



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**RESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS**

T E S I N A

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO – ELECTRÓNICO**

P R E S E N T A

JUAN ZÚÑIGA ESTRADA

DIRECTOR DE TESINA

M.I. RODOLFO LORENZO BAUTISTA



MÉXICO, D.F.

MARZO, 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.



AGRADECIMIENTOS

A mis padres por darme la vida, criarme, inculcarme valores, y procurar mi educación.

A mi papá por enseñarme con el ejemplo, por darme la libertad de decidir sin que ello implicará que no estuviera pendiente de mí y por alentarme a realizar mis sueños.

A mi mamá por guiar mis pasos con amor, enseñarme que con trabajo y esfuerzo se logran los objetivos y metas; y por su apoyo incondicional.

A mis hermanos, Yaneth, Roberto y Cécil, por confiar en mí, siendo muchas veces su referencia de superación, por su esfuerzo entregado para que pudiera estudiar lejos de casa y por todo el cariño y amor que nos une.

A Leslye por darme una hija maravillosa, por los momentos felices y por su cariño y a María Inés por darme una lección de vida y enseñarme a ver la vida de otra manera.

A mis tíos, Jesús y Rosa, por recibirme en su casa cuando llegué a esta ciudad, apoyarme y aconsejarme en ciertos momentos.

Al Ing. Alfonso Ruiz, por su amistad, sus atinados comentarios, por todas las veces que me dijo que me titulara y por las facilidades brindadas para terminar esta empresa; a Delia por su distinguida amistad y por animarme a terminar el trabajo lo más pronto posible y a Javier por todo el apoyo técnico e información que me proporcionó.

A la UNAM: semillero de ilusiones; a la Facultad de Ingeniería: forjadora de hombres y a la CFE por dejarme realizar profesionalmente.

Al M.I. Rodolfo Lorenzo y mis sinodales, quienes con su presencia, trayectoria y conocimientos me impulsaron a desarrollar de la mejor manera el presente trabajo.

Por todo esto y lo que me faltó, a todos, ¡¡Muchas Gracias!!



Í N D I C E

1. ANTECEDENTES	1
1.1. Componentes y accesorios de las estructuras modulares de emergencia	1
1.1.1. Placa de cimentación o base	2
1.1.2. Articulación universal	3
1.1.3. Sección de caja	5
1.1.4. Placa para retenidas	6
1.1.5. Sección de columna	7
1.1.6. Tornillos ERS	9
1.1.7. Aisladores y herrajes	10
1.1.8. Recomendaciones generales y de seguridad para el manejo de estructuras modulares de emergencia	14
1.2. Arreglos y tipos de estructuras que se pueden construir	15
1.3. Estructuras mas usadas en transmisión	17
1.3.1. Estructura tipo chainette	17
1.3.2. Estructura tipo delta	21
1.3.3. Estructura tipo bandera	23
1.3.4. Estructuras de tensión	25
1.3.5. Estructuras de 4 columnas	30
1.4. Anclajes para retenidas	32
2. ANÁLISIS Y METODOLOGÍA EMPLEADA	36
2.1. Procedimientos de ingeniería	36
2.1.1. Metodología para determinar el arreglo de la estructura a emplearse y su ubicación	36
2.1.2. Trazo para ubicación de retenidas	38



2.1.3.	Evaluación del terreno y selección del tipo de anclaje para retenidas	39
2.2.	Procedimientos de izaje de estructuras modulares	40
2.2.1.	Medidas de seguridad	41
2.2.2.	Métodos de izaje de estructuras de emergencia	46
2.2.3.	El método de pivotear la columna sobre su base	47
2.2.4.	Pivoteada sobre su base con grúa	47
2.2.5.	Izaje de estructura con grúa, localizando el centro de gravedad (c.g) de la columna	48
2.2.6.	Pivoteada sobre su base con helicóptero	51
2.2.7.	Armada en otro sitio, pivoteada y transportada con helicóptero al punto de uso	53
2.2.8.	Pivoteada sobre su base con pluma en piso	55
2.2.9.	Pivoteada sobre su base con pluma en la base articulada	56
2.2.10.	Pivoteada sobre su base articulada con pluma mástil montada en base especial fija (lindsey)	58
2.2.11.	Estructura armada modulo por modulo con pluma deslizante lindsey R-16289	60
2.2.11.1.	Ensamble de la pluma deslizante lindsey R-16289	60
2.2.11.2.	Montaje de la pluma deslizante lindsey R-16289	62
2.2.11.3.	Levantamiento de la primera sección de columna encima de la base articulada	64
2.3.	Reglas generales para la instalación de retenidas provisionales	67
2.4.	Apoyo logístico	68
3.	PARTICIPACIÓN PROFESIONAL	72
3.1.	Caso I. Restablecimiento de la L.T. TOPILEJO - A3510 - SAN BERNABÉ	72
3.1.1.	Antecedentes	72
3.1.2.	Ubicación de la falla	74
3.1.3.	Valoración de daños en las líneas colapsadas	76



3.1.4.	Actividades previas	77
3.1.5.	Ingeniería de detalle de estructuras de emergencia	77
3.1.5.1.	Consideraciones técnicas para el cálculo de las estructuras de emergencia	77
3.1.5.2.	Estructuras instaladas	78
3.1.6.	Programa de trabajo	95
3.1.7.	Personal que participo en el restablecimiento	104
3.1.8.	Inventario de herramientas y materiales utilizados	106
3.1.9.	Apoyo logístico	107
3.1.9.1.	Comunicaciones	107
3.1.9.2.	Departamento de ingeniería civil	109
3.1.10.	Observaciones sobre la instalación de estructuras	112
3.1.11.	Comentarios del caso	113
3.2.	Caso II. Restablecimiento de la L.T. LCP-A3010-DOG	115
3.2.1.	Antecedentes	115
3.2.2.	Ubicación de la falla	116
3.2.3.	Valoración de daños en la Línea de Transmisión	117
3.2.4.	Programa y actividades de restablecimiento	120
3.2.4.1.	Anclaje de conductores en estructuras 494 y 496	120
3.2.4.2.	Reparación de trabes en estructuras 494 y 496	121
3.2.4.3.	Limpieza de sitio y apertura de brecha en estructura 495	121
3.2.4.4.	Habilitado de camino de acceso de estructura 494 hacia estructura 495	123
3.2.4.5.	Trabajos para la liberación de cable conductor en estructura 495	123
3.2.4.6.	Desmantelamiento de la torre 495 colapsada	124
3.2.4.7.	Recuperación de conductores	125
3.2.5.	Ingeniería de detalle de estructura de emergencia	126
3.2.5.1.	Arreglo de Retenidas y anclas que se utilizaron para el izaje de la estructura	127
3.2.6.	Actividades para el armado de la estructura de emergencia	127
3.2.6.1.	Topografía y trazo de anclas	127



3.2.6.2.	Anclas utilizadas	128
3.2.6.3.	Traslado de materiales	129
3.2.6.4.	Armado de la estructura de emergencia	130
3.2.6.5.	Izaje de la segunda columna de la estructura	132
3.2.6.6.	Izaje de la tercer columna de la estructura	133
3.2.6.7.	Izaje de la cuarta columna de la estructura	133
3.2.6.8.	Vestido y subida de conductores a la estructura de emergencia	134
3.2.7.	Trabajos finales en la estructura de emergencia	135
3.2.8.	Materiales utilizados para la estructura de emergencia	136
3.2.9.	Apoyo Logístico	137
3.2.10.	Recursos utilizados para el restablecimiento de la L.T. LCP-A3010-DOG	139
3.2.11.	Comentarios de este caso	140
3.3.	Caso III. Restablecimiento de la L.T. LRP-A3960-PBD	141
3.3.1.	Antecedentes	141
3.3.2.	Ubicación de la falla	142
3.3.3.	Valoración de daños en la Línea de Transmisión	143
3.3.4.	Actividades para el restablecimiento de la línea	145
3.3.4.1.	Actividades previas	146
3.3.4.2.	Anclaje de conductores en claro 62-63 e instalación de retenidas en T-65	147
3.3.4.3.	Limpieza del sitio y habilitación de caminos de acceso	147
3.3.4.4.	Desmantelamiento de las estructuras colapsadas	147
3.3.4.5.	Recuperación de conductores	148
3.3.5.	Ingeniería de detalle de estructuras de emergencia	148
3.3.5.1.	Topografía y trazo de anclas para estructura de emergencia	150
3.3.5.2.	Arreglo de Retenidas y anclas que se utilizaron para el izaje de la estructura	150
3.3.6.	Actividades para el armado de la estructura de emergencia	152
3.3.6.1.	Traslado de materiales	152
3.3.6.2.	Armado de la estructura de emergencia	152
3.3.6.3.	Vestido y subida de conductores a la estructura de emergencia	154
3.3.7.	Trabajos finales en la estructura de emergencia	155



3.3.8.	Materiales utilizados para las estructuras de emergencia	156
3.3.9.	Resumen del programa de trabajo	157
3.3.10.	Apoyo logístico	158
3.3.11.	Recursos utilizados para el restablecimiento de la L.Y. LRP-A3960-TEX	159
3.3.12.	Comentarios finales de este caso	160
4.	RESULTADOS Y APORTACIONES	161
5.	CONCLUSIONES	165
6.	APENDICE	166
	Diseño mecánico de líneas de transmisión	166
	A.1. Cálculos mecánicos de los conductores	166
	A.2. Ecuación de cambio de estado	175
	A.3. Calculo de la tensión mecánica de un conductor para una condición cualquiera partiendo del estado básico.	186
	A.4. Calculo mecánico del cable de guarda	187
	A.5. Generalización para apoyo a distinto nivel	188
	A.6. Definiciones de CFE para parámetros mecánicos de L.T's	201
	A.7. Software lindsey para el cálculo de estructuras de emergencia	206
7.	BIBLIOGRAFIA	216



INTRODUCCIÓN

Cuando ocurre un colapso de estructuras en una Línea de Transmisión esta deja de transmitir energía eléctrica en el momento, las repercusiones que se tengan en el sistema dependerán de las condiciones en las que se encuentre operando el mismo y del tiempo que se tarde en restablecer la línea, a diferencia de las fallas transitorias en líneas, por ejemplo las ocurridas por descargas atmosféricas las cuales provocan variaciones de voltaje o frecuencia en un periodo de tiempo corto y que el sistema eléctrico soporta la mayoría de veces y continua con su operación "normal"; cuando ocurre un colapso de estructuras las condiciones del sistema pueden variar en cuanto a las condiciones de generación, es decir, la energía que deja de transmitir esta línea tal vez la puedan transportar líneas paralelas pero si estas no existen o están en su límite de cargabilidad, entonces esta energía se tiene que transmitir desde otra parte de la red, lo cual modificara las condiciones de generación y del sistema en general, el mover los recurso de generación debido a una contingencia por los general representa pérdidas económicas para la empresa encargada del sistema eléctrico.

En razón de lo anterior resulta apremiante restablecer en el menor tiempo posible la o las estructuras colapsadas de la línea o líneas de transmisión, para ello la CFE cuenta con Estructuras Modulares de Emergencia cuya instalación resulta mucho más rápido que la de las estructuras autosoportadas definitivas, tema que se desarrollara en el presente trabajo.



PROLOGO

Un sistema eléctrico de potencia tiene la finalidad de proporcionar la energía necesaria para el desarrollo de un país. Para ello es necesario generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica desde los centros de generación ubicados donde se tiene la disponibilidad de fuentes primarias de energía, hasta los centros de consumo, considerando en todo momento restricciones económicas, de seguridad, de confiabilidad y de calidad del servicio.

Para transportar grandes volúmenes de energía eléctrica desde las plantas de generación a los centros de consumo se requiere de las Líneas de Transmisión, dichos elementos debido su naturaleza cruzan por diversos tipos de terrenos, así como condiciones climáticas y topográficas diferentes, razón por la cual, las estructuras que suspenden los cables están expuestas a sufrir diversos daños, ya sean fenómenos naturales como huracanes, tornados, heladas, deslave de cerros o ríos; casos fortuitos como explosión de ductos de Pemex, incendios forestales o inclusive vandalismo.

Cuando se presenta una falla permanente en una línea de transmisión debido a cualquier causa de las antes mencionadas, es de gran importancia restablecer en el menor tiempo posible dicha línea o líneas, lo anterior a efecto de mantener en condiciones de operación la Red Eléctrica Nacional, evitando contingencias en la misma que pudieran originar mala regulación de voltaje, operación de otros elementos de la red en su límite térmico, pérdidas de generación de productores externos, afectaciones a los usuarios finales ya sean del tipo industrial, residencial y gobierno, entre otros.

En las siguientes páginas se abordarán tres casos en donde colapsaron estructuras autosoportadas de líneas de transmisión de 400 kV en los cuales se tuvo que realizar el restablecimiento de las líneas de transmisión mediante estructuras de emergencia y fui participe de los mismos, estos son:

- **Restablecimiento de la L.T. Topilejo - A3510 - San Bernabé por colapso de las estructuras No. 45, 48, 49 y 50, ocurrida el 02 de enero de 2008 debido al frente frío No. 18 que azotó el centro del país, en particular la zona del cerro del Ajusco, ubicado en el D.F.**
- **Restablecimiento de la L.T. Lázaro Cárdenas – A3010 – Donato Guerra por colapso de la estructura No. 495 y daño en traveses de estructuras adyacentes, ocurrida el 29 de julio de 2010 debido a los fuertes vientos (tornado) que azotaron la región montañosa del Estado de México.**
- **Restablecimiento de la L.T. San Lorenzo Potencia – A3960 – Texcoco por colapso de las estructura No. 63 y 64, ocurrida el 19 de diciembre de 2010 debido a la explosión de un oleoducto de Pemex en las afueras de la ciudad de San Martín Texmelucan, Estado de Puebla.**



1. ANTECEDENTES

Dada la importancia que tiene para Comisión Federal de Electricidad mantener la operación de las diferentes líneas de transmisión de energía eléctrica del país, las cuales por sus condiciones topográficas y trayectorias se ven expuestas a fenómenos naturales como huracanes, tornados, heladas, deslaves; casos fortuitos como explosión de ductos, colisión de vehículos pesados en sus cimentaciones, malas maniobras mecánicas; o ataques directos como el robo de elementos estructurales o corte de los mismos, que producen el colapso de estructuras, se tiene establecido el “Plan de Restablecimiento de Emergencias en Líneas de Transmisión” a fin de hacer reparaciones provisionales en las líneas de transmisión de manera oportuna, rápida y segura ante cualquier situación que se presente.

En el año de 1993 se adquirieron las primeras estructuras modulares de emergencia cuyas características principales es que son ligeras de peso, resistentes, de fácil transporte y reutilizables con las que se puedan formar diferentes tipos de arreglos. Las estructuras modulares no requieren cimentación especial, pueden ser usadas en cualquier nivel de voltaje y como estructuras de suspensión, deflexión y/o tensión; debido a que sus componentes están estandarizados, pueden ser usados combinados entre sí para armar diferentes arreglos.

Este tipo de estructuras se han utilizado en casi todos los estados del país, debido a su facilidad y rapidez con la que se restablecen temporalmente las líneas de transmisión siniestradas, dependiendo de la magnitud de los daños y condiciones del terreno, por ejemplo, una línea de transmisión de 400 kV, con dos conductores por fase y con terreno plano se puede restablecer hasta en 4 días, tiempo que no se podría lograr para una reparación definitiva aún teniendo los materiales y tipo de estructura disponible en almacén. Es importante mencionar que estos tiempos cambian drásticamente cuando el colapso de estructuras se da en terrenos montañosos, sin embargo, aún así en muchos de los casos es costeable utilizar las estructuras de emergencia a fin de mantener la estabilidad del Sistema Eléctrico Nacional.

1.1. COMPONENTES Y ACCESORIOS DE LAS ESTRUCTURAS MODULARES DE EMERGENCIA

Actualmente la CFE cuenta con dos marcas de estructuras modulares en sus Centros de Reparación, Lindsey y Prinex, de fabricación estadounidense y canadiense respectivamente, compatibles entre sí en sus diferentes componentes pero diferentes en algunas características de peso y dimensión como se resume en la siguiente tabla.



DESCRIPCIÓN	LINDSEY		PRINEX	
	Peso [kg]	Longitud [m]	Peso [kg]	Longitud [m]
Placa de cimentación o base	250	0.36	201	0.215
Base articulada	252	2.13	267	2.13
Modulo de 21 pies	257	6.40	322	6.40
Modulo de 14 pies	189	4.25	250	4.25
Modulo de 7 pies	122	2.13	170	2.13
Placa para retenidas 0°/45°	23	1.22 x 0.89	30	1.22 x 0.89
Placa para retenidas 45° /45°	23	1.22 x 0.89	30	1.22 x 0.89
Placa para retenidas 0°/0°	23	1.22 x 0.89	30	1.22 x 0.89
Caja para aisladores	123	0.45	115	0.58

Tabla No. 1. Diferencias de longitud y peso de componentes Lindsey y Prinex.

De la tabla anterior podemos observar que los componentes de las estructuras tienen diferentes pesos entre sí, esto se debe a la forma de fabricación de los mismos, ya que los módulos de la marca Lindsey son soldados en tanto que los de marca Prinex son remachados.

A continuación se describen los componentes y accesorios utilizados para el armado de una estructura de emergencia.

1.1.1. PLACA DE CIMENTACIÓN O BASE

La base es el soporte de la columna de la estructura de emergencia, fabricada en aluminio de alta resistencia y diseñada para ser colocada sobre el terreno, mismo que requiere una nivelación para evitar deslizamientos. En la figura 1 se describen las dimensiones y distancias entre barrenos.

La base deberá ser asegurada con 4 puntillas de 1 ¼ (32 mm) de pulgada de diámetro por 1.5 [m] de largo, colocada en los orificios existentes en el centro de cada cara de la base junto a las asas, siendo enterradas verticalmente hasta la altura de la caja.

En la fig. 2 podemos observar la diferencia de altura entre las dos marcas, la forma de utilizarse y medidas de seguridad para el uso y manejo son las mismas.

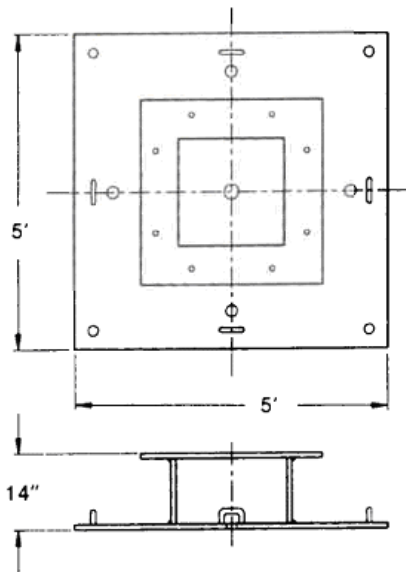


Figura 1. Placa de cimentación o Base



Figura 2. Diferencia en altura de la base entre las dos marcas

1.1.2. ARTICULACIÓN UNIVERSAL

Está fabricada de aluminio estructural y cuenta con una rótula de acero galvanizado en su extremo inferior que le permite girar 90° en cuatro direcciones indicados por flechas en la base de cimentación, esto facilita el armado de la columna en piso (figura 3). Además cuenta con dos discos unidos que permite girar 360° en su eje, estos discos están separados mediante una junta de un material no metálico para evitar la fricción entre elementos.

Se deberá tener la precaución de armar en los ejes más bajos de la base articulada donde tiene menor altura del refuerzo (cartagón), lo cual evita el daño en la rótula de la articulación al colocarla en piso sobre todo en maniobras con helicóptero.

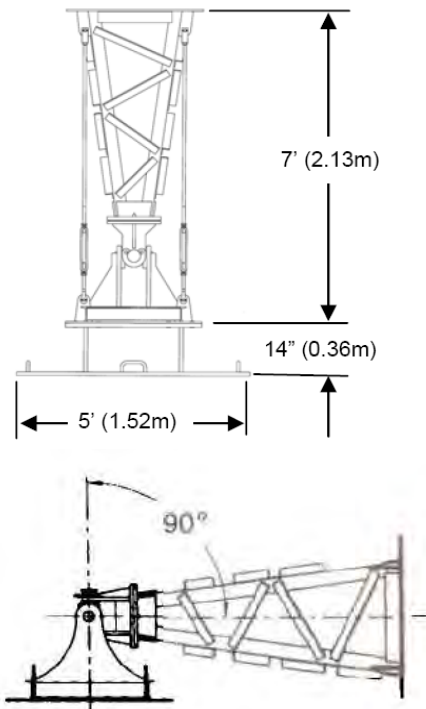


Figura 3. Articulación Universal

Para el traslado y almacenaje se utilizan cuatro pernos tensores que evitan su movimiento (rigidizándola), cuando se instala se deberán quitar estos tensores para permitir que trabaje la rótula. El momento en que se quiten estos pernos dependerá del método con el cual se realice el izaje de la columna.

En la fig. 4 se puede observar la diferencia entre las dos marcas, siendo únicamente el perno y la forma de los refuerzos.



Figura 4. Diferencias en la articulación universal entre la marca lindsey (izquierda) y prinex (derecha)



1.1.3. SECCIÓN DE CAJA

La sección de caja está fabricada de aluminio estructural, tiene un peso de 120 Kg. para el caso de la marca Lindsey (figura 5) y las de marca Prinex 115 kg, cuentan con barrenos en dos de sus caras opuestas, dispuestos de tal manera que cualquier aislador del tipo pedestal puede ser utilizado en forma horizontal. Se deberá utilizar el accesorio adaptador para aislador tipo poste (cantiliever) incluido para este fin. Este debe ser instalado de tal forma que permita el libre desplazamiento del aislador horizontalmente (figura 6).

Las cajas se instalan entre dos secciones de columnas, teniendo la función de soportar el puente en una estructura de tensión y sostener los aisladores tipo pedestal que dan la separación entre conductor y columna en estructuras de suspensión (arreglos tipo bandera y delta).

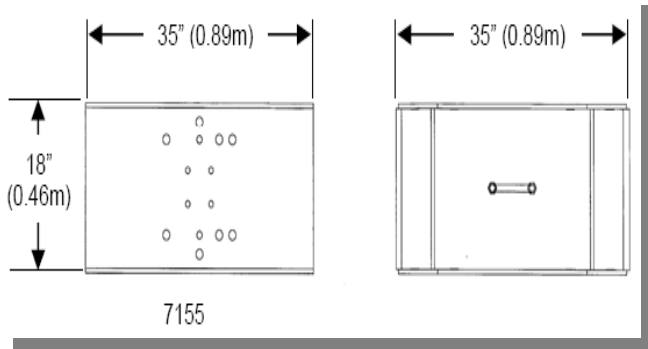


Figura 5. Sección de caja marca Lindsey



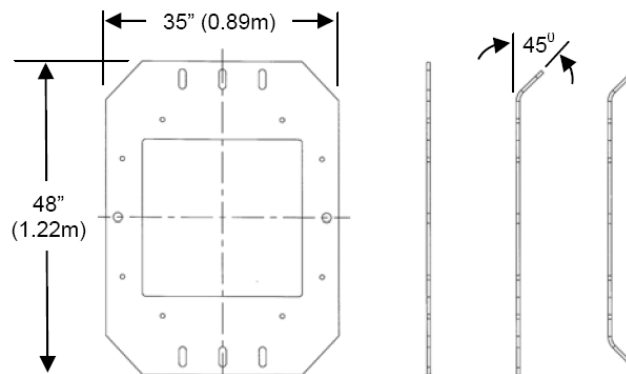
Figura 6. Accesorio adaptador para aislador tipo poste (cantiliever)



1.1.4. PLACA PARA RETENIDAS

Las placas para retenidas son fabricadas de aluminio estructural de $\frac{1}{2}$ " de espesor, su peso es 23 [kg] para la marca Lindsey y para la marca Prinex 30 [kg]. Su función es alojar las retenidas, violines, hilo de guarda y cadena de aisladores a través de grilletes de $\frac{3}{4}$ "; además de los barrenos para el cambio de ensamble entre las secciones de columna y los de maniobra, cuenta con seis barrenos ovalados localizados a $1 \frac{1}{16}$ " del borde (tres en dos de sus lados) que soporta cada uno de ellos una tensión de 30,000 [lb] ó 134 [kN]. Cuando las tensiones en las retenidas rebasen este límite, deberán utilizarse retenidas adicionales sujetas a diferente barreno de la placa (platina).

Existen tres tipos de placas para retenida: $0^\circ/0^\circ$, $0^\circ/45^\circ$ y $45^\circ/45^\circ$ (Figura 7). La placa de retenida $0^\circ/0^\circ$ es usada para tensiones horizontales, la placa de $0^\circ/45^\circ$ es usada en retenidas intermedias y superiores o cuando hay tensión horizontal en un lado y vertical por el otro, y la placa de $45^\circ/45^\circ$ se usa cuando hay tensiones verticales en ambos lados. Únicamente existen diferencias de peso entre las dos marcas, las dimensiones son idénticas.



Siluetas de platinas marca lindsey



Figura 7. Placa de retenida 45°/45°; marca prinex



1.1.5. SECCIÓN DE COLUMNA

Las secciones de columna son fabricadas con aluminio de alta resistencia y celosías soldadas para darle rigidez en el caso de la marca Lindsey y por medio de tornillería tipo remache en el caso de la marca Prinex (figura 8).

En el extremo de cada sección tienen una placa con ocho barrenos (2 por lado) de 11/16" de diámetro para su ensamble y 4 barrenos (1 por lado) en el centro de 13/16" de diámetro para maniobras. En un extremo tienen un perno guía de 4 pulgadas y en el lado contrario otro de 6 pulgadas de longitud, mismos que tienen la función de facilitar la alineación en el montaje (en las adquisiciones recientes este perno es desmontable).

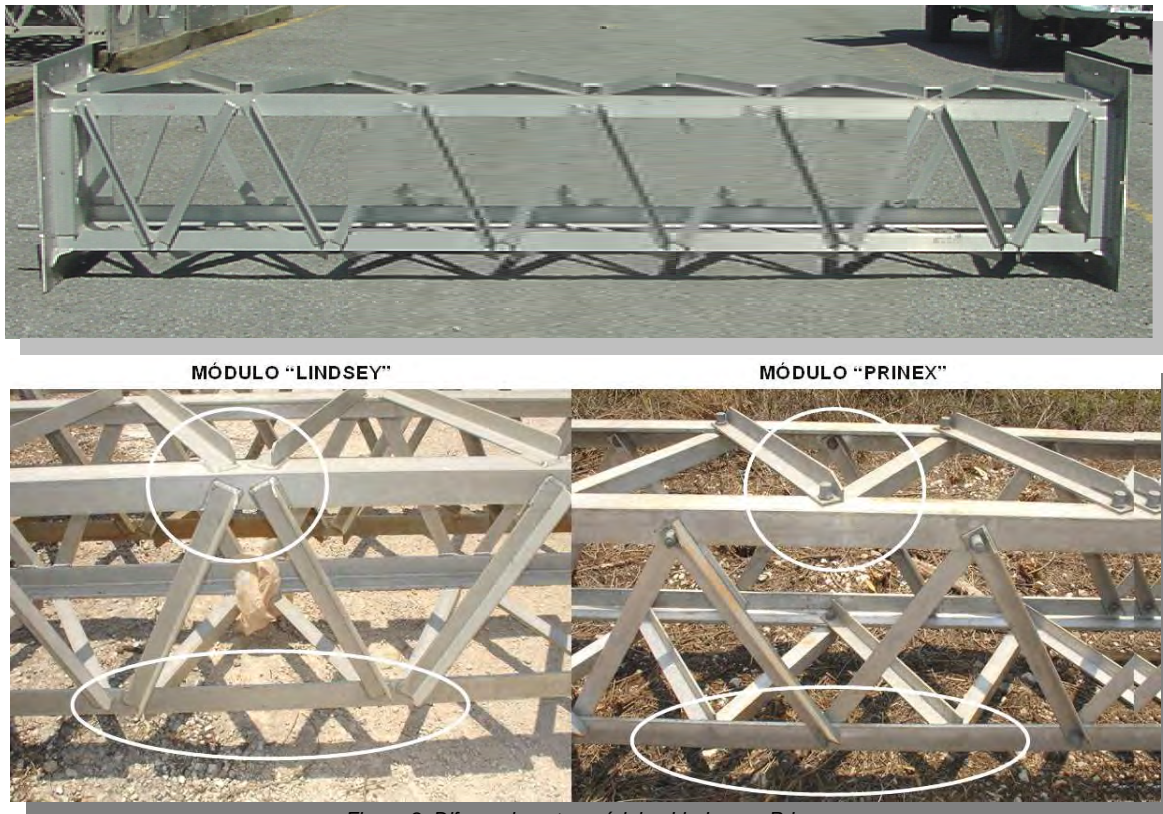


Figura 8. Diferencia entre módulos Lindsey y Prinex

Para ambas marcas se mencionó anteriormente, existen tres tamaños de módulos de acuerdo a la siguiente tabla:

Longitud	Peso en [kg]	
	Lindsey	Prinex
7 pies (2.13 m)	122	170
14 pies (4.25 m)	188	250
21 pies (6.40 m)	256	322

Tabla 2. Longitudes de módulos Lindsey y Prinex



Con los elementos anteriores se pueden armar columnas de la altura requerida, así como la separación necesaria de conductores.

Cada sección resiste al menos 65,000 libras de compresión y un momento de flexión de 140,000 libras/pie.

La excentricidad total se estimará para los programas de computadora en 15 cm, como máximo de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Para el uso y manipulación de estos elementos siempre se deben sujetar las retenidas (provisionales o permanentes) de las placas para retenidas únicamente, debiendo utilizarse siempre un grillete de $\frac{3}{4}$ ". En ocasiones especiales, surge la necesidad de instalar retenidas fuera de estos puntos de sujeción, para lo cual se deberá sujetar de los montantes principales de las secciones de columna y no de las celosías (figura 9). Esta última acción quedará bajo la responsabilidad del responsable de la maniobra.

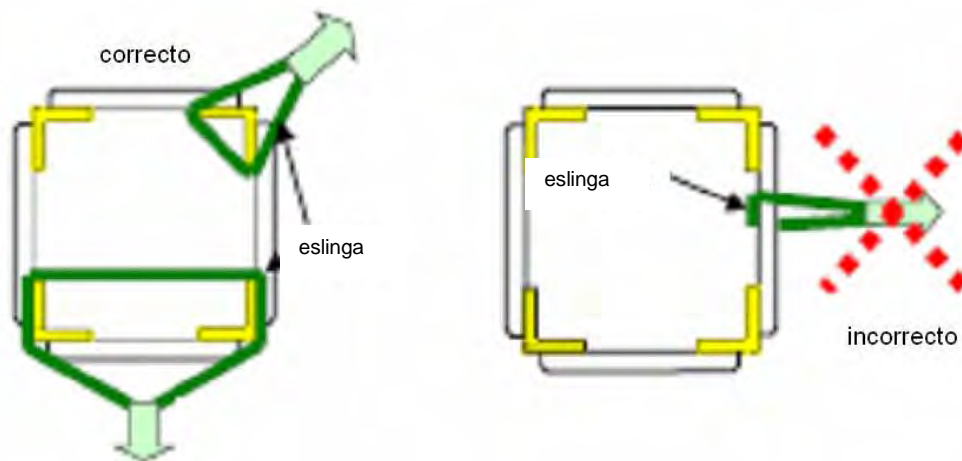


Figura 9. Forma correcta de sujetar un módulo con eslinga.

Es recomendable emplear módulos de menor tamaño en la parte inferior de la columna con lo que tendrá un mejor comportamiento estructural.

Se recomienda que en el montaje, la cara plana de las celosías de aluminio quede hacia arriba (agua abajo), esto le dará mayor seguridad y facilidad al liniero para subir a la estructura.

No utilizar columnas deformadas, con celosías faltantes o agrietamientos en soldadura. Para esto se deberá revisar cada módulo antes de ser utilizado.



1.1.6. TORNILLOS ERS

Los tornillos para la unión de los diferentes módulos estructurales (7, 14 y 21 pies) tienen una característica especial, la cual reside en la resistencia que tienen al corte, pues están diseñados para que se rompan antes de que dichos módulos sufran algún daño.

Los tornillos antes descritos, tienen indicadas las letras ERS (o su equivalente SAE Grado 5 de alta resistencia) en la cabeza del mismo tal como lo muestra la figura 10.

El tornillo ERS de acero 5/8" x 3 1/2" de largo con tuerca, arandela plana y arandela de presión rompe a 30,000 libras. Se debe de apretar con un torque de 70 a 90 libra/pie colocando la arandela de presión entre la arandela plana y tuerca.



Figura 10. Tornillo ERS



1.1.7. AISLADORES Y HERRAJES

De preferencia utilizar aisladores de suspensión sintéticos para líneas de transmisión en tensiones de 161 kV a 400 kV de acuerdo a la NRF-044-CFE-2006 y aisladores de suspensión sintético para tensiones de 13.8 kV a 138 kV de acuerdo a la NRF-005-CFE-2002.

Empléese aisladores y herrajes que soporten las tensiones calculadas a través del programa de análisis estructural con que se cuenta (Lindsey Emergency Restoration System Prospot 5.0.55).

Durante maniobras y al dejar trabajando la estructura, empléese siempre grilletes de herraje de $\frac{3}{4}$ " en los barrenos de las placas de retenidas.

Verificar que los remates preformados cuenten con su abrasivo en la parte interior y se utilicen siempre con guarda cabo (para retenida 9/16" se instalará guarda cabo de $\frac{3}{4}$ "). Los remates preformados usados que han perdido sus características mecánicas y su abrasivo se deben desechar para no provocar algún accidente.

Verificar el armado de los aisladores de hule silicón de suspensión, revisando la orientación de los faldones hacia la estructura y que los herrajes queden bien instalados y no provoque torsión, para evitar el rompimiento en el casquillo.

A continuación se muestran los aisladores y herrajes más comunes usados en el armado de estructuras modulares de emergencia, su requerimiento depende del tipo de estructura a armar y del número de conductores. Cuando se requiera otro tipo de herraje este tiene que cumplir con la NRF-043-CFE-2004 "Herrajes y Conjunto de Herrajes para Líneas de Transmisión Aéreas con Tensiones de 115 a 400 kV".



Figura 11. Aisladores de hule de silicón de suspensión



RESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS



Figura 12. Aisladores de hule de silicón tipo poste o cantiliver



Figura 13. Adaptador para ensamble de conjunto de herraje



Figura 14. Guardacabos 9/16"

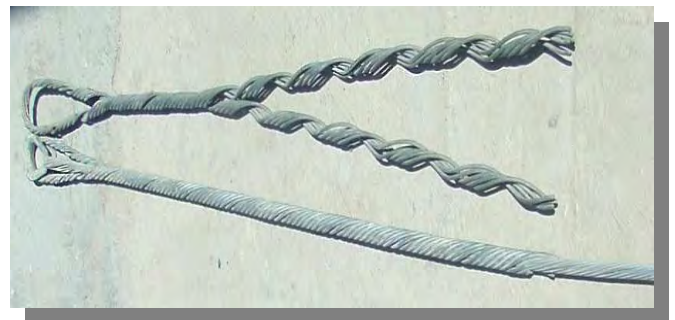


Figura 15. Remates preformados 9/16"



RESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS

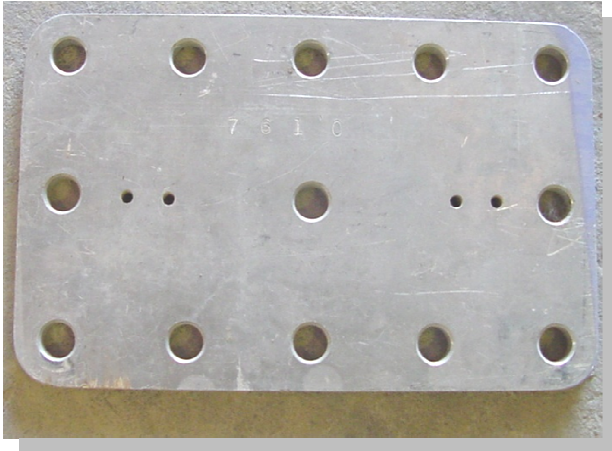


Figura 16. Yugo universal



Figura 17. Templador ojo – ojo



Figura 18. Extensión ajustable (machete)



Figura 19. Eslabón de acero galvanizado



Figura 20. Grilletes de herraje acero galvanizado de 3/4"



Figura 21. Clemas de suspensión



Figura 22. Cable de acero para unir dos columnas (violín ó top cross guy en ingles)



1.1.8. RECOMENDACIONES GENERALES Y DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE ESTRUCTURAS MODULARES DE EMERGENCIA

- Emplear módulos de menor tamaño en parte inferior de columna cuando el arreglo de la estructura lo permita y de acuerdo a la existencia de módulos.
- El dobléz de celosías de módulos, debe quedar orientado hacia arriba
- No utilizar columnas deformadas, con grietas en soldaduras o con celosías faltantes
- Quitar los cuatro tensores de base articulada después de instalada la estructura, plomeado y tensionado de retenidas
- Cada barreno de platina, soportan una tensión de 30,000 lb (13,600 kg-f).
- Cada sección resiste 65,000 lbs. de compresión y un momento de flexión de 140,000 lb/pie.
- No utilizar cable hilo de guarda como retenida definitiva. La resistencia mínima a la ruptura del cable 3/8" es 3,160 kg, la del cable 7#8 es 7,226 kg, la del cable 9/16" es de 15,876 kg y el cable de acero galvanizado de alta resistencia para retenida de diámetro de 12.7mm (1/2") 19 Hilos es de 84.993 kN equivalente a 8,666.91 kg-f.
- Usar siempre tornillos ERS de acero 5/8" X 3 1/2", que rompe a 30,000 [lb], deben apretarse con torque de 70 a 90 lb/pie.
- Las retenidas deben de estar cortadas a una distancia de 60 metros, con su remate y guarda cabo en uno de los extremos, se tienen que almacenar bajo techo y protegidas del medio ambiente para que estas queden listas para ser usadas. El preformado queda instalado en forma permanente para evitar que este pierda el abrasivo sus características.
- De ser necesario se podrán unir dos o más retenidas mediante grilletes de maniobra de 3/4 ".



1.2. ARREGLOS Y TIPOS DE ESTRUCTURAS QUE SE PUEDEN CONSTRUIR

Los componentes de las estructuras de emergencia pueden ser usados para construir los siguientes arreglos o configuraciones, figura 23:

Tipo suspensión (en Tangente con la línea de transmisión)

- a) Chainette
- b) 4 columnas
- c) H-Frame
- d) Delta horizontal vee
- e) Tipo Bandera horizontal vee
- f) Herringbone
- g) Doble circuito herringbone.

Tipo deflexión (Ángulo)

- h) Chainette
- i) 4 columnas
- j) Tipo bandera horizontal vee
- k) Ángulo corrido (Running angle)

Tipo tensión/remate (Deadend)

- l) 1 columna (una fase)
- m) 1 columna (tres fases con hilo de guarda)
- n) 1 columna (una fase con hilo de guarda)

Una vez que se cuenta con la información de campo de la o las estructuras colapsadas, se deberá efectuar el análisis estructural de la columna escogida empleándose el programa en computadora Lindsey Emergency Restoration System Prospot 5.0.55, para asegurarse que la



estructura soportará los esfuerzos a que será sometida y determinar las tensiones que serán aplicadas a las retenidas.

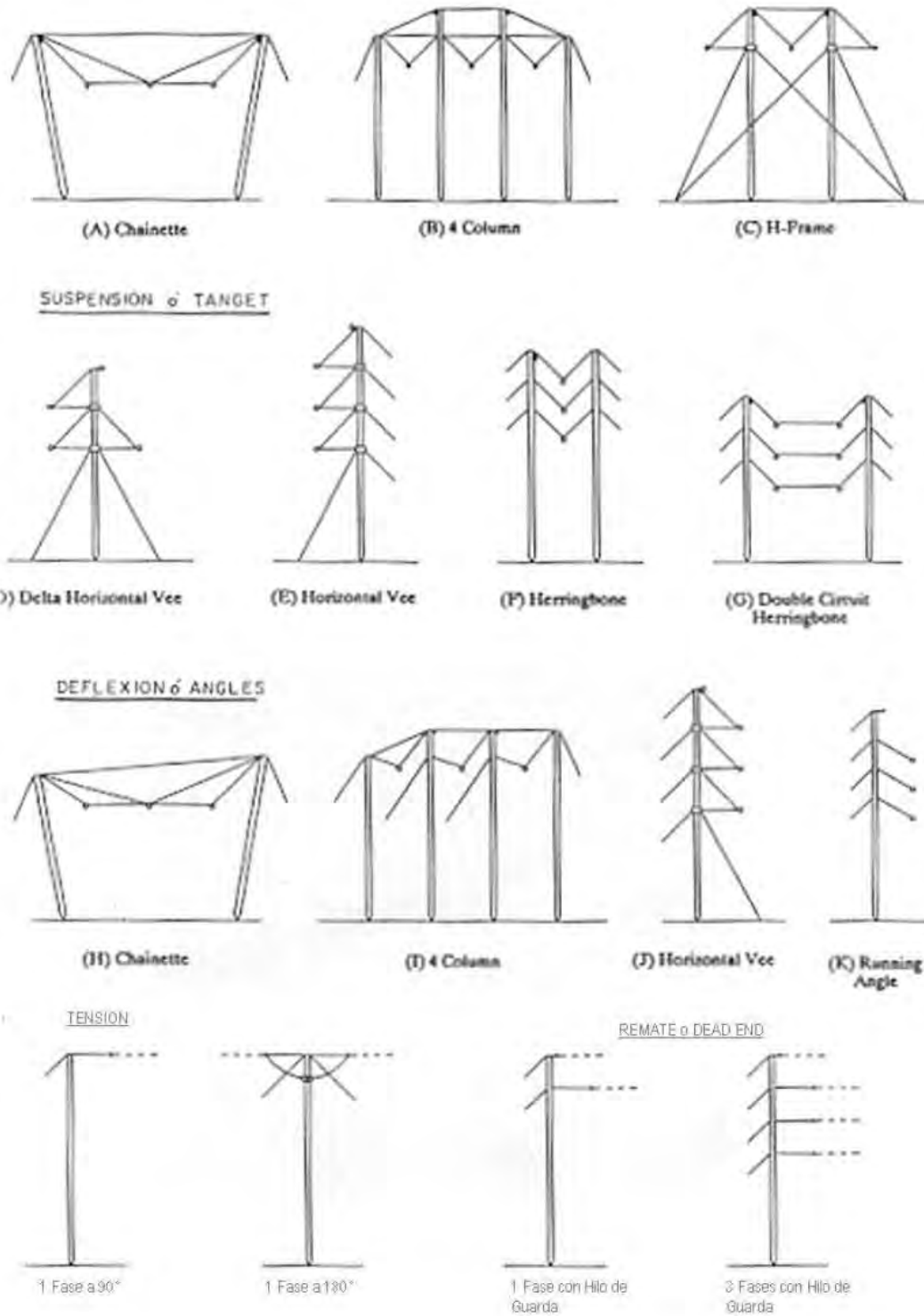


Figura 23. Tipos de estructuras





Se pueden construir otras configuraciones sumando otros componentes a estas estructuras, dependiendo de los requerimientos. Deberá consultarse el manual y el software del fabricante cuando una estructura diferente a las anteriores esté siendo considerada.

Entre los tipos de estructuras mayormente empleados se encuentran: Chainette, Delta Horizontal Vee, Bandera Horizontal Vee, Ángulo corrido o Deflexión, Tensión y Remate (una columna con una fase y una columna con tres fases y un hilo de guarda).

1.3. ESTRUCTURAS MAS USADAS EN TRANSMISIÓN

A continuación se describirán de manera general las estructuras comúnmente usadas en el restablecimiento de líneas de transmisión, estos arreglos de alguna manera han sido los más socorridos por el personal de CFE en las emergencias ocurridas en el país.

1.3.1 ESTRUCTURA TIPO CHAINETTE

Este arreglo se emplea normalmente en sitios donde se ubicará la estructura modular de emergencia sobre el mismo eje de la línea. Será posible una pequeña deflexión (no mayor a 5°) de acuerdo a las características de las estructuras auto soportadas adyacentes a la(s) estructuras modulares de emergencia. Esta situación debe ser revisada y evaluada en sitio por el Coordinador Técnico.

Consiste de dos columnas independientes, inclinadas cada una de ellas 5° grados como máximo y unidas entre si a través de un cable de acero colocado en la parte superior de las columnas llamado violín. Entre las columnas en la parte superior se instala un arreglo de aisladores y herrajes llamado brasier donde se suspenden los cables conductores. Se recomienda que la instalación de estos aisladores y herrajes se efectúen cuando las estructuras se encuentran verticales y una vez instaladas dar la inclinación.

