19 - 21	3	6	18
21 - 22	3	24	72
17 - 19	3	6	18
19 - 20	3	54	162
		=	330

Albañiles

$$\text{Albañiles} = \frac{330}{66} = 5 \text{ Albañiles/día}$$

Linieros

Actividad	Linieros	Duración	Recursos
8 - 10	23	6	138
10 - 11	23	4	92
30 - 26	5	6	30
26 - 28	5	34	170
26 - 27	24	6	144
27 - 29	24	74	1776
		=	2350

Linieros

$$\text{Linieros} = \frac{2350}{86} = 27.33 = 28 \text{ Linieros/día}$$

PROGRAMA DE MAQUINARIA

Actividad	Maquinaria		Duración	
2 - 4	0.6	0.6	6	
4 - 5	0.6	0.6	84	
4 - 6	0.4	0.4	6	
6 - 7	0.4	0.4	54	
6 - 12	3.7	4	6	6
12 - 13	3.7	4	34	32
23 - 24	2.3	3	6	6
24 - 25	2.3	3	34	25
26 - 27	3.9	4	6	6
27 - 29	3.9	4	74	74
26 - 28	1.5	1.5	54	
30 - 26	1.5	1.5	6	

CAPITULO IV

CONSTRUCCION

- 4.A TOPOGRAFIA.
 - 4.A.1 Trabajos Preliminares.
 - 4.A.2 Localización Definitiva.
 - 4.A.3 Brecha Topográfica.
 - 4.A.4 Levantamiento de Planta y Perfil.
 - 4.A.5 Verificación de Planta y Perfil.
 - 4.A.6 Cálculo.
 - 4.A.7 Dibujo.
 - 4.A.8 Localización y Verificación de Estructuras.
- 4.B PROCESO CONSTRUCTIVO.
 - 4.B.1 Brecha Forestal.
 - 4.B.2 Camino de Acceso
 - 4.B.3 Localización y Trazo de Estructuras.
 - 4.B.4 Excavación para Cimentaciones.
 - 4.B.5 Sistema de Tierras.
 - 4.B.6 Plantilla de Cimentación.
 - 4.B.7 Acero de Refuerzo para Cimentaciones de Concreto.
 - 4.B.8 Concreto en Cimentaciones Metálicas.
 - 4.B.9 Armado y nivelado de Estructuras de Acero.
 - 4.B.10 Relleno y apisonado en cimientos de Estructuras Metálicas.
 - 4.B.11 Armado y Montaje del Cuerpo Superior.
 - 4.B.12 Vestido de Estructuras.
 - 4.B.13 Tendido y Tensionado del Cable Guarda.
 - 4.B.14 Tendido y Tensionado del Cable Conductor.
 - 4.B.15 Colocación de Accesorios para Cables Conductor y de Guarda.
 - 4.B.16 Revisión y puesta en Servicio.
- 4.C MANO DE OBRA Y MAQUINARIA.
 - Comparación de una Torre con Retenidas y una Autosoportada.
 - Comentarios al Diseño de una Torre Autosoportada.

IV.- CONSTRUCCION

4.A) TOPOGRAFIA

Es una actividad fundamental y de las primeras a realizar que nos define: la longitud de la línea, la topografía de la zona, altitud, accidentes y obstáculos que presenta la zona.

De manera general explicaremos el procedimiento para realizar el levantamiento topográfico para la construcción de una línea de transmisión.

4.A.1.- Trabajos preliminares

En estos trabajos se incluye:

4.A.1.a.- Instalación de oficinas y campamentos.

Alquiler y acondicionamiento de edificio para oficinas y campamentos en los lugares adecuados y anteriormente escogidos.

4.A.1.b.- Localización preliminar.

Se efectúa con la ayuda de planos y mapas de la región, aerofotografías, trazando el eje probable de la línea y alternativas posibles en los planos y mapas.

4.A.1.c.- Recorrido y reconocimiento por las zonas a cruzar.

Con lo trazado en los planos o mapas se recorre para buscar accesos, obstáculos o puntos notables que puedan servir de referencia.

En los puntos 4.A.1.b y c se puede uno auxiliar con helicóptero para agilizar estas actividades.

4.A.2.- Localización definitiva

Esta localización deberá cumplir ya con las necesidades de la línea de transmisión para su construcción, operación y mantenimiento.

Se localizan los puntos notables de los planos o mapas en el campo y se banderean para efectuar el brecheo.

Esta localización se hace a base de estadia, aprovechando los planos que indican el trazo.

El procedimiento es el siguiente:

Se coloca el tránsito, previamente corregido en un punto definido de la línea y se visa a otro punto de la primera tangente para tener el primer alineamiento, que se va prolongando a base de una serie de banderas o balizas a lo largo del mismo, hasta llegar a la primera deflexión. En esta deflexión y de acuerdo con los planos se mide el ángulo de la deflexión para localizar así la siguiente tangente cuya localización se va comprobando en los planos.

4.A.2.1.- Puntos notables a considerar son:

4.A.2.1.a.- Deflexiones del eje de la línea.

Son los cambios de dirección necesarios para llegar al punto deseado, librando los obstáculos o accidentes por donde la construcción sería muy costosa.

4.A.2.1.b.- Obstáculos y accidentes.

Comprobar si son o no accesibles a la construcción con costos dentro de lo normal.

4.A.2.1.c.- Necesidades en la salida y en la llegada de la línea de las subestaciones, plantas o entronques.

Definir las necesidades de las plantas generadoras, subestaciones o entronques de entradas y salidas futuras.

4.A.2.2.- Consideraciones en la localización de las líneas de transmisión:

4.A.2.2.a.- Lo más recto posible para una mejor operación de la línea o sea el menor número de deflexiones.

4.A.2.2.b.- Localizarla de preferencia donde existan facilidades de acceso para construcción, así como para la operación y mantenimiento.

4.A.2.2.c.- Afectar en lo mínimo los terrenos de cultivo, las poblaciones y su posible expansión, vías de comunicación que interfirieran en el trazo de la línea.

4.A.2.2.d.- En los cruzamientos con vías de comunicación y otras líneas de transmisión, deberá tenerse cuidado en dejar el libramiento respectivo para cada uno de ellos.

Anteriormente se localizaba una línea (un eje), actualmente la práctica ha demostrado que al localizar una línea nueva, se localiza una franja de un ancho de 100 m. aproximadamente para líneas futuras.

4.A.3.- Brecha Topográfica

Para efectuar este trabajo primero se señalan las deflexiones y en tangentes largas se alinean puntos intermedios, los necesarios. Con esto se comienza a brechar la cual deberá tener un ancho de 1 a 2 m., lo suficiente para trabajar en el levantamiento. Una vez conocido el alineamiento y que se tiene la brecha se procede a comprobar el perfil y relocalizar las mojonearas de cada torre.

4.A.4.- Levantamiento de planta y perfil

Se utiliza normalmente el método estadimétrico en el levantamiento del perfil y en la planta puede ser estadimétrico o con cinta utilizando ángulos - -

horizontales.

El método de la estadia que se usa para el levantamiento del perfil en forma general es como sigue:

Se coloca el aparato sobre un punto de la tangente de la cual se quiere levantar el perfil; se alinea aprovechando las banderas y balizas, y se determinan, con estadia, distancias y desniveles de puntos espaciados unos 30 m. como promedio. El registro de campo que se lleva es el siguiente:

Tangente	Lectura estadimétrica			Círculo	Círculo	Rumbo	Dist.	Desnivel
	H. sup.	H. media	H. inf.	Vert.	Horz.	Observ.	Horz.	

En terrenos con pendiente transversal fuerte es necesario levantar perfiles paralelos al eje de la línea y a 10 ó 15 m. de separación para comprobar que los conductores no se acercan al terreno más de lo debido.

Los datos que se levantan en el campo son: distancias inclinadas, ángulo vertical, altura del aparato y ángulos horizontales.

En las deflexiones y puntos notables, cruzamientos con vías de comunicación se mojonan para tener referencias fijas.

En los cruces con carreteras y vías de ferrocarril, se llevan a cabo levantamientos más detallados.

Las estaciones se localizarán a una distancia máxima de 250 m. dependiendo de las condiciones de visibilidad y topografía del terreno.

Se deberá efectuar orientaciones solares (distancias zenitales o alturas absolutas) cada 10 Km. o en cada deflexión. Estas orientaciones sirvan para verificar las deflexiones y corregir éstas y los rumbos por convergencia de meridianos. De hecho al efectuar estas orientaciones estamos haciendo, de una poligonal abierta, una poligonal cerrada que da mayor seguridad al trabajo topográfico.

Actualmente se puede efectuar este trabajo por medio de los aparatos:

Auto-reductor RDS y distomat DI-10 Mca. Wild. Para esto el auto-reductor RDS nos da sin cálculo aparente las distancias horizontal y el desnivel. El distomat DI-10 se tiene que efectuar cálculo para conocer la distancia horizontal y el desnivel pero con mayor capacidad en distancia ya que trabaja por medio de rayos infrarrojos.

4.A.5.- Verificación de Planta y Perfil

Se verifica la distancia horizontal y desnivel entre estaciones anteriormente

te localizadas. Con el método estadimétrico o con aparatos que trabajan con reflexión de rayos y con computadora adjunta como el Wild DI-10.

4.A.6.- Cálculo

Por el método estadimétrico tenemos:

$$DH = DI \cos^2 \alpha$$

Desnivel = $DI \frac{1}{2} \sin 2\alpha$ donde: DH = Distancia Horizontal, DI = Distancia Inclinada α = Angulo Vertical.

Otro método para el cálculo es con el equipo de reflexión de rayos, el Wild DI-10, con este equipo obtenemos del campo: $DH = DI \cos \alpha + \text{Altura del aparato} - \text{Altura del Reflector}$.

Las correcciones que se hacen son por:

- a) Temperatura
- b) Altitud
- c) Refracción

Se calculan las orientaciones solares, azimutes y rumbos de la poligonal, coordenadas geográficas, convergencias de meridianos, errores de cierre angular y tolerancias para los mismos. Cálculo de la poligonal.

4.A.7.- Dibujo

Con los datos de campo se dibuja la planta y el perfil, cruzamientos de la línea y finalmente la planta general.

4.A.8.- Localización y verificación de estructuras

Una vez que se tiene el dibujo del perfil y de la planta, se localizan las estructuras y después se localizan y verifican en el campo. Esto se hace a partir de las estaciones más cercanas tomando las distancias hacia el punto de localización de la estructura, con esto se comprueba si efectivamente se encuentran así en el campo, simultáneamente se hace el levantamiento del perfil.

Una vez localizada la estructura, se alinea y mojonea cada estructura en el campo, se coloca una varilla o marca central en las mojoneras que nos define donde quedará el centro de la torre, esto se hace debido a que en terrenos de zonas montañosas las patas de las estructuras no quedan a un mismo nivel y tenemos que conocer el desnivel entre patas, por eso tomamos como base la cota del centro de la torre, para este trabajo se levanta generalmente lo que conocemos como perfil de cruz.

Hecho lo anterior se procede a colocar las estacas que nos sirven para indicar el lugar donde se deben realizar las excavaciones de cada una de las patas de las torres, se hacen generalmente de sección cuadrada aunque el cimiento de la torre " o parrilla ", tiene un lado ligeramente más largo que el otro.

Para fijar dichas estacas, se calculan unas tablas que dan la distancia - - horizontal que debe haber de la varilla de la mojonera a los vértices más cercano y más lejano del cuadrado de la excavación para la pata. Estas distancias dependen del tipo de la torre y de las extensiones que tenga la pata y se calculan usando las dimensiones de las torres que aparecen en los planos de las - torres que proporcionan los fabricantes.

Para la localización se coloca el tránsito en el centro de la mojonera de - la torre, con los 0° en coincidencia, se alinea según la tangente, y a partir del cable de la plomada y con el alineamiento de 45° se miden las distancias, - colocándose las correspondientes estacas con lo que quedan localizadas dos esquinas del cuadrado de la excavación; para localizar las otras dos esquinas, - se usa un cordel con dos nudos a una distancia igual a dos veces el lado del - cuadrado y con un nudo central. Los extremos se hacen coincidir con las esta- cas, se tiende el cordel y el nudo central define los otros vértices del cua- drado, donde se colocan otras estaquitas.

4.B) PROCESO CONSTRUCTIVO

Para iniciar la construcción de la línea de transmisión se debe de tener el plano de la planta general de la línea en el cual se pueden ver las poblaciones y puntos probables que la línea cruza. Con este plano se hace un estudio de los sitios más adecuados para construir las instalaciones provisionales. Estas instalaciones son para:

- Oficinas

En una población de importancia para facilidad de comunicación y adquisición de materiales y herramientas menores para la construcción.

- Campamentos

Localizados en zonas lo más cercano posibles a la línea para evitar pérdidas apreciables de tiempo en el transporte hacia los diferentes frentes de la línea. Así como servicios ya instalados para el personal y si no es posible, facilidades para su instalación redundando ésto en la economía de su instalación y mantenimiento.

- Almacenes

Los que se consideren necesarios a lo largo de la línea los cuales pueden estar en las oficinas o campamentos.

El procedimiento para la construcción de una línea de transmisión se compone de los pasos siguientes:

4.B.1.- Brecha forestal

Consiste en hacer una limpia del terreno, para esto se tiene que conocer el alineamiento general de la línea. Los objetivos para los que se abre una brecha forestal son:

- Protección de conductores y estructuras contra caídas de árboles o ramas que ocasionarían daños e interrupciones a la línea.
- Evitar incendios en los terrenos adyacentes por caída de conductores.
- Permitir un espacio adecuado para el desarrollo de los trabajos en la construcción de la línea.

El ancho de la brecha se calcula:

$$L = I + ((H+a)^2 - h^2)^{1/2} ; \text{ donde:}$$

L = distancia horizontal entre eje de línea y límite de la brecha.

I = distancia horizontal entre el eje de la línea y los conductores extremos

H = Altura de los árboles o de la vegetación más el crecimiento aproximado

correspondiente a 5 años.

a = distancia de protección 3 m. para 230 Kv. y 5 m. para 400 Kv.

h = diferencia de nivel entre el conductor y el nivel del piso donde están localizados los árboles.

Los árboles existentes en la brecha es necesario que de ser posible se saquen en su totalidad. En el lugar correspondiente a estructuras, se traza un cuadro mayor para poder trabajar en el armado y montaje de la estructura.

El ancho mínimo de la brecha será de 15 m. para 115 Kv., 20 m. para 230 Kv. 30 m. para 400 Kv., y en los sitios de torre será de 30x30 m.

4.B.2.- Camino de Acceso

Se hacen para facilitar el transporte de material, equipo y personal, hasta el lugar de la construcción. para esto se pueden utilizar los caminos ya existentes y hacer únicamente los necesarios, si no se cuenta con caminos de acceso, y si es posible, se pueden hacer a lo largo de la brecha forestal.

4.B.3.- Localización y trazo de Estructuras

En la parte de la Topografía se trató lo referente a la localización de estructuras.

Ahora se verá que es lo que se requiere para conocer el trazo de las estructuras:

4.B.3.1.- Tipo y nivel de estructuras, patas a diferentes niveles.

Es importante mencionar que los tipos y niveles de estructuras están determinados por algunas diferencias entre estructuras como son: número de circuitos, disposición de los mismos, cantidad de los hilos de guarda, así como disposición de los diferentes niveles y extensiones.

4.B.3.2.- Cálculo de datos para Excavaciones y Cimentaciones

De los planos proporcionados por los fabricantes se tienen los siguientes datos que son los que sirven para el cálculo: pendiente en el espacio (o proyectada) y separaciones entre patas a la altura de la muestra de las diferentes extensiones y niveles, así como condiciones de la excavación.

Las tolerancias para trazos de ejes, líneas y centros en planta no deberán de variar en alineamiento o en posición en ± 5 mm. Los niveles de referencia para desplante de la cimentación y en general no deberán variar en ± 5 mm. con respecto a los bancos de nivel base.

4.B.4.- Excavación para Cimentaciones

4.B.4. La excavación se hace después de que se ha hecho el trazo de la localización de los cimientos de los cuatro apoyos de la torre.

Dependiendo del material que se tenga, el procedimiento de la excavación cambia. El material de la excavación se clasifica como sigue:

Clase I: arcilla, arena no compactada y en general que pueden removerse con pico y pala de mano.

Clase II: tepetate blando, arena compactada, cantos rodados, lajas no compactadas que pueden atacarse con pico de mano, piedras menores de 0.5 M^3 y mayores de 20 cm.

Clase III: tepetate duro, roca, gravas, lajas cementadas y en general todo tipo de material que requiera explosivos o herramientas neumáticas para su ataque y extracción.

Cuando se excava en material de clase I, se usa la pala de mano, se colocan dos peones en cada pata equipados cada uno de ellos con una pala para que saquen el material.

Para material de clase II, se emplea el mismo número de trabajadores en cada pata, equipados con pico y pala, usando el pico para aflojar el material y la pala para extraerlo. Se puede usar una retroexcavadora en lugar de los peones con pico y pala, esto depende de lo accesible del terreno y de lo que resulte más económico.

Para material de clase III, hay necesidad de hacer uso de explosivos o equipo mecánico de excavación. En el caso de los explosivos se hace con el empleo de una compresora, con ésta se hacen los barrenos, después se introducen los explosivos y se hace la detonación, enseguida se extrae el material con una retroexcavadora o con trabajadores con pala.