La separación entre columnas depende del voltaje. La instalación de retenidas intermedias dependerá del claro medio vertical, número de conductores por fase y altura de estructura.

Es recomendable que para instalar la retenida intermedia se utilice preferentemente el cable de acero (violín) suministrado por el fabricante o habilitado en campo con cable de acero de 1/2", a la mitad de las columnas o más arriba, esto con la finalidad de evitar su pandeo. Para esto de deben tener instaladas las platinas de 0°- 45°.

Al término del armado de la estructura tipo chainette se verificará que los conductores de las tres fases queden formando una línea recta horizontal entre ellas, de lo contrario se considera que el ensamble del herraje y aislamiento (brasier) no fue el correcto (figura 24).



Figura 24. Arreglo tipo Chainette

El diagrama básico de las retenidas definitivas para este arreglo es el siguiente:

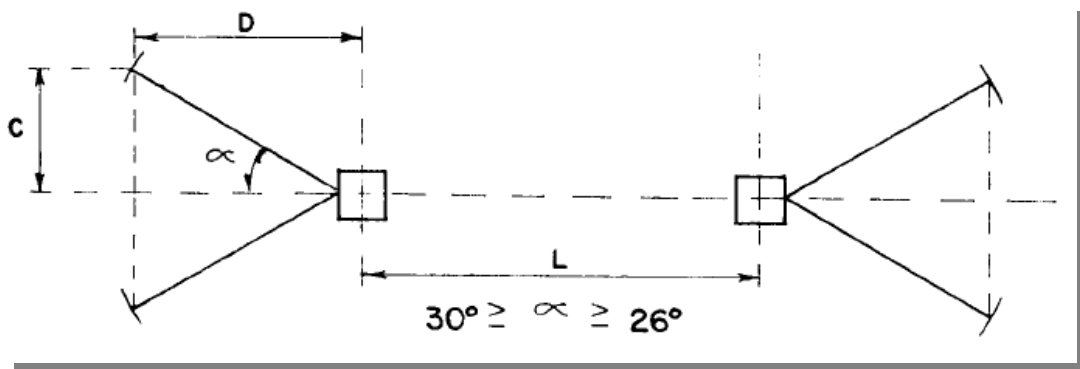


Figura 25. Diagrama básico de retenidas definitivas



El ángulo α deberá ser mínimo de 26° y máximo de 30° . La distancia "D" se calculará multiplicando el valor de la altura máxima de la columna por 0.9, $D=H*0.9$

La distancia "C" se calculará como: $C=D*0.45$

Esta configuración se recomienda para cualquier nivel de voltaje.

Para el montaje de cada columna se deberán utilizar anclas independientes a las definitivas colocadas en cruz (90°) conforme a la figura 26.

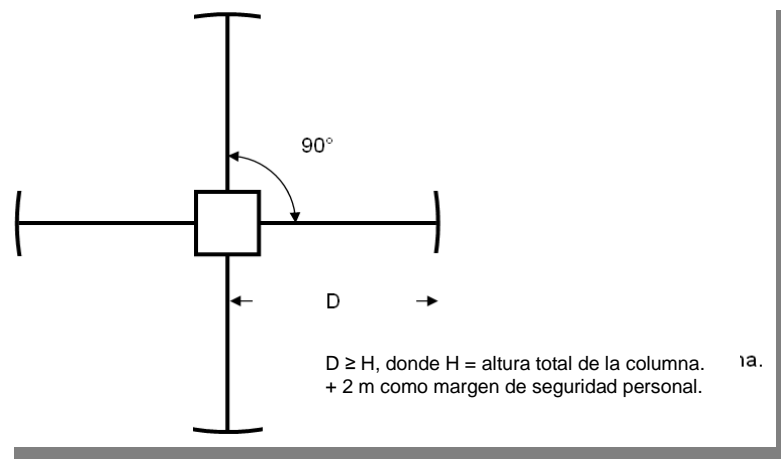


Figura 26. Diagrama básico de retenidas temporales

En la figura 27 se indica la silueta de una estructura tipo chainette, en la cual se indican las diferentes alturas y distancia entre columnas que aplican para sustituir una estructura autosoportada de 400 kV en niveles de -5 a +15. Se sugiere que la distancia del violín superior siempre sea de 27.2 [m], sin embargo esta distancia puede variar ligeramente cuando la estructura es armada en un terreno con diferentes niveles para cada columna (terreno montañoso) en la cual el ingeniero deberá realizar los ajustes necesarios.



ESTRUCTURA TIPO CHAINETTE 400 KV

27.2 MTS VIOLIN (ESTA DISTANCIA NO VARIA CON LA ALTURA DE COLUMNA)

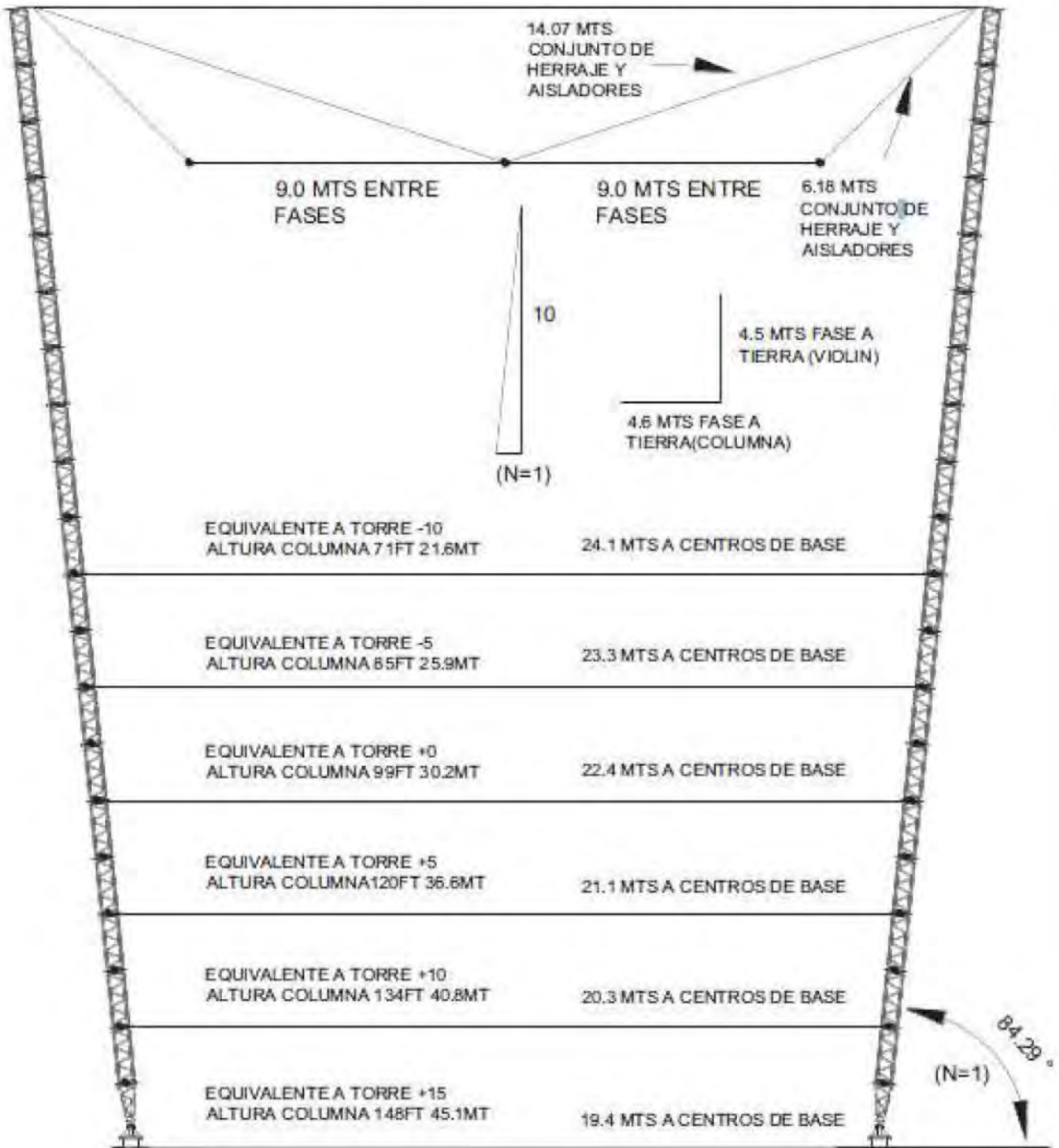


Figura 27. Estructuras tipo Chainette, con diferentes alturas y violín de longitud constante.



1.3.2. ESTRUCTURA TIPO DELTA

Se recomienda utilizar este tipo de arreglo para líneas de transmisión de 115 y 230 kV de un conductor por fase. Este arreglo se utiliza cuando se reemplazan estructuras auto soportadas de suspensión o tangente, ubicándose la estructura modular de emergencia sobre el eje de la línea. Cuando se construye un bypass (fuera del eje de la línea), también se puede utilizar este tipo de estructuras en tangente.

Este arreglo consiste de una columna, en la que se instala en la parte superior de esta, una placa de retenidas (platina) de $45^\circ / 45^\circ$, abajo de l modulo superior instalar una placa (platina) de $45^\circ / 45^\circ$ con los vértices con dirección a la lí nea, continuando con la sección de caja y en la parte inferior una placa (platina) de $45^\circ / 45^\circ$, co ntinuar con el mismo procedimiento para la siguiente fase, las placas se utilizan para las retenidas y aisladores. En las secciones de caja se colocan aisladores en cantiliever que forman la disposición de conductores en DELTA.

Se recomienda realizar el alineado de los conductores antes de izar la estructura, se instalaran las dos fases laterales en el mismo lado y la fase central quedara en el lado opuesto.

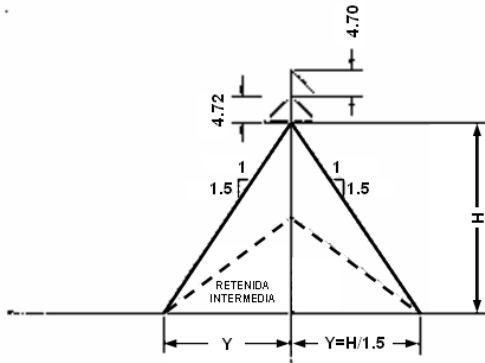
Con la finalidad de evitar el pandeo durante su izaje y elevadas cargas en las retenidas se recomienda construir estructuras con alturas no mayores a 35 metros.



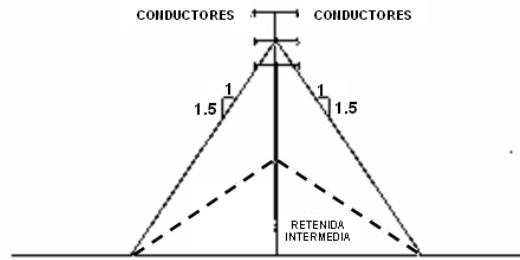
Figura 28. Arreglo tipo Delta



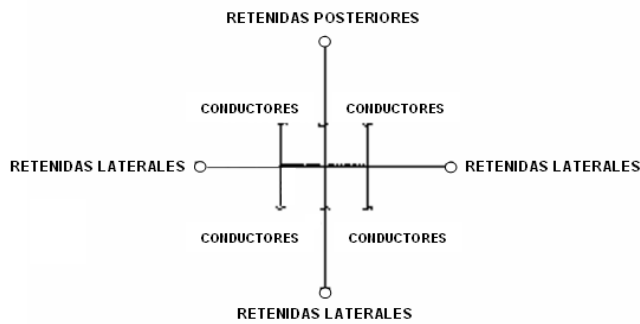
ESTRUCTURA TIPO DELTA 115-230 kV



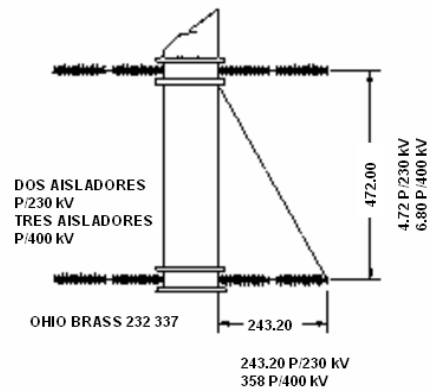
ELEVACION VISTA A



ELEVACION VISTA B



PLANTA



H(m)	Y(m)
34.40	22.93
32.30	21.53
30.20	20.13

Se recomienda instalar una retenida intermedia cuando la altura de columna a la fase más baja sea mayor a 25 m.



1.3.3. ESTRUCTURA TIPO BANDERA

Este arreglo se emplea cuando se reemplaza una estructura de suspensión con conductores en disposición vertical, también se utiliza para salirse del eje de la línea aceptando una deflexión máxima de 25° grados de su tangente. Al igual que la estructura tipo DELTA, puede utilizarse para construir un bypass y para iniciar-terminar un bypass combinándolo con estructuras tipo delta.

Este arreglo consta de una columna en la que se instala en la parte superior una placa (platina) de $45^\circ / 45^\circ$ y en la parte inferior del módulo se instala una sección de caja, en la parte inferior una placa (platina) de $45^\circ / 45^\circ$, posteriormente se repite el arreglo para el segundo y tercer módulo, contando de la parte superior hacia abajo.

La limitación para el uso de este arreglo es el número de conductores por fase.

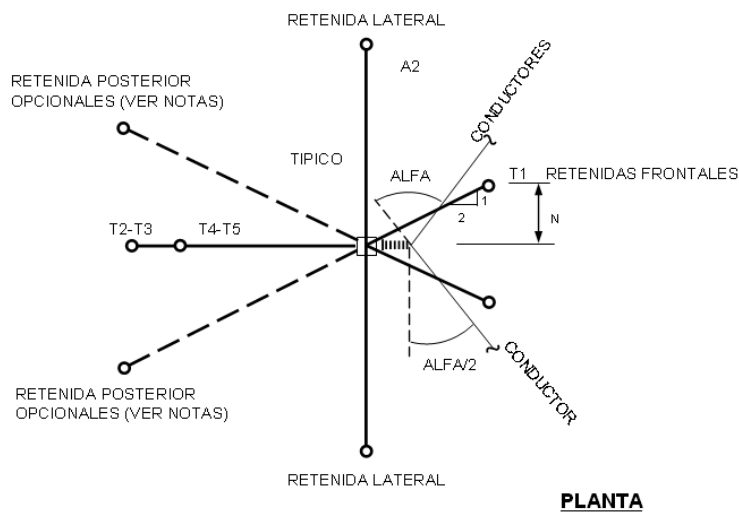
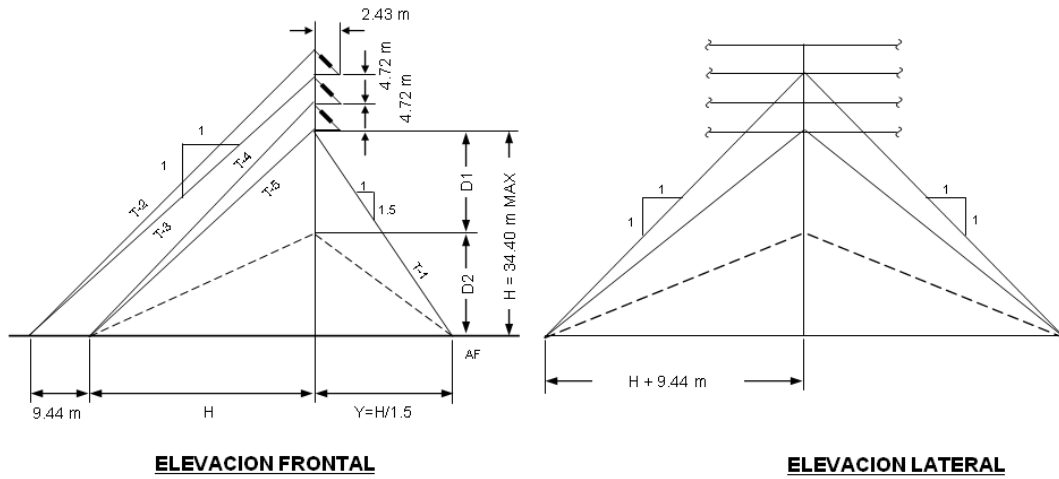
Durante las maniobras de tendido y tensionado de conductores se deben instalar retenidas provisionales (laterales) que compensen los esfuerzos aplicados sobre la columna por ausencia de conductores.



Figura 29. Arreglo tipo Bandera



ESTRUCTURA TIPO BANDERA (VEE) HORIZONTAL 230 kV



H (m)	Y (m)	Z (m)
34.40	22.93	11.47
32.30	21.53	10.76
30.20	20.13	10.07

Las retenidas indicadas con la línea punteada son opcionales, en función de las tensiones de las T2-T3 Y T4-T5, cuando se considere que se tiene mucha tensión para una sola ancla. Adicionalmente se requiere una retenida intermedia cuando la altura H de la columna sea mayor a 25 m.



Nota Importante

En el caso de considerar una altura como la indicada en la tabla anterior (34.4 m, más las secciones de soportes de conductores, daría una altura total de 48.56 m), se deberán tomar las precauciones necesarias consultando el programa de cálculo para ubicar las retenidas definitivas adicionales. Así también se deberán consultar las tablas de restricciones de longitudes de columnas a izar

Es conveniente al desmantelar este tipo de estructuras instalar retenidas provisionales frontales antes de retirar el conductor, con efecto de compensar la ausencia del peso del mismo hacer referencia a dibujo anterior.

Cuando el ángulo de deflexión de la línea es muy pequeño se deben instalar retenidas frontales aisladas adicionales, consultar el programa en computadora Lindsey Emergency Restoration System Prospot 5.0.55.

Asegurarse que los anclajes definitivos de este tipo de estructuras tengan la capacidad para soportar retenidas múltiples.

1.3.4. ESTRUCTURAS DE TENSIÓN

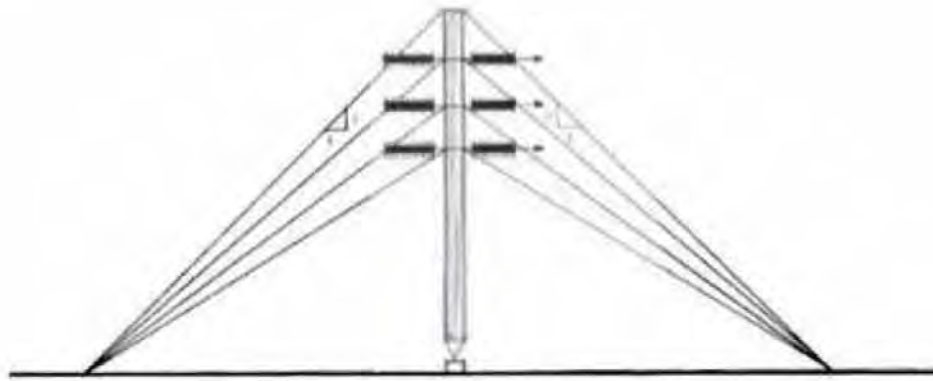
Para formar las estructuras de tensión, se utilizan columnas que pueden alojar todos los conductores e hilos de guarda en una sola columna o en columnas independientes.

Estas estructuras se usan para rematar conductores en una sola de sus caras o en las 2, a manera de tangente (180°) o para deflexionar una línea hasta 90° . En función de la tensión aplicada, se utilizarán los distintos módulos, secciones de caja, y aisladores sintéticos y tipo cantiliever, estos últimos son empleados para dar separación de los puentes.

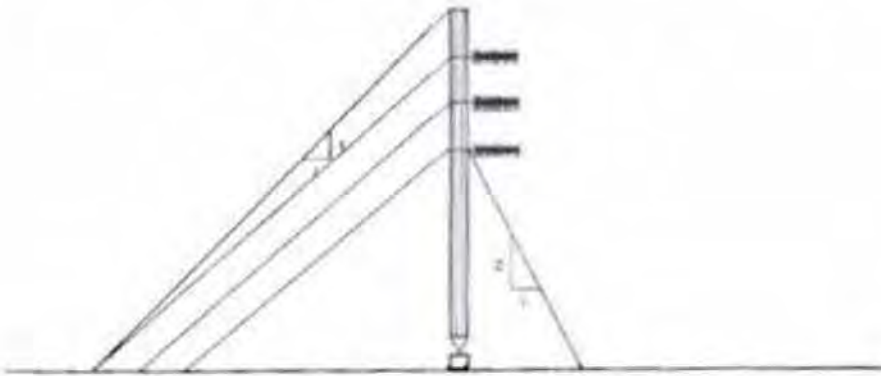
Durante las maniobras de tendido y tensionado de conductores se deben instalar retenidas provisionales que compensen los esfuerzos aplicados sobre la columna por ausencia de conductores.



Figura 30. Arreglo tipo Tensión.



RETENIDAS PARALELAS AL CONDUCTOR



RETENIDAS POSTERIORES Y FRONTALES

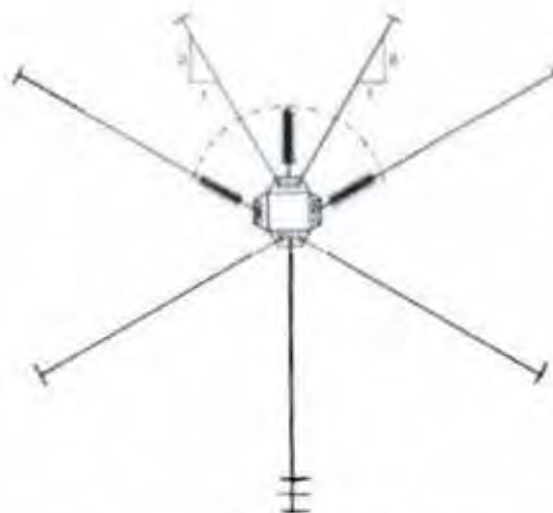


DIAGRAMA BASICO DE RETENIDAS

PLANTA

Figura 31. Diagrama de retenidas estructura de Remate.



VISTA DE PLANTA Y CORTE PARA ESTRUCTURA DE DEFLEXIÓN DE TRES CONDUCTORES SIN HILO DE GUARDA

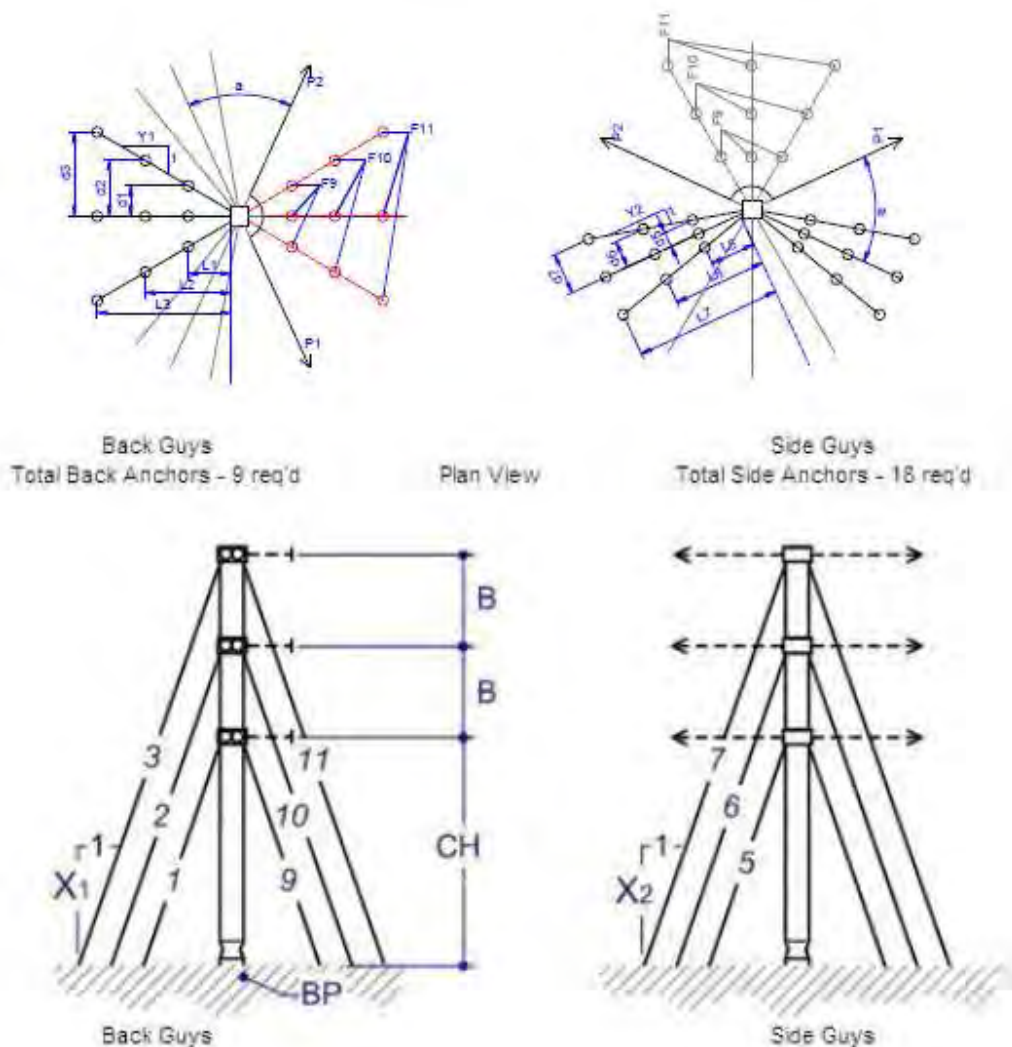


Figura 32. Estructura tipo deflexión

El análisis de las retenidas frontales F9, F10 y F11 se refiere a la instalación de retenidas en la parte frontal de la estructura lado conductores, tomando en consideración que son retenidas aisladas verificando distancias de fase a tierra utilizando la barra aislada.

El puente deberá ser instalado en el ángulo interior de la deflexión.

En el caso de no dar la distancia dieléctrica en aire se instalará grapa paralela a una distancia necesaria para librar el vértice de la estructura.

El software Lindsey muestra las retenidas laterales T5, T6 y T7 con sus respectivas características de tensión y distancias, asimismo la figura 32 tiene un grupo de retenidas



opuestas sin datos característicos debiendo estas ser iguales en fuerzas, dependiendo de la entrada y la salida de los esfuerzos.

VISTA DE PLANTA PARA ESTRUCTURA DE REMATE DE TRES CONDUCTORES SIN HILO DE GUARDA

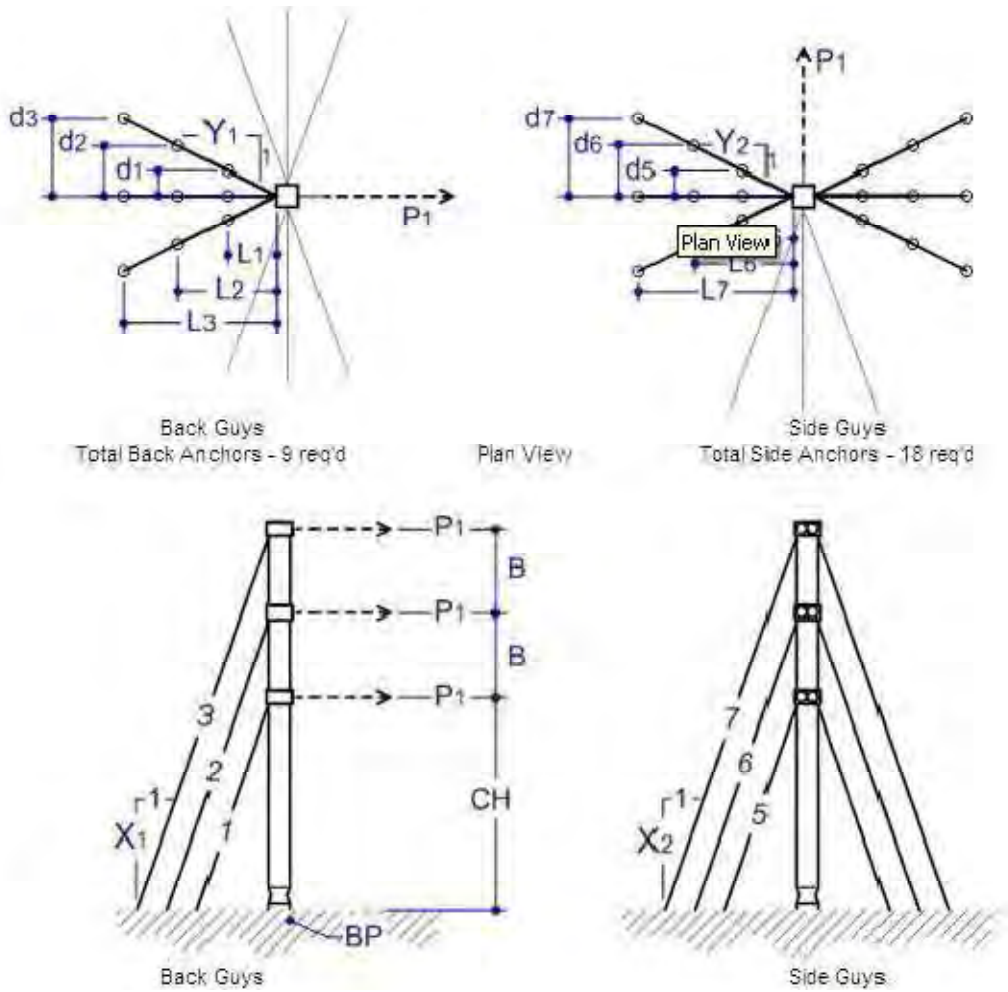


Figura 33. estructura de remate un solo lado.



1.3.5. ESTRUCTURAS DE 4 COLUMNAS

Esta estructura esta diseñada para soportar grandes claros en suspensión, se recomienda utilizarla cuando se tengan claros verticales (Wt) mayores a 750 m y en aquellos casos donde la estructura tipo CHAINETTE no resuelva la necesidad específica.

Este tipo de estructuras se debe utilizar en tangente (0°) y hasta con un ángulo de deflexión de la línea de transmisión máximo de 5° .

Para 400 kV, se deberá invariablemente instalar 3 retenidas laterales para las columnas 1 y 4, además de 3 retenidas intermedias.

Para estabilidad de la estructura se deberán instalar retenidas longitudinales al eje de la línea en las columnas 2 y 3 (la gráfica de la figura 35, indica las tensiones T2 y T3 correspondientes). Las gráficas de tensiones en retenidas fueron calculadas, tomando en cuenta los siguientes parámetros restrictivos:

Carga máxima en aisladores: menor a 112 kN (11424 Kg.)

Máxima carga de compresión en columna: menor a 311 kN (31722 Kg.)

La altura de la columna máxima recomendada a construir será de 45.1 m, por debajo de este valor, se puede seleccionar la altura que se requiere utilizar dependiendo de las estructura que se desee sustituir. Las tensiones en retenidas para alturas menores a 45.1 m se pueden considerar las mismas.

Se pueden construir columnas de mayor altura cuando se tenga en consideración el método de izaje a emplear y retenidas intermedias adicionales tomando en cuenta los datos calculados por el programa Lindsey y sus observaciones.



Figura 34. Arreglo tipo Tensión.

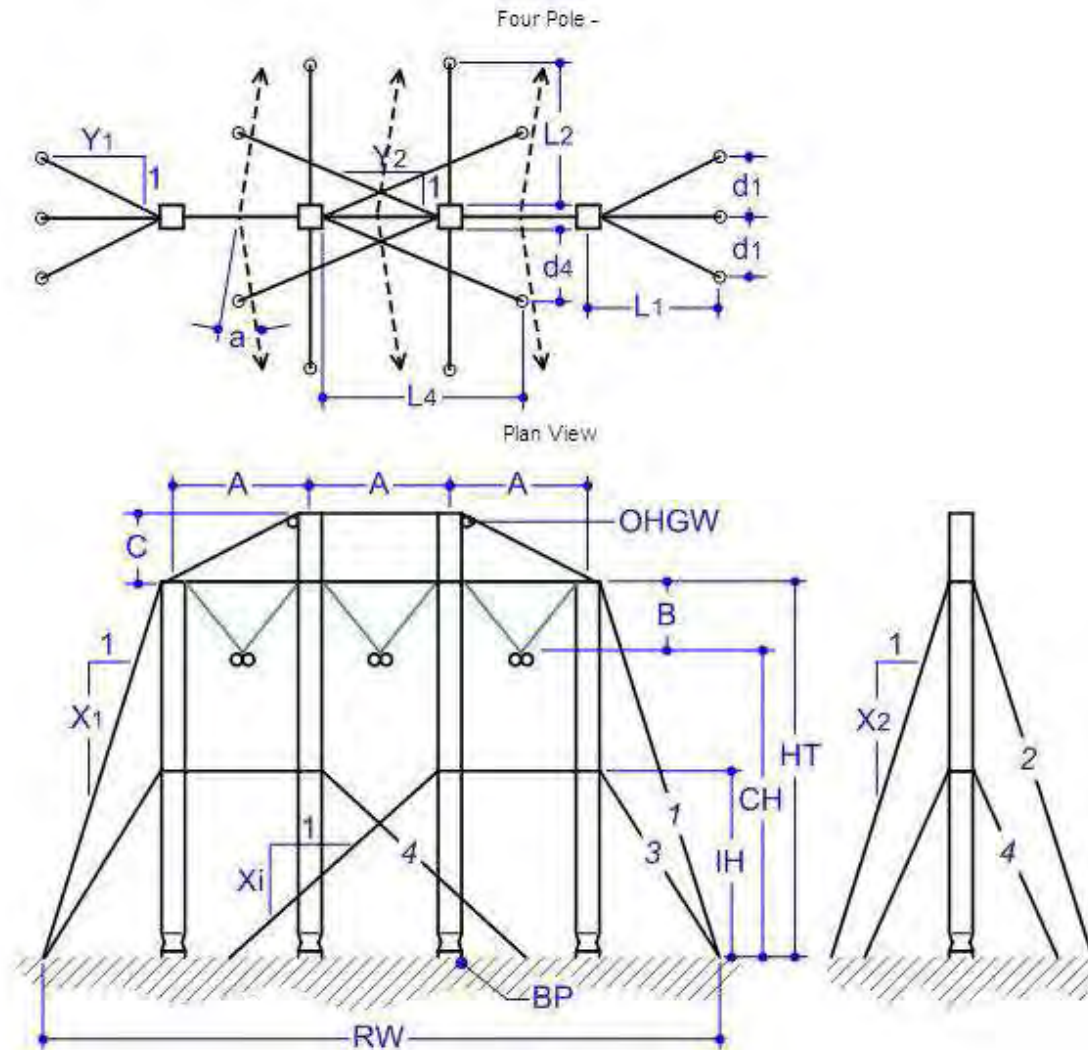


Figura 35. Estructura de 4 columnas en suspensión para 1, 2 ó 3 conductores por fase.

1.4. ANCLAJES PARA RETENIDAS

Deberá efectuarse un reconocimiento en la zona del problema donde se instalarán estructuras modulares de emergencia, de los resultados de esta evaluación y de los recursos con que se cuente se determinará el tipo de anclaje a aplicar, mismo que puede ser de acuerdo a lo siguiente:



Pernos ancla.



Figura 36. Uso de pernos ancla

- **Pesos muertos (bloque, cilindros o cubos de concreto y trineos).**



Figura 37. Uso de trineos para pesos muertos



- **Puntillas**



Figura 38. Uso de puntillas para retenidas temporales

Con relación a las puntillas, se hacen los siguientes comentarios.

Únicamente se emplearán para retenidas provisionales, se instalarán en cruz con una inclinación de 60° grados. Primero se instala 1 puntilla en dirección opuesta a la retenida con una inclinación de 60° grados, posteriormente se instalarán dos puntillas en cruz delante de la primera con la misma inclinación. Adicionalmente se instalarán 1 ó 2 puntillas a una distancia de 1.5 m detrás del primer grupo, que servirán de contra. La unión de estos grupos de puntillas se hará con soga de 3/4" de diámetro, la tensión se hará con un torzal o tortor.

- **Anclas tipo Espárrago, para suelo muy rocoso.**

El sistema de anclas con espárragos correspondiente a elementos mecánicos prefabricados del tipo expansivo, soporta satisfactoriamente los esfuerzos a los que son sometidos en condiciones de servicio, sin embargo la resistencia de estos depende de las condiciones de la roca en su entorno, por lo que es muy importante conocer las características de ésta en el punto de contacto con el ancla, basado en resultados de pruebas realizadas, se ha confirmado que puede utilizarse en el montaje de estructuras de emergencia de forma inmediata, en el caso de las anclas definitivas principalmente, a pesar de tenerse resultados satisfactorios se considera conveniente utilizar el encofrado con mortero lo que después de 24 horas asegura la estabilidad total del sistema de anclaje en roca.

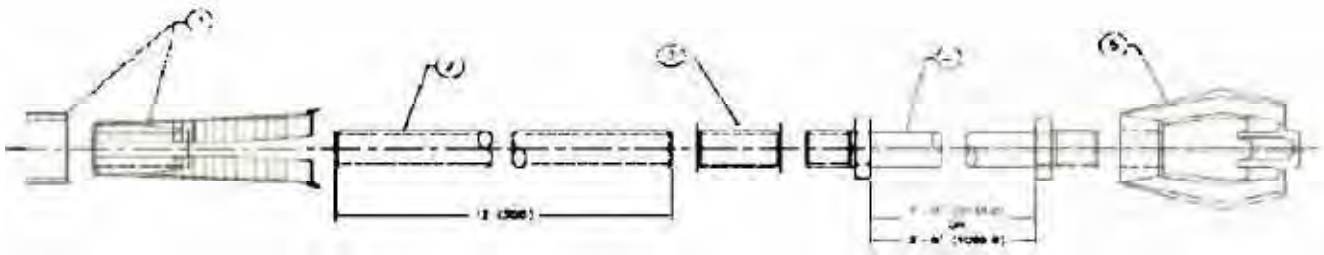


Figura 39. Uso de pernos tipo espárrago para suelo muy rocoso.

- **Anclas tipo Helicoidal, para suelos cohesivos y friccionantes.**

El sistema de anclas helicoidales correspondiente a elementos mecánicos prefabricados, soporta satisfactoriamente los esfuerzos a los que son sometidos en condiciones de servicio, sin embargo la resistencia de estos depende de las condiciones del suelo en su entorno, por lo que es muy importante conocer las características de este en el punto de contacto con el ancla, basado en los resultados de las pruebas, se confirma que puede utilizarse en el montaje de estructuras de emergencia de forma inmediata, en el caso de las anclas definitivas principalmente, a pesar de tenerse resultados satisfactorios se considera conveniente utilizar pesos muertos y/o árboles como manera redundante de seguridad, lo que proporcione la estabilidad total del sistema de anclaje.

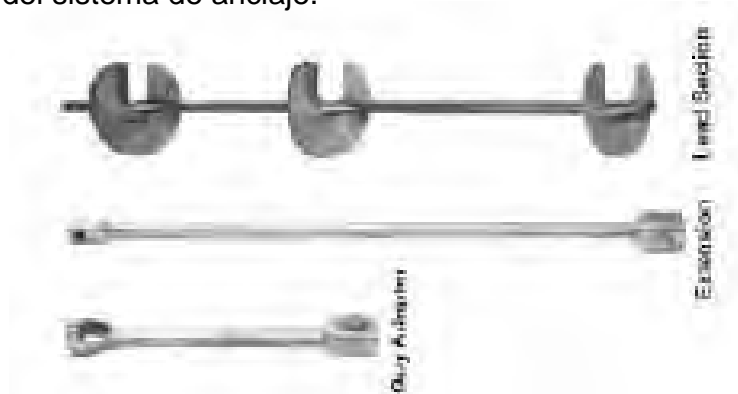


Figura 40. Uso de anclas tipo helicoidal.



2. ANÁLISIS Y METODOLOGÍA EMPLEADA

2.1. PROCEDIMIENTOS DE INGENIERÍA

Dada la importancia de mantener la operación de las diferentes Líneas de Transmisión de energía eléctrica del país, se han buscado alternativas para hacer reparaciones provisionales en forma segura a dichas líneas que sufran colapsos en sus estructuras. Estas reparaciones provisionales no sustituyen las reparaciones definitivas que se tienen que hacer a las líneas, sin embargo, es una práctica común dentro de CFE debido a que los tiempos de restablecimiento son mucho menores.

El restablecimiento de una línea de transmisión dependiendo de las condiciones del sistema puede ser realizado mediante:

- Reparación definitiva, utilizando estructuras del mismo tipo que las colapsadas.
- Reparación temporal, utilizando estructuras modulares de emergencia.

La ventaja de una reparación temporal es que esta puede hacerse en días o semanas dependiendo del número de estructuras colapsadas y del terreno donde se encuentren, en tanto que la reparación definitiva se lleva meses, debido principalmente a la falta de un stock de estructuras y/o al tiempo de fabricación de las mismas.

Por otra parte, las estructuras modulares no requieren una cimentación especial, pueden ser usadas en cualquier nivel de voltaje y como estructuras de suspensión, deflexión y/o tensión; puesto que sus componentes son estandarizados, pueden ser usados combinados entre si para realizar diferentes arreglos y configuraciones.

2.1.1. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL ARREGLO DE LA ESTRUCTURA A EMPLEARSE Y SU UBICACIÓN

Cuando ocurre el colapso de estructuras de una línea de transmisión, lo primero que deberá realizar el ingeniero de campo es recabar la siguiente información en conjunto con el personal a su cargo, para lo cual se deben extremar las medidas de seguridad debido a la inestabilidad en que esta la línea colapsada.

Antes de realizar cualquier cálculo para la determinación del tipo de estructura de emergencia a utilizar para el restablecimiento, debe confirmarse la siguiente información:

- Cantidad de estructuras colapsadas
- Ubicación de las estructuras colapsadas
- Tipo y altura de las estructuras colapsadas
- Numero de conductores por fase
- Calibre de los conductores y daños que presenten
- Claros interpostales



- Tipo de terreno y condición de los predios cercanos a la estructura (para definir el tipo de estructura a instalar).
- Alternativas de espacio para la instalación de la estructura en el eje de la línea y derivación.
- Tipo de vegetación
- Revisión de daños en estructuras adyacentes a las colapsadas para determinar si se requiere la instalación de retenidas auxiliares provisionales.

Otras consideraciones a evaluar:

- Verificar daños y posibles condiciones inseguras en cruces con carreteras, caminos vecinales, circuitos de distribución, ductos de PEMEX y casas habitación (seguridad en general).
- Valoración de caminos de acceso y tipos a las diferentes estructuras (con camionetas, vehículos especiales, helicóptero, caballos, burros, etc.).
- Revisar las estructuras mas próximas que no se colapsaron Verificar cobertura de comunicación VHF y celular
- Ubicar un terreno con accesos para establecerlo como centro de acopio

Con esta información se toma la decisión de restablecer la línea con estructuras modulares de emergencia o si se realiza una reparación definitiva, además de lo que se consense con el CENACE.

Una vez que decidido que se tiene que restablecer la Línea de Transmisión mediante estructuras modulares de emergencia hay que analizar las condiciones de terreno y recabar la información mínima necesaria para la toma de decisiones, ya que de esto dependerá el tipo de estructura a utilizar.

En el siguiente capítulo se abordaran los métodos empleados para realizar el izaje de estructuras de emergencia, haciendo hincapié de que cualquiera de estos que se utilice o la combinación de los mismos dependerá de las condiciones del sitio en que se tengan que realizar los trabajos, por ejemplo, un helicóptero tipo Bell-412 'o EC-145 que a nivel del mar levanta columnas de hasta 1800 kg, en alturas mayores a 2400 msnm no soporta una carga de 800 kg; o también otro ejemplo es que en zona de montaña no se puede izar la columna de la estructura de emergencia con grúas ya sea porque no existen caminos de acceso para que esta llegue o no exista el suficiente espacio para la zona de maniobra que esta requiere.

Situaciones como las antes descritas se comentaran más adelante, en la cual podemos ver los beneficios que presentan unos métodos respecto a otro según el tipo de terreno y condiciones donde se haya colapsado la estructura.



2.1.2. TRAZO PARA UBICACIÓN DE RETENIDAS

Consiste en efectuar los trazos para ubicar las columnas, retenidas provisionales y definitivas que se requiere. Para efectuar el trazo en campo de una manera práctica, se localiza el eje de la línea usando balizas, se saca la perpendicular al eje de la línea, trazando un triángulo rectángulo, tal como se indica en el grafico siguiente. Una vez trazada la perpendicular se marca la distancia donde quedarán las columnas y las retenidas.

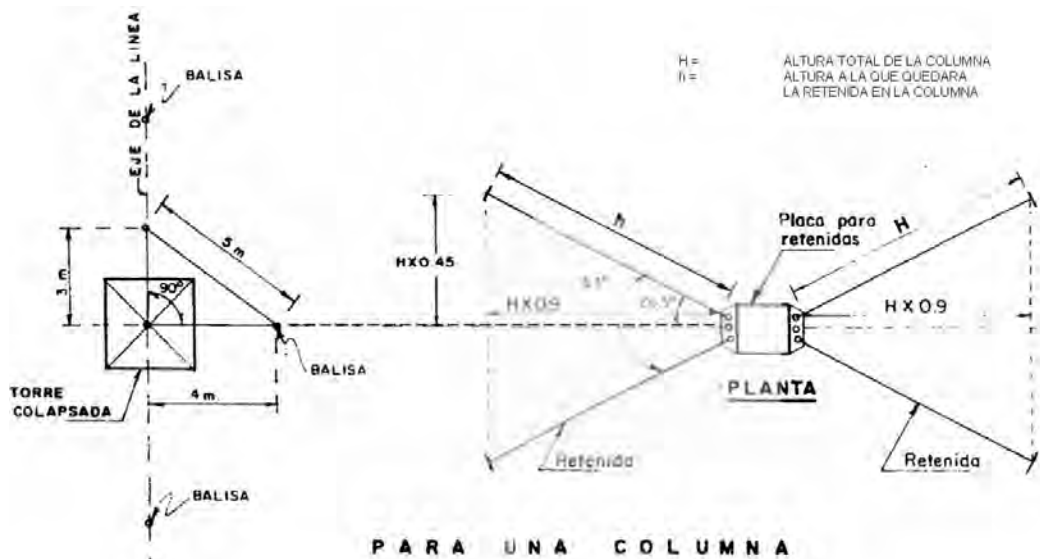


Figura 41, Diagrama de trazo de una columna

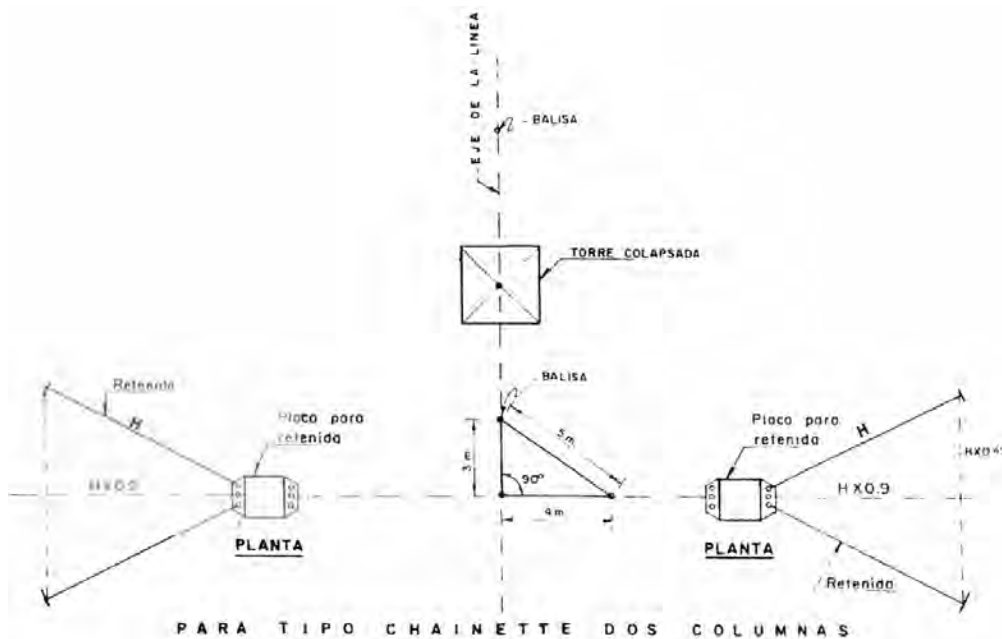


Figura 42. Diagrama de trazo, estructura tipo Chainette



Para terreno ondulado es importante tener el apoyo del personal de Ingeniería civil, para la localización geográfica del punto de desplante de estructuras de emergencia, trazo de retenidas, cálculo de ángulo de deflexión, cálculo del equilibrio geométrico de las retenidas, localización de anclajes y evaluación de las características del suelo para la interacción con los anclajes en el mecanismo suelo-retenida.

Invariablemente, el trazo debe ser realizado y/o validado por el ingeniero encargado del montaje de la estructura.

2.1.3. EVALUACIÓN DEL TERRENO Y SELECCIÓN DEL TIPO DE ANCLAJE PARA RETENIDAS

Consiste en evaluar la capacidad de carga del terreno con objeto de garantizar la confiabilidad de los anclajes, conociendo la tensión que será aplicada a las retenidas, para lo cual fue consultado previamente el programa de análisis de la estructura.

La base es normalmente sentada sobre el terreno y asegurada, usando barras de acero (puntillas) de 1 ¼" de diámetro por 1.5 m de largo.

En la mayoría de los casos, la base es asegurada usando 4 barras de construcción (puntillas), ya que al momento del pivoteo de la columna experimenta fuerzas de deslizamiento en su base. En algunos casos, cuando la columna es levantada en posición horizontal, puede ser necesario anclaje adicional, de tal manera que soporte las cargas del izaje.

Una vez que la base ha sido colocada, la estructura puede ser armada sobre el terreno en una posición horizontal. La primera sección a armar es la articulación, la cual puede rotar 90° grados en cuatro diferentes direcciones, como lo indican las flechas que traen en la base.

Se deberá tener la precaución de armar en los ejes mas bajos de la base articulada donde tiene menor altura del refuerzo (cartagón), lo cual evita el daño en la rótula de la articulación al colocarla en piso sobre todo en maniobras con helicóptero, esto facilita el armado de la columna en piso.

Sobre la articulación se ensamblan los diferentes módulos o secciones de columna, placas de retenidas y secciones de caja, manteniéndola horizontal al piso y nivelándola usando polines en forma de cruz intercalados en las columnas.

Los tornillos usados en las estructuras deberán ser siempre los suministrados por el fabricante, con medidas de 5/8" x 3 ½" de acero con las letras "ERS" grabados sobre la cabeza. Es muy crítico para el propio funcionamiento de las columnas el usar tornillos del tipo estándar, por lo tanto es recomendable no usarlos. Si una columna es sobrecargada, los tornillos "ERS", actúan como fusible y se rompen antes que cualquiera de las uniones de las celosías de cada módulo. En el caso de estar disponibles los tornillos suministrados por el fabricante, se pueden usar los tornillos del grado No. 5 "SAE".



Como una regla general y como ya se mencionó en capítulos anteriores, las secciones de columna de 7 y 14 pies, deberán ser armadas lo más cerca posible a la base, el peso por pie de estas secciones es ligeramente mayor que la sección de 21 pies, manteniendo así el mayor peso en la parte baja.

Las secciones de columna o módulos deberán ser armados de manera que la parte plana de los ángulos de celosía están orientados hacia arriba.

Al instalar los tornillos deberán instalarse con la rosca hacia la base y utilizar una roldana plana y arandela de presión para así evitar dañar la estructura y dar un torque máximo de 70 a 90 lb-pie.

Cada sección de columna tiene 2 pernos, uno en cada extremo; estos pernos se usan para ayudar alinear las 2 secciones o módulos que están siendo armados. Uno de los pernos es más corto que el otro lo cual permite que uno de ellos sea instalado primero, después la sección de columna puede ser rotada en ese mismo perno, hasta que el segundo perno sea colocado.

Las anclas deberán estar enterradas con un ángulo de inclinación de 45° a 55° quedando al descubierto un tramo de 20 a 35 cm del nivel del terreno natural.

Es común también el uso de cable de acero flexible de ½" con grapas mordaza (perro) instaladas en forma alternada, para unir el peso muerto con la retenida.

Es muy importante colocar retenidas en toda la estructura a la misma altura del punto de carga. En algunas circunstancias, tales como en el caso de una estructura de remate, el anclaje de las retenidas deberá soportar la tensión de tendido de uno de los dos claros, de tal forma que mantenga la columna vertical.

Las placas de retenidas tienen seis barrenos ovalados donde las cargas o retenidas definitivas deben ser sujetadas; cada uno de estos puntos soporta una carga máxima de 30,000 libras (13,600 kg). Si la tensión de la retenida excede este valor, empléese dos o más retenidas instaladas en barrenos diferentes para repartir la tensión ya que de lo contrario las perforaciones pueden fallar, éstas invariablemente deberán utilizarse de acuerdo a las indicaciones anteriores, con la finalidad de no someterlas a esfuerzos para los cuales no fueron diseñadas.

2.2. PROCEDIMIENTOS DE IZAJE DE ESTRUCTURAS MODULARES

Dentro de las actividades fundamentales en el restablecimiento de líneas de transmisión con estructuras modulares de emergencia, se encuentra el montaje de dichas estructuras; para ello se cuenta con diferentes métodos de izaje los cuales se deben usar de acuerdo a las características particulares del terreno, experiencia del personal y el equipo con el que se cuenta en el área de la estructura colapsada.

Una vez que se ha determinado el sitio, los materiales requeridos han sido localizados y se ha seleccionado entre los diferentes arreglos de estructuras la que mejor se apegue a las condiciones de restablecimiento, se deberán hacer las corridas de análisis estructural necesarias



utilizando el Software del fabricante para determinar las características de trabajo, que se apeguen a las condiciones reales de campo.

Es importante colocar retenidas en todas las columnas a la misma altura del punto de carga, para evitar doblamiento de la columna y ponga en riesgo su estabilidad.

Las retenidas provisionales, siempre y cuando no estorben no se deben retirar hasta que la estructura esta completamente terminada, es decir que cuente con todo su herraje, conductores y que las retenidas de carga estén trabajando en forma normal.

Después de la colocación de anclas para retenidas provisionales y definitivas que permitan el montaje e izamiento de la columna que forma la estructura de emergencia, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

El personal mínimo necesario para el izaje de una columna es el siguiente:

- 4 personas por retenida para su instalación y vigilancia.
- 3 personas para coordinar los trabajos de izaje.
- 2 personas para malacate (winch) montado sobre UNIMOG o en vehículo especial.

2.2.1. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Para el izaje de las columnas Lindsey y/o Prinex, de cualquier altura, se deberán consultar las restricciones indicadas en las gráficas que se muestran a continuación. Figuras 43, 44 y 45.

Así también se deberá considerar las siguientes medidas de seguridad:

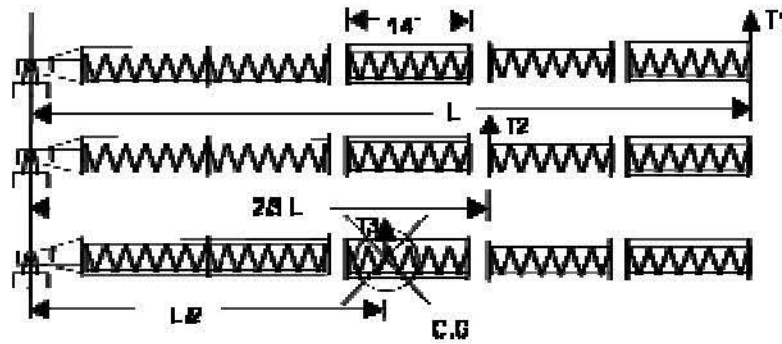
- Se debe utilizar únicamente tornillos ERS de 5/8 X 3 1/2" o su equivalente SAE grado 5.
- Para las retenidas provisionales y permanentes se debe emplear cable de acero galvanizado de 9/16" de diámetro (19 x 7 hilos galvanizado, resistencia al rompimiento de 33700 libras que equivalen a 150 kN y un peso de 0.947 kg/m) respectivamente.
- Por ningún motivo se empleará soga para ventear temporalmente una columna o pluma auxiliar usar siempre cable de acero.
- Instálese siempre retenidas situadas en los puntos donde se aplique una carga sobre la columna.
- Remueva los tensores de la articulación universal una vez que ha sido montada sobre la base de cimentación, excepto cuando se emplee el método de izaje mediante la pluma deslizante, localización del centro de gravedad con la utilización de una grúa.
- No vuelva a instalar los tensores una vez que la columna ha sido montada. Guárdelos en el almacén.



- Se debe mantener siempre tensionadas y vigiladas todas las retenidas durante toda la maniobra.
- Durante el montaje se deberá mantener vertical la columna (plomeada).
- Cuando se monten columnas mayores a 32 m. así como las instaladas en zonas de fuertes vientos, se deberán reforzar con retenidas intermedias. No se debe provocar doblamientos en las columnas por sobretensionar las retenidas intermedias.
- Como los módulos de las estructuras de emergencia son fabricados con aluminio y son muy flexibles, para el izaje completo de una columna, se deberá tomar en cuenta lo indicado en las tablas de este capítulo, donde se muestra las restricciones de distancia de columna de acuerdo al punto de sujeción en el momento del izaje.
- El máximo momento de flexión que la columna puede soportar es de 140 000 pies-libras.
- La carga de ruptura para cualquier barreno de las placas para retenidas (platinas) es de 30,000 libras.
- Las columnas están diseñadas para cargas de compresión y no cargas de doblamiento (flexión). Por lo tanto las cargas en dichas columnas deben ser compensadas con retenidas colocadas a la misma altura de la carga.
- El levantamiento de la articulación universal solamente se deberá hacer en una de las 4 direcciones indicadas por las flechas instaladas en la placa inferior de la articulación. (solo en dos lados de la base articulada puede bajar al piso para el armado de la columna).
- Tomar en cuenta que en algunos centros de reparación se cuenta con bases cuya articulación es esférica para la cual no aplica este punto.
- Use montacargas de cadena para ajustar y tensionar las retenidas de una columna durante el montaje.
- No trate de usar amarres con sogas, las cuales tienen un factor de elongación muy alto y una resistencia a la ruptura muy baja, lo cual representa un alto riesgo para el personal y la estabilidad de la estructura.
- Instale las secciones de columna de tal manera que la parte plana de los ángulos de celosía estén orientadas hacia arriba, esto da seguridad y facilidad al liniero para subir por la columna.
- Siempre y cuando sea posible y no se cuente con módulos de 21 pies y la necesidad lo requiere, instale secciones de columna de 7 y 14 pies debajo de la sección de columna de 21 pies.



LINDSEY ERS - CARGAS DE CONSTRUCCION



COLUMNAS CON CONTRAMOS DE 14' EN LAS FASES CON SELECCION DE CAJA

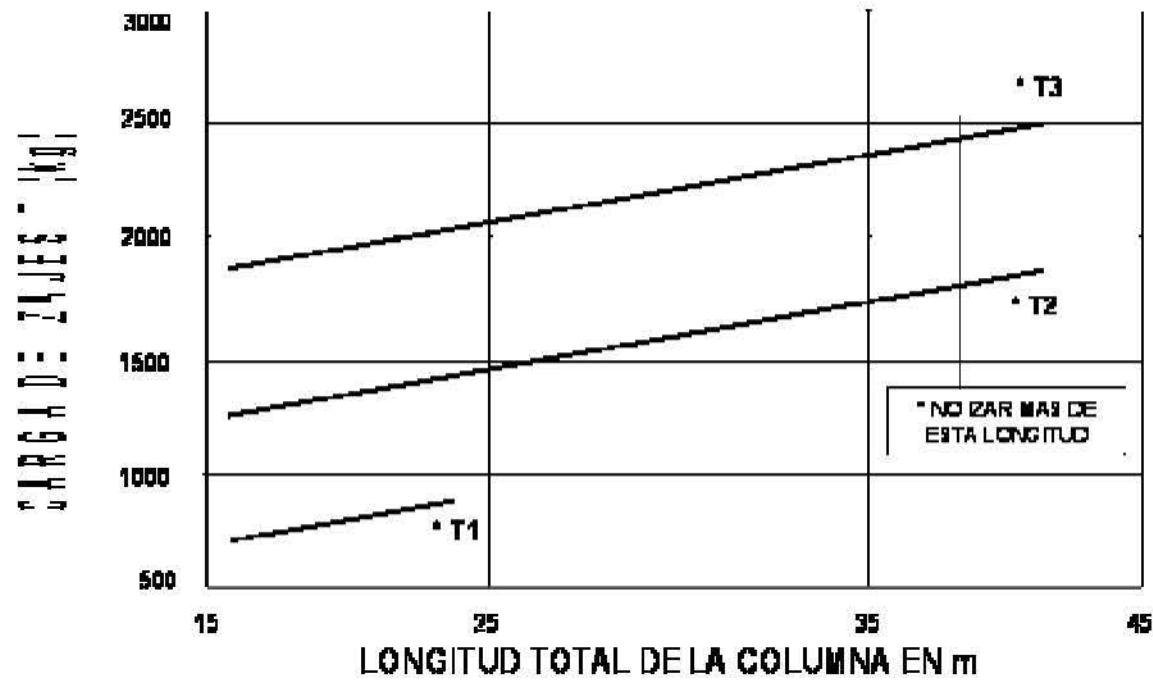
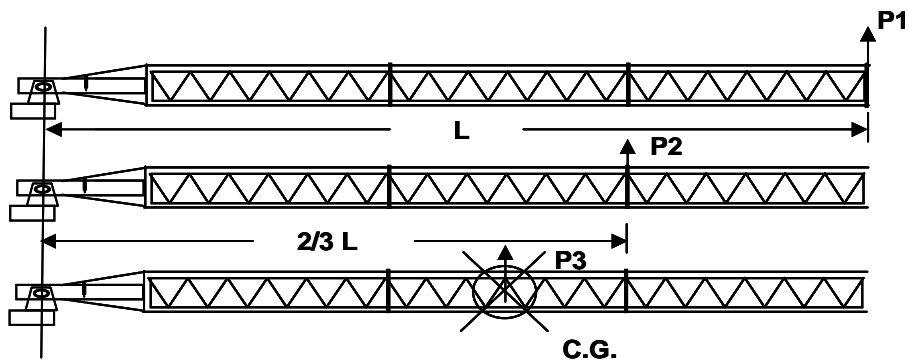


Figura 43. Diagrama de cargas estructuras Lindsey

RESTABLECIMIENTO DE LINEAS DE TRANSMISION POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS

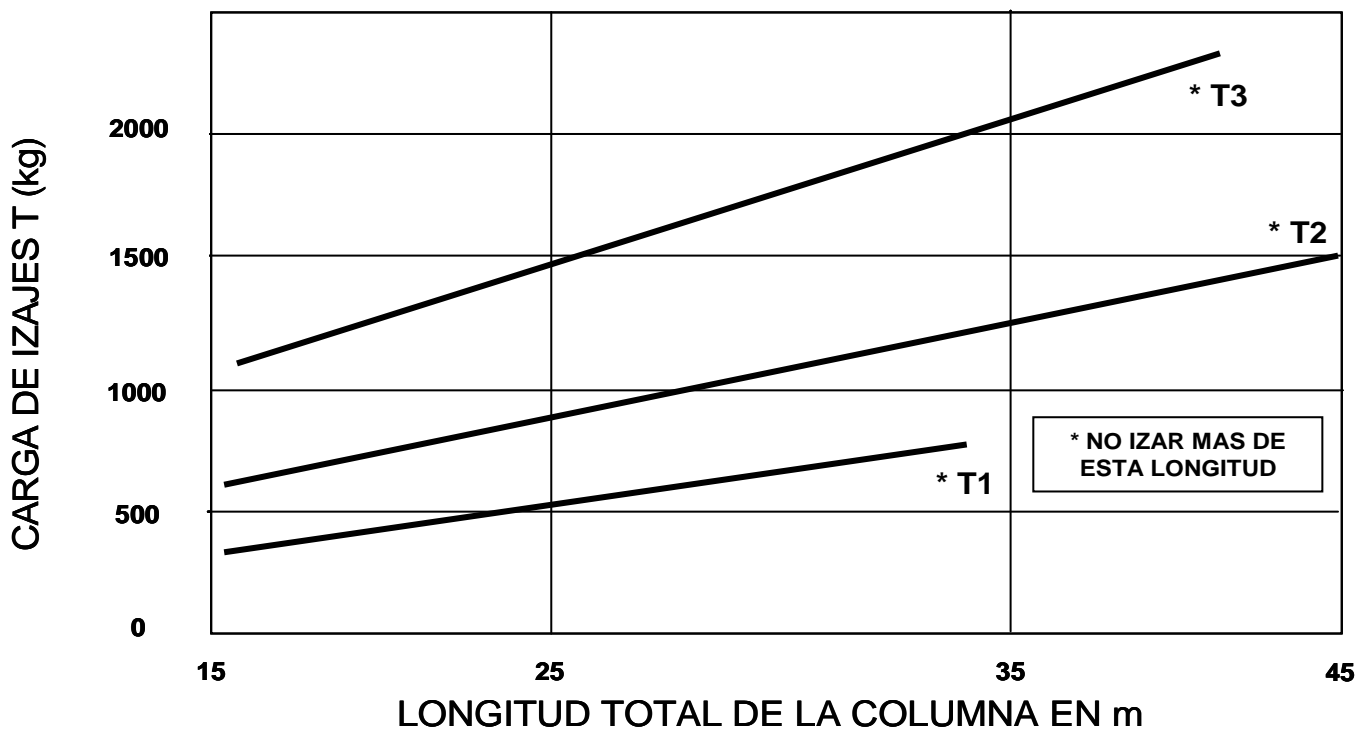


LINDSEY ERS – CARGAS DE CONSTRUCCION



SOLO SECCIONES DE COLUMNA

Figura 44. Diagrama de cargas estructuras Lindsey, solo secciones.



REESTABLECIMIENTO DE LINEAS DE TRANSMISION
POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS



LINDSEY ERS – CARGAS DE CONSTRUCCION

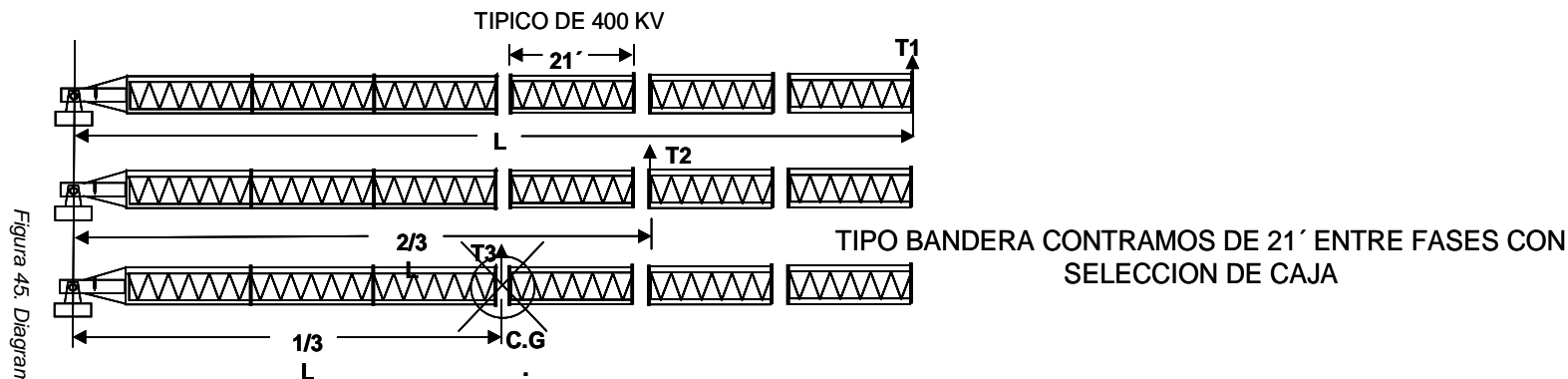
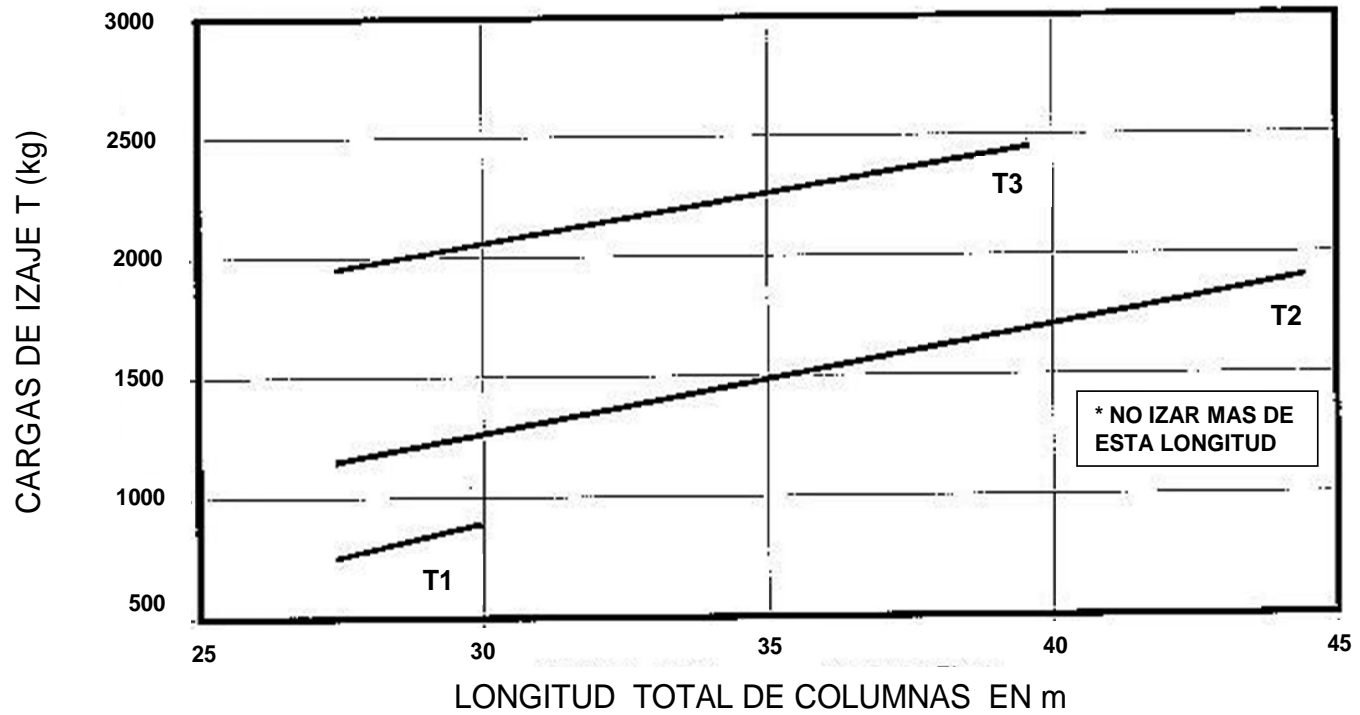


Figura 45. Diagrama de cargas estructuras Lindsey, con cajas de aisladores





- Use su equipo personal de seguridad (ropa de trabajo, botas, casco dieléctrico, cinturón con bandola, gafas, arnés, etc.).
- Regularmente la ubicación de las retenidas forman un círculo imaginario que nos indica la zona de riesgo durante la maniobra de levantamiento de la columna, por tal motivo el personal no debe atravesar dicho perímetro (mientras dura la maniobra).
- Para las maniobras de montaje se deberá contar con comunicación confiable por radio y mediante señales previamente acordadas entre el responsable de la maniobra y el personal ubicado en retenidas, vehículos de maniobra y el personal que participa en la parte superior de la columna.
- La sujeción de las retenidas provisionales a la columna se hará a la placa y ésta deberá estar ubicada en la parte inferior de platina montada. La fijación de la retenida a la placa se hará con un grillete de 3 /4".
- Cuando se utilice helicóptero para las maniobras de levantamiento de columnas se debe apegar al Procedimiento de Izaje de Estructuras Modulares de Emergencia con Helicóptero. Así también se deberá apoyar en las tablas de restricciones de longitud a izar de este capítulo.
- No se recomienda el montaje de módulo por módulo con helicóptero.
- Al desmantelar las estructuras autosoportadas colapsadas tener cuidado con los esfuerzos escondidos en las celosías dobladas.

2.2.2. MÉTODOS DE IZAJE DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA

Existen diferentes métodos de levantamiento de columnas, como son:

- Pivoteada sobre su base con grúa
- Localizando el centro de gravedad de la columna y con grúa
- Pivoteada sobre su base con helicóptero
- Armada en otro sitio, pivoteada y transportada con helicóptero al punto de uso
- Pivoteada sobre su base con pluma en piso
- Pivoteada sobre su base con pluma en la base articulada (Prinex)
- Pivoteada sobre su base articulada con pluma montada en base especial fija (Lindsey)
- Armada con pluma deslizante módulo por módulo (Lindsey)
- Armada con pluma flotante

A continuación se describen los diferentes métodos así como las medidas de seguridad que se deben seguir.



2.2.3. EL MÉTODO DE PIVOTEAR LA COLUMNA SOBRE SU BASE

Consiste en armar la estructura en forma horizontal, para lo cual se deberá tener cuidado en que dicha columna tenga todos los accesorios necesarios antes de proceder a izarla, tales como: platinas, secciones de caja, retenidas provisionales, etc. De acuerdo a las necesidades específicas del uso de la columna y a las restricciones de peso para esta maniobra.

Como estas estructuras se construyen con aluminio, tiene un cierto grado de flexibilidad; esta condición nos limita las longitudes de columna que podemos levantar (izar) pivoteándola sobre su base. Se deberá consultar las tablas contenidas al inicio de este capítulo antes de utilizar este método.

Se debe verificar que los barrenos de las cajas donde se colocarán los aisladores, estén orientados transversalmente a la trayectoria de la línea.

2.2.4. PIVOTEADA SOBRE SU BASE CON GRÚA

Uno de los métodos usados para el montaje de las estructuras, es la grúa. La estructura debe ser armada con la base en el sitio donde se usará en posición horizontal, apoyándola preferentemente sobre polines de madera.

Cuando sea levantada una columna con grúa, deberá ser sujeta aproximadamente a 2/3 partes desde la base de cimentación hacia la punta para poder disminuir el momento de flexión. Se deberá cuidar los límites de izaje según sea el caso, si tiene secciones de caja o únicamente secciones modulares, consultando previamente las tablas contenidas al inicio de este capítulo. Para conocer la carga real que soportará la grúa, se deberá consultar el software proporcionado por el proveedor.

Preferentemente se deberá usar una eslinga para asegurar la columna al gancho de la grúa, en su defecto se podrá usar estobos de acero de 1/2" ó 5/8", instalado abrazando la caja de aisladores y en caso de no contar con esta caja, se colocarán trozos de polines al montante para evitar daños en la misma.

Al iniciarse la maniobra, la columna debe tener colocadas sus retenidas provisionales y pueden ser colocadas también las definitivas (si la capacidad de la grúa lo permite), asegurándolas a la articulación para que una vez que alcance su posición vertical se coloquen en las anclas y poder soltar la columna.

Deberán ser usados montacargas de cadenas de 1½" a 3 toneladas para ajustar las retenidas antes que sea soltada la columna por la grúa. Las retenidas definitivas como provisionales deben ser aseguradas mediante grapas perro y/o remates preformados. El tipo de anclaje dependerá de las condiciones del terreno.

Una vez levantada la columna y aseguradas sus retenidas definitivas y provisionales, se iniciará el vestido de la estructura que dependerá del tipo que se use y colocación de conductores.



Figura 46. Columna pivoteada sobre su base con grúa.

2.2.5. IZAJE DE ESTRUCTURA CON GRÚA, LOCALIZANDO EL CENTRO DE GRAVEDAD (C.G) DE LA COLUMNA

Otro método de izaje de forma segura es utilizando una grúa con cabrestante (malacate) y consiste en localizar el centro de gravedad (C.G) de una columna armada y en el sitio donde será izada. La forma de localización del centro de gravedad se efectúa a través del programa de cálculo Lindsey Modular Emergency Restoration System Pro Spot 5.0.55. Se debe considerar que una columna armada con módulos de otra marca, modifica el centro de gravedad.

Para este izaje se realizan los siguientes pasos:

- Seleccionar la capacidad adecuada de la grúa y la longitud del brazo saliente, para que este último elemento no quede mas corto que la longitud inferior de la columna desde el centro de gravedad.
- Se instala la base de cimentación sobre el sitio previamente localizado donde será izada la estructura modular de emergencia.
- La grúa se posicionará frente a la base de la columna, misma que deberá ser ensamblada en piso procurando que el centro de gravedad este lo mas próximo a la base y por consiguiente al brazo de la grúa.
- Una vez armada la columna deben conservarse instalados los cuatro tensores en la base articulada, lo que permitirá manejar la columna de forma similar a un poste de madera o



concreto hasta llevarla sobre la base fija; para colocar los tornillos deben retirarse previamente los tensores.

- La eslinga o gasa de acero tendrá que ser de un tamaño tal que al levantar la columna permita que la estructura se levante sin estorbarse con la grúa.
- Colocar una eslinga a 70 cm. arriba del centro de gravedad abrazando los cuatro montantes principales de la columna como se indica en la figura 47; así mismo deberán ser colocadas las cuatro retenidas temporales que sostendrán la columna una vez izada.
- El brazo de la grúa deberá ser elevado e iniciar el levantamiento de la columna con el uso del malacate. En este momento dos o tres linieros podrán manipular la columna completa presentando la base articulada sobre la base de cimentación realizando los ajustes necesarios mediante el malacate y el brazo de la grúa.

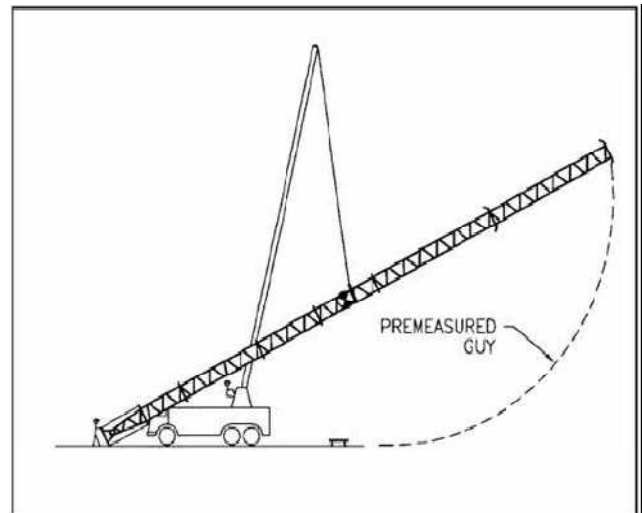
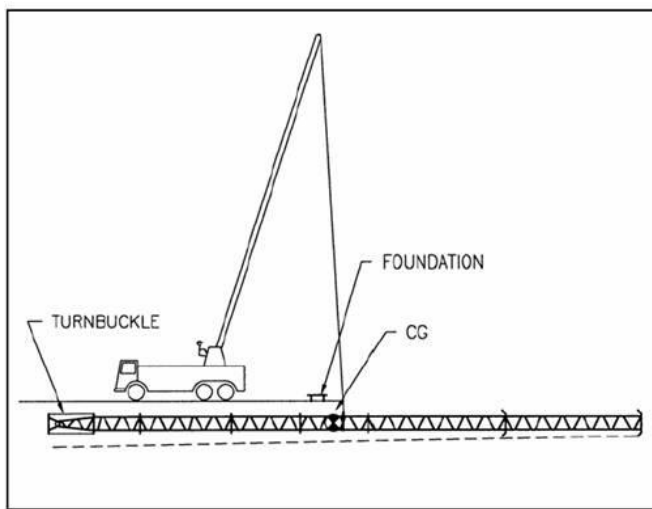


Figura 47. Izaje de columna por el método pivoteada con grúa, centro de gravedad.



RESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS



Se observa la secuencia del montaje de la estructura de emergencia usando el centro de gravedad, haciendo notar que en esta maniobra es utilizada una grúa mas pequeña, que la empleada en el método de pivoteado de la columna sobre su base

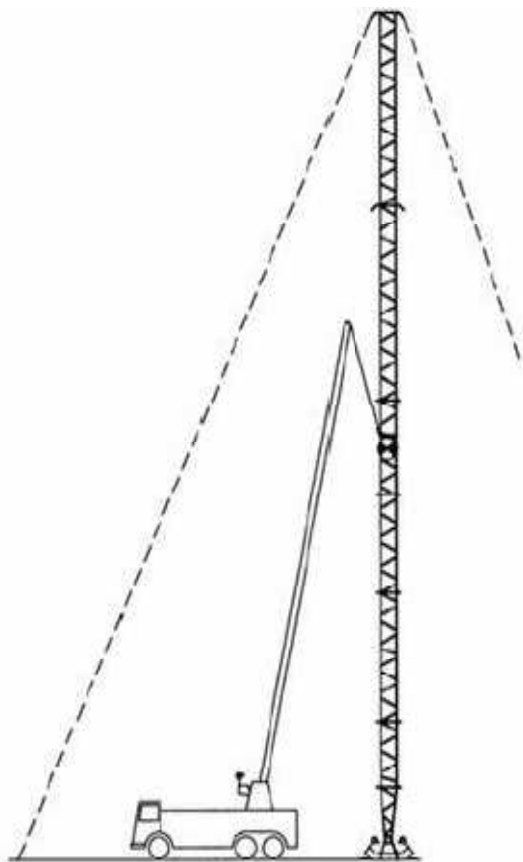


Figura 48. Diagrama y foto del Izaje de columna por el método pivoteada con grúa, centro de gravedad.



2.2.6. PIVOTEADA SOBRE SU BASE CON HELICÓPTERO

Una vez seleccionado el sitio y las características de la columna previamente establecidas por el cálculo, se procede al armado en piso.

Se deberá coordinar con la tripulación y/o con personal de Transportes Aéreos sobre la capacidad de carga del helicóptero asignado, ya que su capacidad de carga depende de la altitud y temperatura del área de trabajos. Así también, se deberán consultar las tablas de restricciones de longitudes de columnas a izar contenidas al inicio de este capítulo.

Previamente colocada la base de cimentación y asegurada, se ensambla la base articulada con todo y tensores. Ya que esté atornillada, se retiran los tensores y se acuesta la articulación. La orientación hacia donde se va a armar la columna, deberá escogerse de manera que facilite la aproximación del helicóptero para el enganche con el estrobo, es decir deberá estar libre de obstáculos (árboles, maleza alta, bardas, etc.).

Es recomendable armar las secciones, calzándolas con durmientes o polines, para facilitar el ensamble, en el cual deberá contemplarse la orientación de los diversos elementos que compondrán la columna seleccionada como placas para retenidas, cajas de aisladores, etc.

Como anteriormente se dijo, se deberá usar retenidas provisionales de cable de acero de 9/16", que deberán ser sujetos en los barrenos centrales de las placas instaladas para retenidas en la parte superior de la columna. Esta sujeción se deberá hacer mediante el uso de grilletes de 3/4", los cables de acero se extenderán en dirección a los cuatro puntos, donde se sujetarán a las anclas.

El anclaje para retenidas provisionales se deberá hacer de acuerdo a lo indicado en la sección de Anclajes y retenidas.

Se recomienda que el estrobo tenga una longitud de 40 m como mínimo y dependiendo del tipo de terreno, usar el recomendado por la tripulación; en el caso que el helicóptero cuente de con gancho remoto, el estrobo de éste deberá tener una longitud de 20 m. La unión del estrobo a la columna se hará con 2 estrobos de 1.5 m, utilizando 2 cáncamos de 3/4" (perno-ojo) y grilletes de 3/4". En el caso de que se use el estrobo de 50 m se deberá tener disponible un destorcedor para uso conjuntamente.

A fin de realizar la maniobra lo más seguro posible de deben tener en cuenta lo siguiente:

- Se debe informar al piloto el peso de la columna a izar para que éste indique si se puede realizar la maniobra.
- Deberá planearse la maniobra con todo el personal y nombrar el coordinador de vuelo, coordinador de tierra, estrobador, guía de columna, guía de estrobo y responsables de retenidas.



- Tener tambos de plástico con combustible en sitio y otros más vacíos, por si hubiera necesidad de quitarle combustible para aligerar su peso. Esta actividad se deberá prever con el personal de la empresa que proporciona el servicio de helicópteros.
- Verificar con un sobrevuelo el área de los trabajos, con esto se evitará los riesgos de obstáculos en el momento de la maniobra; otro aspecto que se puede observar es la cantidad de polvo que se levanta, ya que es peligroso perder la visibilidad en el transcurso de la maniobra.
- El personal deberá contar con casco con barbiquejo, goggles sin ventilación, tapones para los oídos, guantes de piel ajustables. Verificar el buen funcionamiento de los radios antes de iniciar la maniobra y realizar pruebas de comunicación con la tripulación.
- Cuando se requiera bajar la estructura, debe tenerse el cuidado que la columna quede montada sobre un soporte, éste puede ser trozos de postes de madera, sacos de arena o banco fabricado de madera (burrito), para evitar daños en la rótula de la base articulada y/o elementos estructurales.



Figura 49. Columna pivoteada sobre su base con helicóptero.



2.2.7. ARMADA EN OTRO SITIO, PIVOTEADA Y TRANSPORTADA CON HELICÓPTERO AL PUNTO DE USO

El método de armado es similar al de armado en sitio, con las siguientes variantes:

Se arma en un sitio diferente al lugar en donde quedará instalada, esto debido a la dificultad que normalmente se tiene en el sitio en donde se encontraba la columna colapsada (zonas pantanosas o inundadas).

La comunicación entre la tripulación y el personal de tierra, debe ser eficiente y realizar una reunión previa donde se establezcan todas las medidas de seguridad y secuencia de la maniobra.

Antes de enviar la columna, se debe marcar el sitio donde se colocará la base de la estructura para indicar al piloto el lugar exacto de la instalación de la columna.

Los cables de retenidas ya instalados en su platina, se enrollarán y se sujetarán a la base de la columna con sogas, es necesario colocar 4 vientos de 10 m aproximadamente sujetos a la base con cable de polipropileno que servirán al personal para sujetar y guiar la base al punto marcado previamente.

Al bajar la estructura en el lugar indicado, el personal responsable de las retenidas (previamente asignado) tomará los cables y los sujetará en las anclas provisionales y/o definitivas. Una vez que estén sujetas las retenidas provisionales, el helicóptero descenderá un poco aflojando la carga con lo que comprobará que la columna está sujeta y asegurada; comprobando la situación anterior con el coordinador de vuelo que se encuentra en tierra, acto seguido se soltará el estrobo abriendo el gancho de carga o el gancho a control remoto, posteriormente se asegurará la cimentación de la columna.



Figura 50. Armada en otro sitio, pivoteada y transportada con helicóptero al punto de uso.



Figura 51. Armada en otro sitio, pivoteada y transportada con helicóptero al punto de uso.



2.2.8. PIVOTEDA SOBRE SU BASE CON PLUMA EN PISO

Una vez seleccionado el tipo y altura de la estructura, así como el lugar en donde va a instalarse, se procede a colocar las anclas que nos servirán para sujetar tanto las retenidas de montaje como los vientos de la pluma, estas anclas se harán de acuerdo a lo indicado en el capítulo de Anclajes y retenidas.

A la vez que se está armando la columna en posición horizontal, se instala la pluma auxiliar en piso perfectamente venteada. Una vez izada la pluma, misma que cuenta con una polea abierta en el extremo superior, se procede a colocar la maniobra de izaje de la estructura, sujetándola a 2/3 de distancia de la base hacia la punta, para alojar el cable de acero que nos servirá para levantar la columna mediante un winch o tirfor de 6 toneladas. Cuando se tenga la columna a los 80° aproximadamente, se detiene el movimiento de izaje para anclar las retenidas. Acto seguido se plomea la columna utilizando montacargas y posteriormente se retira la pluma con apoyo de la columna ya izada.

Además de las medidas de seguridad generales mencionadas en capítulos anteriores, se deben tomar en cuenta las siguientes:

- Antes de iniciar la maniobra se debe realizar una planeación con todo el personal que intervendrá, para que cada quien sepa su función a realizar.
- Es necesario anclar la base de la pluma auxiliar en forma contraria al “JALÓN” para evitar que ésta se deslice y los vientos de la pluma auxiliar deben de ser de acero y estar tensos, para evitar que esta pierda la vertical.
- Las retenidas laterales deben de estar siempre aseguradas desde el inicio de izaje con tensor y montacargas. Quedando con holgura suficiente para su libre acenso y alineado durante el izaje.