Para dar por terminada la excavación, se verificarán línea, nivel y acabado. Las tolerancias en la profundidad de las depresiones observadas en el nivel teórico de desplante fijado no deberá sobrepasar 5 cm. en suelos suaves y medios (I y II) y de 20 cm. en suelos rocosos (III). En lo referente a las dimensiones en planta se acepta una tolerancia de 15 cm. en exceso por lado para facilitar los trabajos, pero en ninguno de los casos la profundidad de la excavación deberá ser menor que la indicada en los planos de proyecto si el terreno es muy accidentado.

4.B.5.- Sistema de Tierras

Consiste en el hincado de una o más varillas en las cercanías de los cimientos de las estructuras, conectadas a la misma con alambre.

Para el hincado de las varillas depende del terreno en el que se hincan, - se puede hacer con golpe o con perforación previa. La conexión se hará ente-
rrando 1 m. el cable.

Las tolerancias serán: la localización de las varillas no variará más de - 10 cm. con respecto al proyecto y se admitirá como máximo una inclinación vertical máxima de 30°.

4.B.6.- Plantilla de Cimentación

Estas plantillas son para tener un firme en la base de la excavación, son - de concreto pobre o mortero, de aquí se desplantan las cimentaciones de acero de la estructura, previa nivelación de la cimentación.

4.B.7.- Acero de Refuerzo para Cimentaciones de Concreto

Esta actividad se refiere al habilitado y la colocación de acero en el caso de cimentaciones de concreto. El acero se coloca en este tipo de cimentaciones para que tome o ayude a tomar cualquier clase de esfuerzo, sobre todo los es-
fuerzos de tensión, pues el concreto no tiene resistencia a este tipo de es-
fuerzo. El acero que se coloca son varillas lisas o corrugadas, ahogadas en el concreto. El área de acero que se tenga en una sección transversal siempre se tiene que conservar respecto al área calculada en el diseño, aunque se cambie el diámetro de las varillas.

4.B.8.- Concreto en Cimentaciones Metálicas

Se hace el armado de las cimentaciones metálicas de cada apoyo de la torre y se colocan sobre la plantilla correspondiente, enseguida se hace el vaciado de concreto en la cimentación. El concreto debe tener las proporciones adecuadas de cemento, agua, agregados y aditivos para obtener la resistencia y caracte-
rísticas necesarias para los cimientos de la estructura.

Las tolerancias que se tienen son:

a) Cimientos:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| a.1 = Variación en planta | -13 mm. a +50 mm. |
| a.2 = Variación en excentricidad. | No mayor de 50 mm. en cualquier dirección. |
| a.3 = Variación en espesor. | No mayor del 5% del indicado |

b) Columnas, vigas, muros y losas:

- | | |
|---|-------|
| b.1 = Excentricidad de columnas en su base. | 2 mm. |
|---|-------|

b.2 = Variación sección transversal -6 mm. a +13 mm.

b.3 = Variación de nivel o pendientes. en 3 m. 6 mm.

Indicadas en losas, vigas, esquinas visibles. en 6 m. 9 mm.

en 9 m. o más 13 mm.

En construcciones enterradas se tolerará el doble de las variaciones de nivel o de pendientes.

c) Variación de verticalidad en columnas. en 3 m. 13 mm.

Muros, pilas, ranuras de juntas en 6 m. 20 mm.

verticales y esquinas visibles. en 12 m. o más 32 mm.

En construcción enterrada se tolerará el doble de las variaciones de verticalidad indicadas.

d) Variación de resistencias a la ruptura en cilindros de pruebas -15%

4.B.9.- Armado y nivelado de Estructuras de Acero

Las estructuras están formadas de perfiles de acero laminado y galvanizado, atornillados entre sí, según planos de proyecto.

Podemos decir que en general los componentes de que están formadas las torres son:

Cimiento de acero o concreto, extensiones, cerramientos, bases o aumentos.

En torres de 1 y 2 circuitos son iguales, pero en la parte superior de las torres varían las partes dependiendo si es 1 circuito ó 2 circuitos.

Para 1 circuito tenemos: horquilla o brazos, traveses o puentes, crucetas de cable conductor y crucetas de hilo guarda.

Para 2 circuitos tenemos: cuerpo recto, crucetas de conductor y crucetas de hilo guarda.

La parte formada por la cimentación, extensión y primer cerramiento se le conoce como bottom - panel.

Para el armado y nivelado de estructuras lo dividiremos en:

Armado y nivelado de Bottom - panel (cuerpo inferior).

Una vez terminada la excavación de la torre se procede a hacer el armado, colocación en su sitio y nivelado del bottom - panel.

Esta actividad comienza por la parrilla la cual se arma en el suelo, esto es en base a los planos proporcionados por los fabricantes y se coloca el ángulo

lo del esquinero del cuerpo inferior, acto seguido con una pluma fija o con un camión equipado con ella, es levantada del lugar donde fue armada y se introduce en la excavación. Introducidos en la excavación los cuatro esquineros, se procede al armado de todo el cuerpo inferior uniendo los ángulos del cuerpo; el acomodamiento de los ángulos del bottom - panel, se realiza a mano, los trabajadores levantan y unen las diferentes piezas de que está constituido.

De esta manera queda hecho el armado del bottom - panel, cabe mencionar que no queda centrado exactamente respecto a la mojonera, es decir queda descuadrado y desnivelado, esto significa que el plano que forma el cuadrado del cerramiento del bottom - panel no está horizontal y el propio cerramiento tiene la forma de un rombo y no de un cuadrado que es la forma correcta como debe de quedar.

Es muy importante que el bottom - panel esté bien nivelado y cuadrado pues de no ser así se tendrán problemas en el armado de los cuerpos superiores, puesto que puede ocurrir que no cierren los últimos cuerpos y se tenga que desarmar la torre y volver a armar y nivelarla con todos los problemas que es to ocasionaría.

Para nivelar un cuerpo inferior se sigue el siguiente procedimiento:

Se hacen coincidir los ceros, se centra y nivela el tránsito en la mojonera, se alinea conforme al alineamiento de la línea o a la bisectriz del ángulo en caso de torres de deflexión, se comprueba el alineamiento dando vuelta de campana y se gira 45° debiéndose ver, uno de los esquineros del cuerpo inferior que previamente se ha levantado ligeramente, suspendiéndola de una viga atravesada sobre la excavación. Sobre el esquinero, a la altura de la visual del anteojo estando éste nivelado, se coloca una señal; se mide la distancia que hay del cerramiento a la señal, y se mide esta misma distancia en los tres restantes esquineros trazando en ellos una delgada marca; enseguida el tránsito se gira 90° , si la visual del hilo horizontal no coincide con la marca del esquinero, quiere decir que no están a la misma altura las dos señas, por lo que habrá que levantar el segundo esquinero hasta que quede al mismo nivel del primero y una vez logrado eso y para que quede en esa posición, habrá que suspender el segundo esquinero y rellenar abajo de la parri-lla con algún material duro; el mismo procedimiento se sigue con los otros dos esquineros y habrá que ir checando si no se desnivelan los otros esquineros durante todas las maniobras.

Una vez nivelado el cuerpo inferior hay que centrarlo y encuadrarlo.

Para esto, previamente se hace el cálculo basado en las medidas dadas en los planos de los fabricantes de las torres, éstas son, distancia que debe haber del centro de la torre al centro del esquinero a una altura prefijada en él. Esta distancia varía con el tipo de torre y el largo de las extensiones de las patas.

Para el centrado y encuadrado del bottom - panel se sigue el procedimiento:

Aprovechando el mismo tránsito y conocidas las distancias que debe haber del hilo de la plomada a un determinado punto de los esquineros a base de una cinta se mide esa distancia y se mueve el esquinero hasta lograrla en forma muy precisa; lo mismo se hace con las otras tres patas. Claro que todos estos movimientos pueden hacer que se desnivelen o que se muevan los otros esquineros por lo que será necesario ir afinando por aproximaciones sucesivas, hasta lograr la completa nivelación, alineamiento y cuadratura de todo el cuerpo. La precisión requerida es muy grande, del orden de 2 mm. tanto en nivel como en las distancias.

Después se coloca la plantilla y antes del montaje del cuerpo superior se procede a rellenar y pisonar las cepas con el producto de las excavaciones bien compactado.

Las tolerancias son: en el armado y nivelado de bottom - panel se permitirá una tolerancia máxima de desnivel de 5 mm. Las distancias horizontales de las diagonales entre los montantes que forman las patas de la estructura al nivel de tierra no deberán variar más de 5 mm. de las de proyecto. El nivel definitivo de la estructura no deberá diferir en más de 3 cm. con respecto al nivel de proyecto.

4.B.10.- Relleno y apisonado en cimientos de Estructuras Metálicas

Después de nivelado el cuerpo inferior, se procede a rellenar las cepas con el producto de las excavaciones o bien con material de bancos de préstamo, según sea la necesidad. El pisonado puede hacerse con pisón manual o neumático. Para el pisonado se hace por capas de 20 cm. y al rellenar alrededor de la pata se deja un montículo de 30 cm.