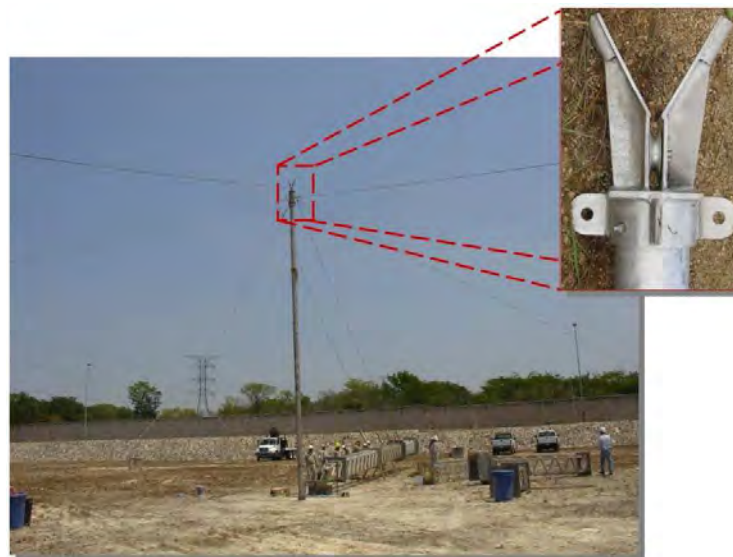


Figura 52. Maniobra para izar la columna, pivotada sobre su base con pluma



2.2.9. PIVOTEDA SOBRE SU BASE CON PLUMA EN LA BASE ARTICULADA

Este procedimiento es parecido al anterior, con la diferencia que la pluma no se instala en el piso sino a la base articulada utilizándose exclusivamente en la base marca Prinex, para lo cual se tomará en cuenta la siguiente secuencia:

- Reemplazar el perno original corto de la base articulada por el perno largo.
- Instalar la zapata o base sobre el perno largo.
- Insertar la pluma en la zapata y en su caso, acomodar el tornillo pasador para asegurar el acoplamiento.
- Instalar aparejo entre la estructura que se encuentra en posición horizontal y una de las orejas de la pluma, lo que servirá para izar la pluma a 90°.
- Se deberá asegurar la pluma con 3 retenidas, para lo que se aprovechará el aparejo hacia la columna (estructura modular) como viento. Esta última servirá únicamente para que la pluma no se golpee en el piso al descender los 45°.
- Izar la pluma teniendo la precaución de que se ubique la guía del winch en la polea abierta estando la pluma en posición horizontal.
- En la columna se instalarán cuatro retenidas para asegurar su verticalidad y las dos laterales deben de estar cada una de ellas siempre aseguradas desde el inicio de izaje con tensor y montacargas. quedando con holgura suficiente para su libre ascenso y alinear la columna en el proceso de izaje.
- La columna se deberá izar hasta los 80° grados aproximadamente y asegurar en ese momento las cuatro retenidas. Posteriormente se procederá a plomear la columna. Acto seguido, se procederá a retirar la pluma de la base articulada, el perno principal utilizado para el izaje, queda instalado en la articulación y se retira la horquilla para su utilización en otra maniobra o almacenaje.



Figura 53. Maniobra para izar columna con pluma en la base



Figura 54. Columna pivoteada sobre su base con pluma en la base articulada

En algunos Centros de Reparación se cuenta con una base Prinex de diferente diseño, para lo cual se deberá realizar la instalación de la pluma a la base articulada de acuerdo a la figura 55.



Figura 55. Variante de base, para la marca Prinex



2.2.10. PIVOTEADA SOBRE SU BASE ARTICULADA CON PLUMA MASTIL MONTADA EN BASE ESPECIAL FIJA (LINDSEY)

Este procedimiento es parecido al procedimiento de **pivoteado sobre su base con pluma en piso**, con la diferencia que la pluma mástil es mas ligera y se instala en su propia base asegurada con dos tornillos directamente a la base fija de la estructura y en el lado opuesto al cual se encuentra tendida la columna. Este método es exclusivo para la marca Lindsey y deberá tomarse en cuenta el peso a levantar y sus límites, apoyados con el programa del fabricante. Para llevar a cabo este procedimiento debe tomarse en cuenta la siguiente secuencia:

- Ensamblar la pluma mástil que viene en dos secciones, esta se encuentra marcada con una numeración que deben coincidir, así como también hacer coincidir los dos barrenos para meter el tornillo de $\frac{3}{4}$ " X 1", que asegura el acoplamiento de las dos secciones de la pluma.
- Quitar los dos tornillos que unen la base articulada con la base fija.
- Instalar la base de la pluma mástil a la base fija de la columna en la parte superior con los dos tornillos que se quitaron.
- Unir la pluma mástil a la base mediante la horquilla, instalando los pernos vertical y horizontal.
- Mediante el uso, preferentemente de un aparejo, izar la pluma, previamente colocadas 8 retenidas en cruz en el extremo superior, mismas que deberán asegurarse a puntos de anclaje una vez que la pluma mástil ha sido izada a 90° (figura 56).
- Una vez izada a 90° y asegurada con sus 8 retenidas, el procedimiento de levantamiento de la columna será de la siguiente manera.
- Ubicar la guía del malacate en la polea abierta de la pluma, asegurándose que el malacate, polea y estructura se encuentren alineados.
- En la columna se instalarán cuatro retenidas para asegurar su verticalidad y las dos laterales deben de estar cada una de ellas siempre aseguradas desde el inicio de izaje con tensor y montacargas. quedando con holgura suficiente para su libre ascenso y alinear la columna en el proceso de izaje.
- Cuando todo está listo, el malacate se pone en funcionamiento y la estructura comienza su ascenso. Se debe observar que la pluma mantenga su ángulo de 90° con respecto a la base. Cuando la estructura alcance una altura elevada, hacer la alineación de la estructura con la polea abierta para cuando el cable salga de esta, no cause movimiento brusco y el ascenso de la estructura continúe. Una vez que la estructura esté aproximadamente a 80°, debe parar el malacate, tensionando retenidas y mediante maniobra hacerla llegar a 90°.



RESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS



Figura 56. Maniobra para izar la columna con pluma mástil montada en la base fija.



2.2.11. ESTRUCTURA ARMADA MODULO POR MODULO CON PLUMA DESLIZANTE LINDSEY R-16289

Existe una variante de pluma de maniobra de la marca Lindsey, la cual tiene un dispositivo para sujetarla a los montantes principales de las secciones de la marca Lindsey a los de la marca Prinex "NO" es posible fijarla.

El izaje de una columna con pluma deslizante, es una de las maniobras con mayor seguridad y versatilidad, ya que permite izarla en cualquier tipo de terreno o cuando por razones técnicas es necesario columnas con una altura mayor a 40 metros, también es recomendable su utilización en áreas donde prevalezcan vientos fuertes o en alturas mayores a 2500 msnm que limitan el uso de helicóptero.

En terrenos que permitan el acceso de maquinaria y que al mismo tiempo no exista espacio suficiente para el armado en piso de la columna, se podrá armar lo que el espacio permita y se ahorrará tiempo si se aprovecha a montar la pluma en la columna mientras se encuentre en piso.

El izaje se hará preferentemente con el malacate, procediendo a poner en posición vertical la columna e instalar sus retenidas provisionales con cable de acero flexible de 9/16" de diámetro. Las retenidas provisionales de la columna deberán ser tensadas y supervisadas permanentemente con 2 personas cada una, para asegurar la estabilidad de la columna y seguridad del personal. Es necesario considerar que al cambio de retenida, la columna invariablemente deberá tener al menos 2 retenidas por cada lado y preferentemente a diferente punto de anclaje, dependiendo de la capacidad de éste.

2.2.11.1. ENSAMBLE DE LA PLUMA DESLIZANTE LINDSEY R-16289

A).- Asegúrese que los componentes de la pluma están completos en sitio como lo indica la siguiente figura 57.

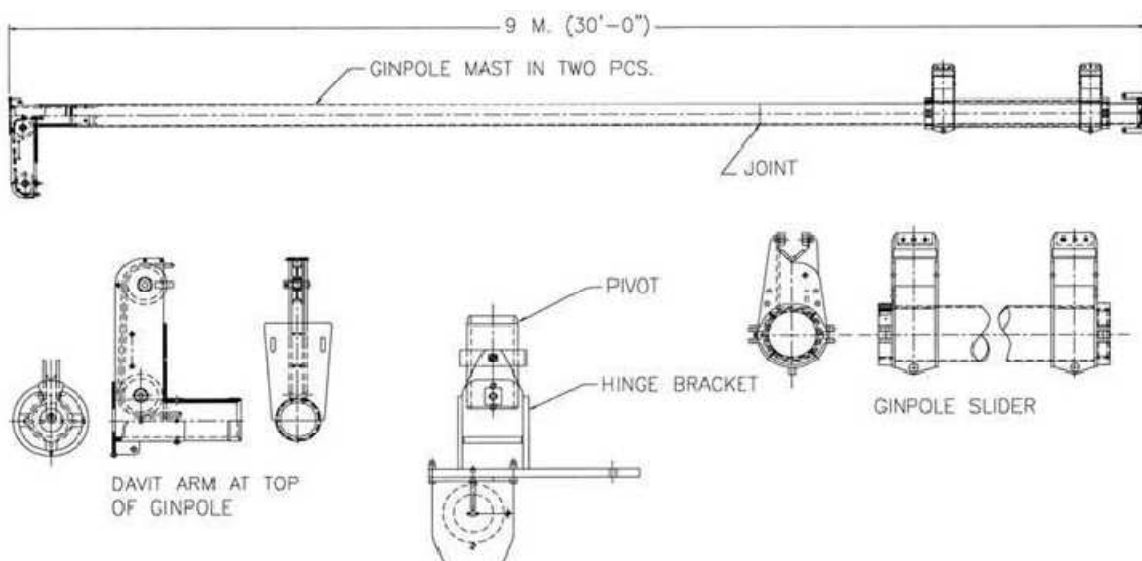


Figura 57. Componentes de la pluma deslizante R-16289



B).- Ensamble la pluma deslizante y coloque las sogas como lo indica la figura 58. Tres sogas deben ser colocadas en la pluma. Estas son: Para levantamiento de carga, levantamiento de tubo guía y levantamiento de mástil deslizante (pluma). Use una guía para pasar la soga de carga a través del interior de la pluma antes de ser ensamblada, asegurándose que se ubique entre la polea y el pasador en la parte superior de la pluma. La soga de carga debe ser colocada antes de que la pluma sea levantada.

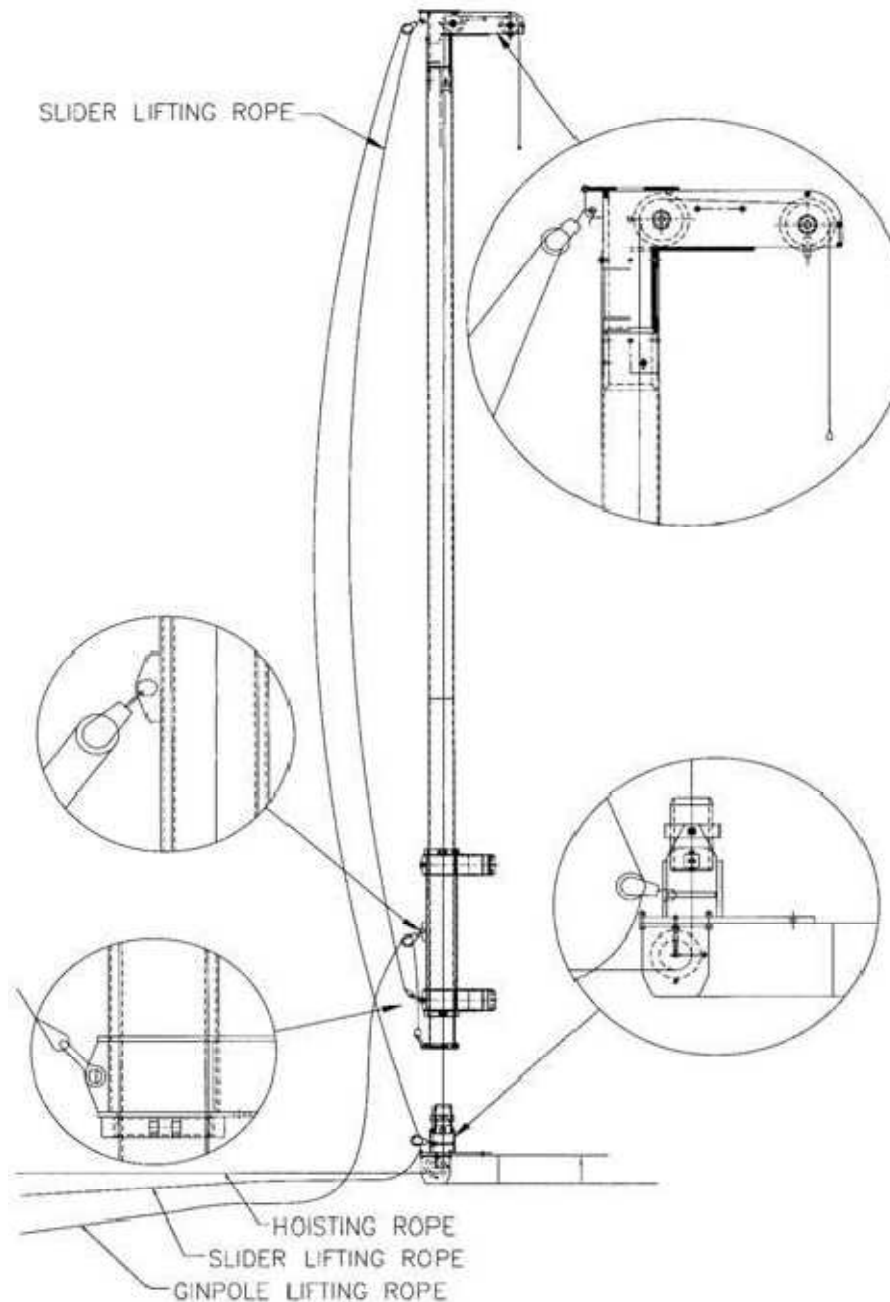


Figura 58. Armado de la pluma deslizante R-16289



C).- Si la pluma no esta aun armada se ensamblará como lo indican las figuras 67 y 69 mostradas abajo.



a) Identifique las dos piezas de la pluma para su ensamble.



b) Asegure la conexión hembra macho, utilice las marcas para su correcto ensamble.



c) Asegúrela usando 4 tornillos Allen



d) Ensamble el gavilán

Figura 59. Secuencia de armado de la pluma deslizando R-16289

2.2.11.2. MONTAJE DE LA PLUMA DESLIZANTE LINDSEY R-16289

A).- Ensamble en una esquina de la base de la columna, la articulación de levantamiento de la pluma, usando los dos orificios para tornillo. Ver Figura 60.

B).- Coloque 4 retenidas provisionales o vientos en el anillo en la parte superior del mástil de la pluma. Ver figura 61 y 62

C).- Extienda cada una de las sogas cerca de sus respectivas anclas.



Figura 60. Ubicacion de la base de la pluma en la base de la columna



- D).- Colocar una polea en la punta del mástil de la pluma y una polea en el mástil deslizante.
- E).- Colocar dos poleas en la base articulada de la columna.
- F).- Disponer de un tirfor de 3 ton para levantar la pluma.
- G).- Colocar el tirfor entre la punta de la pluma y un ancla temporal o permanente
- H).- Levantar la pluma utilizando la guía de acero del tirfor. Coloque dos llaves de cola en dos orificios para tornillo de las esquinas de la columna articulada. Esto mantendrá el cable de izaje durante el levantamiento de la pluma. Ver figura 63.
- I).- Una vez que la pluma ha sido levantada, asegúrela mediante las sogas que fueron colocados entre la parte alta de la pluma y las anclas temporales.

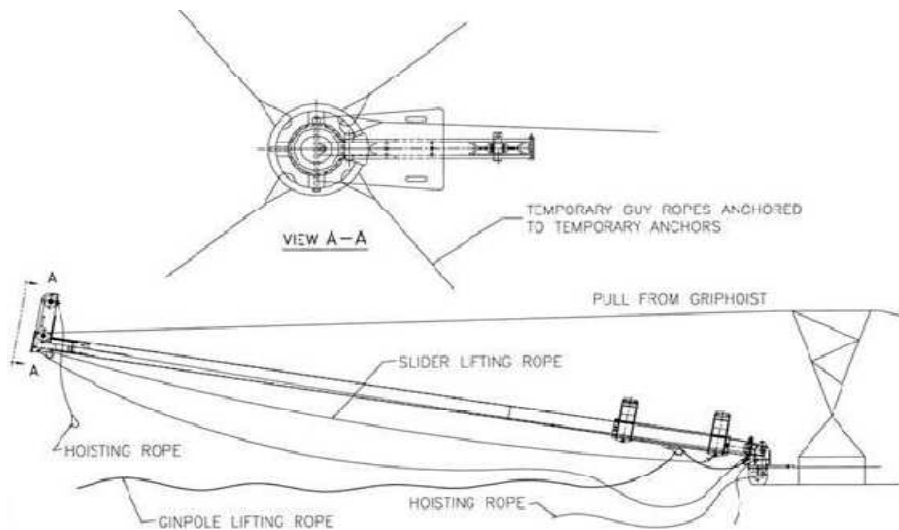


Figura 61. Ubicación de retenidas temporales en la pluma deslizante para realizar su izaje



Figura 62. Ubicación de retenidas para izaje de pluma deslizante



Figura 63. Izaje de la pluma deslizante

2.2.11.3. LEVANTAMIENTO DE LA PRIMERA SECCIÓN DE COLUMNA, ENCIMA DE LA BASE ARTICULADA

- A).- Coloque la primera sección de columna a levantar cerca de la base.
- B).- Sujete la columna a levantar de la parte superior mediante la soga de levantamiento, estrobando de los montantes por la parte interior del módulo, dejando sin holgura el estrobo, de tal forma que el gancho de la polea quede dentro del módulo. Debe ponerse atención que desde que se sujeta el módulo, las celosías estén “aguas abajo”.
- C).- Coloque una persona en cada una de las anclas donde los vientos fueron sujetos. Este personal deberá permanecer en su posición hasta que la primera sección de columna es atornillada sobre la articulada. Verificar la orientación del módulo, de tal manera que las mordazas de la ménsula deslizante, queden lo más cerca posible a la base superior del módulo.
- D).- Utilizando el malacate hidráulico (ver Figura 64), levante la sección de columna hasta colocarla encima de la base articulada. Dos personas deberán colocarse junto al malacate. Una persona deberá operar el control de pedal del malacate y jalar la cuerda a través del mismo. La otra persona deberá operar la unidad de potencia hidráulica, observar el levantamiento y dar instrucciones al operador del malacate. El método de levantamiento de las secciones de columna, podrán realizarse de acuerdo a las disposiciones de equipo y deberán adaptarse a las condiciones del terreno del lugar de la contingencia. (Aparejos, tirfor's, vehículos, malacates eléctricos, etc.).
- E).- Asegúrese de mantener la tensión en la soga hasta que la columna ha sido atornillada en su lugar y las cuatro retenidas provisionales han sido aseguradas y tensionadas apropiadamente.

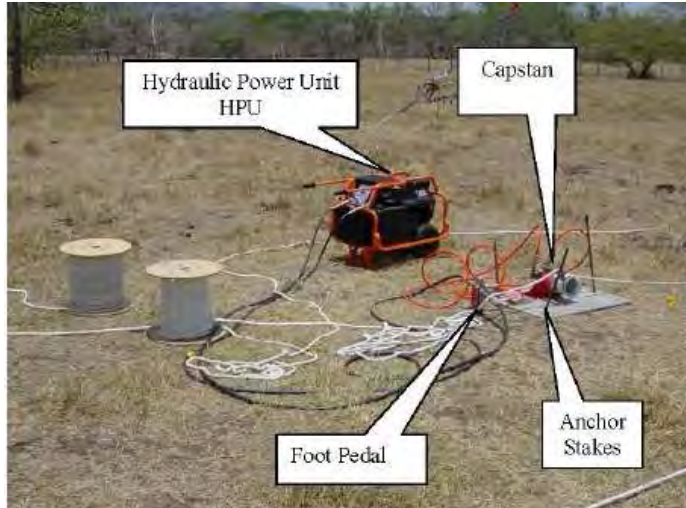


Figura 64. Izaje del primer modulo

F).- Coloque cuatro retenidas provisionales en la parte superior de la columna mediante el uso de montacargas, eslingas y cuatro grilletes sujetos a las eslingas en la parte superior de la columna, ver Figura 65.

Las eslingas deben ir alrededor de uno o más de los ángulos verticales principales de 3"x3"(76mm x 76mm). No ponga las eslingas en los ángulos diagonales de aluminio.



Figura 65. Colocación de retenidas temporales en el primer modulo



Una vez que se tiene el primer modulo asegurado con las retenidas temporales, se realiza la maniobra para instalar el “deslizador” o ménsula de la pluma, ver figura 66, asegurándose esta en la parte superior del modulo, posteriormente se retiran las retenidas de la pluma deslizante y se sube la pluma mediante una maniobra, se asegura con los tornillos de seguridad ubicados en la parte inferior y con esto queda en posición la pluma para poder subir un segundo modulo.



Figura 66. Colocación y aseguramiento del deslizador, para subir la pluma.

En este punto el armado de la columna se vuelve cíclico, es decir, una vez que se tiene armado el segundo modulo se le instalan sus retenidas para asegurarlo, posteriormente se asegura la pluma asentando el gavilán en la parte superior de la columna, asegurando este mediante dos tornillos; en este momento se vuelve a subir el deslizador lo más cercano a la punta de la columna, donde se asegura de acuerdo a lo antes indicado, acto seguido se hace la maniobra para subir nuevamente la pluma asegurándola en su base. Finalmente se hace la maniobra para subir el tercer módulo, se asegura, se ponen sus retenidas y se vuelve iniciar el mismo procedimiento hasta terminar el armado de la columna.

En la figura 67 se muestra parte de este procedimiento de armado de la columna.



Figura 67. Colocación de la pluma deslizando para el armado de módulos

2.3. REGLAS GENERALES PARA LA INSTALACIÓN DE RETENIDAS PROVISIONALES

A fin de mantener la integridad de los linieros y demás personal involucrado en las maniobras de izaje de estructuras de emergencia, se recomienda tomar en cuenta las siguientes reglas de seguridad a fin de evitar un accidente.

- A).- Siempre coloque retenidas provisionales en la parte alta de las dos primeras secciones de columna que están encima de la articulada. Una excepción es cuando la primera sección es de 21 pies y las siguientes tres de 7 pies. En este caso se seguirá la regla inciso "c".
- B).- Cuando Las primeras dos secciones sean de 7 y 14 pies estas se pueden ser colocar encima de la base articulada haciendo una sola maniobra.
- C).- La máxima distancia entre las retenidas provisionales más bajas y las siguientes hacia arriba debe ser menor que la distancia de las retenidas provisionales más bajas al suelo.
- D).- La máxima distancia entre dos grupos de retenidas provisionales es 21 pies.



E).- La regla del inciso “c” reemplaza a la regla del inciso “d”, (cuando aplique).

F).- La máxima distancia entre grupos de retenidas permanentes (una retenida por lado) es 47 pies. Esto se traduce en tres secciones de caja y tres secciones de 14 pies.

G).- Una vez que un grupo de retenidas permanentes son colocadas encima de un grupo de retenidas provisionales, éstas pueden ser retiradas si se requiere.

H).- Cuando se construye una torre de tres fases en disposición vertical y utiliza secciones de 21 pies entre fases, se añadirá una retenida provisional o dejar una retenida permanente aislada en los puntos donde solo se instalan 3 retenidas definitivas. Debe tomarse en cuenta la regla del inciso “d”. Estas no deben retirarse hasta que las tres fases han sido instaladas y enclemadas.

I).- Las retenidas hacia los cuatro lados en un punto deben estar muy cerca verticalmente una de otra. Instálelas separadas como máximo un metro medido verticalmente.

J).- Las retenidas permanentes no son consideradas como terminadas hasta que los preformados han sido instalados correctamente. Una retenida que está siendo sostenida solo por el tensor y montacargas no se considera apropiada para seguir con la construcción de la torre. El tensor y el montacargas pueden dejarse colocados pero un remate preformado debe instalarse. Los remates preformados no tienen porque ser instalados completamente. La última vuelta se puede omitir si se necesita remover para ajustar la torre durante el procedimiento final de tensionado.

2.4. APOYO LOGÍSTICO

Dentro de los factores adicionales importantes que se deben tomar en cuenta durante una contingencia es muy importante establecer un campamento base, el número de campamentos no es limitativo, se debe considerar la magnitud del siniestro, la cantidad de personal y la ubicación de las torres siniestradas, por lo que se buscará su ubicación estratégica y que cuente con las siguientes áreas:

- Puesto de socorro
- Sistema de Comunicaciones
- Centro de acopio
- Suministro de agua y víveres.
- Casas de campaña equipadas para pernoctar.
- Habitación de una Oficina para el desarrollo de Ingeniería.
- Sanitarios móviles.
- Ubicación de helipuertos.
- Servicio mecánico para reparaciones menores.
- Sistema de transporte grupal.
- Servicio de combustible.



PUESTOS DE SOCORRO

Debido a que las maniobras que se realizan durante las contingencias son de alto riesgo, es necesario establecer puestos de socorro, en el campamento base equipado mínimo con 1 Paramédico, 2 Auxiliares con equipo y medicamentos básicos de primeros auxilios y 1 ambulancia.

Así mismo, se buscará instalar otro puesto de socorro en un sitio cercano al lugar donde se realizan las maniobras.

Se deberá tener localizado el hospital más cercano, a donde se trasladará personal accidentado que requieran de una intervención más especializada, en caso de ser trasladado vía aérea, tener localizado un punto de aterrizaje cercano al hospital.

SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Es muy importante nombrar un coordinador de comunicaciones el cual tiene como prioridad resolver la problemática que se presente en el sitio del siniestro para asegurar la comunicación vía radio frecuencia y/o teléfono entre el Coordinador General, Coordinador Técnico, Coordinador Administrativo y las oficinas de la Gerencia Regional de Transmisión y la Subárea.

En la zona de los trabajos apoyar con personal técnico de comunicaciones para:

- Instalar la caseta móvil de comunicaciones.
- Mantener en condiciones de uso los teléfonos satelitales.
- Informar al personal la frecuencia a usar en la zona de los trabajos.
- Enlazar vía radio al coordinador técnico con la Gerencia de Control, Gerencia Regional de Transmisión y Subárea.
- Programar, revisar, cargar y proporcionar los radios portátiles del personal.
- Mantener en condiciones de uso los radios portátiles de aeronavegación.
- Cada grupo (frente de trabajo), deberá tener un sistema de comunicación con frecuencia del centro de acopio y un canal libre para maniobras.
- Al instalar un repetidor deberá ser independiente a los que CFE tenga en las zonas cercanas a la contingencia.

CENTRO DE ACOPIO

Debido a la importancia de contar con los materiales, herramienta y equipos necesarios para restablecer la Línea siniestrada, se ubicará un centro de acopio en los límites del campamento base, el responsable tendrá como función principal:

- El control y resguardo de materiales, herramientas y equipos.
- Solicitar los recursos para asegurar los materiales, herramienta y equipos.



- Mantener actualizada la lista de estructuras modulares de emergencia, herrajes, cables de retenidas, aisladores, herramientas y equipos.
- Informar periódicamente al coordinador técnico de la llegada de estructuras modulares de emergencia, herrajes, cables de retenidas, aisladores, herramientas y equipos.

SUMINISTROS DE AGUA Y VÍVERES

Con la finalidad de que el personal se mantenga realizando los trabajos en buenas condiciones se recomienda y por las experiencias que se tienen que la zona de los siniestros en la mayoría de los casos se encuentran alejados de poblaciones, el suministro constante agua potable y alimentos recientemente elaborados de preferencia en la cocina móvil instalada en el Campamento base.

CASAS DE CAMPAÑA EQUIPADAS PARA PERNOCTAR

Dependiendo de las condiciones de acceso y del tiempo de traslado al lugar donde se ubica el siniestro y la falta de hospedajes adecuados, se determinará el uso de casas de campaña y su kit de descanso individual.

HABILITACIÓN DE UNA OFICINA PARA EL DESARROLLO DE INGENIERÍA

Se requiere de un lugar habilitado con sistema de comunicación efectiva, mesas y sillas de trabajo, material de apoyo didáctico, energía eléctrica, copiadora, impresora, computadoras portátiles.

SANITARIOS MÓVILES

Instalar casetas sanitarias cercanas al área de maniobras por cada frente de trabajo y en el centro de acopio, considerar la limpieza constante de las mismas.

UBICACIÓN DE HELIPUERTOS

Es necesario localizar y marcar un área para el descenso del helicóptero, debidamente señalado y preferentemente instalar un cono de viento o un apoyo visual que indique la dirección del viento.

Las dimensiones y medidas de seguridad para esta área, deberán ser revisadas y aprobadas por la tripulación aérea.



SERVICIO MECÁNICO PARA REPARACIONES MENORES

Este servicio deberá contar con lo mínimo indispensable para reparaciones menores, (pinchaduras de llanta, fallas del sistema eléctrico, sistemas de enfriamiento, reparaciones menores en sistemas hidráulicos de grúas, sistemas de embrague, mantenimientos preventivos menores, servicio de grúa).

SISTEMA DE TRANSPORTE GRUPAL

Con la finalidad de evitar riesgos al personal por traslados al punto de descanso después de la jornada de labores, es necesaria la contratación de servicios de transporte de personal, la medida de este servicio dependerá del número de trabajadores, tiempo de la contingencia y condiciones de acceso al área de trabajo.

SERVICIO DE COMBUSTIBLE

Para evitar traslados innecesarios de vehículos hasta la estación de servicio (gasolina) mas cercana y tiempos muertos, es necesario contar en el centro de acopio con un puesto de abastecimiento de combustible, este debe estar equipado con el control de medición adecuado y personal asignado para despacho.

Para este servicio, deben extremarse todas las medidas de seguridad y del medio ambiente requeridas.



3. PARTICIPACIÓN PROFESIONAL

En las siguientes páginas se abordaran tres casos en los cuales fui participe de los trabajos de restablecimiento de las Líneas de Transmisión de 400 kV en las cuales hubo colapso de estructuras, dichos casos son:

- Restablecimiento de la L.T. Topilejo - A3510 - San Bernabé por colapso de las estructuras No. 45, 48, 49 y 50, ocurrida el 02 de enero de 2008 debido al frente frío No. 18 que azoto el centro del país, en particular la zona del cerro del Ajusco, ubicado en el D.F.
- Restablecimiento de la L.T. Lázaro Cárdenas – A3010 – Donato Guerra por colapso de la estructura No. 495 y daño en trabes de estructuras adyacentes, ocurrida el 29 de julio de 2010 debido a los fuertes vientos (tornado) que azotaron la región montañosa del Estado de México.
- Restablecimiento de la L.T. San Lorenzo Potencia – A3960 – Texcoco por colapso de las estructura No. 63 y 64, ocurrida el 19 de diciembre de 2010 debido a la explosión de un oleoducto de Pemex en las afueras de la ciudad de San Martín Texmelucan, Estado de Puebla.

3.1 CASO I. RESTABLECIMIENTO DE LA L.T. TOPILEJO - A3510 - SAN BERNABÉ

3.1.1. ANTECEDENTES

CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA

La Línea de Transmisión Topilejo – A3510 – San Bernabé, forma parte del doble anillo de 400 kV que suministran de energía eléctrica al Distrito Federal y Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Esta línea esta formada por 65 estructuras y tiene una longitud de 28.1 km, compuesta de dos conductores por fase de cable ACSR calibre 1113 kcm y un hilo de guarda de cable de acero calibre 3/8".

La línea esta suspendida de torres autosoportadas de doble circuito en disposición vertical, siendo el otro circuito el correspondiente a la L.T. Topilejo – A3520 – San Bernabé.

Como se menciona, únicamente se restableció la L.T. Topilejo – A3510 – San Bernabé, ya que el otro circuito quedo fuera de servicio hasta que se realizo la reparación definitiva, como se comentará más adelante.



Estas líneas eran operadas en su momento por Luz y Fuerza, razón por la cual fue necesario establecer un convenio de colaboración entre las dos empresas a fin de poder realizar el restablecimiento de la línea con personal de CFE.

FALLA DE LA LÍNEA

El día 2 de enero de 2008 se presentan fallas en las líneas de transmisión: Topilejo-A3510/A3520- San Bernabé, con los siguientes horarios y secuencia de eventos:

- A las 02:30 horas, dispara la L.T. TOP-A3520-BRN operando las protecciones:
85L, zona 1, fase "C" a tierra
Sel 321, zona 1, fase "C" a tierra
67 N

Localizador de fallas a 20.49 km de S.E. TOP, al momento del disparo se tenía una carga de 26 MW. Se realiza un intento de cierre y este es negativo.

- A las 03:14 horas, dispara la L.T. TOP-A3510-BRN operando las protecciones:
85L, zona 1, fase "C" a tierra
Sel 321, zona 1, fase "C" a tierra
67 N

Localizador de fallas a 20.19 km, al momento del disparo se tenía una carga de 46 MW, se intenta un recierre de la línea y este también es negativo.

Una vez que personal de Luz y Fuerza realiza la inspección de las líneas para determinar las fallas permanentes en ellas encuentra lo siguiente:

La causa de falla en las líneas es debido al colapso de estructuras No. 45, 48, 49 y 50, además del daño de la cruceta de la fase superior en la estructura No. 46, lo anterior debido a la acumulación de hielo en los conductores, hilo de guarda y propia estructura, esto ocasionado por las nevadas en la zona del Ajusco como producto del frente frío No. 18 que azoto el centro del país, como se puede observar en las siguientes imágenes.



Figura 68. Vista de la T-46 dañada a causa de la nevada en la zona del Ajusco, del lado derecho se puede apreciar el espesor que alcanzó el hielo sobre el hilo de guarda.

3.1.2. UBICACIÓN DE LA FALLA

Una vez que se realizó la inspección de las líneas con estructuras colapsadas, se tiene que la zona donde están colapsadas las 4 estructuras es en la zona del Ajusco.

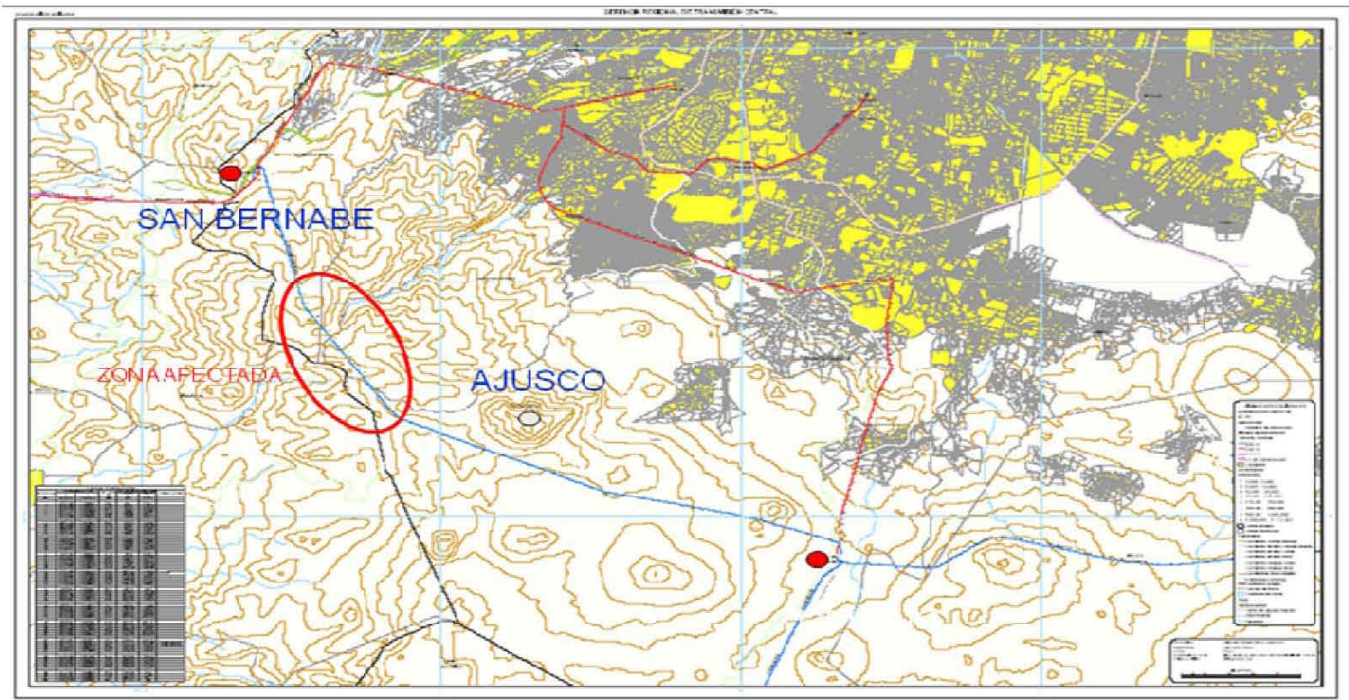


Figura 69. Ubicación de la zona de falla de las LT's TOP-A3510/A3520-BRN



Como podemos observar, la zona de la falla fue en la región del Ajusco, al sur del Distrito Federal, donde existen alturas de los sitios donde se ubican las estructuras colapsadas cercanas a las 3800 msnm.

PERFIL DEL TERRENO NATURAL LT DE 400 KV TOP-A3510-A3520-BRN

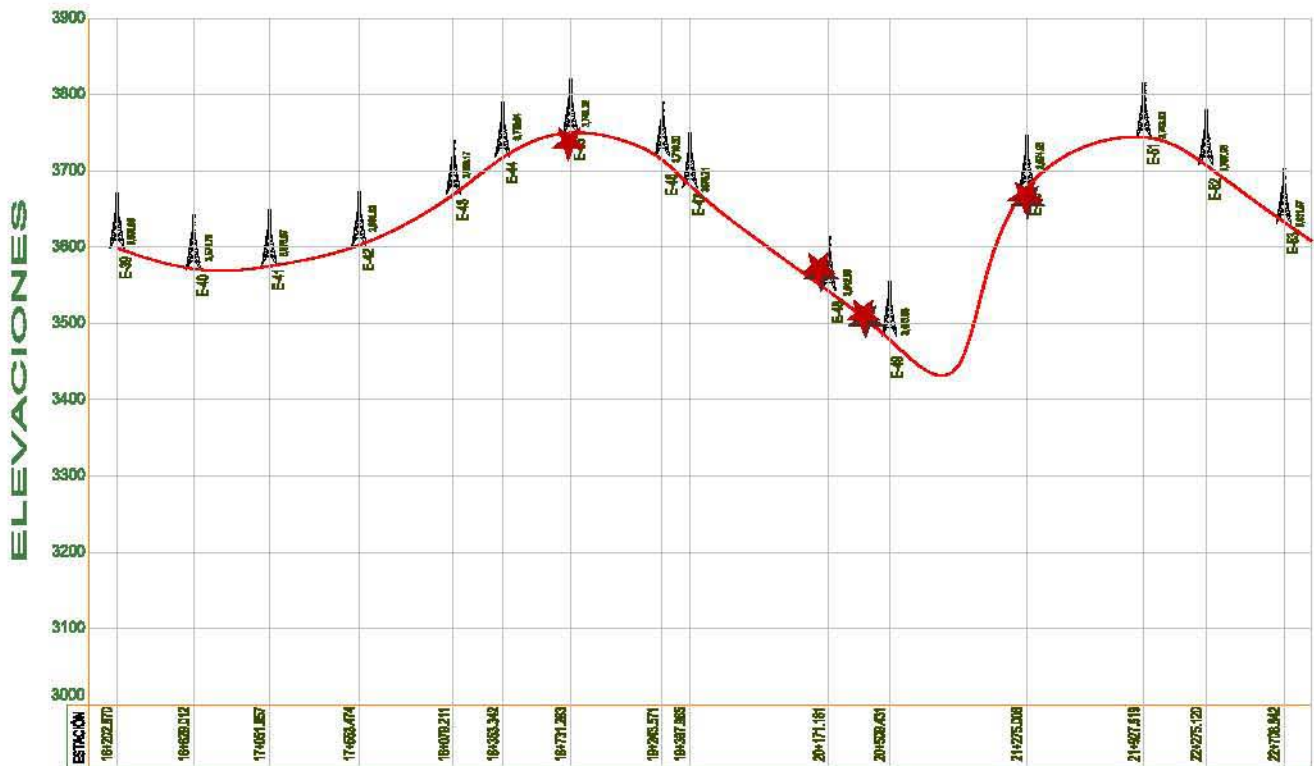


Figura 70. Perfil de las LT's TOP-A3510/A3520-BRN, en la zona de la falla.



3.1.3. VALORACIÓN DE DAÑOS EN LAS LÍNEAS COLAPSADAS

Una vez terminada la inspección de las líneas por personal de Luz y Fuerza para valorar los daños ocurridos en las L.T's TOP-A3510/A3520-BRN, se tiene la siguiente valoración de daños:

ESTRUCTURA	VALORACION DE DAÑOS
45	Daño en cuerpo medio, a la altura de la primera fase de conductor. Requiere sustitución completa de la estructura.
46	Cruceta de hilo de guarda y de la fase superior dañada, esta estructura se puede reparar y habilitar en campo cambiando únicamente los elementos estructurales dañados.
47	En buen estado, algunos elementos estructurales menores (celosías) doblados. Se pueden reparar y habilitar en campo.
48	Daño en cuerpo medio, a la altura de la primera fase de conductor. Requiere sustitución completa de la estructura.
49	Totalmente desprendida de su base. Requiere sustitución completa de la estructura.
50	La mitad de la torre se desprendió y los conductores se encuentran rotos y completamente dañados por la caída de los mismos. Requiere sustitución completa de la estructura.
otros	Los conductores en el claro 48-47 están dañados por la caída únicamente en la corona exterior de aluminio, por lo que estos pueden repararse y habilitarse.

Con esta información y de acuerdo por lo analizado con el CENACE, Luz y Fuerza determino realizar un restablecimiento provisional de al menos una línea, lo anterior debido a que en una falla similar ocurrida el año 2007 les llevo un tiempo de reparación de 6 meses.

Lo acordado con el CENACE fue que se restableciera la línea TOP-A3510-BRN en sus 4 estructuras con daños mayores 45, 48, 49 y 50, se reparara la estructura No. 46 y se tendiera únicamente un conductor por fase ACSR calibre 1113 para esta reparación provisional.

Como mencionamos anteriormente, Luz y Fuerza convino con CFE para que esta fuera la encargada de realizar únicamente el restablecimiento provisional de la línea en cuanto a Obra Electromecánica, el resto de los trabajos serían ejecutados por el personal de LyF.

Por lo anterior, en este informe únicamente mencionare los puntos más relevantes del trabajo desarrollado.



3.1.4. ACTIVIDADES PREVIAS

Los siguientes puntos son las actividades que personal de CFE realizó para obtener la información

- Inspección terrestre.- se realiza levantamiento topográfico del terreno de la trayectoria de las líneas de transmisión dañadas.
- Selección de estructuras.- con apoyo del software, se realizan ensayos considerando diferentes tipos de estructuras de emergencia.
- Derechos de vía.- se cuantifica el área de afectación de los derechos de vía, evaluando los daños en la zona forestal para la instalación de las estructuras de emergencia.
- Ingeniería.- con apoyo de los perfiles topográficos se realiza la ingeniería de
 - Detalle para determinar el tipo y número de estructuras de emergencia a utilizar.
 - Coordinación de aislamiento.- se realiza el estudio de coordinación de aislamiento a fin de obtener la distancia mínima de fuga en aislamiento polimérico, con corrección a una altitud de 3800 msnm.
 - Recursos necesarios.- se definen los recursos humanos, de equipo y materiales necesarios para el restablecimiento de la línea.
- Programa de trabajo.- se propone un programa de ejecución, incluyendo las actividades por frente de trabajo y los suministros de materiales.

3.1.5. INGENIERIA DE DETALLE DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA

Personal de Luz y Fuerza, de la Subdirección de Transmisión (CFE) y de la GRTC (CFE) realizaron la ingeniería de detalle para determinar el número y tipo de estructuras de emergencia a utilizar. Considerando cargas de hielo, cargas de viento, topografía del terreno, derecho de vía, considerando el espacio reducido para dejar libre el sitio para la construcción de la estructura definitiva y los sistemas de anclaje.

3.1.5.1. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA

CARGA DE HIELO Y VIENTO

LyF solicitó a CFE que todas las estructuras a instalar sean diseñadas para una carga de hielo con radio de 3.0 cm, en base a la experiencia vivida y una carga de viento de 686.4 [Pa] (120 km/h).



DERECHO DE VIA Y PODA DE ÁRBOLES

El otro problema que se presentó fue la restricción del derecho de vía, en el se considero espacio suficiente para la construcción de la estructura definitiva; cuidando que los puntos de anclaje no quedaran dentro del área de construcción y considerando que la poda de árboles fuera en forma selectiva y únicamente las zonas de anclaje, ya que esta zona del Ajusco es zona de conservación ecológica para la ciudad de México.

CLAROS VERTICALES

Existen claros muy grandes lo que limito el uso de otras configuraciones de la estructuras modular de emergencia (ERS), como el claro 49-50 que es mayor a 900 metros.

TERRENO DE ANCLAJE

El terreno de anclaje no es un terreno uniforme se encuentra con varias configuraciones, como roca quebradiza, barro y tierra vegetal. Además muy difícil acceso para la entrada de maquinaria para realizar excavaciones.

3.1.5.2. ESTRUCTURAS INSTALADAS

Con la información anterior se realizan varias corridas en el programa de Lindsey del sistema de restablecimiento de emergencia – Prospot 5.0.55, dando como resultado final, después hacer varias correcciones en el proceso de revisión de las condiciones reales de campo, los siguientes esquemas para el armado de las estructuras de emergencia del tipo de remate o deflexión, obteniéndose columnas con una altura máxima de 38 [m].

En las siguientes figuras se observan los arreglos que resultaron después de realizar las corridas antes mencionadas. En estas figuras tenemos diferentes opciones de anclaje, las cuales se aplicaron dependiendo del espacio donde se ubicaron las estructuras de emergencia.

MARCADO DE RETENIDAS

Con el apoyo del personal civil se trazan las retenidas y se realizan los cálculos para obtener el:

- Angulo de deflexión
- Equilibrio geométrico de las retenidas
- Ubicación de las retenidas.

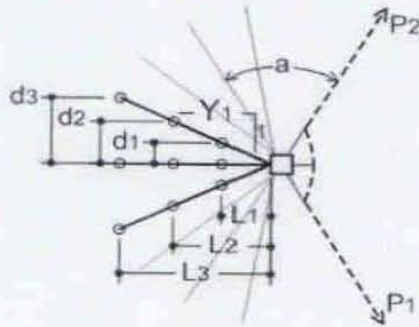


LINDSEY

Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

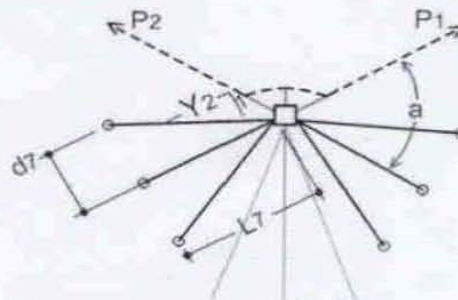
Printed: 01/31/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Dead End - EST 45

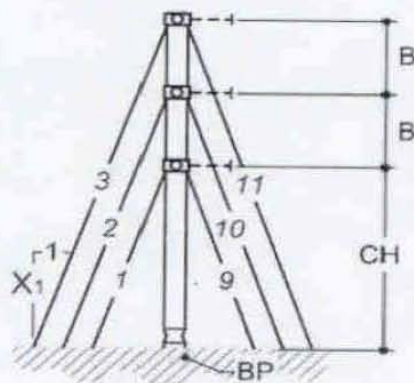


Back Guys
Total Back Anchors - 9 req'd

Plan View

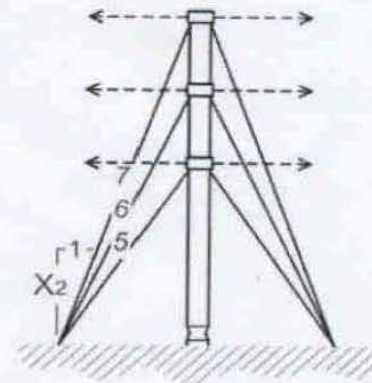


Side Guys
Total Side Anchors - 6 req'd



Back Guys
Conductors Per Phase: 1

Elevation View



Side Guys
Permanent Front Guys Required

a =	19.4 degrees
B =	9.0 m
BP =	106.66 kPa
CH =	21.6 m
d1 =	10.8 m
d2 =	15.3 m
d3 =	19.8 m
d7 =	24.8 m
L1 =	21.6 m
L2 =	30.6 m
L3 =	39.6 m
L7 =	49.5 m
P1 =	Phase In
P2 =	Phase Out
X1 =	1.0
X2 =	0.8
Y1 =	2.00
Y2 =	2.00

Conductor / OHGW Data - ACSR 1113

Cond. Diameter = 3.20 cm
OHGW Diameter = 0.00 cm

Cond. Unit Weight = 1.87 kg/m
OHGW Unit Weight = 0.00 kg/m

Cond. Tension = 5.0 kN
OHGW Tension = 0.0 kN

Loading Data - VIENTOS 120 KM/H

Conductor Wind = 686.4 Pa
Shape Factor = 3.20

Column Wind = 686.4 Pa
OLF Vertical = 1.10

Radial Ice = 3.00 cm
OLF Horizontal = 1.10

Addl. Ecc. = 10.0 cm
OLF Line Tension = 1.10

Wind and Weight Span Data - EST. 45

Allowable Wind Span = 452.5 m

Allowable Weight Span = 470.4 m

Guy Loads (kN)/Lead

Back T1 = 23kN T2 = 20kN T3 = 19kN
Side T5 = 7kN T6 = 5kN T7 = 4kN Total/anchor = 16 kN
Front F9 = 41 kN F10 = 37 kN F11 = 33 kN

(Resolve horizontal front load (F9, F10, F11), above, depending on guy slope)

Figura 71-a. Estructura resultante por el software de Lindsey para restablecer la T-45

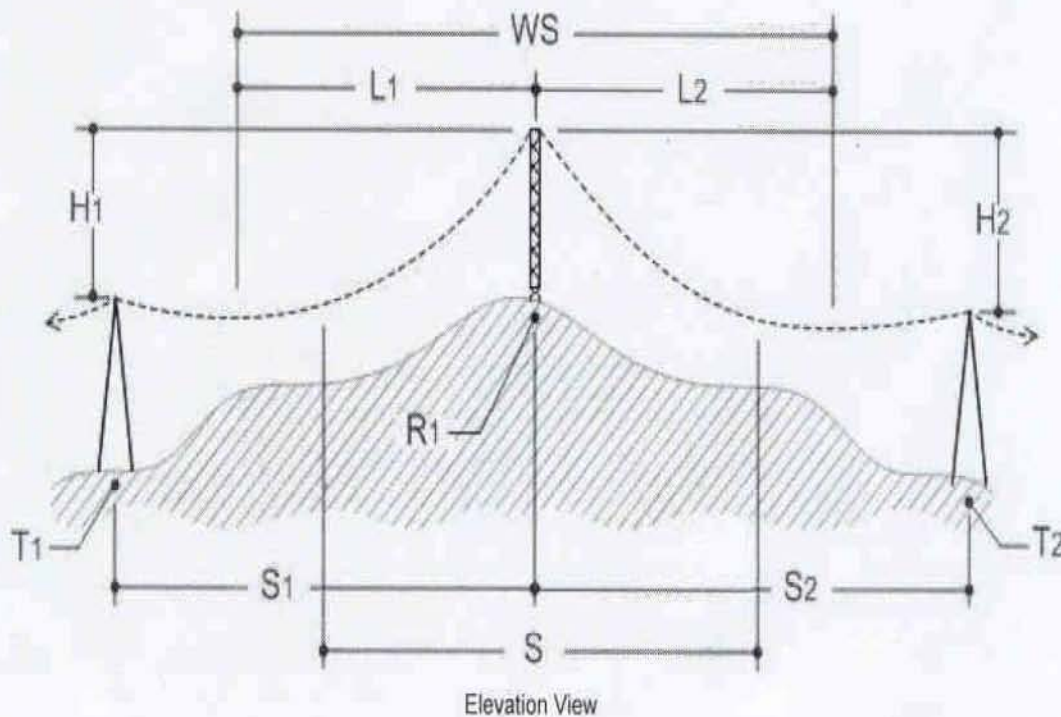


LINDSEY

Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

Printed: 01/21/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Wind/Weight Span Calculation Worksheet -



H1 =	55.0 m
H2 =	56.0 m
L1 =	248.5 m
L2 =	323.5 m
R1 =	ERS Tower
S =	452.5 m
S1 =	352.0 m
S2 =	553.0 m
T1 =	Tower 1
T2 =	Tower 2
WS =	572.0 m

Conductor / OHGW Data = - ACSR 1113

Cond. Diameter = 3.20 cm

Cond. Unit Weight = 1.87 kg/m

Cond. Tension = 33.3 kN

Loading Data - VIENTOS 120 KM/H

Radial Ice = 3.00 cm

Wind/Weight

0.79

Figura 71-b. Resultante de tensión en el conductor para las condiciones de de hielo y viento consideradas en T-45



LINDSEY

Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

Printed: 01/11/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Column Erection Analysis

Description:

Total Weight = 2564.9 kg Total Height = 35.8 m

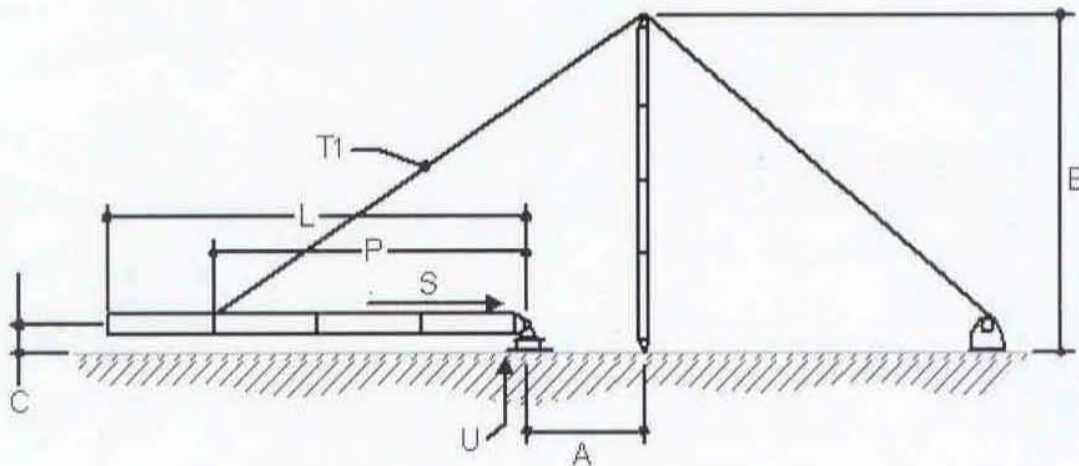
(Total weight includes 3.86 kg/m for guy wires.)

Bottom 1-2-3-5-7-7-5-7-7-6-3-5-7-7-6-3-5-7-7-6 Top

Code	Item	Weight	Height
1	Foundation	249.48 kg	0.30 m
2	Rigid/Gimbal	251.75 kg	2.13 m
3	7 ft column	122.47 kg	2.13 m
4	14 ft column	188.24 kg	4.27 m
5	21 ft column	256.28 kg	6.40 m
6	Box Section	120.20 kg	0.46 m
7	Guy Plate	22.68 kg	0.00 m
8	Small Weight	45.36 kg	0.00 m
9	Large Weight	226.80 kg	0.00 m

Gin Pole (General Case) Tilt-up

Description:



A =	1.0 m
B =	12.0 m
C =	2.0 m
L =	35.1 m
P =	25.6 m
S =	38 kN
T1 =	41 kN
U =	1 kN uplift

Column Bending/Buckling Capacity Utilized = 34.7%

Notes:

1. Side guying is essential during the winching operation. Use steel wire and positive grips, do not attempt to use hand-held ropes. The side guys may need to be let out during the erection process.
2. It is highly recommended that the winch be at least as far away from the foundation as the length of the column.

Figura 71-c. Parámetros a considerar para izar la columna de la T-45

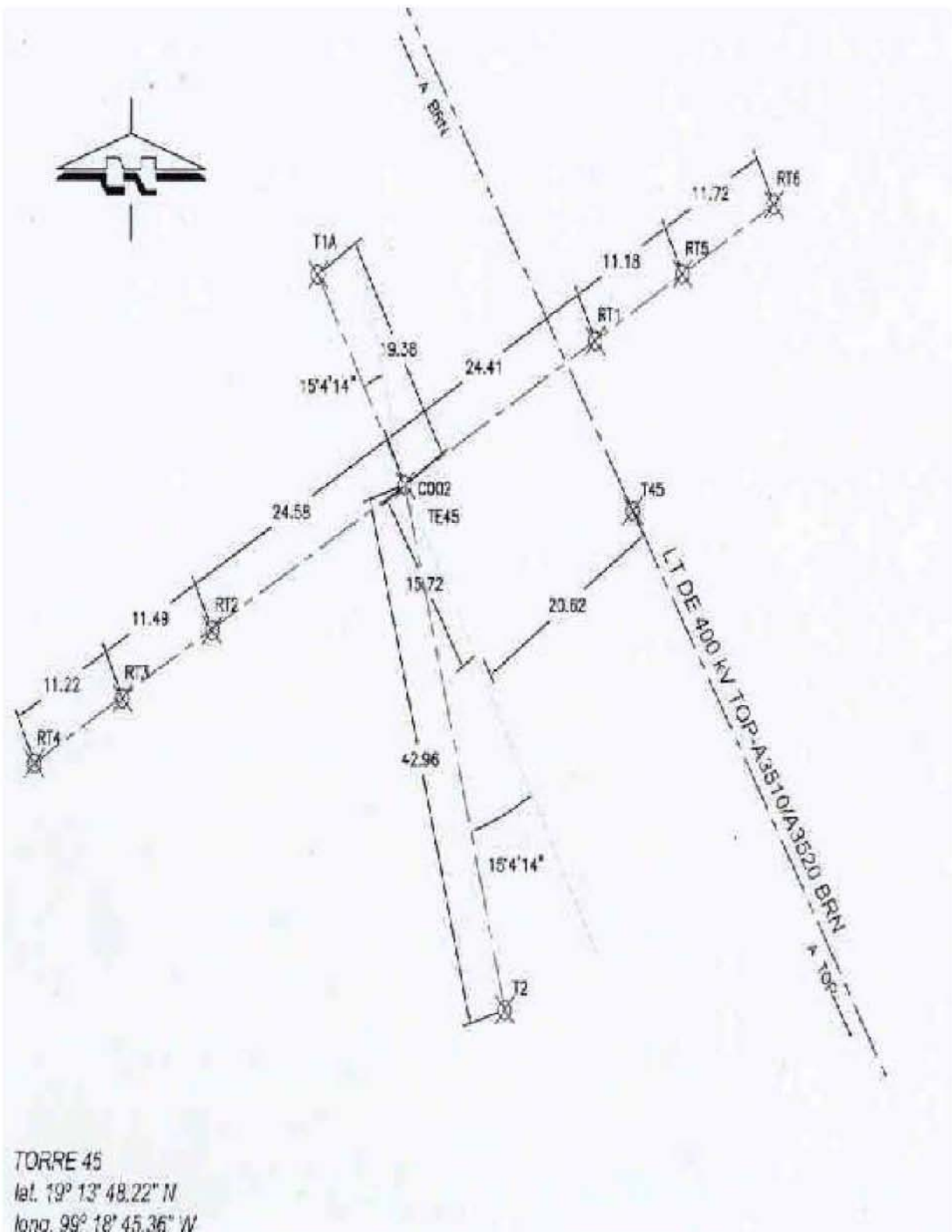


Figura 71-d. Distribución de retenidas para la T-45

ESTRUCTURA No. 48



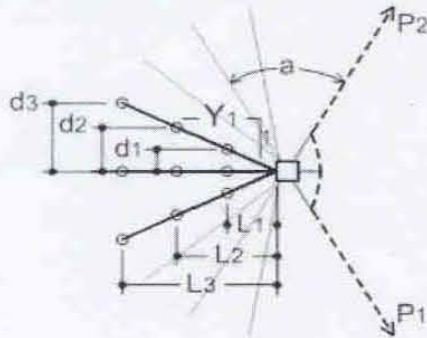
RESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS



Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

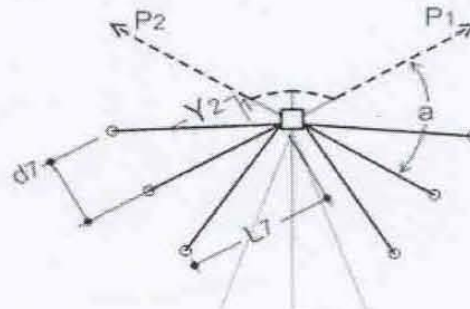
Printed: 01/21/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Dead End - EST 48

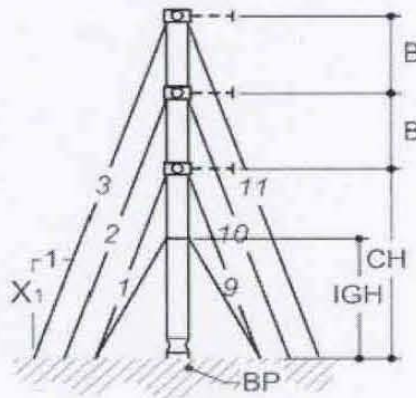


Back Guys
Total Back Anchors - 9 req'd

Plan View

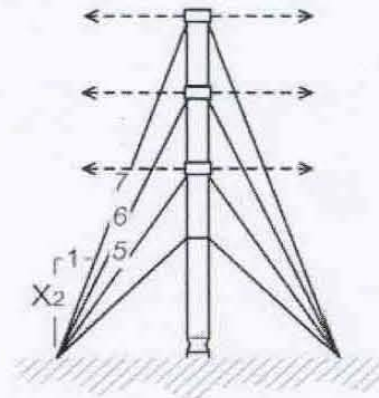


Side Guys
Total Side Anchors - 6 req'd



Back Guys
Conductors Per Phase: 1

Elevation View



Side Guys
Permanent Front Guys Required

a =	1.4 degrees
B =	9.0 m
BP =	111.90 kPa
CH =	17.4 m
d1 =	8.7 m
d2 =	13.2 m
d3 =	17.7 m
d7 =	17.7 m
IGH =	10.97 m
L1 =	17.4 m
L2 =	26.4 m
L3 =	35.4 m
L7 =	35.4 m
P1 =	Phase In
P2 =	Phase Out
X1 =	1.0
X2 =	1.0
Y1 =	2.00
Y2 =	2.00

Conductor / OHGW Data - ACSR 1113

Cond. Diameter = 3.20 cm	Cond. Unit Weight = 1.87 kg/m	Cond. Tension = 33.3 kN
OHGW Diameter = 0.00 cm	OHGW Unit Weight = 0.00 kg/m	OHGW Tension = 0.0 kN

Loading Data - VIENTOS 120 KM/H

Conductor Wind = 686.4 Pa	Column Wind = 686.4 Pa	Radial Ice = 3.00 cm	Addl. Ecc. = 10.0 cm
Shape Factor = 3.20	OLF Vertical = 1.10	OLF Horizontal = 1.10	OLF Line Tension = 1.10

Wind and Weight Span Data - EST 48

Allowable Wind Span = 515.5 m	Allowable Weight Span = 468.6 m
-------------------------------	---------------------------------

Guy Loads (kN)/Lead

Back	T1 = 22kN	T2 = 22kN	T3 = 20kN	Int = 3kN
Side	T5 = 3kN	T6 = 4kN	T7 = 2kN	Int = 3kN
Front	F9 = 41 kN	F10 = 42 kN	F11 = 39 kN	Total/anchor = 11 kN
				F-Int = 7kN

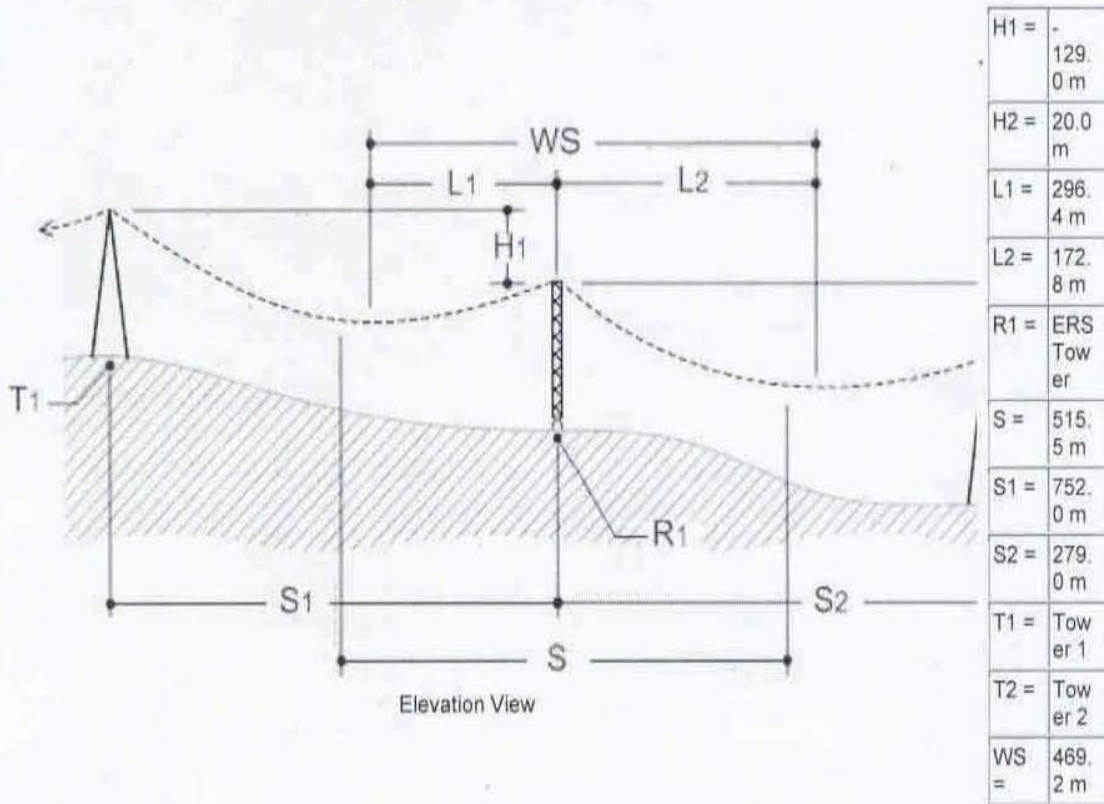
Figura 72-a. Estructura resultante por el software de Lindsey para restablecer la T-48



Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

Printed: 01/17/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Wind/Weight Span Calculation Worksheet -



Conductor / OHGW Data = - ACSR 1113 ASCR

Cond. Diameter = 3.20 cm

Cond. Unit Weight = 1.87 kg/m

Cond. Tension = 33.3 kN

Loading Data - VIENTOS EST 48

Radial Ice = 3.00 cm

Wind/Weight

1.10

Figura 72-b. Resultante de tensión en el conductor para las condiciones de de hielo y viento consideradas en T-48



LINDSEY

Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

Printed: 01/11/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Column Erection Analysis

Description:

Total Weight = 2564.9 kg Total Height = 35.8 m

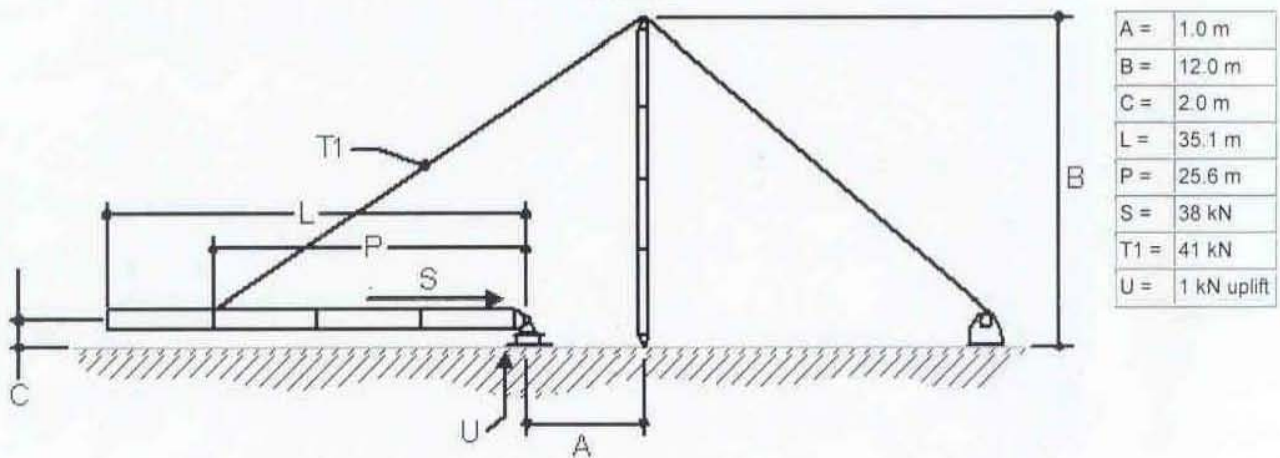
(Total weight includes 3.86 kg/m for guy wires.)

Bottom 1-2-3-5-7-7-5-7-7-6-3-5-7-7-6-3-5-7-7-6 Top

Code	Item	Weight	Height
1	Foundation	249.48 kg	0.30 m
2	Rigid/Gimbal	251.75 kg	2.13 m
3	7 ft column	122.47 kg	2.13 m
4	14 ft column	188.24 kg	4.27 m
5	21 ft column	256.28 kg	6.40 m
6	Box Section	120.20 kg	0.46 m
7	Guy Plate	22.68 kg	0.00 m
8	Small Weight	45.36 kg	0.00 m
9	Large Weight	226.80 kg	0.00 m

Gin Pole (General Case) Tilt-up

Description:



Column Bending/Buckling Capacity Utilized = 34.7%

Notes:

1. Side guying is essential during the winching operation. Use steel wire and positive grips, do not attempt to use hand-held ropes. The side guys may need to be let out during the erection process.
2. It is highly recommended that the winch be at least as far away from the foundation as the length of the column.

Figura 72-c. Parámetros a considerar para izar la columna de la T-48

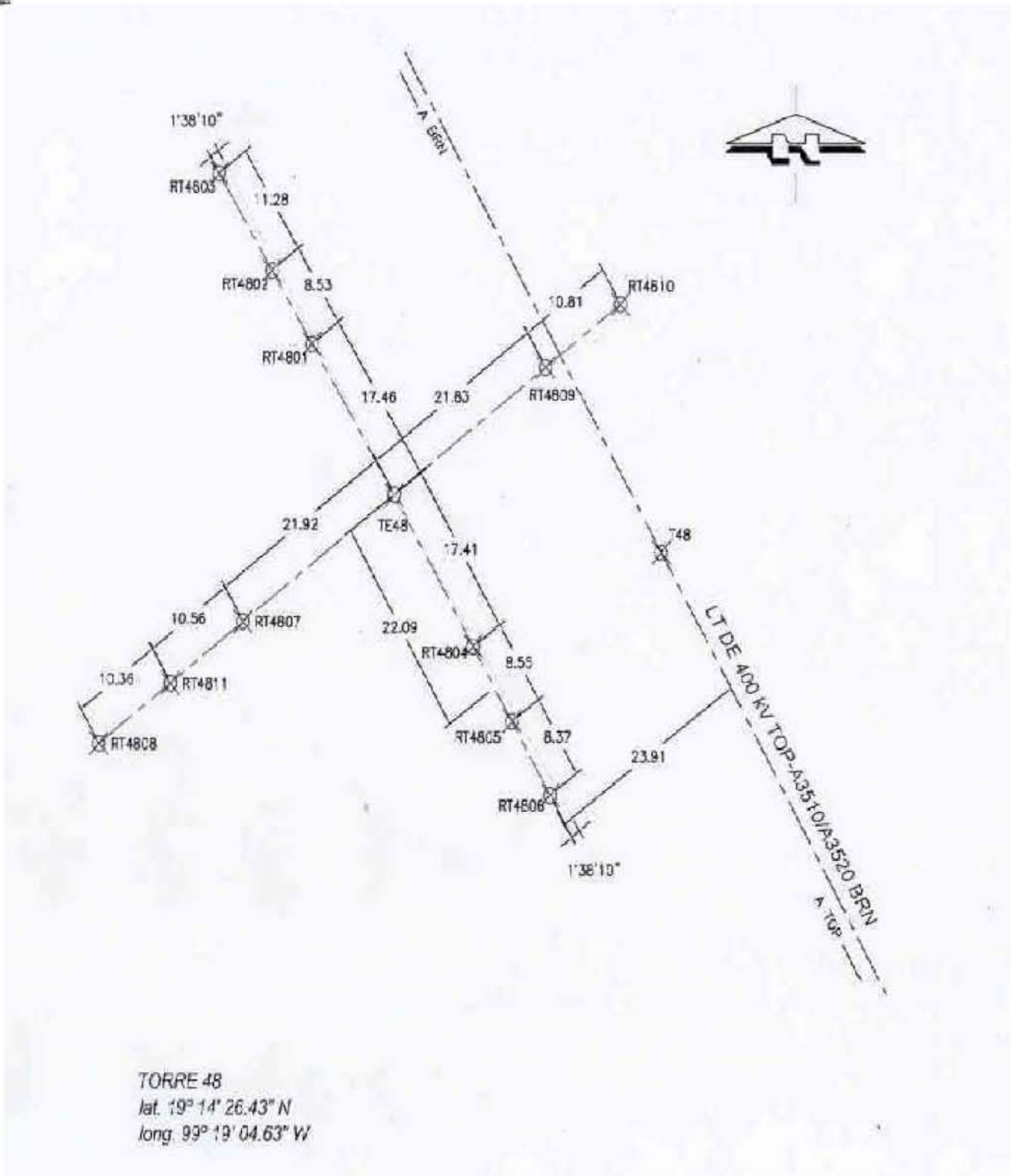


Figura 72-d. Distribución de retenidas para la T-48



ESTRUCTURA No. 49

Dead End - EST 49

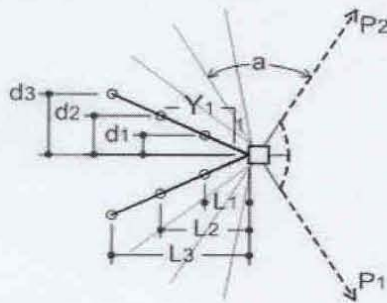
Página 1 de 1



Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

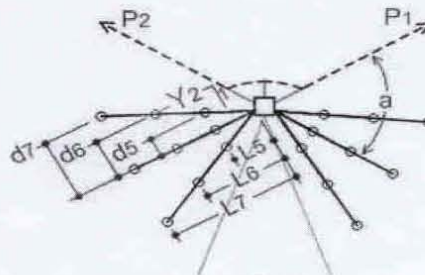
Printed: 01/19/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Dead End - EST 49



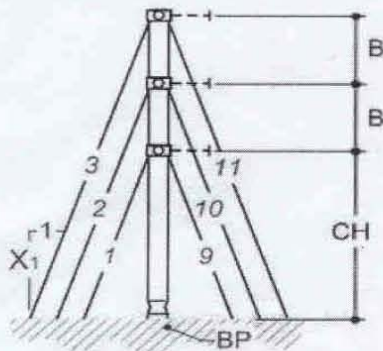
Back Guys
Total Back Anchors - 6 req'd

Plan View



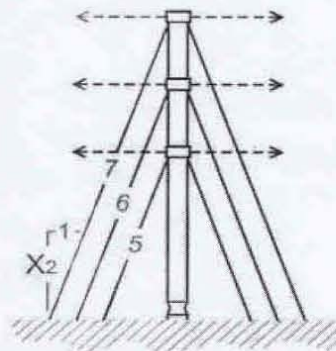
Side Guys
Total Side Anchors - 18 req'd

a =	1.0 degrees
B =	9.0 m
BP =	111.91 kPa
CH =	17.4 m
d1 =	8.7 m
d2 =	13.2 m
d3 =	17.7 m
d5 =	8.7 m
d6 =	13.2 m
d7 =	17.7 m
L1 =	17.4 m
L2 =	26.4 m
L3 =	35.4 m
L5 =	17.4 m
L6 =	26.4 m
L7 =	35.4 m
P1 =	Phase In
P2 =	Phase Out
X1 =	1.0
X2 =	1.0
Y1 =	2.00
Y2 =	2.00



Back Guys
Conductors Per Phase: 1

Elevation View



Side Guys
Permanent Front Guys Required

Conductor / OHGW Data - ACSR 1113

Cond. Diameter = 3.20 cm
OHGW Diameter = 0.00 cm

Cond. Unit Weight = 1.87 kg/m
OHGW Unit Weight = 0.00 kg/m

Cond. Tension = 33.3 kN
OHGW Tension = 0.0 kN

Loading Data - VIENTOS 120 KM/H

Conductor Wind = 686.4 Pa
Shape Factor = 3.20

Column Wind = 686.4 Pa
OLF Vertical = 1.10

Radial Ice = 3.00 cm
OLF Horizontal = 1.10

Addl. Ecc. = 10.0 cm
OLF Line Tension = 1.10

Wind and Weight Span Data - EST 49

Allowable Wind Span = 562.0 m

Allowable Weight Span = 442.5 m

Guy Loads (kN)/Lead

Back T1 = 40kN

T2 = 37kN

T3 = 34kN

Side T5 = 6kN

T6 = 4kN

T7 = 2kN

Front F9 = 49 kN

F10 = 46 kN

F11 = 42 kN

(Resolve horizontal front load (F9, F10, F11), above, depending on guy slope)



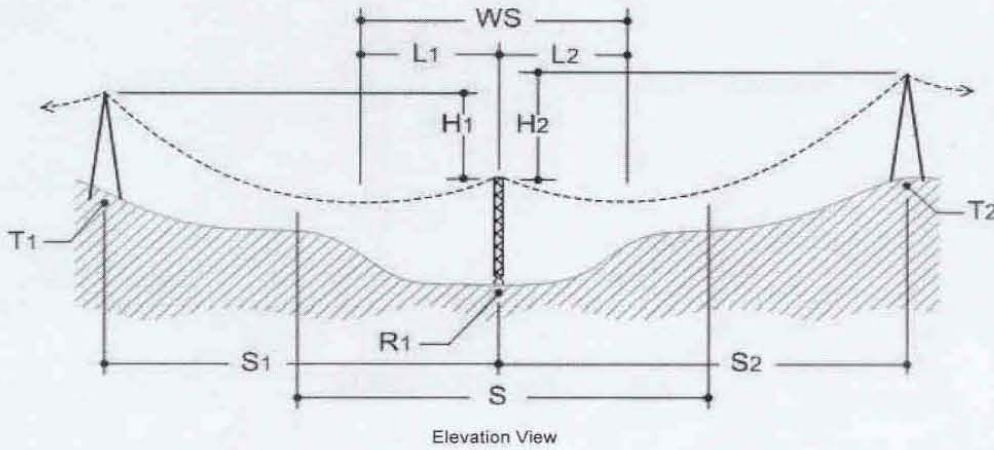
Figura 73-a. Estructura resultante por el software de Lindsey para restablecer la T-49



Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

Printed: 01/19/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Wind/Weight Span Calculation Worksheet -



H1 =	-21.5 m
H2 =	-148.7 m
L1 =	94.2 m
L2 =	349.7 m
R1 =	ERS Tower
S =	562.0 m
S1 =	264.0 m
S2 =	860.0 m
T1 =	Tower 1
T2 =	Tower 2
WS =	444.0 m

Elevation View

Conductor / OHGW Data = - ACSR 1113
Cond. Diameter = 3.20 cm

Cond. Unit Weight = 1.87 kg/m

Cond. Tension = 33.3 kN

Loading Data - VIENTOS 120 KM/H

Radial Ice = 3.00 cm

Wind/Weight

1.27

Figura 73-b. Resultante de tensión en el conductor para las condiciones de de hielo y viento consideradas en T-49



Printed: 01/11/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

Column Erection Analysis

Description:

Total Weight = 2564.9 kg Total Height = 35.8 m

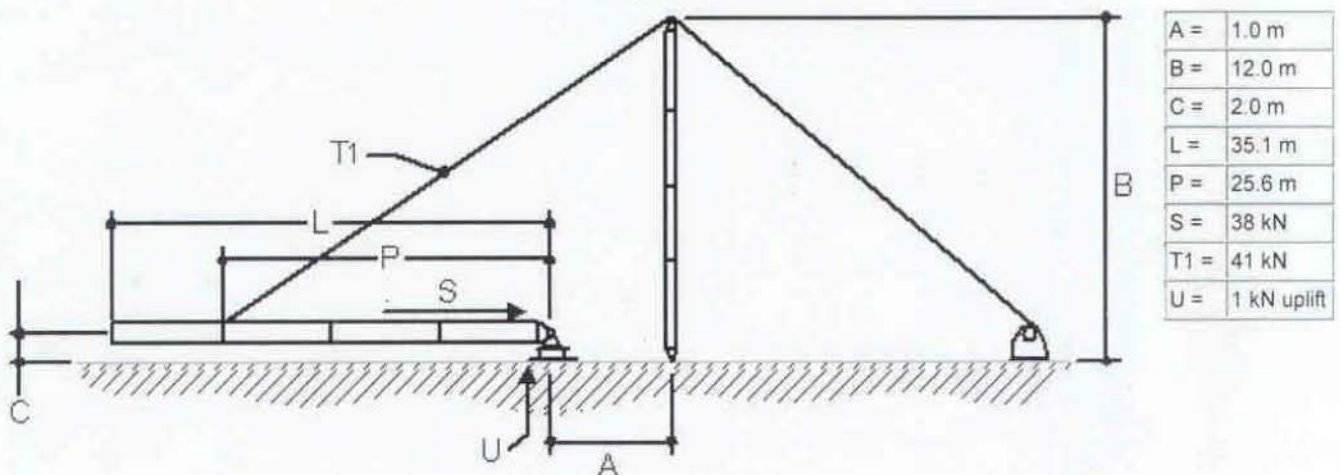
(Total weight includes 3.86 kg/m for guy wires.)

Bottom 1-2-3-5-7-7-5-7-7-6-3-5-7-7-6-3-5-7-7-6 Top

Code	Item	Weight	Height
1	Foundation	249.48 kg	0.30 m
2	Rigid/Gimbal	251.75 kg	2.13 m
3	7 ft column	122.47 kg	2.13 m
4	14 ft column	188.24 kg	4.27 m
5	21 ft column	256.28 kg	6.40 m
6	Box Section	120.20 kg	0.46 m
7	Guy Plate	22.68 kg	0.00 m
8	Small Weight	45.36 kg	0.00 m
9	Large Weight	226.80 kg	0.00 m

Gin Pole (General Case) Tilt-up

Description:



Column Bending/Buckling Capacity Utilized = 34.7%

Notes:

1. Side guying is essential during the winching operation. Use steel wire and positive grips, do not attempt to use hand-held ropes. The side guys may need to be let out during the erection process.
2. It is highly recommended that the winch be at least as far away from the foundation as the length of the column.