4.B.11.- Armado y Montaje del Cuerpo Superior

Para el armado de la torre puede ser por partes o completa, según el método que se utilice para el montaje de la estructura.

Para armar los cuerpos superiores se requiere utilizar una pluma, ésta de

be ser lo más ligera posible, para esto se emplea generalmente un poste de madera, un tubo de aluminio o una columna de ángulos de celosía, que en uno de sus puntos tiene una polea por la que pasa un cable que sirve para levantar — las partes que van a constituir la torre.

Para evitar que las cargas o viento actúen sobre la pluma y produzcan momentos flexionantes que la rompan, se utilizan unos contravientos constituidos — por cables de manila o de acero que se fijan a la punta de la pluma y que se — amarran en la otra punta, se le dan varias vueltas a unas barras de acero, conocidas como puntillas, éstas se clavan muy bien en el terreno.

Cuando hay necesidad de armar un segundo cuerpo superior se procede de la — siguiente manera:

Se coloca la pluma en el terreno con todo y sus contravientos, estos son le vantados, semiarmadas previamente en el suelo las piezas, estas piezas se colo can en la que fue levantada anteriormente y es atornillada.

Si existen otros cuerpos superiores es necesario levantar la pluma según el avance en el armado de la torre, de esta manera para un tercer cuerpo superior deberá levantarse a una determinada altura con objeto de que la parte alta de la pluma sea lo suficientemente alta para tener libertad de colocar las pie- zas. La pluma se sube por medio de una polea colocada en la parte inferior, — por lo que se pasa un cable, en donde la otra punta está fija en la parte más alta de la torre que está armada, una vez que se tira el cable se levanta la — pluma y se fija a uno de los esquineros.

Cuando se tienen cuerpos de esquineros verticales el procedimiento es simi- lar al anterior. Para armar estos cuerpos se tiene la posibilidad de levantar caras completas pues tienen un menor peso que los otros cuerpos.

Terminado el armado de todos los cuerpos de las torres, se colocan las crucetas. Las crucetas se arman de acuerdo a los planos del fabricante.

Cuando se tienen diferentes niveles de crucetas se procede como sigue:

Se levantan las dos crucetas superiores por medio de una pluma y las otras cuatro con ayuda de una polea que se coloca en la cruceta superior y un cable que pasa a través de ellas.

4.B.12.- Vestido de Estructuras

Esto se hace después del montaje del cuerpo superior y consiste en la colo cación de los herrajes y aisladores en la torre de acuerdo a los planos de — proyecto. En este momento se colocan también las placas de aviso de peligro y

las de numeración de estructuras.

4.B.13.- Tendido y Tensionado del Cable Guarda

Este paso consiste en el tendido y tensado del cable o de los cables de guarda según proyecto.

Existen diferentes sistemas que se emplean en el tendido del cable de guarda, estos sistemas varían dependiendo de diferentes factores.

En terrenos donde es muy difícil el acceso con vehículos motorizados, el método que se sigue es el de colocar el carrete que contiene al cable de guarda en un portacarretes, éste se fija en un sitio y permite que se desenrolle el cable al ser jalado. Después de ésto se organizan unas cuadrillas de trabajadores para jalar el cable, conforme se va desenrollando se va aumentando el número de trabajadores, pues se va requiriendo de mayor fuerza de tracción.

Otro sistema para el tendido del cable de guarda es colocando los carretes sobre los portacarretes y la tracción se hace con un camión o tractor en vez de hacerla con hombres; este sistema se emplea cuando existe la posibilidad de que puedan transitar los vehículos. En este caso, también se puede subir el carrete y su portacarrete al camión; se fija la punta del cable y al alejarse el camión a lo largo de la línea va cayendo el cable sobre el piso; con la ventaja de que el cable no se arrastra.

Tendido en el piso el cable de guarda, el siguiente paso es levantarlo para colocarlo dentro de las poleas que de antemano se colocan en las esquinas de las crucetas superiores. Las poleas que se usan se denominan de "candado" o "patzcas" y tienen una bisagra que permite abrir o separar el gancho de suspensión del soporte de la polea, por lo que se puede sacar el cable lateralmente.

Ya colocado el cable de guarda dentro de las poleas, viene el tensionado del mismo, que puede hacerse a base de un vehículo o bien empleando un malacate. El primer sistema es como sigue: a un camión o tractor se le fija un cable de acero como de 30 m. de largo y en la punta de éste se le coloca un tensor apropiado para el cable de guarda (los tensores son unos mecanismos, con dos caras paralelas que se acercan a manera de mordazas, que sirven para hacer la unión temporal de dos cables; tienen la propiedad de que entre más fuerte es la tensión que se esté aplicando a los cables unidos por este sistema, más aprietan las mordazas y por lo tanto es más difícil la separación); hecha la unión del cable de acero con el cable de guarda, se inicia el movimiento del vehículo hasta que el cable tome la flecha correspondiente al claro entre las torres donde

se mida, y a la temperatura reinante en ese instante. Cuando en vez de medir flechas se usa el procedimiento de tensión, se emplea un dinamómetro intercalado en el cable, entre el camión y el tensor.

Tensionado el cable de guarda a la tensión debida, el siguiente paso es sacarlo de las poleas para colocarlo en la posición definitiva; se emplea para ello un herraje muy sencillo en forma de cuello de cisne (Ver Figura 17), — que se aprieta temporalmente en la parte superior de las crucetas, y por medio de un montacargas se levanta el cable, se coloca dentro del soporte especial — llamado "clema", para que quede permanentemente instalado y fijo el cable de guarda a la cruceta de la torre.

4.B.14.- Tendido y Tensionado de Cable Conductor

Consiste en el tendido y tensionado de los cables conductores, así como — instalación y colocación de los herrajes necesarios según lo requiere el proyecto.

Esta actividad se divide en las siguientes etapas:

Tendido, empalmado, tensionado y enclenado.

- Tendido

Antes de realizar el tendido del cable, deben colocarse los carretes del cable a lo largo de toda la línea, para evitar con esto maniobras innecesarias — que aumenten el costo del tendido una vez que se inicie éste.

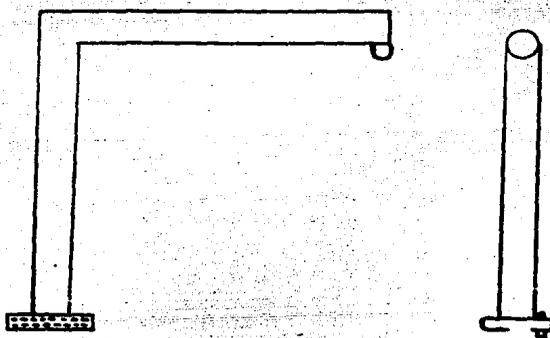
Colocados los carretes en su lugar se dá inicio al tendido del cable conductor, de manera similar al tendido del cable de guarda. Una vez que se hace el montaje de los carretes en los portacarretes, se lleva a cabo el tendido jalando la punta del conductor con camión o un tractor, si las condiciones del terreno lo permiten, si no es así, se realizará con trabajadores. Debe evitarse que en los dos casos por cualquier motivo se maltrate el cable conductor.

Cuando el terreno es muy plano, el camión puede circular a lo largo de la línea con el portacarrete que trae el carrete e ir desenrollando el conductor fijando la punta del conductor, esta forma de transportar el carrete nos permite que el cable no sea arrastrado.

- Empalme

Terminado el tendido del cable conductor de un carrete (los carretes tienen de 1 a 3 Km. de cable conductor), se debe unir su extremo final con el inicial del siguiente carrete.

Como el cable conductor está formado por un cable de aluminio con un núcleo



Herraje tipo cuello de Cisne

Figura 17

de acero, para unir las dos puntas citadas se une el aluminio y el acero en la forma que a continuación se explica: a cada una de las puntas se le quita el aluminio en una longitud aproximada de diez centímetros hasta llegar al cable de acero, (antes de hacer la unión del acero habrá necesidad de meter el empalme de aluminio pues de otra manera hecha la unión no habrá posibilidad de hacerlo). Para unir las dos puntas de acero se introducen dentro de un tubo de fierro maleable galvanizado, que se comprime a una presión enorme con los dados de una prensa de aceite de 100 tons.; unido el cable de acero a continuación habrá que unir el aluminio; corriendo el empalme hasta que el centro del mismo coincida con el centro del tubo compresor del cable de acero y por último se comprime el empalme de aluminio con la prensa de aceite. Naturalmente, el tamaño y forma de los dados que se usen, deben ser apropiados para cada tamaño de cable de acero y de aluminio, para que al deformarse los empalmes con la presión, opriman fuertemente al cable y al conductor y formen una unión inseparable.