Figura 73-c. Parámetros a considerar para izar la columna de la T-49

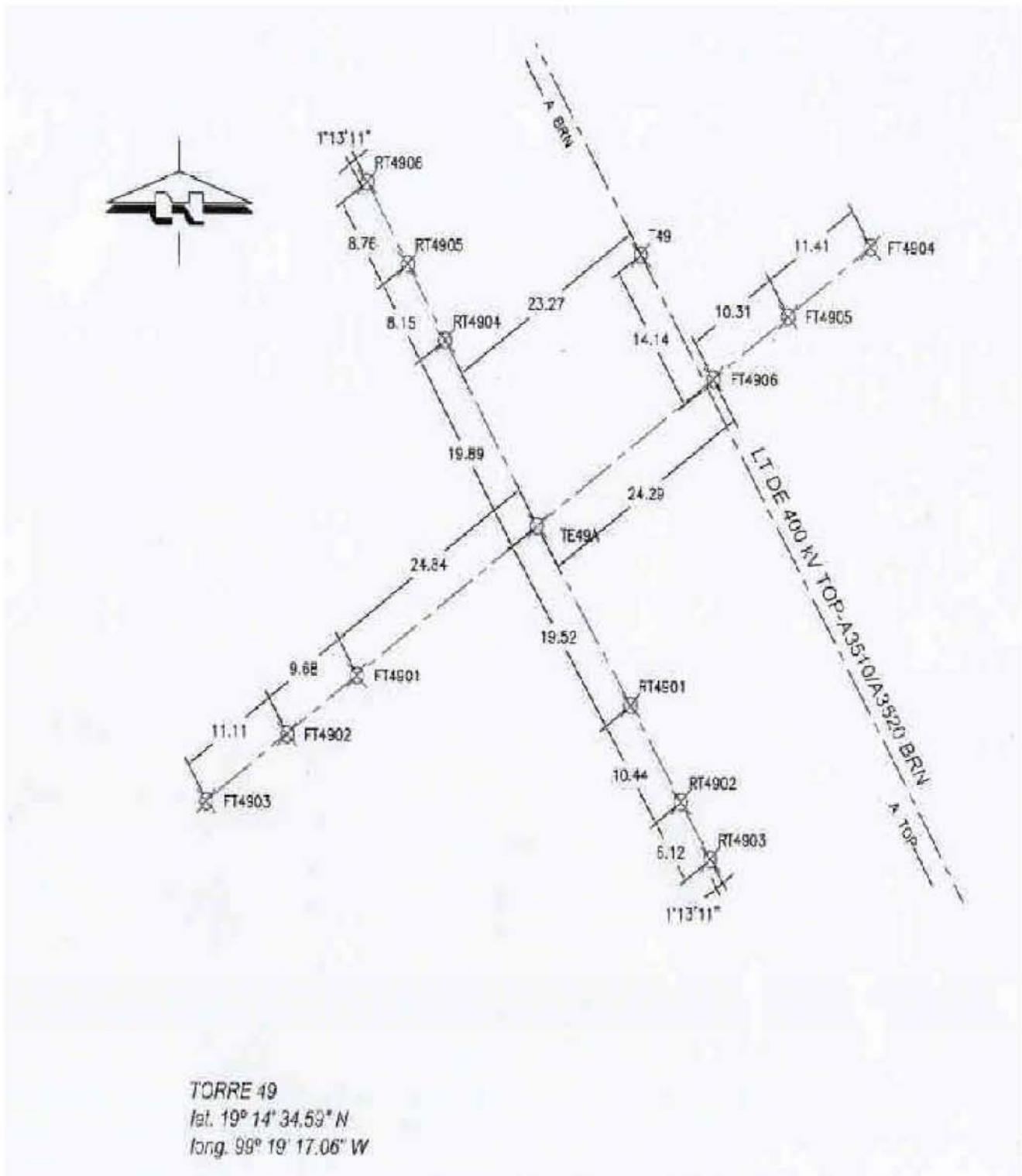


Figura 73-d. Distribución de referencias para la T-49



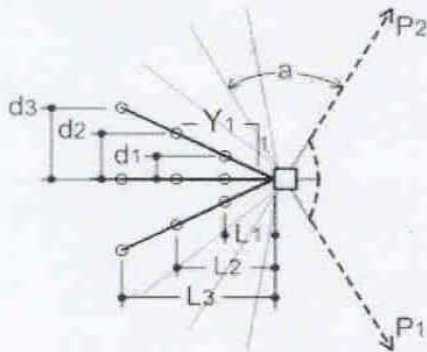
ESTRUCTURA No. 50



Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

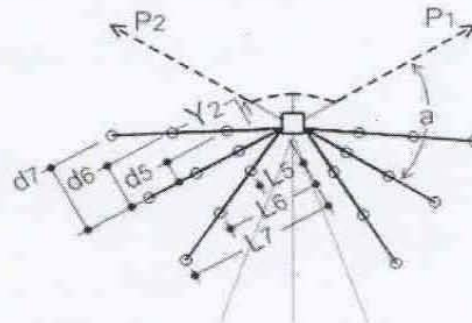
Printed: 01/21/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Dead End - EST 50

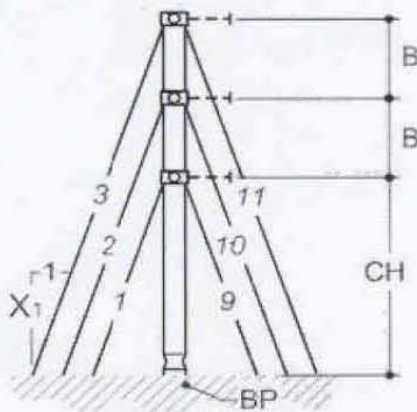


Back Guys
Total Back Anchors - 9 req'd

Plan View

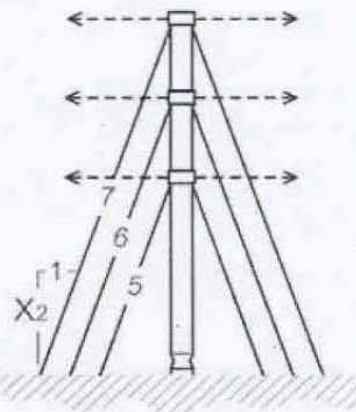


Side Guys
Total Side Anchors - 18 req'd



Back Guys
Conductors Per Phase: 1

Elevation
View



Side Guys
Permanent Front Guys Required

a =	6.0 degrees
B =	9.0 m
BP =	171.87 kPa
CH =	19.5 m
d1 =	9.8 m
d2 =	14.2 m
d3 =	18.7 m
d5 =	12.2 m
d6 =	17.8 m
d7 =	23.4 m
L1 =	19.5 m
L2 =	28.5 m
L3 =	37.5 m
L5 =	24.4 m
L6 =	35.6 m
L7 =	46.9 m
P1 =	Phase In
P2 =	Phase Out
X1 =	1.0
X2 =	0.8
Y1 =	2.00
Y2 =	2.00

Conductor / OHGW Data - ACSR 1113

Cond. Diameter = 3.20 cm
OHGW Diameter = 0.00 cm

Cond. Unit Weight = 1.87 kg/m
OHGW Unit Weight = 0.00 kg/m

Cond. Tension = 33.3 kN
OHGW Tension = 0.0 kN

Loading Data - VIENTOS 120 KM/H

Conductor Wind = 686.4 Pa
Shape Factor = 3.20

Column Wind = 686.4 Pa
OLF Vertical = 1.10

Radial Ice = 3.00 cm
OLF Horizontal = 1.10

Addl. Ecc. = 10.0 cm
OLF Line Tension = 1.10

Wind and Weight Span Data - EST 50

Allowable Wind Span = 768.0 m

Allowable Weight Span = 805.9 m

Guy Loads (kN)/Lead

Back	T1 = 35kN	T2 = 33kN	T3 = 31kN
Side	T5 = 7kN	T6 = 5kN	T7 = 3kN
Front	F9 = 61 kN	F10 = 57 kN	F11 = 53 kN

Figura 74-a. Estructura resultante por el software de Lindsey para restablecer la T-50

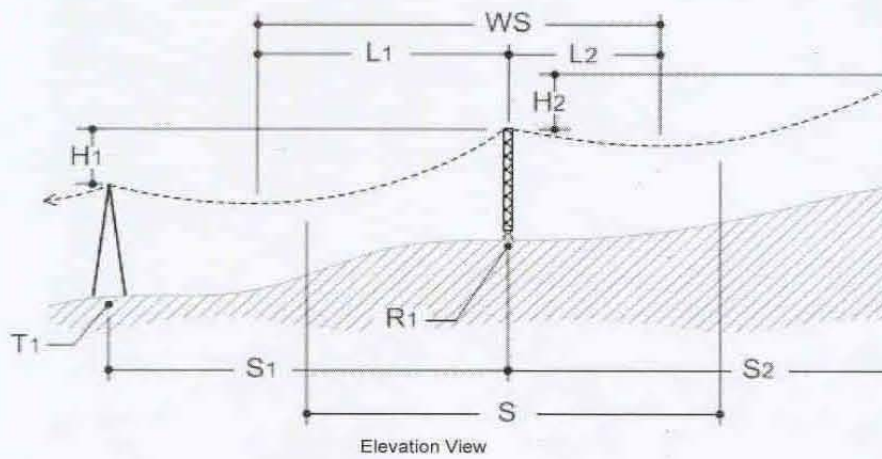


LINDSEY

Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

Printed: 01/21/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Wind/Weight Span Calculation Worksheet -



H1 =	148.0 m
H2 =	-61.5 m
L1 =	510.3 m
L2 =	295.2 m
R1 =	ERS Tower
S =	768.0 m
S1 =	861.1 m
S2 =	675.0 m
T1 =	Tower 1
T2 =	Tower 2
WS =	805.5 m

Conductor / OHGW Data = - ACSR 1113

Cond. Diameter = 3.20 cm

Cond. Unit Weight = 1.87 kg/m

Cond. Tension = 33.3 kN

Loading Data - VIENTOS 120 KM/H

Radial Ice = 3.00 cm

Wind/Weight

0.95

Figura 74-b. Resultante de tensión en el conductor para las condiciones de de hielo y viento consideradas en T-50



Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55
IEEE 1070 - Emergency Restoration System

Printed: 01/11/2008
Registered To: CFE
Version 5.0.55

Column Erection Analysis

Description:

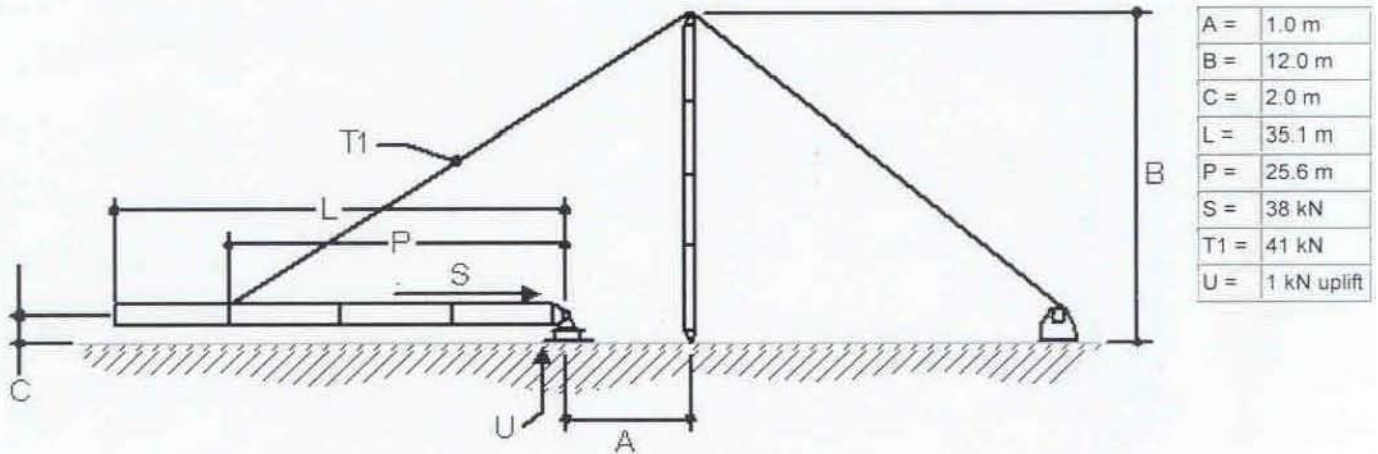
Total Weight = 2564.9 kg Total Height = 35.8 m
(Total weight includes 3.86 kg/m for guy wires.)

Bottom 1-2-3-5-7-7-5-7-7-6-3-5-7-7-6-3-5-7-7-6 Top

Code	Item	Weight	Height
1	Foundation	249.48 kg	0.30 m
2	Rigid/Gimbal	251.75 kg	2.13 m
3	7 ft column	122.47 kg	2.13 m
4	14 ft column	188.24 kg	4.27 m
5	21 ft column	256.28 kg	6.40 m
6	Box Section	120.20 kg	0.46 m
7	Guy Plate	22.68 kg	0.00 m
8	Small Weight	45.36 kg	0.00 m
9	Large Weight	226.80 kg	0.00 m

Gin Pole (General Case) Tilt-up

Description:



Column Bending/Buckling Capacity Utilized = 34.7%

Notes:

1. Side guying is essential during the winching operation. Use steel wire and positive grips, do not attempt to use hand-held ropes. The side guys may need to be let out during the erection process.
2. It is highly recommended that the winch be at least as far away from the foundation as the length of the column.

Figura 74-c. Parámetros a considerar para izar la columna de la T-50

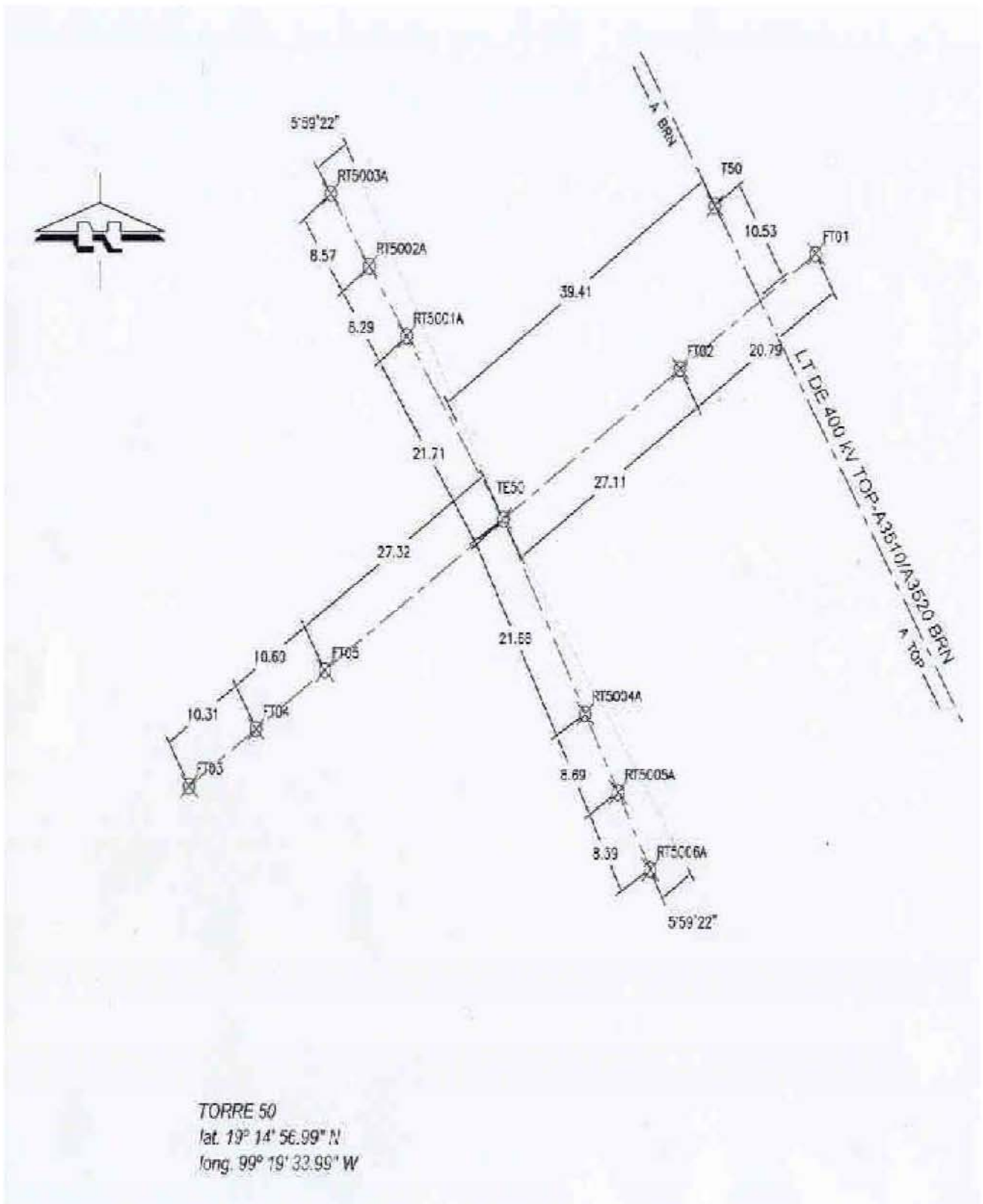


Figura 74-d. Distribución de retenidas para la T-50



3.1.6. PROGRAMA DE TRABAJO

Para la realización del programa, se seleccionan los grupos de trabajo con su coordinador y la cantidad de personas de acuerdo a la dificultad del terreno.

El programa se vio afectado por la falta de permisos con los comuneros y ejidatarios para iniciar con los trabajos de anclaje y brecha forestal.

La fecha de inicio oficial es día 16 de enero, pero no pudieron iniciar los trabajos por la falta de permisos. El viernes 18 de enero fue el día que autorizaron la entrada a sitio para iniciar los trabajos para la estructura número 45.

Los trabajos en las estructuras números 48, 49 y 50 se iniciaron hasta el día 20 de enero. La línea se restablece el 28 de enero a las 13:28 hrs. Tomando una carga de 166 MW

Los programas de este reporte son individuales uno por cada torre en donde los trabajos mas representativos en cada una de las estructuras es el de la actividad de excavación y/o colocación de pesos muertos, puntillas para retenidas provisionales y definitivas (incluyendo el traslado de pesos muertos)

A continuación se muestra el programa de trabajos por cada una de las estructuras instaladas, el se observan los avances programados y realizados.



PROGRAMAS DE ACTIVIDADES

ESTRUCTURA NO. 45

PROGRAMA BASICO DE ACTIVIDADES PARA EL RESTABLECIMIENTO PROVISIONAL DE ESTRUCTURAS COLAPSADAS
CON ESTRUCTURAS MODULARES DE EMERGENCIA.

DIA: 27-Ene-08 HORA: 21:00

N°	ACTIVIDAD	ESTRUCTURAS COLAPSADAS LINEA TOP-A3510/20-BRN														%		
		45																
FECHA (ENERO 2008)		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1	LOCALIZACIÓN DE FALLA	P	■															
		R	■															
2	EVALUACIÓN DE DAÑOS	P		■														
		R		■														
3	DEFINICIÓN DE NÚMERO Y TIPO DE ESTRUCTURAS	P		■														
		R		■														
4	ELABORACION DE PROGRAMAS DE TRABAJO	P		■														
		R		■														
5	LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE ACOPIO Y HELICOPTEROS	P		■	■													
		R		■	■													
6	TRASLADO DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA, EQUIPOS, MATERIALES Y PERSONAL AL CENTRO DE ACOPIO	P		■	■	■												
		R		■	■	■			■	■								
7	TRASLADO DE HELICOPTEROS	P		■														
		R		■														
8	CAMINOS DE ACCESO	P		■	■													
		R		■	■													
9	BRECHA FORESTAL Y DESMONTE DE SITIO	P		■	■	■												
		R		■	■	■			■	■								
10	TRAZO DE UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA Y RETENIDAS PROVISIONALES Y DEFINITIVAS	P		■	■													
		R		■	■				■	■								
11	EXCAVACION Y/O COLOCACIÓN DE PESOS MUERTOS, PUNTILLAS PARA RETENIDAS PROVISIONALES Y DEFINITIVAS.(INCLUYE TRASLADO DE PESOS MUERTOS)	P		■	■	■												
		R		■	■	■			■	■	■							
12	UBICACION DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA EN SITIO	P		■	■													
		R		■	■													
13	ARMADO DE COLUMNAS DE EMERGENCIA EN PISO Y AISLAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA	P			■													
		R			■				■	■								
14	IZAJE DE PRIMER COLUMNA CON MANIOBRA	P				■												
		R					■		■	■								
15	VESTIDO DE ESTRUCTURA Y ALINEACIÓN DE COLUMNAS.	P					■											
		R						■	■	■								
16	TENDIDO DE CONDUCTORES	P			■	■												
		R			■	■			■	■								
17	REPARACION DE CONDUCTORES	P			■	■	■											
		R			■	■	■		■	■								
18	LEVANTAMIENTO DE CONDUCTORES	P											■					
		R											■	■				
19	ENCLEMADO DE CONDUCTORES	P												■				
		R												■	■			
20	RETIRO DE TIERRAS FISICAS DE PROTECCIÓN	P															■	
		R															■	
AVANCE PARCIAL POR ESTRUCTURA		%															100%	



RESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS



Figura 75. Trabajos realizados en la T-45



ESTRUCTURA NO. 48

PROGRAMA BASICO DE ACTIVIDADES PARA EL RESTABLECIMIENTO PROVISIONAL DE ESTRUCTURAS COLAPSADAS
CON ESTRUCTURAS MODULARES DE EMERGENCIA.

DIA: 27-Ene-08 HORA: 21:00

N°	ACTIVIDAD	ESTRUCTURAS COLAPSADAS LINEA TOP-A3510/20-BRN																%	
		48																	
FECHA (ENERO 2008)		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1	LOCALIZACIÓN DE FALLA	P	■																
		R	■																100%
2	EVALUACION DE DAÑOS	P	■	■															
		R	■	■															100%
3	DEFINICION DE NUMERO Y TIPO DE ESTRUCTURAS	P	■	■															
		R	■	■															100%
4	ELABORACIÓN DE PROGRAMAS DE TRABAJO	P	■	■															
		R	■	■															100%
5	LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE ACOPIO Y HELICOPTEROS	P	■	■	■														
		R	■	■	■														100%
6	TRASLADO DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA, EQUIPOS, MATERIALES Y PERSONAL	P	■	■	■														
		R	■	■	■				■										100%
7	TRASLADO DE HELICOPTEROS	P	■	■															
		R	■	■															100%
8	CAMINOS DE ACCESO	P	■	■	■														
		R	■	■	■														100%
9	BRECHA FORESTAL Y DESMONTE DE SITIO	P	■	■	■														
		R	■	■	■				■										100%
10	TRAZO DE UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA Y RETENIDAS PROVISIONALES Y DEFINITIVAS	P	■	■	■														
		R	■	■	■														100%
11	EXCAVACIÓN Y/O COLOCACIÓN DE PESOS MUERTOS, PUNTILLAS PARA RETENIDAS PROVISIONALES Y DEFINITIVAS. (INCLUYE TRASLADO DE PESOS MUERTOS)	P		■	■	■													
		R		■	■	■		■	■	■	■								100%
12	UBICACION DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA EN SITIO	P		■	■														
		R	■	■	■														100%
13	ARMADO DE COLUMNAS DE EMERGENCIA EN PISO Y AISLAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA	P			■														
		R			■		■	■	■	■	■								100%
14	IZAJE DE PRIMER COLUMNA CON MANIOBRA	P				■													
		R				■		■	■	■	■								100%
15	VESTIDO DE ESTRUCTURA Y ALINEACIÓN DE COLUMNAS.	P				■	■												
		R				■	■		■	■	■	■							100%
16	TENDIDO DE CONDUCTORES	P											■						
		R							■	■	■	■	■	■					100%
17	REPARACION DE CONDUCTORES	P								■	■	■							
		R								■	■	■	■	■					100%
18	LEVANTAMIENTO DE CONDUCTORES	P												■					
		R												■	■				100%
19	ENCLEMADO DE CONDUCTORES	P															■		
		R															■		100%
20	RETIRO DE TIERRAS FISICAS DE PROTECCIÓN	P																■	
		R																■	100%
AVANCE PARCIAL POR ESTRUCTURA		%																	100%



Figura 76. Armado de la T-48 con la pluma deslizante

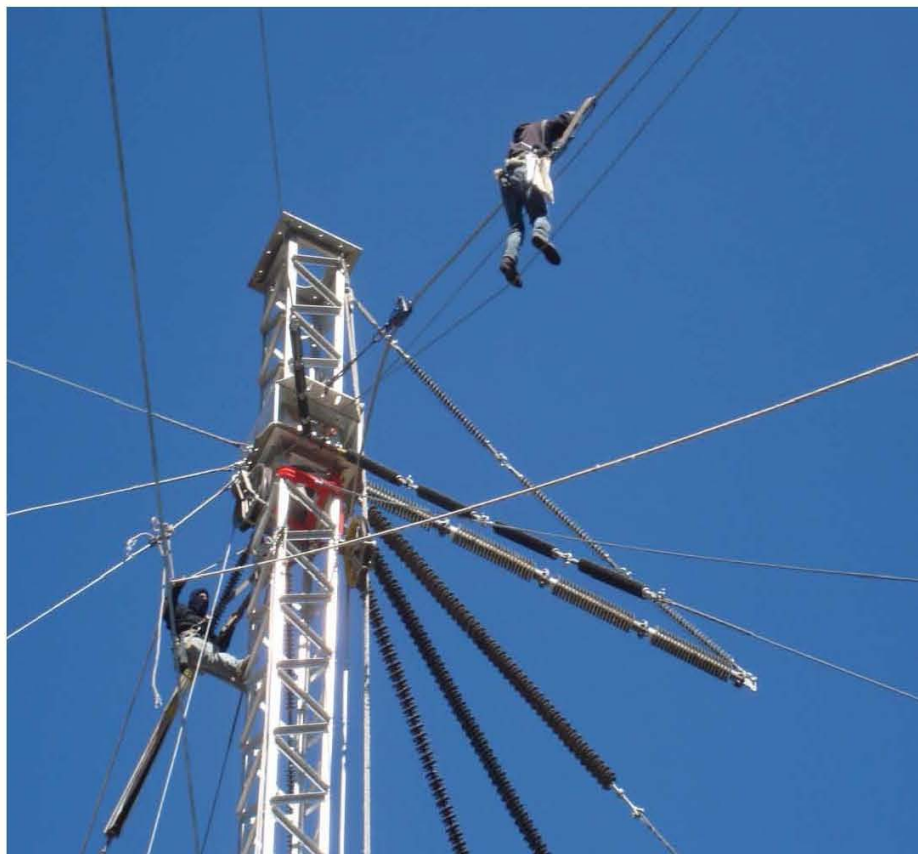


Figura 77. Trabajos realizados en la T-48



ESTRUCTURA NO. 49

PROGRAMA BASICO DE ACTIVIDADES PARA EL RESTABLECIMIENTO PROVISIONAL DE ESTRUCTURAS COLAPSADAS CON ESTRUCTURAS MODULARES DE EMERGENCIA.

DIA: 27-Ene-08

HORA:

21:00

N°	ACTIVIDAD	ESTRUCTURAS COLAPSADAS LINEA TOP-A3510/20-BRN														%		
		49																
FECHA (ENERO 2008)		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1	LOCALIZACION DE FALLA	P	■															
		R	■															
2	EVALUACION DE DANOS	P	■	■														
		R	■	■														
3	DEFINICION DE NUMERO Y TIPO DE ESTRUCTURAS	P	■	■														
		R	■	■														
4	ELABORACION DE PROGRAMAS DE TRABAJO	P	■	■														
		R	■	■														
5	LOCALIZACION DE CENTROS DE ACOPIO Y HELICOPTEROS	P	■	■	■													
		R	■	■	■													
6	TRASLADO DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA, EQUIPOS, MATERIALES Y PERSONAL AL CENTRO DE ACOPIO	P	■	■	■	■												
		R	■	■	■	■			■									
7	TRASLADO DE HELICOPTEROS	P	■	■														
		R	■	■														
8	CAMINOS DE ACCESO	P	■	■	■													
		R	■	■	■													
9	BRECHA FORESTAL Y DESMONTE DE SITIO	P	■	■	■													
		R	■	■	■			■	■									
10	TRAZO DE UBICACION DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA Y RETENIDAS PROVISIONALES Y DEFINITIVAS	P	■	■	■													
		R	■	■	■													
11	EXCAVACION Y/O COLOCACION DE PESOS MUERTOS, PUNTILLAS PARA RETENIDAS PROVISIONALES Y DEFINITIVAS. (INCLUYE TRASLADO DE PESOS MUERTOS)	P		■	■	■												
		R					■	■	■	■	■	■	■	■				
12	UBICACION DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA EN SITIO	P		■	■	■												
		R	■	■	■													
13	ARMADO DE COLUMNAS DE EMERGENCIA Y AISLAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA	P		■	■	■												
		R				■	■	■	■	■								
14	IZAJE DE COLUMNA CON MANIOBRA	P		■	■	■												
		R				■	■	■	■	■								
15	VESTIDO DE ESTRUCTURA Y ALINEACION DE COLUMNAS.	P		■	■	■												
		R								■	■	■						
16	TENDIDO DE CONDUCTORES	P		■	■	■												
		R							■	■	■			■				
17	REPARACION DE CONDUCTORES	P																
		R																
18	LEVANTAMIENTO DE CONDUCTORES	P		■	■	■												
		R									■	■	■					
19	ENCLEMADO DE CONDUCTORES	P		■	■	■												
		R												■	■			
20	RETIRO DE TIERRAS FISICAS DE PROTECCIÓN	P		■	■	■												
		R														■		
AVANCE PARCIAL POR ESTRUCTURA		%															100%	



Figura 78. Armado de la T-49 con la pluma deslizante



Figura 79. Instalación de puentes de fases en la T-49



ESTRUCTURA NO. 50

PROGRAMA BASICO DE ACTIVIDADES PARA EL RESTABLECIMIENTO PROVISIONAL DE ESTRUCTURAS COLAPSADAS
CON ESTRUCTURAS MODULARES DE EMERGENCIA.

DIA: 27-Ene-08

HORA:

21:00

N°	ACTIVIDAD	ESTRUCTURAS COLAPSADAS LINEA TOP-A3510/20-BRN														%		
		50																
FECHA (ENERO 2008)		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1	LOCALIZACIÓN DE FALLA	P	■															
		R	■															
2	EVALUACIÓN DE DAÑOS	P		■														
		R		■														
3	DEFINICIÓN DE NÚMERO Y TIPO DE ESTRUCTURAS	P		■														
		R		■														
4	ELABORACIÓN DE PROGRAMAS DE TRABAJO	P		■														
		R		■														
5	LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE ACOPIO Y HELICOPTEROS	P		■														
		R		■														
6	TRASLADO DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA, EQUIPOS, MATERIALES Y PERSONAL AL CENTRO DE ACOPIO	P		■														
		R		■														
7	TRASLADO DE HELICOPTEROS	P		■														
		R		■														
8	CAMINOS DE ACCESO	P		■														
		R		■														
9	BRECHA FORESTAL Y DESMONTE DE SITIO	P		■														
		R		■											■	■		
10	TRAZO DE UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA Y RETENIDAS PROVISIONALES Y DEFINITIVAS	P		■														
		R	■	■														
11	EXCAVACIÓN Y/O COLOCACIÓN DE PESOS MUERTOS, PUNTILLAS PARA RETENIDAS PROVISIONALES Y DEFINITIVAS. (INCLUYE TRASLADO DE PESOS MUERTOS)	P		■														
		R		■														
12	UBICACION DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA EN SITIO	P		■														
		R		■														
13	ARMADO DE COLUMNAS DE EMERGENCIA EN PISO Y AISLAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA	P		■														
		R		■														
14	IZAJE DE PRIMER COLUMNA CON MANIOBRA	P		■														
		R		■														
15	VESTIDO DE ESTRUCTURA Y ALINEACIÓN DE COLUMNAS.	P		■														
		R		■														
16	TENDIDO DE CONDUCTORES	P		■														
		R		■														
17	REPARACION DE CONDUCTORES	P		■														
		R		■														
18	LEVANTAMIENTO DE CONDUCTORES	P		■														
		R		■														
19	ENCLEMADO DE CONDUCTORES	P		■														
		R		■														
20	RETIRO DE TIERRAS FISICAS DE PROTECCIÓN	P		■														
		R		■														
AVANCE PARCIAL POR ESTRUCTURA		%															100%	



Figura 80. Armado de la T-50 con la pluma deslizante



Figura 81. Vista final de la T-50, donde se observa el aislamiento sintético de las retenidas.



3.1.7. PERSONAL QUE PARTICIPO EN RESTABLECIMIENTO

Para llevar a cabo los trabajos de restablecimiento de esta Línea de Transmisión se requirió del siguiente personal y materiales.

LINIEROS / TECNICOS	SUPERVISION CFE	VEHICULOS	GRUAS	UNIMOGS	HELICÓPTERO
198	31	66	4	5	3

17 cuadrillas de linieros de la GRTC (83) y 8 cuadrillas de linieros de la GRTOR (43) organizadas en 4 frentes para reparar las estructuras colapsadas de la línea de transmisión TOP – A3510 – BRN, con 15 ingenieros de supervisión.

Un coordinador técnico y cuatro responsables, uno para cada estructura modular de emergencia para garantizar el armado e izaje correcto.

1 frente de logística en el centro de acopio (valle de la cantimplora).

Un grupo de linieros de Luz y Fuerza para realizar la transición de dos conductores a uno de las torres 44, 46, 47 y 51, adyacentes a las estructuras dañadas en la Línea TOP – A3510 – BRN.

1 grupo de personal de comunicaciones para la instalación de repetidores en estructura 46, habilitando frecuencia local para cada estructura con comunicación al centro de acopio.

Se contó con 3 helicópteros: 1 de CFE, 1 de LyF y 1 de la fuerza aérea.

Se utilizaron 3 retroexcavadoras y 8 compactadoras para el apoyo de cimentaciones de las estructuras de emergencia.

Quedo instalado todo lo necesario para cuatro estructuras de emergencia del tipo de remate se anexa lista de material y equipo instalado, las estructuras quedaron de 38 [m] de altura con todos sus accesorios.



PERSONAL DE APOYO

SUBÁREA DE TRANSMISIÓN	DE	LINIEROS / TECNICOS	SUPERVISION CFE	VEHICULOS	GRUAS	UNIMOGS	HELICOPTERO
BAJIO CENTRAL		10	1	3	1	1	
CENTRO		10	1	5			
ESTADO MEXICO	DE	16	1	4	1	1	
GUERRERO		15	1	3	1	1	
PONIENTE		17	1	4	1		
PUEBLA		6	2	4		1	
SUR		10	1	3		1	
TAMPICO		7	2	4			
POZA RICA		11	2	4			
CORDOBA		5		1			
TEMASCAL		5	1	2			
VERACRUZ		5	1	2			3
COATZACUALCOS		5	1	2			
XALAPA		5		1			
G.R.T.OR			1	1			
G.R.T.C.			1				
S.E. Y L.T.		3	3	3			
COMUNICACIONES		7	1	3			
TERRENOS Y DERECHOS		3	1	4			
ADMINISTRACION		5	3	7			
SUBDIRECCION			3	2			
CONSTRUCCION		53	3	4			
TOTALES		198	31	66	4	5	3



3.1.8. INVENTARIO DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES UTILIZADOS

No.	DESCRIPCION EQUIPO ESPECIAL	UNIDAD	ESTRUCTURA				TOTAL INSTALADO
			TORRE 45	TORRE 48	TORRE 49	TORRE 50	
			ING. ESTEBAN MORA R.	ING. GUSTAVO RAMIREZ T.	ING. PEDRO DELGADO	ING. ANTONIO LEAL G.	
1	BASES FIJAS	PZA.	1	1	1	1	4
2	BASES ARTICULADAS	PZA.	1	1	1	1	4
3	MODULOS DE 7 PIES LINDSEY	PZA.	4	4	4	4	16
4	MODULOS DE 21 PIES LINDSEY	PZA.	4	4	4	4	16
5	PLATINAS 0°-0°	PZA.	4	3	3	3	13
6	PLATINAS 45°-45°	PZA.	6	8	9	8	31
7	SECCION CAJA	PZA.	3	3	3	3	12
8	TORNILLOS 5/8" x 3 1/2" 11 ERS	PZA.	104	104	104	72	384
9	TORNILLOS 5/8" x 4 1/2" 11 ERS	PZA.				24	24
10	ADAPTADOR PARA AISL. TIPO POSTE	PZA.	3	3	3	3	12
11	ARO EQUIPOTENCIAL	PZA.		6			6
12	BARRA AISLADA 104"	PZA.		3			3
13	GRILLETE DE 3/4"	PZA.	100	216	115	109	540
14	CLEMA SUSP. PARA CONDUCTOR 1113 KCM ACSR	PZA.	3	3	3	3	12
15	CLEMAS DE REMATE TIPO PISTOLA 1113 MCM ACSR	PZA.	6	6	6	6	24
16	CONECTOR PARALELO (GRAPA) 1113 MCM ACSR	PZA.	3	6	3	6	18
17	GRAPA PERRO DE 9/16"	PZA.	192			50	242
18	GRAPA PERRO DE 1/2"	PZA.	100	70	170	183	523
19	GRAPA PERRO DE 5/8"	PZA.				142	142
20	GRAPA PERRO DE 3/4"	PZA.			45	50	95
21	REMATE PREFORMADO DE 9/16"	PZA.	48	68	86	65	267
22	PUNTILLA DE ACERO DIAMETRO 1 1/4" X 1.5 M.	PZA.	4	4	4	4	16
23	PUNTILLA DE ACERO DIAMETRO 1 1/2" X 1.5 M.	PZA.	12			31	43
24	RETENIDA DE 60 M DE AG DE 3/8	M				120	120
25	CABLE DE GUARDA 7 No.8	M			240		240
26	CABLE DE ACERO FLEXIBLE DE 1/2"	m		300	690	150	1140
27	CABLE DE ACERO 9/16" BOBINA 500 MTS.	M	2010	2465	1860	2465	8800
28	PESOS MUERTOS DE CONCRETO HASTA 500 KG.	PZA.	104	86	31	77	298
29	PERNO ANCLA P/CIMENTACION	PZA.		3	19	11	33
30	AISLADOR DE HULE SUSPENSION OJO-OJO	PZA.	45	61	60	87	253
31	AISLADOR SINTETICO DE 4.0 M.	PZA.	6				6
32	AISLADOR TIPO POSTE	PZA.	9	12	9	12	42
33	AISLADOR POLIMERICO 400 KV 160 KN	PZA.		15	15	82	112
34	GUARDACABOS 5/8"	PZA.	10	34			44
35	TEMPLADORES	PZA.		3		25	28
36	ESTROBOS VARIAS MEDIDAS 5/8"	PZA.	5				5
37	HORQUILLA BOLA LARGA	PZA.	5	15	10	23	53
38	HORQUILLA CALAVERA LARGA	PZA.		15	16	40	71
39	HORQUILLA BOLA CORTA	PZA.			6		6



3.1.9. APOYO LOGÍSTICO

3.1.9.1. COMUNICACIONES

Se implemento un sistema de comunicación provisional para realizar las actividades de la reactivación de la línea TOP-A3510-BRN

La Subgerencia de Comunicaciones de la GRTC suministro 20 radios portátiles, modelo pro7550 marca motorola, con sistema troncalizado, con cobertura en el tramo de la falla, oficinas de la GRTC, centro de acopio y oficinas de la CT así como el acceso a la telefonía comercial.

Dentro de este operativo la subgerencia de comunicaciones implementa un sistema de comunicación de VHF-FM para cubrir las necesidades en las estructuras numero 45, 48, 49 y 50 de dicha línea y el centro de acopio la cantimplora, se forman cuatro grupos de trabajo uno por cada torre, asignando una frecuencia local para cada grupo de trabajo, esto con el fin de que las actividades y maniobras propias de cada torre no interfiriera con las demás, así mismo el grupo de coordinación y almacén se comunican vía radio por el canal de repetidor instalado en la estructura No. 46, con el apoyo del repetidor chiquihuite para la comunicación necesaria a la ciudad de México, con las oficinas de la Gerencia Regional de Transmisión Central.

En los equipos de radio comunicación tipo base, móvil y portátil, se programaron las frecuencias distribuidas de la siguiente manera:

FRECUENCIA	INSTALACION
CANAL # 1	REPETIDOR CHIQUIHUIE (COMUNICACIÓN D.F.)
CANAL # 2	TORRE 45
CANAL # 3	TORRE 48
CANAL # 4	TORRE 49
CANAL # 5	TORRE 50
CANAL # 6	REPETIDOR LOCAL (COMUNICACION CANTIMPLORA)

Se instalaron los siguientes equipos:

- 1.- un repetidor en la torre 46, para la cobertura del tramo de línea en reparación.
- 2.- una base en el campamento centro de acopio la cantimplora.
- 3.- una base en el campamento de luz y fuerza para el personal de seguridad física.
- 4.- una base en la subgerencia de subestaciones y líneas.



EQUIPOS DE COMUNICACIÓN PROGRAMADOS:

- un repetidor
- tres bases
- 4 móviles
- 65 portátiles

Se intercambia un radio portátil con personal de LyF para establecer la coordinación de las actividades, manteniendo una comunicación permanente.

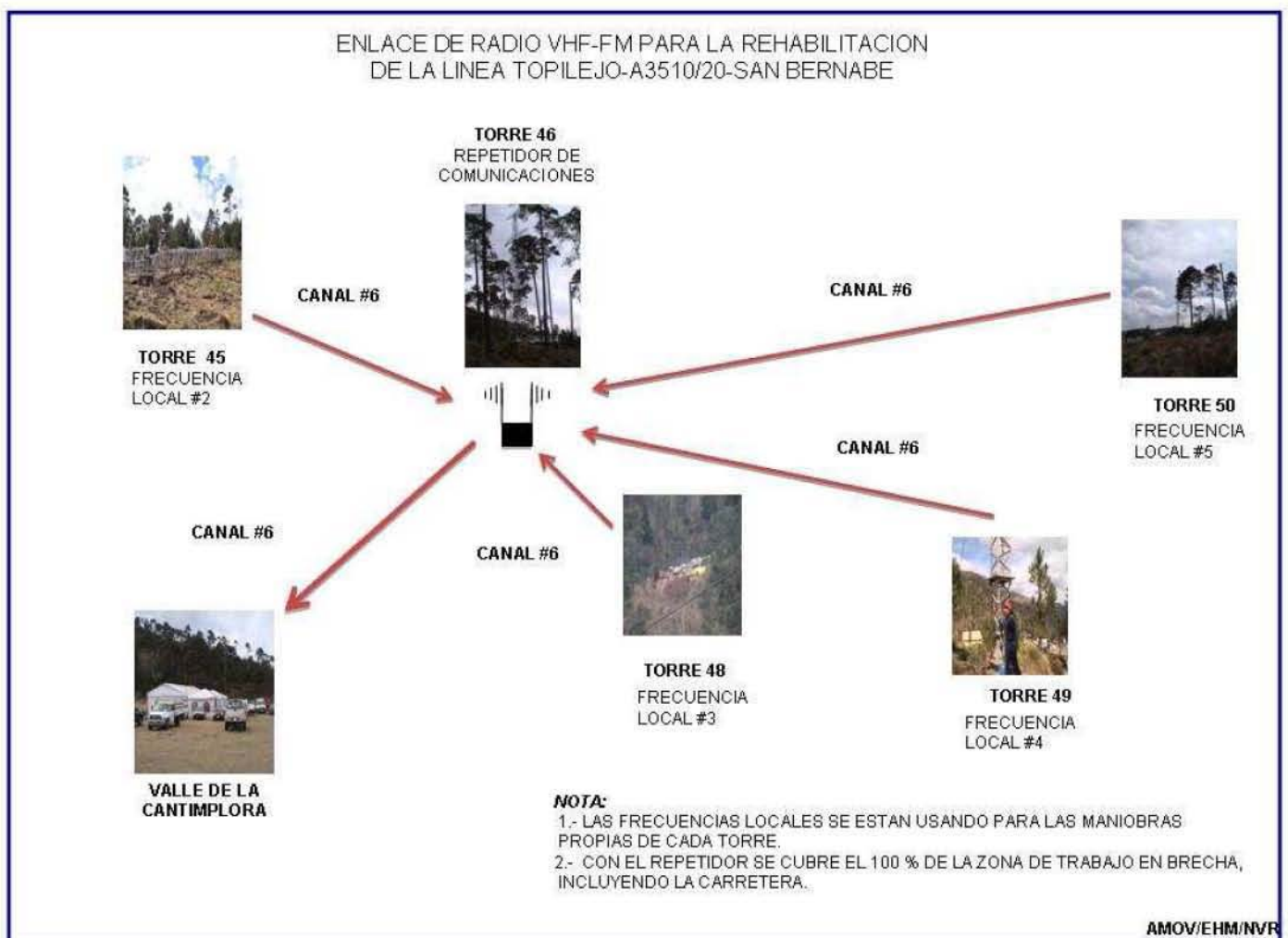


Figura 81. Esquema de comunicaciones utilizado durante los trabajos de restablecimiento



3.1.9.2. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

Las actividades realizadas por el Departamento de Terrenos y Derechos de Vía, al cual pertenecen los ingenieros civiles de la GRTC y que tuvieron participación dentro de los trabajos restablecimiento provisional de las estructuras colapsadas de la LT. TOP-A3510-BRN fueron:

- 1 grupo de 5 ingenieros para la supervisión de la obra civil.

Las actividades que este grupo de ingenieros llevaron a cabo fueron:

- Localización geográfica de punto de desplante de estructuras de emergencia, previendo que las retenidas no interfirieran con la construcción de la estructura definitiva.
- Trazo de retenidas, cálculo del ángulo de deflexión, cálculo en campo del equilibrio geométrico de las retenidas, localización de anclajes, distancias de fase a tierra del conductor, evaluación de las características del suelo para la interacción con los anclajes en el mecanismo suelo-retenida.

Los equipos empleados fueron:

- Sistema 530 RTK, gps topográfico en tiempo real
- Estación total 1100
- Estación total motorizada 1201 ATR



Figura 82. Trabajos de topografía realizados para el restablecimiento de la L.T.



La maquinaria pesada utilizada fue:

- Excavadora con neumática caterpillar 312M
- Excavadora con orugas caterpillar 311
- Retroexcavadora case 412
- La maquinaria ligera fue constituida principalmente por ocho apizonadoras neumáticas.

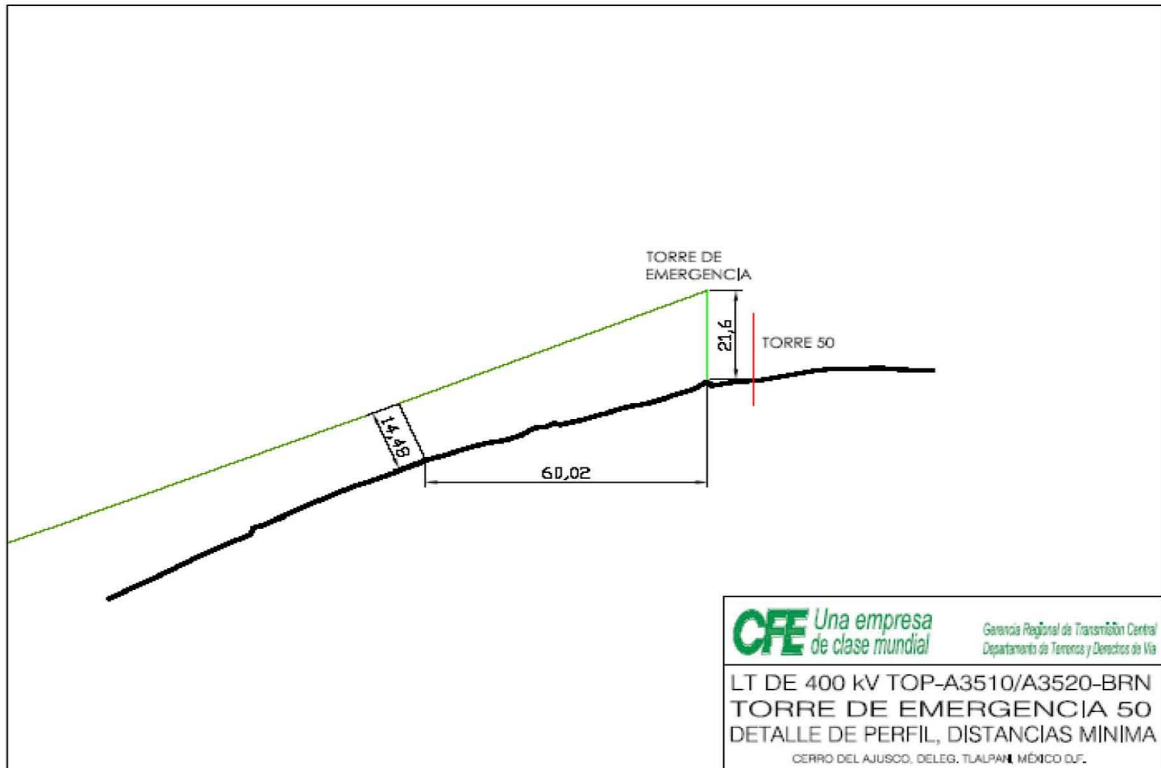


Figura 83. Obtención de perfiles longitudinales y contraperfiles del claro de estructura 49-50.



RESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS

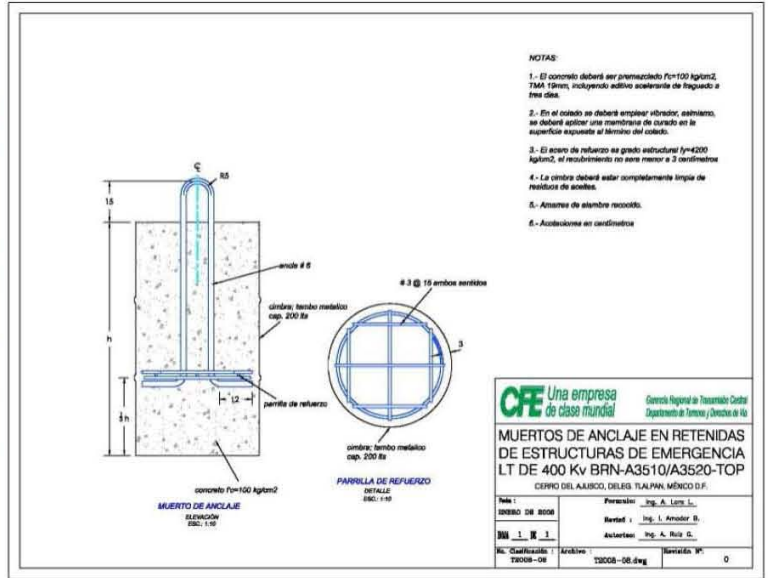


Figura 84. Cálculo de pesos muertos y esfuerzos en anclas para la sujeción de retenidas.



Figura 85. Coordinación de maquinaria pesada de excavación y de maquinaria ligera de compactación.



3.1.10. OBSERVACIONES SOBRE LA INSTALACION DE ESTRUCTURAS

Estructura número 45

Con el desplazamiento que sufrió para sacarla del trazo de la línea original, la curva del conductor fue desplazada, lo que provocó que el conductor de la fase inferior quedara en parte más baja en un cotrapéfil a 9 metros. Del lado Topilejo siendo solucionado realizando la brecha correspondiente. En el claro 44-45.

Esta estructura sirve de remate para las estructuras 44 y 46. La mayoría de los anclajes de esta torre fueron realizados en roca fracturada lo que complicó hacer las cepas y usar una cantidad considerable de pesos muertos.

Estructura número 48

Esta estructura no presentó problemas de libramiento en los conductores, lo más complicado fue la falta de espacio para su montaje, colocación de retenidas y el acceso con condiciones naturales muy reducidas para el ingreso de maquinaria y materiales.

Estructura número 49

Fue necesario realizar varias corridas en programa de cálculo de estructuras para sacar los pesos máximos de anclaje y reducir en número de anclas. Como consecuencia del espacio tan reducido para realizar las cepas e interferir en lo mínimo con la construcción de la estructura definitiva.

Estructura número 50

Fue la que presentó los claros más largos con respecto a las otras estructuras, con un claro medio horizontal de 805 metros y un claro vertical de 768 metros.

Por las condiciones de los caminos de acceso y la altura de la misma se vio la conveniencia de que a partir de esta torre, se realizaran las maniobras de tendido del conductor de las tres fases, desde la estructura 50 hasta la 48; tomando una tensión final por fase de 2800 kg. quedando la fase inferior a una altura de 12 metros en la parte más crítica a tierra.

El anclaje de esta estructura fue realizado en su mayoría sobre roca y como es una roca quebradiza fue necesario hacer cepas en la misma para enterrar los pesos muertos, en la parte con pendiente prolongada fue necesario hacer terrazas colocando en estas los pesos muertos.



3.1.11. COMENTARIOS DE ESTE CASO

- Algunas de las retenidas quedaron en área de tránsito vehicular de las 4 estructuras, en donde se encuentran trabajando el personal de LyFC, por lo que se deberá de tener especial cuidado al transitar o hacer maniobras durante la construcción de la estructura definitiva.
- En la realización de los trabajos de cimentación para este tipo de estructuras, es conveniente no dejar solo una cepa para las tres retenidas, lo más recomendable y práctico es hacer la distribución de las retenidas en dos cepas ya que esto evita que se sature el punto de anclaje, lo que facilitará los trabajos para fijar las retenidas. Por lo tanto se facilita la maniobra al no dejar todas las retenidas en un solo punto.
- Con el propósito de dar mayor estabilidad a las estructuras siempre que sea posible, aislar las retenidas que están en el sentido de la línea, para dejarlas de forma permanente.
- Invariablemente para este tipo de voltaje es necesario instalar el aislamiento en los puentes del tipo cantiliever con una distancia mínima de 4.70 m. En caso de tener un ángulo este deberá ser instalado para el lado que presente dicho ángulo. En caso contrario se tiene que corregir la distancia en aire del conductor del puente al vértice de la estructura.
- Por las condiciones de la orografía del terreno, zona montañosa a una altura de 3800 msnm, se observó que el método de izaje más práctico, seguro y rápido es el de la "pluma deslizante", y el que le sigue es de "pivoteo con pluma auxiliar".
- Para este tipo de terreno montañoso con diversas variedades de suelo de anclaje, es importante contar desde el inicio con equipos y maquinaria apropiada para realizar la excavación de cepas y colocación de muertos, ya que esta actividad representa entre un 40 a 60 por ciento del tiempo total en la instalación de estas estructuras.
- Es muy importante que todo el personal que participa en este tipo de trabajos tenga conocimiento que para realizar el trazo de este tipo de estructuras y en este tipo de terreno sea realizado con el apoyo de personal especialista con el equipo apropiado para obtener los niveles y ángulos de deflexión obteniendo con ello ubicación exacta de anclajes y base de la estructura.



Figura 86. Restablecimiento de estructuras colapsadas en la L.T. TOP-A3510-BRN



3.2 CASO II. RESTABLECIMIENTO DE LA L.T. LÁZARO CÁRDENAS - A3010 – DONATO GUERRA

3.2.1. ANTECEDENTES

CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA

La Línea de Transmisión Lázaro Cárdenas – A3010 – Donato Guerra, forma parte del corredor de transmisión de energía eléctrica del occidente hacia el centro del país.

Esta línea esta formada por 545 estructuras y tiene una longitud de 275 km, es de tres conductores por fase de cable ACSR calibre 1113 kcm y dos hilos de guarda de cable de acero calibre 3/8".

La línea esta suspendida de torres autoportadas de un solo circuito en disposición horizontal, entro en operación en septiembre de 1996 y fue la primer línea de 400 kV de tres conductores por fase que se construyo en el país.

Estas líneas son operadas por CFE, es una línea de transmisión compartida entre la Gerencia Regional de Transmisión Central y la Occidente.

La GRT Occidente atiende los primeros 192 km con 394 estructuras, contados a partir de la S.E. Lázaro Cárdenas, y los restantes 83 km con 151 estructuras los atiende la GRT Central.

La línea en su trayectoria cruza la región montañosa de la Sierra Madre del Sur, en los estados de México, Michoacán y Guerrero.

FALLA DE LA LÍNEA

El 29 de julio de 2010, aproximadamente a las 20:54 horas se presentaron fuertes vientos en el poblado de San Martín Oztoloapan, Estado de México, por donde atraviesan las Líneas de atención y responsabilidad de la Subárea de Transmisión Estado de México, en particular por esta zona pasa la L.T. de 400 kV LCP-A3010-DOG.

- A las 20:54 hrs dispara la Línea de Trasmisión LCP-A3010-DOG; por operación de los esquemas de protección en S.E. DOG; PP1 SEL 421, ZONA 1, FASE "B" A TIERRA, el localizador de fallas nos indica a una distancia de 23.97 km, y PP2 SEL 421, ZONA 1, FASE "B" A TIERRA, el localizador de fallas nos indica a una distancia de 24.12 km. opera el recierre monopolar siendo este negativo.
- Por parte de la Subárea de Control Colorines se realiza una prueba de cierre al interruptor DOG A3010, siendo esta negativa con la operación de protección PP1 SEL 421, ZONA 1, FASE "A, B Y C" A TIERRA, a una distancia de 26.52 km, opera protección PP2 SEL 421, ZONA 1, FASE "A, B Y C" A TIERRA, a una distancia de 26.44 km.



El día 30 de julio de 2010 se realiza revisión de la L.T. LCP-A3010-DOG entre las estructuras 490 a 500, apoyados en los datos de los localizadores de falla de esta Línea de Transmisión, encontrando las siguientes anomalías:

- Estructura de suspensión No. 495 Colapsada
- Estructuras de remate No. 492, 494, 496 y 497 con daños en crucetas de conductor y elementos estructurales a consecuencia del colapso de la estructura 495.

Inmediatamente después de localizados estos daños sobre la Línea de Transmisión DOG A3010 LCP se inicia el operativo para restablecer la línea.

3.2.2. UBICACIÓN DE LA FALLA

Como podemos observar en la siguiente imagen satelital, la estructura 495 de la L.T. LCP-A3010-DOG, se ubica en la zona montañosa del sur del estado de México, a la altura del poblado de San Martín Oztoloapan.

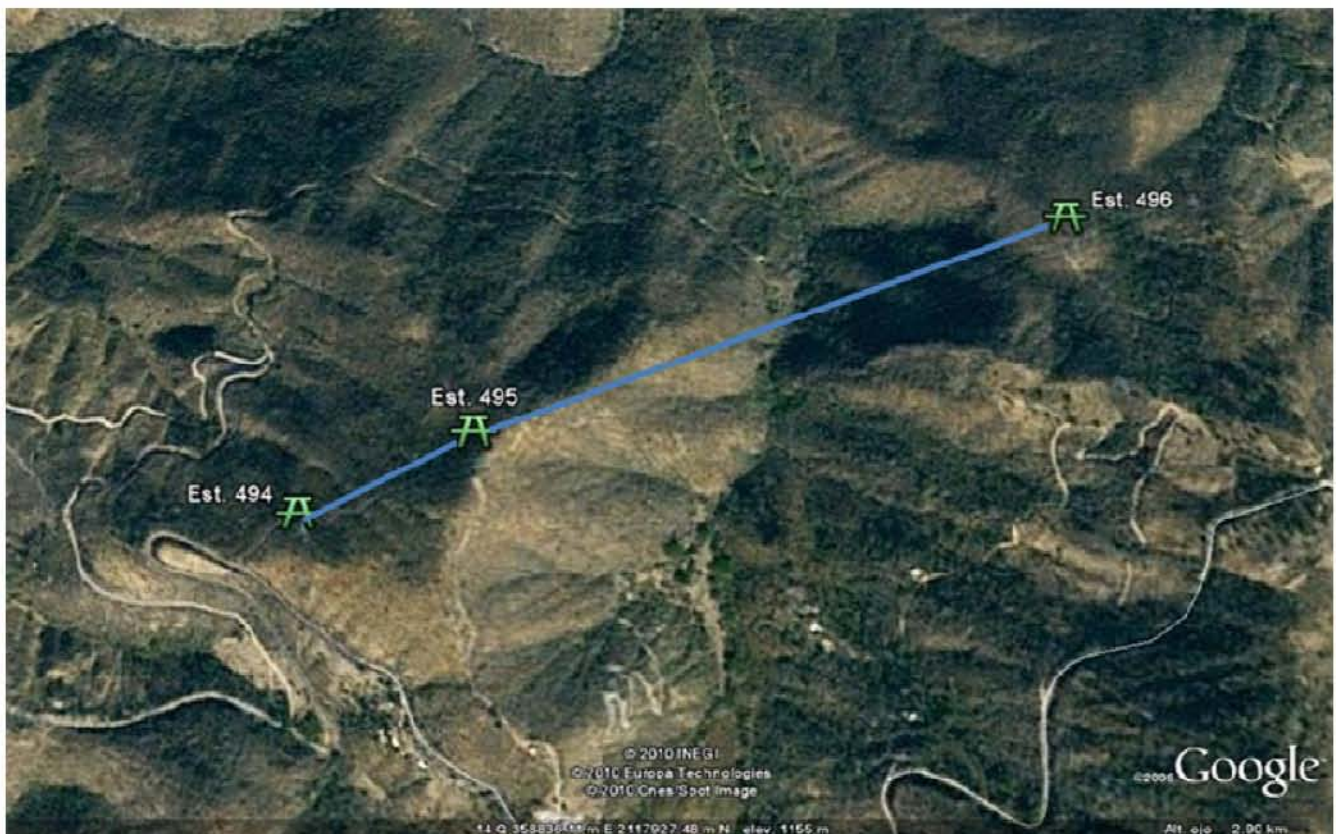


Figura 87. Localización de la falla de la L.T LCP-A3010-DOG



3.2.3. VALORACIÓN DE DAÑOS EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Una vez que se realizó la inspección en la zona de la falla, se tiene el siguiente registro de daños en la L.T. LCP-A3010-DOG:

ESTRUCTURA	VALORACION DE DAÑOS
492	Estructura de Tensión, únicamente se daño la celosía de una "X" en la trabe. Se puede reparar cambiando estos elementos.
493	Estructura de suspensión, sin daño aparente,
494	Estructura de tensión, tipo 4PR1+10 tiene daños en la trabe y celosía. Se requiere habilitar los montantes principales de la trabe y placas de unión, además de la celosía.
495	Colapso de la estructura de suspensión No. 495, tipo 4PC1+15, la cual requiere sustituirse.
496	Estructura de tensión, tipo 4PR1+5 tiene daños en la trabe y celosía. Se requiere habilitar los montantes principales de la trabe y placas de unión, además de la celosía.
497	Estructura de Tensión, únicamente se daño la celosía de una "X" en la trabe. Se puede reparar cambiando estos elementos.
otros	Los conductores en el claro 495-496 están dañados cerca de la clema de suspensión de la T-495. Uno de los conductores de la fase "A" se rompió y las fases se enredaron.



Figura 88. Vista de la T-495 colapsada



Figura 89. Vista de la T-494 a T-495



Figura 90. Vista de la T-494, en la cual se observa la trabe dañada.



Figura 91. Vista de la T-496 a T-495



Figura 92. Vista de la T-494, en la cual se observa la trabe dañada, condiciones similares a la T-494



3.2.4. PROGRAMA Y ACTIVIDADES DE RESTABLECIMIENTO

Una vez valorados los daños se procede a realizar el programa de restablecimiento de la Línea destacando las siguientes actividades:

- Aseguramiento de montantes en trabe de las estructura 492 y 497
- Anclaje de conductores en estructuras 494 y 496
- Reparación de traveses de estructuras 494 y 496 habilitando materiales en sitio
- Limpieza de sitio y apertura de brecha en estructura 495
- Habilitación de caminos de acceso
- Anclaje de conductores en estructura 495
- Liberación de cable conductor en estructura 495
- Desmantelamiento de torre 495 colapsada
- Alineación y reparación de conductores
- Análisis y determinación de tipo de estructura de emergencia
- Topografía y trazo de anclas para estructura de emergencia
- Instalación de pesos muertos para retenidas
- Izaje de columnas de estructura de emergencia
- Vestido de estructura y enclemado de conductores

A continuación se muestra un reporte fotográfico de las principales etapas de trabajo que se realizaron para el restablecimiento de la L.T. LCP-A3010-DOG.

En particular, los primeros días me toco coordinar los trabajos de reparación de la T-496 y una vez concluidos estos apoye en los trabajos de la estructura de emergencia de la T-495.

3.2.4.1. Anclaje de conductores en estructuras 494 y 496

Esta actividad fue de las más delicadas ya que al no estar estable la estructura una mala maniobra puede ocasionar un accidente fatal. Este trabajo se realiza con el máximo de medidas de seguridad en las estructuras No. 494 y 496.



Figura 93. Anclaje de conductores de la fase central a la ventana de la estructura



3.2.4.2. Reparación de traveses en estructuras 494 y 496

Una vez asegurados o anclados los conductores de la fase central a la ventana de las estructuras, se procedió a la habilitación de montantes y celosías de la trabe.

Los montantes principales de las traveses fueron trasladados del almacén de Irapuato, Gto., en tanto que la celosía fue habilitada de los materiales que se tenían en el centro de reparación de la Subárea ubicado en la S.E. Donato Guerra.



Figura 94. Secuencia de reparación de las traveses de las estructuras No. 494 y 495, se observa que el habilitado de algunos elementos se tuvo que realizar en campo.

3.2.4.3. Limpieza de sitio y apertura de brecha en estructura 495

Mientras que en las estructuras 494 y 496 se realizaba la reparación de las traveses, en el sitio de la estructura daban inicio las actividades para limpiar el terreno y proyectar que tipo de estructura instalar de acuerdo con las condiciones del mismo.



En esta etapa es primordial realizar la limpieza de brecha de la zona donde se instalará la estructura de emergencia así como las anclas para retenidas.

En la imagen siguiente se puede observar como se despeja completamente la zona de maleza, cabe mencionar que esta actividad genera un impacto ambiental y que solo en estas condiciones se permite la tala de las especies en la zona. Para mitigar el impacto ambiental, se realizan campañas de reforestación posteriores a la conclusión de trabajos.



Figura 95. Limpieza de brecha en la zona de la estructura colapsada



Figura 96. Imagen satelital donde se aprecia el área donde se realizó brecha y camino de acceso de T-494 a 495



3.2.4.4. Habilitado de camino de acceso de estructura 494 hacia estructura 495

Debido a las condiciones del terreno de la T-495 se optó por abrir un camino de acceso de la T494 a la 495 para poder meter materiales y equipo. Este camino también fue de gran utilidad para realizar la reparación definitiva.



Figura 97. Habilitación de camino de un acceso

3.2.4.5. Trabajos para la liberación de cable conductor en estructura 495

Esta etapa de los trabajos consiste en liberar los conductores de la estructura colapsada, para este trabajo fue necesario dismantelar parte de la estructura colapsada. Una actividad previa y de gran importancia para la seguridad de la maniobra fue el anclaje de conductores, por ello se utilizaron tensores, guías de acero y montacargas. Este anclaje se hizo con apoyo de las cimentaciones de la torre colapsada, anclando los conductores hacia ambo495.

Esta actividad también incluye a los dos hilos de guarda.



Figura 98. Desmantelamiento parcial de la estructura colapsada para la liberación de conductores

3.2.4.6. Desmantelamiento de la torre 495 colapsada

Una vez liberados los conductores se procede a realizar el desmantelamiento total de la estructura colapsada, el acero es retirado hacia el centro de acopio a fin de limpiar la zona y tener mayor terreno para maniobras. Las piezas que no se pueden desarmar son sopleteadas. En esta actividad aunque parece bastante sencilla requiere que se extremen precauciones ya que algunos elementos al estar forzados al momento de cortarlos pueden reaccionar bruscamente y ocasionar un accidente, de ahí que por ejemplo se utilicen polines de madera para mitigar y amortiguar estas reacciones.



Figura 99. Desmantelamiento de la estructura colapsada, donde se aprecia el uso de polines para evitar una reacción de los elementos estructurales.



3.2.4.7. Recuperación de conductores

Por la forma en que colapso la estructura, los conductores de las tres fases se enredaron entre sí, además de que uno de los tres conductores de la fase "A" se reventó.

Para poder alinear los conductores fue necesario identificarlos primero a fin de no confundir los cables y evitar un atraso en las maniobras más adelante.



Figura 100. Recuperación de conductores de las fases A y B.



Figura 101. Disposición de conductores en piso de estructura colapsada e identificación de conductores de una de las fases



3.2.5. INGENIERÍA DE DETALLE DE LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA

Una vez que se tuvo la información de la estructura colapsada y de las condiciones del terreno en donde se presentó la falla, se realiza la corrida correspondiente con el software de Lindsey, el cual da como resultado las siguientes características de la estructura de emergencia.

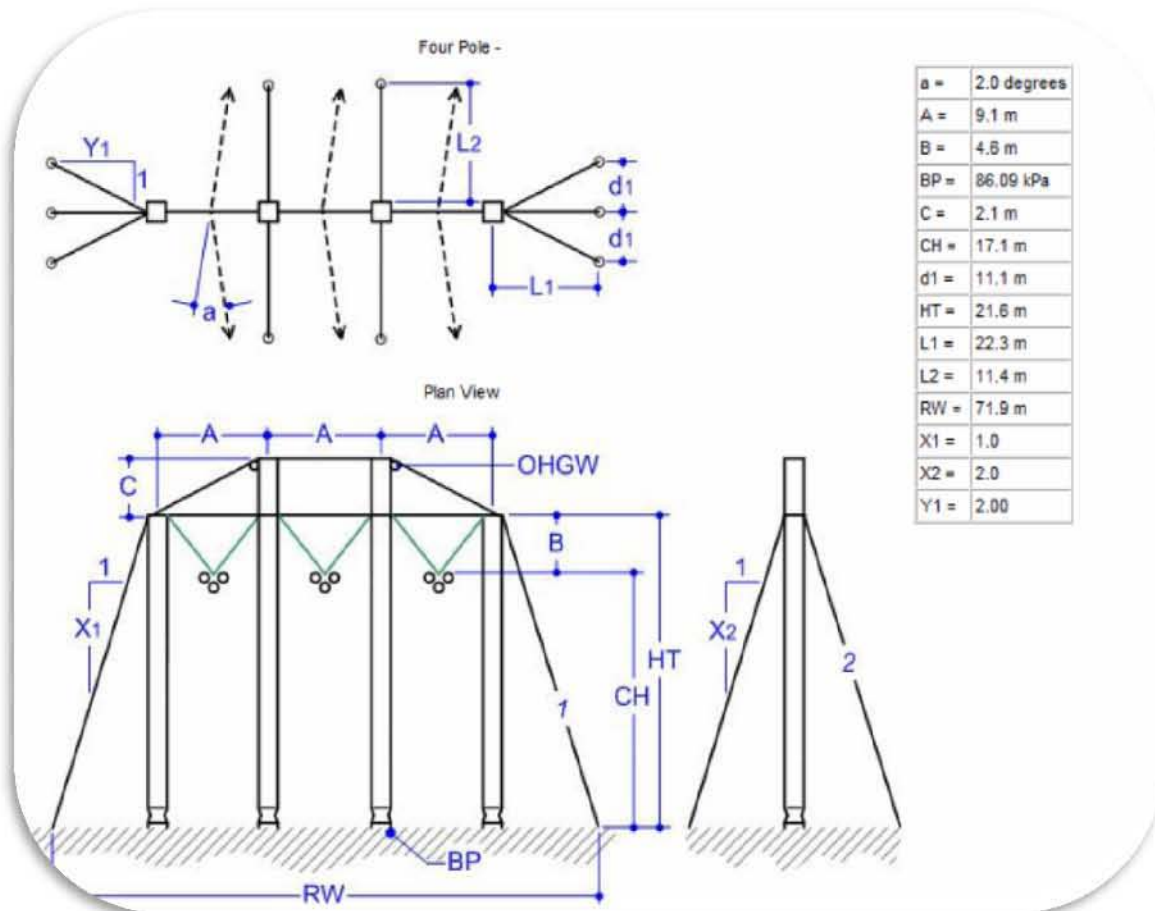


Figura 102. Diagrama esquemático de la estructura de 4 columnas utilizada para restablecer la T-495

Como podemos observar, se trata de una estructura de emergencia de cuatro columnas, del tipo suspensión, cabe mencionar que originalmente se había proyectado realizar una estructura tipo chainete, sin embargo esta se veía rebasa en sus capacidades con vientos superiores a 140 km/h, lo cual no hacía segura la reparación provisional, esto debido a que el claro 495-496 tiene una distancia de 925 [m].

De acuerdo con el resultado de Lindsey se hicieron las adecuaciones pertinentes para compensar los diferentes desniveles donde se ubicó la estructura de emergencia, básicamente estos desniveles se compensaron con cajas de sección y un módulo de 7 pies como lo veremos más adelante.



3.2.5.1. Arreglo de Retenidas y anclas que se utilizaron para el izaje de la estructura

Una vez que se tiene el tipo de estructura de emergencia a utilizar se procede a realizar las anclas para las retenidas correspondientes, esto en base al resultado del programa.

Como podemos observar en la siguiente figura para armar la estructura de 4 columnas se requirió de 14 puntos de anclaje, las dos columnas laterales llevan 5 anclas en tanto que las dos columnas centrales únicamente llevan 2 puntos de anclaje.

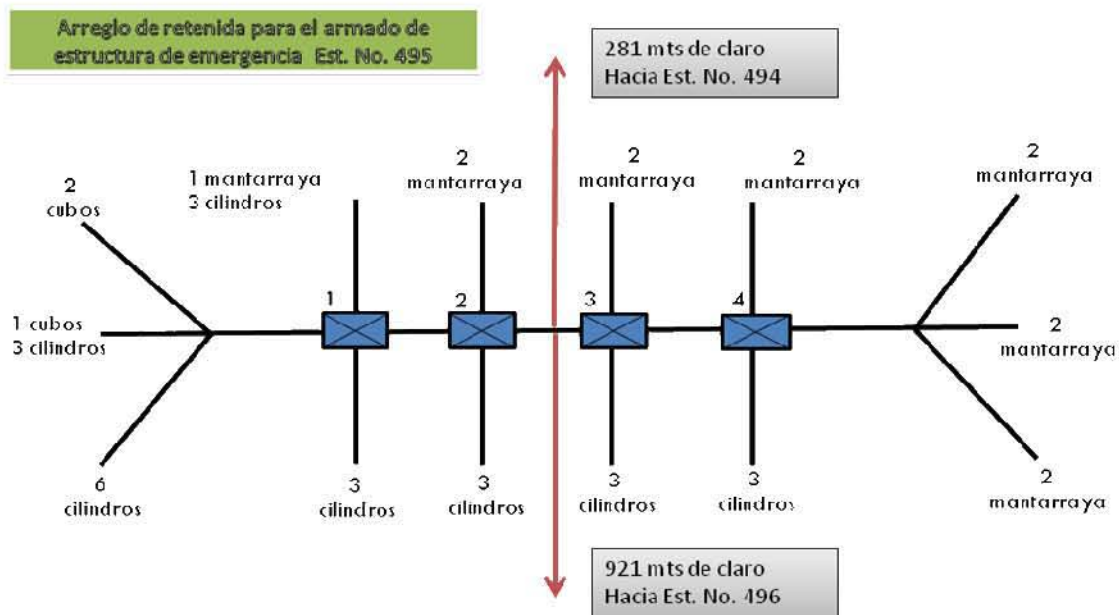


Figura 103. Diagrama esquemático de la ubicación de retenidas para la estructura de 4 columnas

3.2.6. ACTIVIDADES PARA EL ARMADO DE LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA

3.2.6.1. Topografía y trazo de anclas

Por las condiciones del terreno fue necesario que personal del Departamento de ingeniería civil os apoyara con el trazo de las anclas, de igual manera ellos se encargaron de sacar el ángulo de deflexión de la estructura de emergencia



Figura 104. Topografía y trazo de anclas para la estructura de emergencia



Los trabajos antes descritos fueron realizados con el siguiente equipo:

- Sistema gps topografico 1230 rtk
- Estación total 1101



Figura 105. Topografía y trazo de anclas para estructura de emergencia

3.2.6.2. Anclas utilizadas

Una vez ubicados los puntos de anclaje se procedió a valorar las alternativas para ver que tipo de ancla resultaba más conveniente y más fácil de instalar, de esta manera se optó por utilizar:

- Anclas tipo mantarraya
- Anclaje mediante muertos de concreto (cubos de 2.2. ton y tambos de 450 kg)



Figura 106. Perforación de barreno para anclas tipo mantarraya



Figura 107. Maniobras para la instalación de pesos muertos como puntos de anclaje

3.2.6.3. Traslado de materiales

Como hemos mencionado, la ubicación de la T-495 colapsada presentaba problemas para poder acceder con los materiales, razón por la cual se optó por meter estos a través del helicóptero de CFE, que era un tipo BELL 412, que a la altura de 1300 msnm donde fue la falla podía hacer cargas de hasta 1.2 ton.



Figura 108. Maniobras de traslado de materiales con helicóptero



Figura 109. Con apoyo del helicóptero se realizó el traslado de estructura y colocación de muertos

3.2.6.4. Armado de la estructura de emergencia

Conforme se avanzaba en las diferentes actividades enunciadas anteriormente y una vez que se contaba con los puntos de anclaje (mínimo 4) para izar la primer columna, se procedió al armado en piso de esta de acuerdo con el resultado de la corrida en el software de Lindsey.

Como podemos ver en las siguientes imágenes, la columna se armo hacia la cima del cerro, esto debido a que en esta posición se facilita realizar el izaje con helicóptero.



Figura 110. Armado de la primer columna en piso.

Para realizar el izaje de las 4 columnas se consideró hacerlo con los siguientes métodos:

- Columna uno, izaje con helicóptero ya que se facilita la maniobra y existe el espacio suficiente
- Columna dos, pivoteada y con maniobra utilizando la primer columna como mástil
- Columna tres, pivoteada y con maniobra utilizando la segunda columna como mástil
- Columna cuatro, pivoteada y con maniobra utilizando la tercer columna como mástil o también con helicóptero ya que se tiene buen espacio por la ubicación del cerro.



Figura 111. Izaje de la primera columna de la estructura de emergencia con apoyo del helicóptero.

Una vez izada la columna se plomea esta apoyados para ello de los montacargas de 1.5 ton instalados en cada punto de anclaje posteriormente se procede con la colocación de retenidas definitivas.

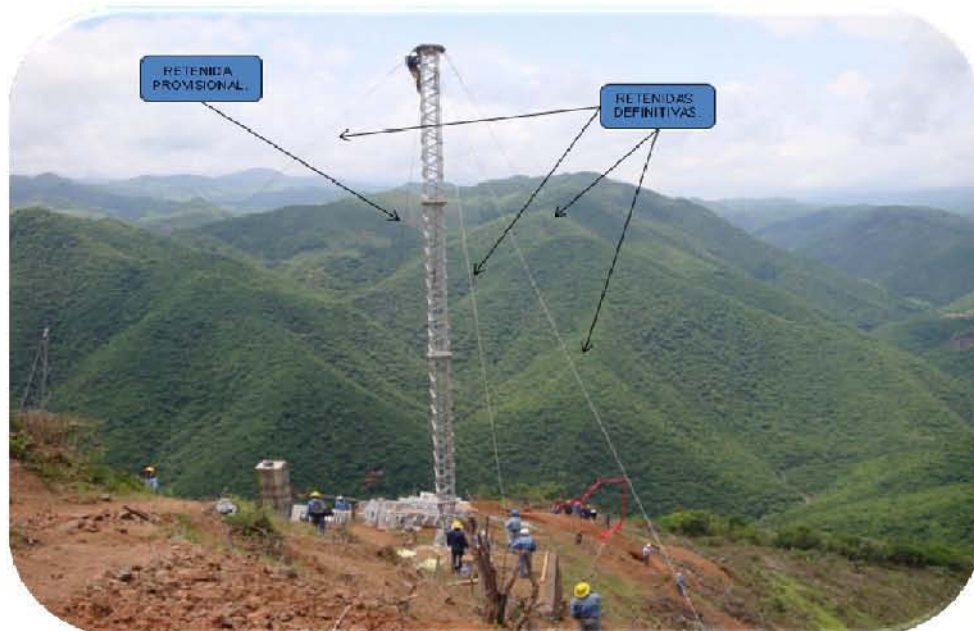


Figura 112. Primer columna izada con sus retenidas definitivas y provisionales



Parte de los trabajos de recuperación de los conductores, consiste en alinear estos de acuerdo con la posición que van a tener en la estructura de emergencia.

Como se observa en las siguientes dos imágenes, se realizó una maniobra utilizando la primera columna como mástil para que los conductores de la fase "A" brincaran una de las cimentaciones de la pata de la estructura colapsada, esta maniobra es necesario realizarla para alinear los conductores y poder armar la segunda columna.



Figura 113. Recuperación de conductores de las fases A y C para alinearlos

3.2.6.5. Izaje de la segunda columna de la estructura

Una vez alineados los conductores de la fase "A" y preparados los puntos de anclaje para la segunda columna se procede a realizar la maniobra de izaje, en esta maniobra se utiliza como pivote la primera columna y la guía de acero es jalada por el Unimog U-4000.



Figura 114. Izaje de la segunda columna de la estructura de emergencia



3.2.6.6. Izaje de la tercer columna de la estructura

De manera similar a la maniobra anterior, una vez que se alinean los conductores de la fase “B” y se cuenta con las anclas necesarias se realiza la maniobra para izar la tercer columna previamente armada en piso. La maniobra es idéntica a la anterior solo que esta vez la segunda columna es la que sirve como mástil para pivotear y mediante el Unimog U-4000 se jala la guía de acero para levantar la columna.

Como se puede observar en la siguiente imagen, en esta etapa del restablecimiento ya era crítico el tiempo transcurrido, ya había transcurrido exactamente una semana desde que ocurrió el colapso de la estructura, razón por la cual se trabajo hasta noche para concluir la maniobra.

Cabe mencionar que en esta etapa del trabajo (día 7 desde el colapso de la estructura) ya se tenían reparadas las estructuras de tensión No. 492, 494, 496 y 497, razón por la cual se concentro la fuerza de trabajo para el izaje de las columnas de la estructura de emergencia.



Figura 115. Izaje de la segunda columna de la estructura de emergencia

3.2.6.7. Izaje de la cuarta columna de la estructura

De manera similar a las maniobras anteriores, una vez que se tienen alineados los conductores de la fase “C”, se procede a armar la cuarta columna en piso y se prepara la maniobra para el izaje de la columna con helicóptero. Por la ubicación de la columna esta se armo hacia la parte baja del cerro.



Cabe mencionar que por la posición en que se armo la columna en piso y por ser la más alta de las cuatro, el helicóptero no pudo izar la columna sino hasta el tercer intento, situación que de algún modo preocupaba ya que el tiempo en preparar maniobras similares a las de la columna 2 y 3 iba a ocasionar un retraso considerable.

Finalmente se pudo izar la cuarta y última columna de la estructura de emergencia a lo cual se procedió a ponerles sus retenidas definitivas y violín correspondiente para iniciar con la siguiente actividad.

3.2.6.8. Vestido y subida de conductores a la estructura de emergencia

Como podemos observar en la imagen una vez completa la estructura de emergencia se procede a realizar el vestido de la misma, donde podemos observar que se instaló aislamiento sintético para realizar un arreglo con disposición en "V", en dicho arreglo se instala un yugo universal el cual se prepara para enganchar en el las poleas de tendido que en este caso fueron triples.

En seguida se procede a preparar la maniobra para subir los conductores, para esta maniobra es muy importante considerar el violín intermedio, ya que hay que quitarlo y ponerlo conforme se desarrolla la maniobra.

El jalón de la maniobra es realizado mediante el winch del Unimog U-4000 el cual tiene una guía de acero de 205 metros y una capacidad de carga de 6 ton. Esta maniobra se realiza d manera idéntica para cada una de las tres fases.



Figura XX. Maniobra para la subida de conductores a la estructura de emergencia



3.2.7. TRABAJOS FINALES EN LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA

Una vez que se tienen las tres fases arriba suspendidas de la estructura de emergencia, se retiran los equipos utilizados en las diferentes maniobras, se procede a revisar las retenidas definitivas a fin de observar que ninguna de ellas este demasiado tensionada o floja, en cuyo caso se realiza el ajuste correspondiente.

Debido a que el trazo de la estructura de emergencia no quedo perpendicular a la trayectoria de la línea, por las condiciones del terreno, fue necesario instalar aislamiento sintético a 4 de las retenidas longitudinales superiores, la columna 1 del lado de T-494 y las columnas 2, 3 y 4 del lado de T-496



Figura 116. Arreglo final de la estructura de emergencia de 4 columnas.

Cabe mencionar que debido a que el CENACE estaba requiriendo la entrada en operación de la línea, ya no se tuvo el tiempo para enclemar los conductores por lo cual quedaron en poleas, así mismo no fue posible instalar los separadores en los claros 494-495-496, la fase "A" en el tramo de la T-494 a 496 quedo únicamente con dos conductores por fase y no se instalo hilo de guarda de los claros 494 a 496. Estas condiciones no fueron las mejores, sin embargo esto no afecta la confiabilidad de la operación de la línea mientras se realiza la reparación definitiva.



3.2.8. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA

El siguiente listado son los materiales con los cuales se armo la estructura de emergencia, en este no se están considerando los materiales de instalación permanente utilizados para reparar las traveses de las estructuras 494 y 496.

- 4 bases fijas
- 4 bases articuladas
- 13 módulos de 21'
- 1 módulo de 14'
- 2 módulos de 7'
- 2 platinas 45°- 45°
- 8 platinas 45°- 0°
- 4 platinas 0°- 0°
- 3 cajas de sección
- 24 retenidas
- 14 anclajes
- 6 violines
- 18 aisladores poliméricos de 1.44 m
- 16 aisladores poliméricos de 4.10 m

Altura de las columnas:

Columna 1	21.93 [m]
Columna 2	23.95 [m]
Columna 3	26.05 [m]
Columna 4	30.25 [m]



Figura 117. Arreglo final de la estructura de cuatro columnas

Finalmente se concluyen los trabajos de restablecimiento de la línea de transmisión DOG-A3010-LCP el día 08 de agosto de 2010, devolviendo la licencia 789 y registro numero 10677 a las 11:11 hrs y esta queda energizada a las 13:05 hrs tomando una carga de 346 MW.



3.2.9. APOYO LOGÍSTICO

Como se pudo constatar todo el esfuerzo y trabajo realizado para restablecer una línea de transmisión con estructuras colapsadas requiere de un apoyo logístico a fin de que de alguna manera se faciliten algunas condiciones de trabajo.

Dentro del apoyo logístico con que se conto para estos trabajos se presentan las siguientes imágenes, las cuales por si solas describen la importancia que representan.



Figura 118. Suministro de alimentos y agua en sitio



Figura 119. Habilitación del Centro de Acopio "El Caballito" ubicado a 4 km de la torre colapsada

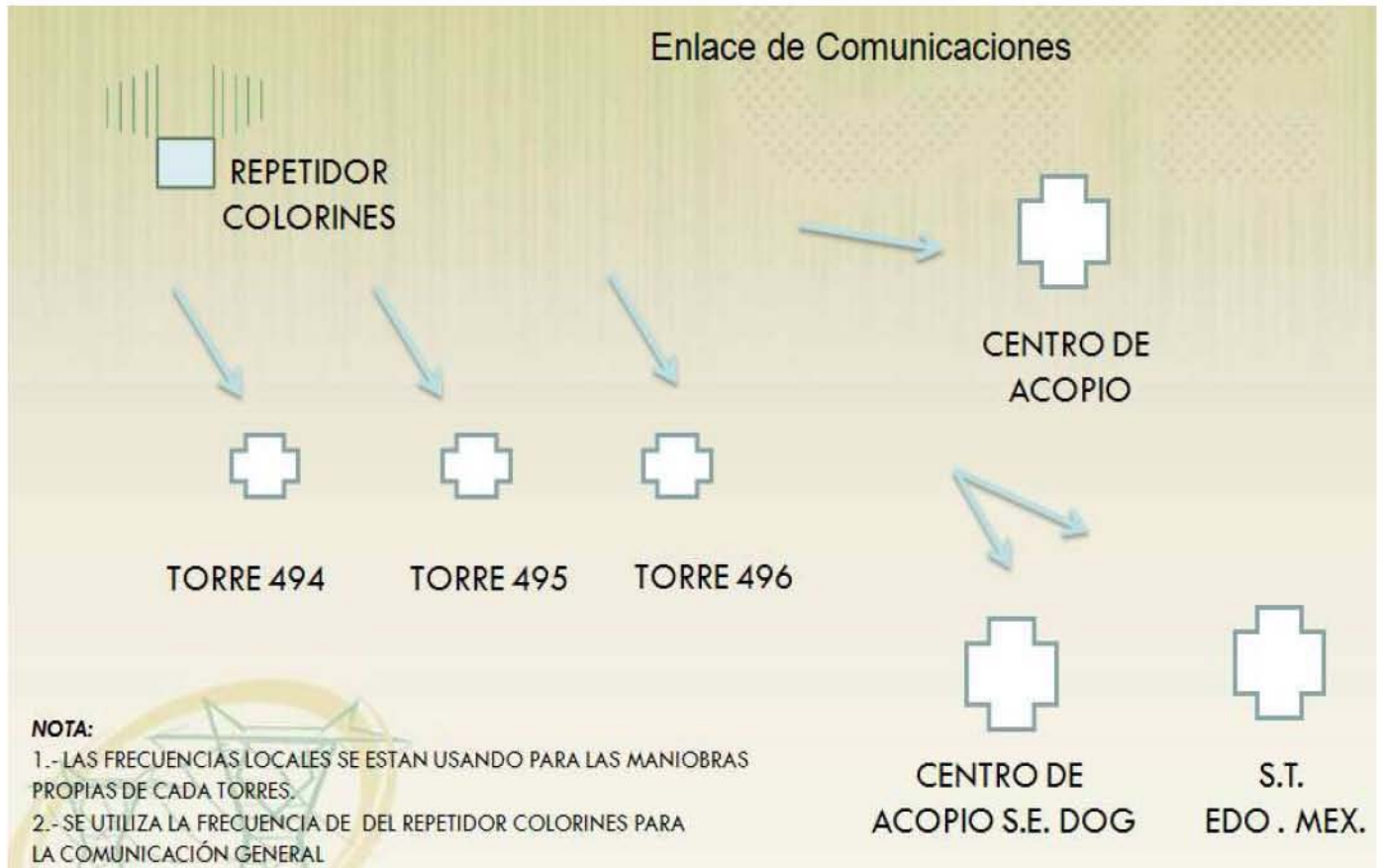


Figura 120. Esquema del enlace de comunicaciones



3.2.10. RECURSOS UTILIZADOS PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA L. T. LCP-A3010-DOG

GRUPO	PERS. TRANS.	SUPER. CFE	ADMON CFE	VEHICULOS	GRUAS	UNIMOG	HELICOPTERO	CONS. CFE	CONTRATISTAS
TORRE 494	22	1		5		1		1	22
TORRE 495	26 3 TOP 1 CIVIL 2 COMS	2		10		1 CONST.			70
TORRE 496	12	1		1 1 DE 3.5 TON		1		1	19
CENTRO DE ACOPIO	11	1		2	4				
CENTRO DE ACOPIO S.E. DOG	5	1		1					
LOGISTICA A	7		5	3					
TRANS. AEREO		1					2 HELIC. 1 PIPA		
TOTALES	86	7	5	23	4	3	2	2	111



3.2.11. COMENTARIOS DE ESTE CASO

- La estructura de suspensión No. 495 colapsada se restableció con una estructura tipo 4 columnas, esto debido a las condiciones orográficas del terreno, número de conductores por fase y a la longitud entre claros.
- Por el tipo de suelo y condiciones del terreno se utilizaron dos tipos de anclaje: muertos y anclas manta-ray. Estas últimas fueron probadas en campo, obteniéndose resultados satisfactorios, es decir, soportaron 5 ton. de tensión.
- Por la problemática del terreno, el camino de acceso no era el óptimo, por lo que los materiales de la estructura de emergencia se tuvieron que meter a sitio con helicóptero.
- Para el restablecimiento final de la línea: los conductores se quedaron en poleas en la torre de emergencia, una de las 3 fases quedó con dos conductores y los claros entre las estructuras 494-495-946 quedaron sin hilo de guarda y sin separadores.
- Por las condiciones del terreno, las 4 columnas de la estructura de emergencia no se levantaron de forma perpendicular al eje de la línea, lo cual generó que las retenidas longitudinales tampoco quedarán en tangente, razón por la cual se instaló aislamiento polimérico en 4 de las retenidas superiores.



3.3. CASO III. RESTABLECIMIENTO DE LA L.T. SAN LORENZO POTENCIA - A3960 – TEXCOCO

3.3.1. ANTECEDENTES

CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA

La Línea de Transmisión San Lorenzo Potencia – A3960 – Texcoco, forma parte del corredor de transmisión de energía eléctrica del sureste hacia el centro del país.

Esta línea esta formada por 180 estructuras y tiene una longitud de 81 km, es de dos conductores por fase de cable ACSR calibre 1113 kcm y dos hilos de guarda de cable de acero calibre 3/8".

La línea esta suspendida de torres autosoportadas de un solo circuito en disposición horizontal, entro en operación desde el año de 1968 en ese entonces enlazaba las subestaciones Puebla Dos con Texcoco pero fue hasta el año de 1994 cuando toma el nombre actual debido a la entrada en operación de la S.E. San Lorenzo Potencia.

Esta Línea de Transmisión es operada por la Gerencia Regional de Transmisión Central de CFE a través de la Subárea de Transmisión Centro.

La línea en su trayectoria cruza la altiplanicie del estado de puebla, la reserva ecológica del Monte Tláloc y termina su trayectoria en la meseta del Anáhuac donde conecta a la S.E. Texcoco.

FALLA DE LA LÍNEA

El día 19 de diciembre de 2010 aproximadamente a las 05:50 hrs se presentó una explosión en el oleoducto de PEMEX Tula – Nuevo Teapa, en la periferia de la ciudad de San Martín Texmelucan, lo cual afecto las estructuras No. 63 y 64 de la L.T. LRP-A3960-TEX.