Cuando se tiene un empalme de compresión, se debe de tomar en cuenta las siguientes condiciones para realizar esta actividad:

La distancia mínima a la cadena de aisladores debe ser de 15 m.

La distancia mínima entre dos empalmes será de 450 m.

No se permite más de un empalme en el mismo conductor y en un mismo claro.

Debe evitarse que haya empalmes o manguitos de reparación en cruzamientos con carreteras, ferrocarriles y líneas de transmisión mayores de 115 Kv., así como claros adyacentes.

- Tensionado y Enclenado de Cable Conductor

Se lleva a cabo por medición directa de flechas y verificado con dinamómetro calibrado.

Cuando se tiene un tramo de suficiente longitud de tendido y empalmado, el siguiente paso es levantar el conductor, para lo cual se coloca el conductor en poleas especiales para realizar el tensionado y una vez que el conductor está colocado en la polea se levanta por medio de un camión o una cuadrilla de trabajadores. Cuando la polea con todo y el conductor llega a la parte inferior de la cadena de aisladores, se fija en ella. Esto se hace igual para cuando tenemos más conductores hasta completar el tramo de longitud suficiente, donde se va a dar la tensión.

El largo de los tramos de tensionado pueden llegar a 10 Km. o más, aunque en ocasiones, el tiempo conjunto empleado para dar la tensión y flechas co-

rectas en una determinada longitud, se reduce empleando tramos mas cortos, - aunque más numerosos.

Los extremos del tramo pueden estar localizados en diversa forma: el extremo donde están fijos los conductores, puede ser una torre de anclaje y el extremo donde se está dando la tensión "jalando" también puede ser torre de anclaje; este caso es poco frecuente, pues generalmente hay obstáculos como - - otras líneas, carreteras, etc., que obligan a dar "jalones" más cortos, pueden existir algunas torres de deflexión y tensión intermedias, o simplemente por la separación que existe entre las dos torres de anclaje, impide comunicarse con la suficiente eficiencia para poder llevar con éxito el tensionado. Todos estos motivos obligan a que muchas veces haya necesidad de dar las tensiones en tramos comprendidos entre: una torre de anclaje y una de tensión, entre dos torres de tensión o de deflexión y aún entre dos torres de suspensión.

Para dar la tensión entre dos torres de anclaje, el procedimiento es como sigue: estando ya dentro de las poleas todo el tramo comprendido entre las dos torres, en el extremo donde no se va a dar la tensión se "encleman" o fijan los conductores a los aisladores y en el otro extremo se "jala" el conductor con un tractor o un camión con la suficiente potencia para poder aplicar la fuerza necesaria para dar la flecha. Para jalar el conductor, se une al tractor un tramo de cable, que puede ser , tanto mejor, el cable del malacate si el tractor o camión cuenta con este aditamento; la punta del cable se engancha en el ojillo del tensor, cuyas quijadas se montan sobre el conductor oprimiéndolo fuertemente. Hecho lo anterior, se inicia el tensionado poniendo en movimiento lentamente el tractor. Aunque el conductor está sobre las poleas, en muchas partes está simplemente tendido en el piso en forma completamente irregular, teniendo muchas curvas que se denominan "ondas" que van desapareciendo conforme el tractor va restirando el cable. Quitadas las ondas ya se procede a "dar la flecha" que puede hacerse a base de dinamómetros o bien midiendo directamente la flecha. Para conocer el valor de la tensión o la flecha se tienen unas gráficas, en las que se entra, en el eje de las abscisas, con el claro en el que se está dando la tensión, se sube hasta llegar a la curva de la temperatura reinante a la hora de dar la flecha y en el cruce se lleva una horizontal hasta llegar al eje de las ordenadas que nos da la tensión o la flecha que se le debe dar al conductor.

Conocidos los valores de tensión que se darán al conductor (usando procedimiento de tensión), para darle la tensión requerida, se usa un dinamómetro

calibrado, entre el tractor y el tensor y se mueve el tractor hasta que en el dinamómetro marque la tensión requerida, después sin variar la tensión se fija el cable con que se jala el piso, por medio de "muertos" preparados anteriormente.

Esta tensión aplicada es la tensión inicial que es ligeramente mayor que la definitiva o tensión final. Después de haber aplicado la tensión inicial, se dejan descansar los conductores durante 24 ó 36 horas para que se acomoden, desalojándose ligeramente en las poleas y lleguen a su deformación elástica permanente.

Después de ese tiempo se procede a darles la tensión final de igual manera que la tensión inicial a los conductores y se "encleman" o fijan a los aisladores del lado donde se presenta la tensión.

Para ello se coloca una marca de pintura sobre el conductor exactamente — donde está apoyado en las poleas de las torres de anclaje o de tensión, se — quitar los anclajes a tierra de los conductores y se bajan de nuevo al piso; a partir de las marcas, se miden las longitudes de las cadenas de aisladores y sus herrajes y se corta el conductor en esos puntos, que es donde se fija al extremo de la cadena de los aisladores.

Ya que se tienen los conductores con todo y los aisladores de la torre de anclaje o tensión, se procede nuevamente a subirlas, ahora haciendo uso de — un cable de acero que pasando por las poleas de la torre de anclaje, se une al conductor por medio de los tensores un poco adelante de los aisladores, — con objeto de dejar cierta holgura y poder fijar los aisladores a las cruces.

Al soltar el tensor, el conductor tomará la tensión final que se le había dado, pues su longitud incluyendo el largo de la cadena de aisladores permanece invariable.

Si se usa el procedimiento de "flechas" en vez de "tensión" el método es similar; solamente que se hace detener el tractor cuando el conductor tenga la flecha indicada en las tablas. Las flechas se marcan con señales en el terreno o en las propias torres midiendo su valor, a partir y hacia abajo del punto de suspensión o de anclaje de los conductores.

Si el tramo de tensionado es entre dos torres de anclaje se puede dar la tensión en un solo lado de los seis conductores y en las de dos cables de — guarda sin necesidad de colocar algún elemento para contrarrestar este jalón, pues dichas torres están diseñadas con la resistencia necesaria para ello.

Si el tramo está formado, por ejemplo entre una torre de anclaje y una de tensión, en la cual se está dando el jalón, el procedimiento es similar al anterior hasta llegar al momento en que se enclenan en la torre de tensión dos conductores, que es el máximo jalón obrando hacia un solo lado, que en forma segura resiste este tipo de torre.

Después sobre el cuerpo de la torre se amarra la punta de un cable de acero llamado retenida, al que se le aplica una tensión igual al doble de la tensión de dos conductores, pero en el sentido opuesto a la dirección del jalón de los dos conductores ya enclenados, por lo que habrá una tensión no equilibrada en ese sentido equivalente a la de dos conductores, que la resiste bien la torre. La otra punta de la retenida se ancla en un muerto previamente enterrado en el piso. Finalmente se procede a enclenar los cuatro conductores restantes.

La retenida provisional mencionada, se retira cuando se haya dado la tensión o la flecha en el tramo siguiente de tensionado.

4.B.15.- Colocación de Accesorios para cables Conductor y de Guardia

Aquí se considera la colocación de amortiguadores de vibración y de separadores.

a) Colocación de amortiguadores

Después de un estudio previo con la ayuda de registradores de vibraciones, se define la colocación de éstos. Se instalarán de acuerdo a los planos o condiciones de fabricante.

b) Separadores

Cuando son varios cables por fase se utilizan para evitar golpeteo entre ellos.

En general debe colocarse el primer separador a 25 ó 30 m. a partir de la torre y los demás se colocan a una distancia máxima de 75 m. entre sí, colocados simétricamente a partir del centro del claro hacia la torre.

4.B.16.- Revisión y Puesta en Servicio

La revisión se hace para las siguientes etapas:

1) Sistema de tierras

Conectores los correctos según proyecto y bien apretados. Colocación de varillas de tierras en el lugar dado por el proyecto.

2) Las estructuras

Armadas según lo indicado en planos de montaje, con su tornillería completa

y apretada.

3) Cables Conductor y Guarda

Cantidad de aisladores, herrajes y accesorios, los indicados en plano de proyecto. Los empalmes, remates, manguitos de reparación, en los lugares correctos según tolerancias, enclenado correcto sin desplome en las cadenas.

4) Que los libramientos sean los indicados a lo largo del trayecto de la línea sobre todo en los cruces que ésta tenga con carreteras, ferrocarriles, otras líneas de transmisión, líneas telegráficas y telefónicas, etc.

5) Las pruebas se hacen con el voltaje de operación en vacío, quedando en esta forma lista para entrar en operación si su comportamiento es el adecuado.

4.C) MANO DE OBRA Y MAQUINARIA

El personal y equipo que se requieren en las actividades anteriores son los siguientes:

4.C.1.- Brecha Forestal

La Cuadrilla para estos trabajos puede ser: un operador, un ayudante un chofer.

El equipo necesario: un tractor, un vehículo.

Si no se utiliza tractor, la cuadrilla puede hacerse con personal: un encargado, 8 a 12 peones, un chofer. La herramienta: machetes, hachas y sierras motorizadas.

4.C.2.- Camino de Acceso

La Cuadrilla para estos trabajos: un operador, un ayudante y un chofer.

Equipo necesario: un tractor y un vehículo.

4.C.3.- Localización y Trazo de Estructuras

Cuadrilla: un topógrafo, un aparatero, un estadalero, dos peones y un chofer.

Equipo necesario: un lote de equipo topográfico y un vehículo.

4.C.4.- Excavación para Cimentaciones

Para la excavación en Clase I y II, las cuadrillas serán: un operador, un ayudante, un chofer, dos peones y un velador.

Equipo necesario: retroexcavadora y un vehículo.

Se puede hacer con personal cambiando la retroexcavadora por peones de pico y pala.

Para la excavación en Clase III, las cuadrillas serán: Un cabo, un poblador, cuatro perforistas, cuatro peones, un operador compresor, un operador para retroexcavadora, dos ayudantes, dos veladores y dos choferes.

Equipo necesario: dos compresores y accesorios, una retroexcavadora y un vehículo.

4.C.5.- Sistema de Tierras

Las Cuadrillas para la colocación de varillas será: un ayudante, cuatro peones y un chofer.

Equipo: un vehículo y un lote de herramienta de mano.

Las cuadrillas para la perforación para colocar la varilla serán: dos perforistas, dos ayudantes, un operador de compresor y un chofer.

4.C.5.- Sistema de Tierras

Equipo: un vehículo, un compresor y accesorios.

Las cuadrillas para la conexión serán: un operador, un ayudante y dos peones

Equipo: una retroexcavadora y un vehículo.

4.C.6.- Plantilla de Cimentación

Las cuadrillas serán: un ayudante de albañil, cuatro peones y un chofer.

Equipo: un vehículo y un lote de herramienta de mano.

Las tolerancias serán de un espesor de 10 cm. mínimo.

4.C.7.- Acero de Refuerzo para Cimentaciones de Concreto

Las cuadrillas serán: dos fierros, dos ayudantes, seis peones y un chofer.

Equipo: un vehículo y un lote de herramienta.

4.C.8.- Concreto en Cimentaciones Metálicas

Las cuadrillas para la colocación de la cimbra serán: un carpintero, dos - ayudantes, un chofer, dos peones.

Equipo: un lote de herramienta y un vehículo.

Para el vaciado del concreto: un albañil, dos ayudantes, ocho peones, un chofer y un operador.

Equipo: un camión, una revolvedora, un vibrador y un lote de herramienta.

4.C.9.- Armado y nivelado de Estructuras de Acero (Cuerpo Inferior)

Las cuadrillas serán: un topógrafo, un aparatero, dos armadores, dos ayudantes, ocho peones, dos choferes.

Equipo: dos vehículos, un lote de topografía y un lote de herramienta.

4.C.10.- Relleno y Apisonado en cimientos de Estructuras metálicas

Cuadrilla: un operador, un ayudante, cuatro peones y un chofer.

Equipo: una retroexcavadora o un traxcavo

El pisonado puede hacerse con pisón de mano o neumático; con el sistema - neumático se aumentaría un compresor y su operador.

4.C.11.- Armado y Montaje del Cuerpo Superior

El montaje si se hace por cuerpo completo, las cuadrillas quedarán: cuatro montadores, cuatro ayudantes, cuatro peones, un operador un ayudante y - un chofer.

Equipo: una grúa, un vehículo y un lote de herramienta.

Si el montaje se hace por partes de torre las cuadrillas quedarán: cuatro montadores, cuatro ayudantes, ocho peones, un operador y un chofer.

4.C.11.- Armado y Montaje de Cuerpo Superior

Equipo: un vehículo con winch, un lote de herramientas, una pluma y sus -
accesorios.

4.C.12.- Vestido de Estructuras

La cuadrilla quedará: dos linieros, dos ayudantes, dos peones y un chofer.
Equipo: un vehículo y un lote de herramienta.

4.C.13.- Tendido y Tensionado del Cable de Guardia

Se divide esta actividad en: tendido, empalmado, tensionado y enclenado.
Las cuadrillas para el tendido y empalmado quedarán: un cabo, un liniero,
un ayudante, ocho peones y dos choferes.

Equipo: dos vehículos (uno con grúa) y un lote de herramientas.

La cuadrilla para el tensionado queda: dos linieros, dos ayudantes, cua-
tro peones, un chofer, un topógrafo y un aparatero.

Equipo: un vehículo, un lote de herramienta y un lote de equipo de topo-
grafía.

La cuadrilla para el enclenado será: dos linieros, dos ayudantes, dos --
peones y un chofer.

Equipo: un vehículo y un lote de herramienta.

4.C.14.- Tendido y Tensionado del Cable Conductor

Se divide esta actividad en: tendido, empalmado, tensionado y enclenado.
Tendido con personal, la cuadrilla quedará: dos linieros, dos ayudantes,
dieciseis peones y dos choferes.

Equipo: dos vehículos con grúa y un lote de herramienta.

Empalmado, la cuadrilla será: un cabo, dos ayudantes, cuatro peones y un
chofer.

Equipo: un vehículo con winch, un lote de herramienta, un equipo de empal-
mado; si el empalme es de compresión.

Tensionado, la cuadrilla queda: dos linieros, dos ayudantes, cuatro peo-
nes, un chofer, un topógrafo y un aparatero.

Equipo: un vehículo con winch, un lote de herramienta y un lote de equi-
po topográfico.

Enclenado

- Enclenado en torre de tensión y puesta de puentes, la cuadrilla quedará:
dos linieros, dos ayudantes, cuatro peones, un cabo y un chofer.

Equipo: un vehículo con winch y un lote de herramienta.

4.C.14.- Enclemado de Cable Conductor

Enclemado en torre de suspensión, la cuadrilla quedará: dos linieros, dos ayudantes, cuatro peones y un chofer.

Equipo: un vehículo y un lote de herramienta.

4.C.15.- Colocación de Accesorios

La cuadrilla para la colocación de amortiguadores será: dos linieros, dos ayudantes, cuatro peones y un chofer.

Equipo: un vehículo y un lote de herramienta.

La cuadrilla para la colocación de separadores será: un liniero, un ayudante, cuatro peones y un chofer.

Equipo: un vehículo, un lote de equipo para transporte por los cables, un lote de herramienta.

COMPARACION DE UNA TORRE CON RETENIDAS Y UNA TORRE AUTOSOPORTADA

A raíz de la construcción de la línea de transmisión " Gómez Palacio-Camargo II ", la CFE hizo una comparación de los aspectos económicos y constructivos entre una torre con retenidas y una autosoportada, pues en dicha línea se utilizaron por primera vez en México torres de transmisión con retenidas. Esta línea parte de la subestación Camargo II, en el Estado de Chihuahua y termina en la subestación Gómez Palacio, en el Estado de Durango.

Las características de la línea son: 230 Kv., 1c., tiene una longitud de -- 287 Km. y consta de 723 estructuras, de las cuales 587 son torres con retenidas de suspensión y 136 son torres autosoportadas, que incluyen torres de suspensión, deflexión y remate.

El estudio hecho por la CFE mostró los resultados que se hubieran obtenido utilizando únicamente torres autosoportadas en dicha línea; y los resultados -- obtenidos utilizando torres con retenidas.

A continuación se muestran los puntos más sobresalientes del procedimiento constructivo de cada uno de los tipos de torres, así como la comparación de -- sus costos.

Procedimiento constructivo de una Torre Autosoportada

Para fines constructivos, una torre autosoportada se divide en las partes -- básicas que se mencionan a continuación: cimentaciones, cuerpo inferior y cuerpo superior. Las cimentaciones usadas en este caso son de acero y se colocan -- una en cada uno de sus cuatro apoyos. El cuerpo inferior funciona como base, -- sobre él se coloca el cuerpo superior que contiene la cruceta y los capiteles, donde se colocan los conductores e hilos de guarda respectivamente.

a) Excavación.- Una vez hecho el trazo de la localización de los cimientos de los cuatro apoyos de la torre, se realiza la excavación con una máquina retroexcavadora.

b).Colado de plantilla.- En la base de las excavaciones, se cuela una plantilla de concreto pobre de 8 cm. de espesor sobre la cual se desplanta la cimentación.

c) Transporte del material.- Se acarrea el material al lugar de su instalación. Dicho material consta de todas las partes componentes de la torre, incluso la cimentación metálica. Todo ello se transporta desarmado en camiones con -- capacidad de 8 toneladas.

d) Armado de la cimentación.- Se arma la cimentación de cada apoyo de la torre y se coloca sobre su plantilla correspondiente.

e) Armado del cuerpo inferior.- El cuerpo inferior se arma sobre la estructura de la cimentación. Después, ambas partes se nivelan juntas y por último se hace el relleno de las cepas.

f) Armado del cuerpo superior.- El cuerpo superior de la torre se arma sobre la superficie del terreno y se deja listo para su montaje.

g) Montaje del cuerpo superior.- Con ayuda de una grúa de 40 ton. de capacidad y 35 m. de longitud, se monta el cuerpo superior de la torre sobre el cuerpo inferior, colocándose posteriormente los aisladores y demás herrajes necesarios para la instalación de los conductores e hilos de guarda.

Procedimiento constructivo de una torre con Retenidas

Las torres con retenidas utilizadas en esta línea son de tipo portal. Dichas torres están formadas por dos columnas y una cruceta que en conjunto forman un marco articulado, así como las retenidas que son los elementos que les proporcionan su estabilidad. Para fines constructivos, una torre con retenidas consta de las partes básicas siguientes: cimentaciones, columnas, cruceta, capiteles y retenidas. Las cimentaciones para las retenidas son placas prefabricadas de concreto a las que se sujetan dos barras de eje que, a su vez, se unen cada una a una retenida mediante un dispositivo de transferencia. Para las columnas se utilizan cimientos prefabricados de concreto. Las columnas junto con las retenidas forman el cuerpo de la torre sobre el cual se colocan la cruceta y los capiteles.

a) Excavación.- Se excava para las dos placas de anclaje y los dos cimientos de las columnas con una máquina excavadora marca Texoma que consta de una herramienta rotatoria de corte tipo helicoidal de 1.80 m. de diámetro, lo que permite excavar a las dimensiones y profundidad requeridas.

b) Transporte de cimentaciones prefabricadas.- Las cimentaciones se llevan en camiones, de la bodega de materiales al lugar de su instalación en el campo.

c) Instalación de los cimientos.- Los cimientos de las columnas se colocan sobre una plantilla inclinada por medio de la cual se consigue dar a aquellas la pendiente especificada en los planos de diseño. Las placas prefabricadas se colocan dentro de la excavación afinada correspondiente, cuidando, al relleno, que las barras de ojo queden con la pendiente requerida por los cables de retenidas.

d) Relleno y compactado.- Una vez hecho el relleno, éste se compacta utilizando compactadoras manuales.

e) Armado de la estructura.- Consta de las etapas:

- Prearmado de la estructura: se arman las partes que forman los módulos de las columnas, de la cruceta y los capiteles.

- Transporte de la estructura: la estructura se transporta, prearmada en módulos, por medio de trailers o camiones de 8 toneladas.

- Armado final de la estructura: se ensambla sobre el terreno de las partes prearmadas.

- Instalación de cables de retenidas y dispositivos de transferencia: para este tipo de torre cada retenida consta de dos cables de acero con siete torones cada uno, se instalan por sus extremos a un dispositivo de transferencia con el cual se sujetan directamente a las barras de ojo que son parte del herraje de cimentación de la torre.

- Montaje: se realiza con la ayuda de la misma grúa utilizada en las torres autosoportadas. Para ello, se colocan cables de acero en los tercios de la cruceta y se enganchan en la grúa; después la grúa levanta la torre completa, en una sola pieza, y la coloca sobre las cimentaciones. Finalmente, se hace el tensado necesario de las retenidas para que la estructura quede en posición vertical.

Una vez terminado este proceso, la torre está lista para el tendido de los conductores e hilos de guarda.

Comparación de Costos

En el cuadro 1 se presentan los costos de los diferentes conceptos que intervienen en la construcción de una torre con retenidas de esta línea de transmisión y en la de una torre autosoportada equivalente:

Comparando los valores del cuadro 1 se observa:

1) Las primeras son más ligeras y la fabricación de sus elementos es más barata.

2) El costo de la excavación resultó bastante más bajo en las torres con retenidas.

3) Debido al precio de los herrajes, las cimentaciones de las torres con retenidas a pesar de ser prefabricadas, son un poco más costosas.

4) El costo del armado y montaje es notablemente mayor en las torres autosoportadas.

5) Las torres con retenidas son 26.4% más baratas que las autosoportadas.

CUADRO 1

Comparación de costos en pesos

Concepto	Torre con retenidas 3 037 kg.	Torre autoportada 3 611 kg
Materiales	328 629 *	404 439
Excavación	21 878	68 708
Cimentación	88 770	78 599
Armado y Montaje	63 895	132 347
Costo Total	503 172	684 093

* Incluye el precio de las retenidas y sus dispositivos.

Conclusiones y Recomendaciones

En relación con las torres con retenidas, se puede concluir que:

- Han mostrado ser una opción económica para usarse en las líneas de transmisión mexicanas.
- Debido a la homogeneidad que existe en gran número de las partes que las componen, resulta fácil su fabricación; ésto además, se presta a que puedan fabricarse en talleres relativamente pequeños.
- El uso de la máquina excavadora usada para sus cimentaciones, hizo que los costos por este concepto fueran muy bajos; por ello, se recomienda que esa máquina también se utilice en torres autoportadas donde nunca se ha empleado.
- La facilidad con que se arman estas estructuras permite el uso de mano de obra no especializada menos costosa.
- Se encontraron algunas dificultades al tratar de utilizar este tipo de torres en zonas montañosas. Por lo anterior, se piensa que es terreno plano donde pueden obtenerse las mayores ventajas.

COMENTARIOS AL DISEÑO DE UNA TORRE AUTOSOPORTADA

1) Diseño de la cruceta.

No existe un diseño especial para las crucetas de las torres con retenidas, su forma puede ser igual a la de cualquiera de las estructuras usadas en torres autosoportadas.

En las torres con retenidas sin embargo, la conexión entre la cruceta y el cuerpo de la torre es en general articulada en tanto que en las autosoportadas es rígida.

2) Diseño de las patas.

Lo común es que sean columnas de celosía.

La geometría de estas columnas tiene dos variables principales:

a.- La forma y dimensiones de su sección transversal.

b.- El tipo y la disposición de la celosía.

La sección transversal puede ser triangular o cuadrada.

Una pata triangular es aproximadamente 10% más ligera que una cuadrada, pero su uso se ha restringido en países donde existen limitaciones en el suministro de secciones en ángulos de 60° .

El tipo y la distribución de la celosía están determinados por requisitos de resistencia, fabricación, mantenimiento y costo. En las patas de las torres con retenidas comúnmente se utiliza la celosía simple sin elementos horizontales. La disposición de la celosía se hace, por lo general, en forma alternada en caras adyacentes, pues de esta manera se tiene mayor capacidad a compresión de los elementos principales para la misma separación de la celosía. Las patas de las torres se articulan a sus cimentaciones con el fin de evitar la transferencia de momentos.

3) Retenidas.

Están formadas por cables de alta resistencia.

Se ha observado que si en lugar de utilizar un solo cable de gran diámetro se usan dos cables trenzados que en conjunto tengan la misma resistencia que el primero, se reducen en gran medida las vibraciones producidas por el viento en estos elementos.

En general, el pretensado de las retenidas no resulta crítico para el comportamiento de la estructura. Al erigir la torre, éstas se tensan solo lo suficiente para que no se aflojen bajo condiciones normales de carga, y, desde luego

go, para poner la estructura en posición vertical.

4) Conexiones.

Son iguales a las torres autosoportadas, lo más común es que las conexiones de las torres con retenidas sean atornilladas ya que resulta lo más práctico, debido a lo remoto de las áreas de construcción y la necesidad de reemplazar - ocasionalmente miembros dañados con ayuda de solo un pequeño equipo de mantenimiento.

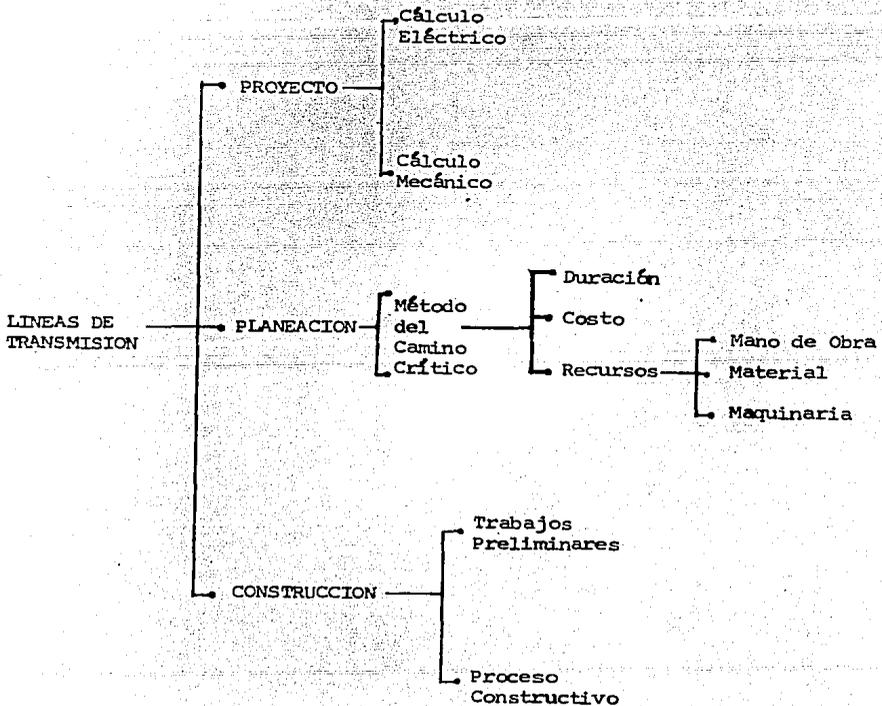
CAPITULO V

CONCLUSIONES

V.- CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este trabajo se han mostrado las diversas etapas - en las que el Ingeniero Civil tiene una participación muy importante en apoyo con otras ramas de la Ingeniería para la realización de las líneas de transmisión de Energía Eléctrica.

Estas etapas podemos verlas mejor de manera esquemática, como a continuación se presenta:



Una vez que se han presentado en forma general las etapas en las que el Ingeniero Civil tiene participación para la realización de las líneas de Transmisión, haremos una clasificación más detallada de las actividades que se tienen en estas etapas, las cuales son las siguientes:

A) PROYECTO

- A.1) Cálculo Eléctrico: No interviene el Ingeniero Civil en esta parte del proyecto.
- A.2) Cálculo Mecánico: El Ingeniero Civil interviene en esta parte del proyecto ya que es el profesional que diseña las líneas de transmisión — desde el punto de vista mecánico de acuerdo a los siguientes criterios:
 - A.2.1) Cálculo de Flechas y Tensiones.
 - A.2.2) Diseño Estructural: Se refiere al cálculo de resistencias de los Elementos Estructurales.
 - A.2.3) Diseño de Cimentaciones.
 - A.2.4) Diseño por Sismo.
 - A.2.5) Diseño por Viento.

B) PLANEACION Y PROGRAMACION DE OBRA

- B.1) Para esta etapa utilizamos el Método del Camino Crítico con el cual se determina la duración total, el costo más económico, así como la Asignación de Recursos, incluyéndose en esta actividad la Mano de Obra, Materiales, Equipo y Maquinaria que se requieren para la construcción de las líneas de transmisión.

C) CONSTRUCCION

- C.1) Trabajos Preliminares.
 - C.1.1) Instalación de Oficinas, Componentes, Almacenes, Talleres, etc.
 - C.1.2) Topografía.
- C.2) Proceso Constructivo.
 - C.2.1) Camino de Acceso.
 - C.2.2) Localización de Estructuras.
 - C.2.3) Transporte de Material.
 - C.2.4) Excavaciones.
 - C.2.5) Cimentaciones.
 - C.2.6) Armado y Montaje del Cuerpo Inferior (Bottom-Panel).
 - C.2.7) Nivelado del Cuerpo Inferior.
 - C.2.8) Armado y Montaje de Cuerpos Superiores.

- C.2.9) Armado y Montaje de Crucetas.
- C.2.10) Colocación de Herrajes y Accesorios.
- C.2.11) Tendido y Tensionado de Cable Guarda.
- C.2.12) Tendido y Tensionado de Cable Conductor.
- C.2.13) Colocación de Accesorios.

Cabe mencionar que la participación del Ingeniero Civil no concluye con la construcción de la línea, puesto que también interviene en la parte de operación y mantenimiento de la línea, aunque su participación es más limitada en esta etapa.

Una vez que hemos descrito en forma detallada las actividades que se tienen en las etapas donde la Ingeniería Civil interviene para la construcción de las líneas de transmisión, creemos que es importante señalar los estudios experimentales que se están realizando en la parte en donde participa la Ingeniería Civil en este tipo de obras y que consideramos serán de gran ayuda para la realización de líneas de transmisión futuras en el país, por lo anteriormente dicho, a continuación explicaremos en que consisten dichos estudios:

Actualmente la CFE a través de la GPTT en colaboración con el Departamento de Ingeniería Civil de la División de Estudios de Ingeniería del IIE se ha dado a la tarea de realizar estudios de manera experimental con modelos a escala reducida de las torres de transmisión para obtener resultados sobre el comportamiento de las estructuras utilizadas en la transmisión de energía eléctrica, estos estudios proporcionarán el desarrollo de técnicas de análisis y diseño propios que produzcan estructuras más seguras al menor costo. Estos estudios se deben a que los procedimientos de análisis y dimensionado se utilizan criterios muy conservadores que llevan a diseños más costosos, lo que se acentúa al considerar las veces que se utiliza un mismo diseño.

Además es importante la realización de estos estudios, ya que existen factores relacionados con el comportamiento de las torres que no se conocen del todo y que es necesario por lo tanto estudiar de manera experimental; entre ellos, el diseño de conexiones y detallado estructural, el dimensionamiento de miembros individuales, el efecto de acciones dinámicas producidas por el viento y la influencia de cargas accidentales, que en el presente trabajo se mencionaron en la parte correspondiente a solicitudes, como son la rotura de conductores, de hilo guarda, cadena de aisladores o el colapso de torres -

adyacentes.

Podemos citar como ejemplo que la rotura de un conductor ocasiona la pérdida repentina de tensión en uno de los lados de la torre y el consiguiente desequilibrio de las cargas longitudinales. Las consecuencias de estos eventos dependen de muchos factores y no se conocen con exactitud, ésto puede ocasionar resultados desastrosos al grado de provocar el colapso progresivo de varias estructuras adyacentes a la torre afectada, a este fenómeno se le denomina falla en cascada.

Como se dijo anteriormente los criterios usados en el diseño son conservadores y por ésto, para evitar fenómenos que provoquen un desastre de esa magnitud, se utilizan para el diseño cargas muy altas cuyo valor no se establece en función de estadísticas de fallas, observaciones y mediciones de campo ni en evidencias experimentales. Sin embargo, esta actitud en ocasiones necesaria, nos lleva a que se tenga un aumento en el costo de las torres y por consiguiente en el costo total de la línea, ésto podríamos evitarlo si se conociera a fondo el comportamiento de las torres.

Asimismo, gran parte de la topografía en el Territorio Nacional está constituida por zonas montañosas siendo ésta un factor que incrementa el costo de construcción de las líneas de transmisión, principalmente por problemas de acceso, transporte de materiales y el número de torres que se requieren en las zonas donde deben de construirse las líneas de transmisión. Cabe mencionar que algunas torres del sistema eléctrico mexicano son en el mundo las que a mayor altura se erigen sobre el nivel del mar.

Finalmente podemos darnos cuenta que los alcances de la Ingeniería Civil no se han limitado a conformarse con la importante participación que actualmente se tiene en la construcción de las Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica, pues sigue en la búsqueda de nuevos y mejores diseños de torres de transmisión a partir de los estudios experimentales que se citaron anteriormente.

Estos nuevos diseños tienen el propósito de lograr estructuras más seguras y económicas que harán que el costo total de las líneas de transmisión sea menor y de esta manera el País se beneficie y pueda haber un mayor desarrollo gracias a la construcción de líneas de transmisión más eficientes, seguras y económicas en cualquier lugar de la República Mexicana donde se requieran.

REFERENCIAS:

- 1.- Manual de Diseño por Viento
RCDF 407 1977
Instituto de Ingeniería UNAM.
- 2.- Transmission Tower Transformations
Engineering New Record
Mc. Graw Hill Construction Weekly
October 11, 1984.
- 3.- Apuntes del Curso de Construcción IV
Aplicación del Método del Camino Crítico a la Construcción en Líneas
de Transmisión
Ing. Víctor E. Cachoua
Facultad de Ingeniería Semestre 85-II.
- 4.- Tesis Profesional
Líneas de Transmisión Tijuana-Mexicali
Ing. Sergio Ramírez Otero 1962 UNAM.
- 5.- Tesis Profesional
Proyecto y Construcción de una Línea de Transmisión Aérea
Kawashima Hashimoto
UNAM 1978.
- 6.- Tesis Profesional
Infraestructura, Análisis y Diseño Estructural de Torres de Transmisión
con Retenidas
Pablo Roberto de Buen Rodríguez
UNAM 1981.
- 7.- Boletín IIE
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Estudios Experimentales de Torres de Transmisión
Vol. 8 Núm. 2 Marzo/Abril 84.

8.- Estructuras para Transmisión de Energía Eléctrica
Sección Estructuras
Manual de Diseño de Obras Civiles
Comisión Federal de Electricidad
Instituto de Investigaciones Eléctricas.

9.- Ingeniería Estructural
Cuadernos 1
Instituto de Investigaciones Eléctricas
División de Estudios de Ingeniería
México, D. F., septiembre de 1984.