El área afectada fue extensa, ya que el derrame de combustible fluyó por el camino que conduce a la S.E. San Martín Potencia, Río Atoyac y el sistema de drenaje de una parte de la zona conurbada de San Martín Texmelucan.

La secuencia de eventos de la falla fue la siguiente:

- 6:04 hrs. Dispara Línea LRP-A3690-TEX, Opera PP1 SEL 321, carga afectada 420MW, fase C-N
- 06:07 hrs. Cierre/Disparo, Línea LRP-A3690-TEX,
- Localizador de fallas indica una distancia 24.31km de S.E. San Lorenzo Potencia y 68.54km de S.E. Texcoco



El mismo día domingo 19 de diciembre personal de Líneas de Transmisión realiza los patrullajes aéreos y terrestres para ubicar la falla encontrando las siguientes anomalías:

- Estructura de suspensión No. 64 Colapsada, debido a que el ducto de Pemex explotó a pocos metros de la estructura, lo cual también provocó daños en los cables del claro 64-65 debido al calor excesivo estos se fundieron.
- Estructuras de suspensión No. 63 con daños estructurales, esta ladeada, debido al esfuerzo que sufrió por el colapso de la T-64 y la ruptura de los cables.

Inmediatamente después de localizados estos daños sobre la Línea de Transmisión LRP-A3960 TEX se inicia el operativo para restablecer la línea.

3.3.2. UBICACIÓN DE LA FALLA

Como podemos observar en la siguiente imagen satelital, las estructuras No. 63 y 64 de la L.T. LRP-A3960-TEX se localizan en las inmediaciones del poblado de San Martín Texmelucan, Pue., es un terreno plano y sin problemas de acceso.



Figura 121. Localización de la falla de la LT LRP-A3960-TEX



3.3.3. VALORACIÓN DE DAÑOS EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Una vez que se realizó la inspección en la zona de la falla, se tiene el siguiente registro de daños en la L.T. LRP-A3960-TEX:

ESTRUCTURA	VALORACION DE DAÑOS
63	Estructura de suspensión, tiene daños estructurales en las cimentaciones y montantes principales, aunque no se colapso es necesario sustituirla ya que esta dañada.
64	Estructura de suspensión, completamente colapsada, requiere sustituirse.
otros	Los conductores en el claro 64-65 están dañados debido al calor excesivo por el incendio posterior a la explosión, estos se fundieron. Se pueden amadrinar y quedar en condiciones para una reparación temporal.



Figura 122. Vista de la T-64 colapsada



Figura 123. Vista aérea del sitio de la falla



Figura 124. Vista de la T-63, en la cual se observa ladeada por los esfuerzos del colapso de la estructura adyacente.



Figura 125. Daños en los conductores de la línea, los cuales se fundieron por el calor del incendio

3.3.4. ACTIVIDADES PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA LÍNEA

Una vez valorados los daños se procede a realizar el programa de restablecimiento de la Línea destacando las siguientes actividades:

- Anclaje de conductores e hilos de guarda en claro 62-63, a fin de poder retirar la T-63
- Anclaje de T-65, tipo tensión, a efecto de compensar los esfuerzos
- Retiro y desmantelamiento de estructuras No. 63 y 64 dañadas
- Habilitación de caminos de acceso
- Análisis y determinación de tipo de estructura de emergencia
- Ubicación de materiales de los centros de reparación para restablecer la línea.
- Topografía y trazo de anclas para estructura de emergencia
- Instalación de pesos muertos para retenidas



- Izaje de columnas de estructura de emergencia
- Vestido de estructuras de emergencia
- Reparación de conductores
- Alineación de conductores
- Rematado de conductores en T-65

A continuación se muestra un reporte fotográfico de las principales etapas de trabajo que se realizaron para el restablecimiento de la L.T. LRP-A3960-TEX.

En particular, me correspondió coordinar los trabajos de la estructura No. 63 y una vez concluidos estos realice lo conducente en la T-65.

3.3.4.1. Actividades previas

Una vez que se pudo ingresar a la zona donde ocurrió el siniestro, personal de CFE se coordinó con los de PEMEX a fin de que se pudieran realizar los trabajos de reparación de manera conjunta y ordenada, es decir, CFE con sus estructuras y PEMEX con su ducto.

Al lugar de los hechos se presentaron personal de CFE Transmisión, Protección Civil del Estado de Puebla, PFP Sector Puebla, Ejército Mexicano, Policía Municipal de San Martín los cuales acordonaron la zona afectada, para que PEMEX en primera instancia, controlara la fuga e incendio y posteriormente reparar el ducto afectado



Figura 126. Se aprecia la fuga del oleoducto, así como la intervención del acordonamiento por parte de la SEDENA.



3.3.4.2. Anclaje de conductores en claro 62-63 e instalación de retenidas en T-65

Después de valorar los daños en la zona de la explosión, la primera actividad en materia fue el anclaje de conductores en ambos extremos del punto de falla.

Para el anclaje de conductores del claro 62-63, con el apoyo de una retroexcavadora se enterraron 2 muertos de concreto de 2.2 ton, estos fueron los puntos de anclaje para los conductores, posteriormente se prepara la maniobra y con apoyo de los tensores, estrobos de acero y montacargas de 6 ton. se aseguran cada una de las fases. El anclaje de los hilos de guarda no fue necesario en este punto.

De manera similar, se realizó el anclaje de la T-65, que es de tensión, una vez anclada se procedió a retirar los conductores, herraje y aislamiento del lado de la T-64, esto debido a que se tenían que amadrinar los conductores y no tenía caso dejar estos elementos en la torre.

Con esta actividad se aisló la zona de trabajo o seccionó la línea para poder realizar la sustitución de las estructuras No. 63 y 64 mediante estructuras de emergencia.



Figura 127. Instalación de retenidas en T-65

3.3.4.3. Limpieza del sitio y habilitación de caminos de acceso

Como mencionamos al inicio de este caso, el terreno donde ocurrió el siniestro es plano, con ligeros desniveles el cual también contaba con caminos de acceso que únicamente hubo que acondicionarlos para que entraran fácilmente las grúas y demás vehículos.

Por lo demás, esta actividad fue ligera y requirió poco personal.

3.3.4.4. Desmantelamiento de las estructuras colapsadas

La estructura No. 64 que se colapso totalmente y los conductores aledaños a esta quedaron en el suelo y sin tensión en tanto que la única parte que tenía tensión era un hilo de guarda, el cual estaba sosteniendo de alguna manera a la T-63.

Esta etapa del trabajo se planeo de tal manera que al picar uno de los hilos de guarda en la T-64 que tenía tensión y sostenía a la T-63, la T-63 colapsara definitivamente, recordemos que para



esto ya teníamos anclados los conductores en el claro 62-63. Una vez echa esta maniobra la T63 se colapso definitivamente y la T-64 quedo libre de tensiones, por lo cual el personal únicamente se dedico a retirar el acero convertido en chatarra.

La maniobra anterior era necesaria, ya que la T-63 estaba inestable y era muy riesgoso tratar de desenclemar los conductores de las cadenas de aislamiento, aún con grúa.

3.3.4.5. Recuperación de conductores

Dado que los conductores del claro 64-65 quedaron completamente dañados no fue necesario recuperar los conductores y para este claro se utilizo conductor nuevo, por lo que únicamente se realizaron 6 madrinan, previendo que este conductor nuevo pudiera ser reutilizado cuando se instalara la estructura definitiva.

Esta etapa del trabajo solo requirió del tendido, alineado y empalmes del conductor nuevo con las madrinan. Esta actividad se hizo al tercer y cuarto día del inicio de los trabajos.

3.3.5. INGENIERÍA DE DETALLE DE LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA

Una vez que se tuvo la información de las estructuras colapsadas y de las condiciones del terreno en donde se presento la falla, se realizan la corrida correspondiente con el software de Lindsey, el cual da como resultado el uso de dos estructuras de emergencia tipo chainette con las características indicadas en la figura 128.

Este tipo de estructuras se pudo seleccionar fácilmente de las corridas previas con que cuenta CFE, esto dado que el terreno era plano y se conocía que las estructuras colapsadas eran de un nivel +0. En razón de lo anterior la estructura seleccionada fue la de una altura por columna de de 30.2 [m], distancia entre centros de las bases de 22.4 [m] y un violín superior de 27.2 [m].



27.2 MTS VIOLIN (ESTA DISTANCIA NO VARIA CON LA ALTURA DE COLUMNA)

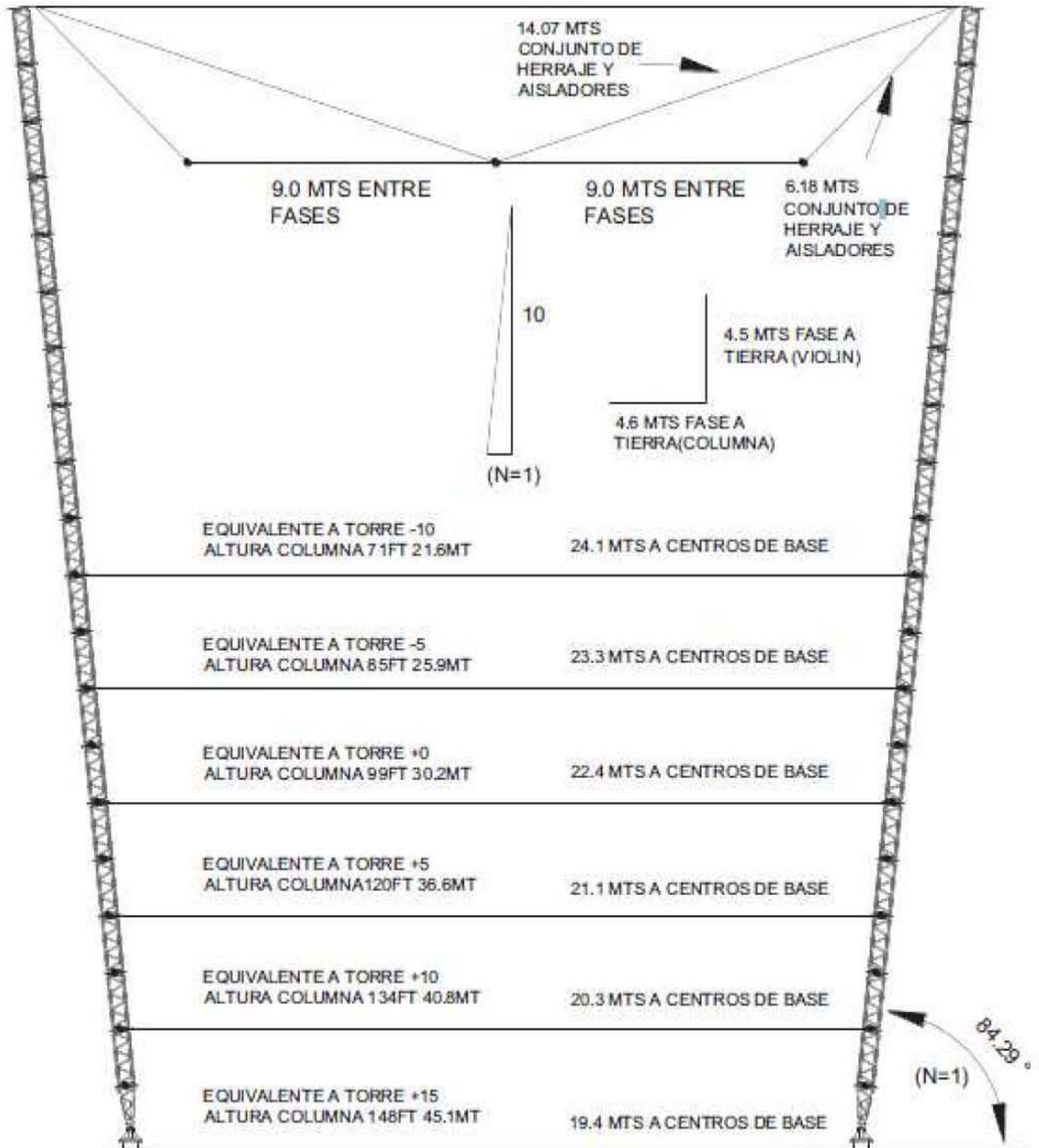


Figura 128. Diagrama esquemático de la estructura de emergencia tipo chainette para sustituir la T-63 y T-64.



3.3.5.1. Topografía y trazo de anclas para estructura de emergencia

Por las condiciones del terreno en esta ocasión no fue del todo necesario el apoyo de la topografía para el trazo de retenidas, es decir, como únicamente se contaba con un topógrafo y a efecto de avanzar con los trabajos, los trazos fueron realizados con cinta métrica y validados después por el topógrafo.

El trazo en este tipo de terrenos se facilita bastante, el único punto donde podemos tener error es que al tomar la referencia del eje de la línea este tenga alguna variación, por lo demás el trazo manual es bastante confiable.

3.3.5.2. Arreglo de Retenidas y anclas que se utilizaron para el izaje de la estructura

Una vez que se tiene el tipo de estructura de emergencia a utilizar se procede a realizar las anclas para las retenidas correspondientes, esto en base al resultado del programa.

Como podemos hemos mencionado en el capítulo 2 de este informe, para armar una estructura de emergencia tipo chainette se requieren de dos columnas con una inclinación máxima de 5 grados. Cada columna lleva tiene tres puntos de anclaje definitivos como se puede ver en la siguiente figura.

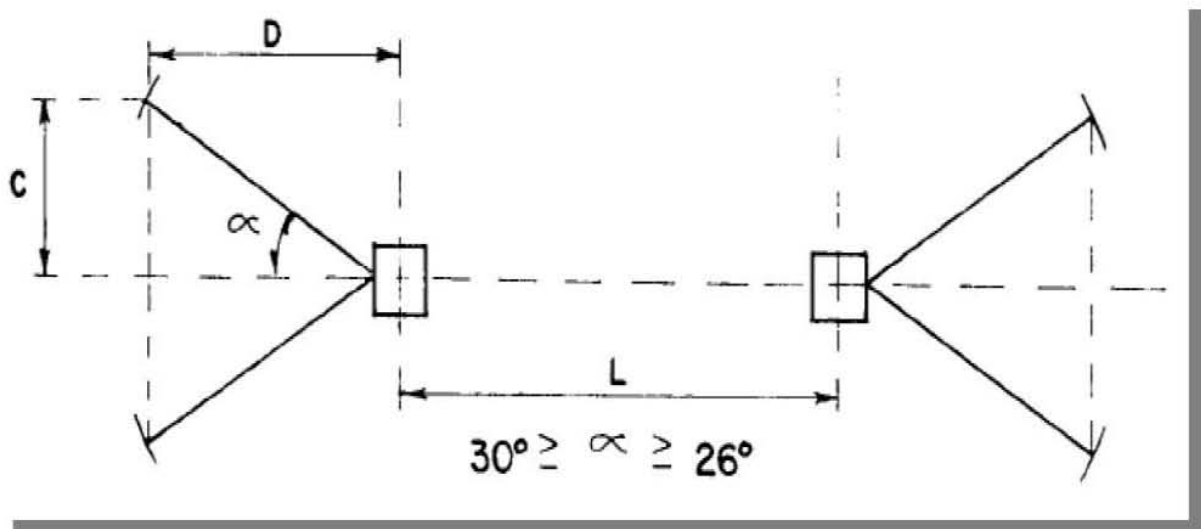


Figura 129. Diagrama básico de retenidas definitivas



Las retenidas temporales siempre tienen la siguiente disposición, las cuales en este caso fueron habilitadas con puntillas en dos puntos, en un tercero por muertos de concreto y el cuarto punto es tomado de las anclas definitivas.

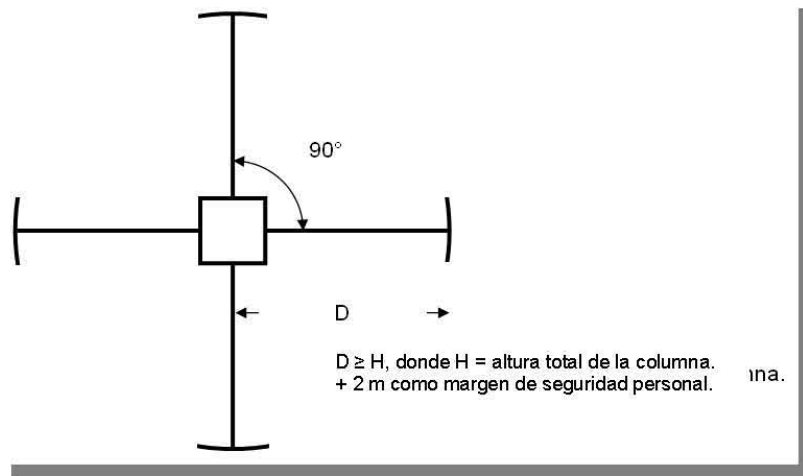


Figura 130. Diagrama básico de retenidas temporales utilizado para izar las columnas

Para realizar los puntos de anclaje definitivos se utilizaron muertos de 2.2 ton y tambos de 450 kg, los cuales fueron enterrados en las cepas correspondientes con apoyo de una retroexcavadora y grúa.



Figura 131. Diagrama esquemático de la ubicación de retenidas para la estructura de 4 columnas



3.3.6. ACTIVIDADES PARA EL ARMADO DE LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA

3.3.6.1. Traslado de materiales

El traslado de materiales se realizó con grúas del centro de reparación San Lorenzo al sitio, no se requirió nada extraordinario ya que todos los materiales llegaban a pie de estructura.

3.3.6.2. Armado de la estructura de emergencia

Conforme se avanzaba en las diferentes actividades enunciadas anteriormente un grupo de linieros se dedicó al armado en piso de las dos columnas que conforman la estructura de emergencia.



Figura 132. Armado de las columnas en piso.

Para realizar el izaje de las dos columnas que componen la estructura tipo chainette se consideró hacerlo con los siguientes métodos:

- Columna uno, izaje con helicóptero o con grúa ya que se facilita la maniobra y existe el espacio suficiente
- Columna dos, pivoteada y maniobra utilizando la primera columna como mástil o con grúa o con helicóptero.

De estas opciones y dado que se consiguió una grúa con la altura y capacidad necesaria, se optó por izar las estructuras con grúa.



Figura 133. A la izquierda se observan las columnas armadas en piso, en tanto que a la derecha se observa la maniobra realizada con grúa.

Cabe mencionar que durante los trabajos de izaje de las columnas se tuvieron los siguientes inconvenientes o contratiempos:

- Se consiguió una grúa tipo Pettibone con capacidad de 60 ton y altura de 45 [m], esta grúa levanto únicamente una columna en la T-63 y después se descompuso.
- Para izar la segunda columna de la T-63, se hizo maniobra con una grúa tipo Telelect de 20 ton y altura de 18 [m].
- Para la T-64 dado que se descompuso la grúa Pettibone y se tenía en uso la Telelect, optaron por realizar el izaje con helicóptero, sin embargo dado el peso que tenía la estructura por estar armada con módulos prinex y la altura sobre el nivel del mar donde nos ubicábamos, después de tres intentos no se pudo realizar la maniobra,
- Finalmente una vez que se desocupó la grúa Telelect de la T-63 se trasladó a la T-64 para hacer lo correspondiente.



Figura 134 Izaje de la estructura con una grúa Telelect



3.3.6.3. Vestido y subida de conductores a la estructura de emergencia

Una vez que se tuvieron armadas las estructuras de emergencia tipo chainette, se procedió al armado del violín y brasier en piso (arreglo de aisladores y herrajes donde se suspenden los cables conductores), después se sube este arreglo y se engancha de las platinas ubicadas en la punta de cada columna. Una vez instalado el violín y el brasier se proceden a realizar la maniobra para dar la inclinación a las columnas, estas maniobras se realizan con apoyo de las retenidas temporales y definitivas mediante los montacargas ubicados en cada punto de anclaje.

Una vez que se tiene la inclinación de las columnas, se procedió a alinear los conductores de cada fase, enseguida de mete una polea doble de tendido y con ayuda de la grúa Pettibone se suben los conductores hasta el brasier, donde un liniero engancha las poleas en cada yugo universal del brasier.

Esta maniobra se repite para cada una de las tres fases en las dos estructuras de emergencia.



Figura 135. Maniobras para la subida de conductores a la estructura de emergencia



En esta condición quedamos listos para los trabajos finales, dado que únicamente nos quedaba realizar el flechado y rematado de conductores en la T-65.

3.3.7. TRABAJOS FINALES EN LA ESTRUCTURA DE EMERGENCIA

Las siguientes actividades fueron realizadas el día miércoles 22 de diciembre del 2010.

Una vez que estaban los conductores de las tres fases enganchados a las estructuras de emergencia, se inician las maniobras para el tensionado, flechado y rematado de conductores. Estas actividades se realizan en la T-65. Para dar inicio, de manera coordinada un grupo de linieros se ubico en el claro 62-63 donde estaban anclados los conductores, otros dos más se ubicaron en cada estructura de emergencia para observar su comportamiento y el resto se ubico en la T-65 para las maniobras de tensionado.



Figura 136. Maniobras para el tensionado de conductores en T-65

Esta maniobra duro aprox. 7 horas, por lo que alrededor de las 20:00 hrs se concluyo con el puentado de la última fase. Por lo noche que se terminaron los trabajos, únicamente se alcanzaron a colocar separadores en dos fases, la tercer fase quedo sin separadores. Así también, los conductores en las estructuras de emergencia no fueron enclenados y estos quedaron en poleas.

Una vez que se tienen las tres fases arriba suspendidas de la estructura de emergencia, se retiran los equipos utilizados en las diferentes maniobras, se procede a revisar las retenidas definitivas a fin de observar que ninguna de ellas este demasiado tensionada o floja, en cuyo caso se realiza el ajuste correspondiente.



El día 22 de diciembre del 2010 se concluyen los trabajos anticipadamente de acuerdo al programa establecido de la instalación de 2 estructuras modulares de emergencia, quedando los siguientes horarios:

- A las 20:05 se retira licencia 20101219-710
- A las 22:03 C INT. A3960 LRP
- A las 22:05 C INT. A3960 TEX tomando una carga la Línea de 125 MW

3.3.8. MATERIALES UTILIZADOS PARA LAS ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA

El siguiente listado son los materiales con los cuales se armo la estructura de emergencia, en este no se están considerando los materiales de alta rotación como lo son, grapas perro, grilletes, aisladores, estrobos de acero, etc.

-
- 4 bases fijas
- 4 bases articuladas
- 12 módulos de 21'
- 5 módulo de 14'
- 3 módulos de 7'
- 4 platinas 45°- 45°
- 8 platinas 45°- 0°
- 1 cajas de sección
- 24 retenidas
- 12 anclajes
- 2 violines de 27.2
- Herraje diverso para armar 2 brasier

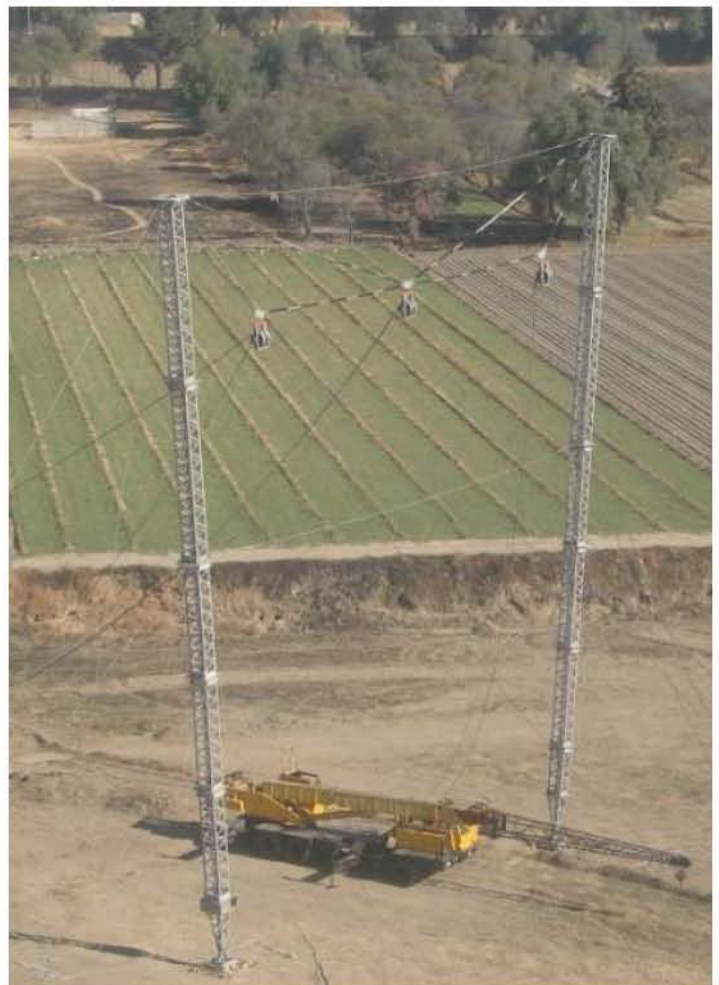


Figura 137 Estructura tipo chainette



3.3.9. RESUMEN DEL PROGRAMA DE TRABAJO

El siguiente programa de trabajo en el resumen de actividades desarrolladas del día 19 al 23 de diciembre de 2010, para el restablecimiento de la L.T. LRP-A3960-TEX.

No.	ACTIVIDAD	Avance Prog Real	DICIEMBRE (2010)														ENERO (2011)		FACTOR DE PESO	AVANCES		OBSERVACIONES		
			D	L	Ma	Mi	J	V	S	D	L	Ma	Mi	J	V	S	D	1		2	% PROG.		% REAL	
			19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2							
VISITA Y EVALUACION																								
1	VISITA AL SITIO PARA INSPECCION	P																			1%	1%		
	EVALUACION DE DAÑOS Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS DEFINITIVOS	R																					1.0%	ACT. CONCLUIDA
2	LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO PARA DISEÑO ELECTROMECANICO	P																				1%	1%	
		R																					1.0%	ACT. CONCLUIDA
3	INSPECCION VISUAL DEL TIPO DE SUELO PARA DETERMINAR CARACTERISTICAS Y DISEÑO DE CIMENTACION	P																				1%	1%	
		R																						1.0%
INGENIERIA Y DISEÑO																								
4	DISEÑO ELECTROMECANICO DEL TRAMO DE LA TORRE 62 A 65	P																				2%	2%	
		R																						2.0%
5	DISEÑO CIVIL DE LAS CIMENTACIONES DE LAS TORRES 63 Y 64	P																				3%	3.0%	
		R																						3.0%
APOYO A RESTABLECIMIENTO PROVISIONAL																								
6	RETIRO DE CABLES CONDUCTOR Y GUARDA EN TRAMO T-62 A T-65	P																				4%	4.0%	
		R																						4.0%
7	RETIRO DE SEPARADORES EN TRAMO T-62 A T-65	P																				1%	1.0%	
		R																						1.0%
8	RETIRO DE ACERO ESTRUCTURAL DOBLADO Y AÑADIDO DE T-63 Y T-64	P																				5%	5.0%	
		R																						5.0%
9	TENDIDO DE CABLE CONDUCTOR Y GUARDA EN TRAMO T-64 Y T-65	P																				3%	3.0%	
		R																						3.0%
10	TENSIONADO DE CABLES CONDUCTOR Y GUARDA EN TRAMO T-62 AL T-65	P																				2%	2.0%	
		R																						2.0%



3.3.10. APOYO LOGÍSTICO

Como se pudo constatar todo el esfuerzo y trabajo realizado para restablecer una línea de transmisión con estructuras colapsadas requiere de un apoyo logístico a fin de que de alguna manera se faciliten algunas condiciones de trabajo.

Dentro del apoyo logístico con que se conto para estos trabajos se presentan las siguientes imágenes, las cuales por si solas describen la importancia que representan.



Figura 138. Suministro de alimentos y agua en sitio



3.3.11. RECURSOS UTILIZADOS PARA EL RESTABLECIMIENTO DE LA L.T. LRP-A3960-TEX

GRUPO	PERS. TRANS.	SUPER. CFE	ADMON CFE	VEHICULOS	GRUAS	UNIMOG	HELICOPTERO	CONS. CFE	CONTRATISTAS
TORRE 63	20	2		4 Y 1 DE 3.5 TON	1	1		1	
TORRE 64	24	2		4 Y 1 DE 3.5 TON	1	1		1	
TORRE 65	16	1		2 Y 1 DE 3.5 TON					12
CENTRO DE ACOPIO	11	1		2	1				4
TOPOGRAFIA Y COMUNI.	5	1		2					
LOGISTICA	7		5	3					
TRANS. AEREO							2 HELIC. 1 PIPA		
TOTALES	83	7	5	20	3	2	2	2	16



3.3.12. COMENTARIOS FINALES DE ESTE CASO

- Las estructuras de suspensión No. 63 y 64 colapsadas se restablecieron con una estructura tipo chainette de 85 [ft] de altura, esto debido a las condiciones del terreno.
- Por el tipo de suelo y condiciones del terreno se utilizó un tipo de anclaje: muertos de concreto de 2.2 ton y tambos de 450 kg.
- Para el restablecimiento final de la línea los conductores se quedaron en poleas en las torres de emergencia, solo se instalaron separadores en dos fases del claro 64-65 y el resto se quedaron sin separador, así mismo los claros 62-63-64-65 se quedaron sin hilo de guarda y sin separadores.
- El tiempo de restablecimiento de las dos estructuras fue de 4 días, esto debido a que las condiciones de terreno fueron bastante favorables para el desarrollo de los trabajos.



4. RESULTADOS Y APORTACIONES

El presente Informe de Actividades es parte del trabajo Profesional que a la fecha he tenido oportunidad de desempeñar desde que egrese de la Facultad de Ingeniería; desde mi época de estudiante siempre se me hizo interesante el papel que desarrollan los ingenieros de todas las áreas en el campo y muchas veces estas actividades, de ingenieros y personal que las realiza, son poco difundidas o conocidas, de ahí mi inclinación a presentar un informe de esta naturaleza.

A efecto de no hacer tediosa la lectura del mismo, incluí una serie de fotografías las cuales muchas veces son complementarias al texto, así mismo, a lo largo del reporte se hacen comentarios personales a cerca de los trabajos realizados.

El resultado de este tipo de actividades es que en todos los trabajos de restablecimiento se logro el objetivo final, es decir, se restablecieron las líneas de transmisión, no hubo accidentes que lamentar y además la satisfacción profesional de hacer las cosas que a uno le gustan y para las cuales uno se preparo académicamente en la Facultad de Ingeniería.

En los siguientes párrafos, a manera de resumen comento las principales actividades que realice durante los diferentes eventos o casos en que participe.

CASO I. RESTABLECIMIENTO DE LA L.T. TOP-A3510-BRN

En el restablecimiento de la L.T. TOP-A3510-BRN, en conjunto con dos ingenieros más fuimos los encargados de coordinar en campo los trabajos de restablecimiento en la T-49, mismos que tuvieron un periodo de ejecución del 16 al 27 de enero de 2008; en ese tiempo estaba a cargo de 16 linieros, los cuales pertenecían a la Brigada de Líneas Jilotepec.

Las actividades realizadas, coordinadas y supervisadas fueron:

- Coordinación con el grupo de trabajo a fin de homogeneizar los criterios y fuerza de trabajo ya que había personal de tres diferentes Brigadas de líneas, dos eran de la GRT Central (Subáreas Poniente y Puebla) y una más era de la GRT Oriente (Subárea Tampico).
- Coordinación con el personal de LyF para realizar los trabajos de apertura de brecha, limpieza del sitio y realización de cepas para anclas.
- Solicitud de materiales para tener un suministro programado y oportuno para el armado de la estructura de emergencia, anclas, retenidas y equipo de maniobra
- Supervisión de los trabajos de anclaje, los cuales fueron hechos mediante anclas en cruz y muertos de concreto.



- Armado de la columna para la estructura de emergencia, la cual se hizo con la pluma deslizante
- Coordinación de los trabajos para el vestido de la estructura de emergencia
- Supervisión de trabajos para el tensionado, flechado y rematado de cables conductores
- Coordinación de la logística para las comunicaciones de la T-49, suministro de alimentos y control del personal.
- Participación en las reuniones de avance, planeación y seguimiento de actividades realizadas todas las noches en el centro de Coordinación.

CASO II. RESTABLECIMIENTO DE LA L.T. LCP-A3010-DOG

En el restablecimiento de la L.T. LCP-A3010-DOG, durante el tiempo que duraron los trabajos de restablecimiento participe de la siguiente manera:

- El día 30 de julio del 2010 a primera hora realice la inspección aérea sobre la línea, localizando la estructura No. 495 colapsada alrededor de las 08:30 hrs. así como los daños que sufrieron las trabes de las estructuras de tensión No. 494 y 496.
- Participo en la reunión donde se determino la factibilidad de realizar una reparación provisional o definitiva en las estructuras dañadas, de acuerdo con la información de la inspección aérea y la documental con que contaba la Subárea.
- Por la tarde del mismo día viernes 30 de agosto, en conjunto con los demás ingenieros realizamos la valoración del sitio donde se colapso la estructura, los caminos de acceso, ubicación de helipuerto, entre otros.
- Por la noche se tiene reunión donde de acuerdo con la problemática que se tiene se designan los grupos y frentes de trabajo para iniciar el restablecimiento de la línea, en ese momento quede como coordinador de los trabajos de reparación en la T-496.
- Del 31 de julio al medio día del 6 de agosto se realizaron los trabajos de reparación definitiva en la trabe de la estructura No. 496.

Para desempeñar estas actividades estuve a cargo de 16 linieros de transmisión de las brigadas Jilotepec (12) y Texcoco (4, quienes se integran 3 días después), así mismo se realizo la coordinación con otro grupo de trabajo de linieros de construcción conformado por 19 personas, este último grupo de linieros se integro a partir del lunes 1° de agosto.

- Se coordino la logística para el suministro de materiales, equipo de maniobra, comunicación y suministro de alimentos para los trabajos de reparación en la T-496.



- Del medio día del viernes 6 de agosto al domingo 8 del mismo, en conjunto con los 16 linieros de transmisión nos trasladamos al sitio de la T-495 donde apoyamos con los trabajos para el armado e izaje de la tercer y cuarta columna de la estructura de emergencia de cuatro columnas, instalación de retenidas de dichas columnas, alineación de conductores de las fases B y C y coordinación de maniobras para la subida de conductores.
- Durante estos días que duraron los trabajos de restablecimiento de la línea participe en las reuniones de avance, planeación y seguimiento de actividades realizadas todas las noches en el centro de Coordinación ubicado en la Subárea de Transmisión Estado de México, con sede en la población de Colorines, Municipio de Valle de Bravo, Edo. Mex.

CASO III. RESTABLECIMIENTO DE LA L.T. LRP-A3960-TEX

En el restablecimiento de la L.T. LRP-A3960-TEX, que fue del 19 al 22 de diciembre de 2010, participe de la siguiente manera:

El día domingo 19 de diciembre del 2010 a primera hora realice la inspección aérea sobre la línea, localizando la estructura No. 64 colapsada y la 63 ladeada, esto fue alrededor de las 09:00 hrs. Una vez que informe a mis superiores de los daños en la línea, en conjunto con personal de líneas de la Subárea Centro se revisan las estructuras involucradas con el siniestro para valorar todos los daños.

Participe en la reunión donde se determino la factibilidad de realizar una reparación provisional o definitiva en las estructuras dañadas. En esta reunión se determinan los frentes de trabajo y recurso con los cuales se realizarían los trabajos de restablecimiento, como resultado de la reunión quede como coordinador de los trabajos en la T-63.

Del día lunes 20 al medio día del miércoles 22 de diciembre en conjunto con otro ingeniero de líneas coordinamos y supervisamos las siguientes actividades:

- Anclaje de conductores en el claro 62-63
- Coordinación de maniobra para bajar o tirar definitivamente la T-63, que estaba ladeada
- Coordinación de trabajos de desmantelamiento de la T-63
- Trazo de anclas
- Coordinación para el suministro de materiales y equipos de maniobra



- Supervisión de los puntos de anclaje de la estructura de emergencia
- Coordinación de maniobras para el armado en piso de las columnas de la estructura y su posterior izaje
- Revisión de cálculos geométricos para el armado de brasier y violines a utilizar
- Coordinación de maniobras para el vestido de la estructura de emergencia y subida de conductores
- Coordinación del apoyo logístico en cuanto a comunicaciones y suministro de alimentos.
- Al medio día del miércoles 22 de diciembre de 2010, me traslade a sitio de la T-65 con un grupo de 15 linieros de la Brigada Jilotepec para apoyar a los linieros de construcción que estaban realizando las maniobras de tensionado, flechado y rematado de conductores.

Cabe mencionar que aprox. a las 14:00 hrs. de este día, se tenían tensionados únicamente los conductores de una fase y debido a la necesidad de energizar la línea por parte del CENACE se hicieron dos grupos de trabajo en la misma torre a fin de tener un mayor avance.

- Como es costumbre en este tipo de trabajos, todas las noches participe en las reuniones de avance, planeación y seguimiento de actividades realizadas en una carpa que se habilito en el sitio de los trabajos.



5. CONCLUSIONES

Cuando inicie la planeación del presente informe y una vez que definí el tema a presentar, me encontré en la disyuntiva de que temas o casos presentar, de alguna manera se me hizo interesante presentar trabajos de restablecimiento de 3 líneas de transmisión de 400 kV, los cuales como vimos a través del presente informe ocurrieron en condiciones orográficas, topográficas y climáticas muy diferentes entre sí, lo cual de alguna manera enriquece las siguientes conclusiones:

1. Los tiempos de restablecimiento de una línea de transmisión dependen en gran medida de los siguientes factores:
 - Tipo y condiciones del terreno
 - Condiciones climatológicas
 - Número y tipo de estructuras colapsadas
2. Para los 3 casos mostrados tenemos, tenemos lo siguientes tiempos de restablecimiento:
 - Caso 1, L.T. TOP-A3510-BRN, 4 estructuras de tensión, 12 días.
 - Caso 2, L.T. LCP-A3010-DOG, 1 estructura de suspensión y reparación de 2 traveses de estructuras de remate, 9 días.
 - Caso 3, L.T. LRP-A3960-TEX, 2 estructuras de suspensión, 4 días.
3. En trabajos de restablecimiento en terrenos de montaña y accidentados se requiere de al menos 3 ingenieros en campo por estructura de emergencia, para coordinar y supervisar las siguientes actividades:
 - Suministro de materiales y equipos, armado de la estructura y logística en general
 - Reparación y alineación de conductores o tendido de los mismos y realización de brecha
 - Trazo, diseño, suministros y supervisión de los trabajos de anclaje.
4. En terrenos de montaña y accidentados la comunicación es vital, tanto para maniobras, suministros y coordinación en general.
5. Cuando se instalen estructuras de emergencia tipo 4 columnas y estas no puedan quedar en forma perpendicular al eje de la línea, se deberán hacer corridas en el software de Lindsey y obtener un arreglo que permita una mayor distancia entre columnas a fin de no tener que instalar aislamiento sintético en las retenidas, por el acercamiento de estas a los conductores.
6. Para lograr el éxito en este y otros trabajos se requiere de: trabajo en equipo el cual debe estar cobijado por una buena coordinación y con conocimientos técnicos, además del personal de campo que debe estar motivado y sentir amor hacia su trabajo.



APENDICE

DISEÑO MECÁNICO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Como pudimos observar a lo largo de los diferentes capítulos de este reporte, para restablecer una línea de transmisión se requiere de una serie de conocimientos y habilidades adquiridas previamente para lograr el éxito en los trabajos desempeñados. Estos conocimientos están fundamentados en los aspectos teóricos del diseño mecánico de líneas de transmisión, razón por la cual en este apéndice se presenta a manera de resumen los principales conceptos empleados en el diseño de líneas de transmisión.

A.1. CÁLCULOS MECÁNICOS DE LOS CONDUCTORES

El cálculo mecánico consiste en la determinación de las tensiones mecánicas que soportan y las flechas que asumen los conductores de fase y el cable de guarda.

Se calculan las tensiones mecánicas para verificar que en ningún caso, cualquiera que sea la carga, se supere el límite de ruptura elástica o por fatiga del conductor.

En la práctica y en base a experiencias de líneas existentes, para cada tipo de conductor y región climática, se normalizan las tensiones máximas admisibles en los conductores, para limitar los daños de las líneas eléctricas evitar el sobredimensionamiento de las estructuras de soporte y racionalizar los cálculos.

La flecha se calcula para que ningún caso asuma valores mayores que reduzcan la altura mínima de los conductores sobre el suelo (libramientos). A igual que las tensiones, las alturas mínimas respecto al suelo se encuentran normalizadas en función de la zona que atraviesa la línea, estos libramientos se indican en la tabla A1.

A continuación nos ocuparemos de analizar mecánicamente el comportamiento de los conductores para líneas de transmisión aéreas y como determinar los cálculos de las tensiones mecánicas y flechas de los mismos.



ANEXO 4: LIBRAMIENTOS Y SEPARACIONES MÍNIMAS EN CRUCES

LIBRAMIENTOS MÍNIMOS	115 kV	138 kV	230 kV	400 kV
AREAS DE ACCESO A PEATONES	7.00	7.50	8.50	10.65
VIAS FERREAS	15.00	15.00	16.00	18.00
CARRETERAS-CALLES-CAMINOS	9.00	9.20	10.00	12.20
CAMPOS DE CULTIVO (CEREALES, LEGUMINOSAS, HORTALIZAS, ETC.)	7.00	7.55	9.00	11.00
ZONAS DE HUERTOS (CITRICOS, MANZANOS, CIRUELOS, GUAYABOS)	11.00	11.50	12.00	15.00
ZONAS CAFETALERAS Y CERCOS "VIVOS"	11.00	11.50	12.00	15.00
CULTIVO DE CAÑA	13.00	13.20	14.00	16.00
AGUAS NAVEGABLES	13.00	13.20	14.00	16.00
ZONAS INUNDABLES	7.00 + T.I.M.E.	7.50 + T.I.M.E.	8.50 + T.I.M.E.	10.65 + T.I.M.E.

CRUZAMIENTOS CON LINEAS ELECTRICAS Y DE COMUNICACION	115 kV	138 kV	230 kV	400 kV
L.T. HASTA 50 kV	2.74	2.95	3.65	6.10
L.T. 69 kV	2.93	3.15	3.85	6.29
L.T. 115 kV	3.39	3.60	4.31	6.75
L.T. 138 kV	3.62	3.80	4.54	6.98
L.T. 161 kV	3.85	4.05	4.77	7.21
L.T. 230 kV			5.46	7.90
L.T. 400 kV				9.60
LINEAS DE COMUNICACION, LINEAS DE TRANVIAS, TROLEBUSES O TRENES CON VIA AÉREA ELÉCTRICA	5.00	5.50	7.00	8.00

NOTAS:

1. T.I.M.E. = Tirante de Inundación Máximo Esperado
2. Libramientos y separaciones en cruces sin viento y flecha final a 50°C
3. Distancias en metros

Tabla A1.- Libramientos de conductor a piso para líneas de transmisión

1. Cálculo de un cable suspendido entre dos puntos fijos a igual nivel.

Supongamos tener suspendido un cable entre dos puntos fijos con vinculación de articulación libre, figura A1.

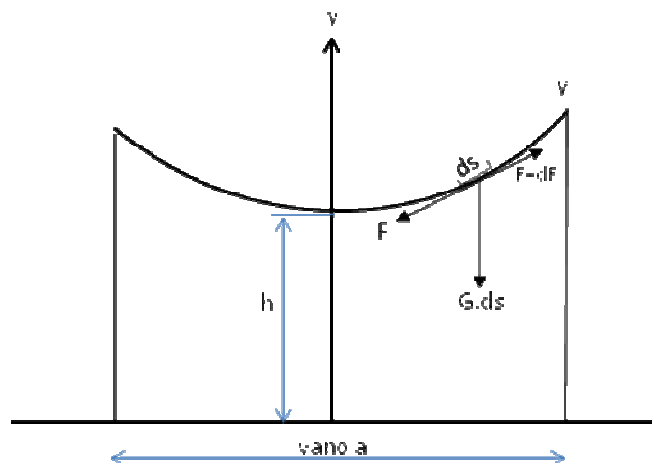


Fig. A1



Al analizar el comportamiento del conductor, podemos limitarnos a tomar elementos infinitesimos (ds) en un punto del conductor y estudiar su comportamiento.

Separando ficticiamente el segmento ds de la cuerda conformada, para mantener el equilibrio debemos sustituir por dos fuerzas como se indica en la figura A1 y figura A2. Como referencia se ha tomado el sistema de coordenadas x - y .

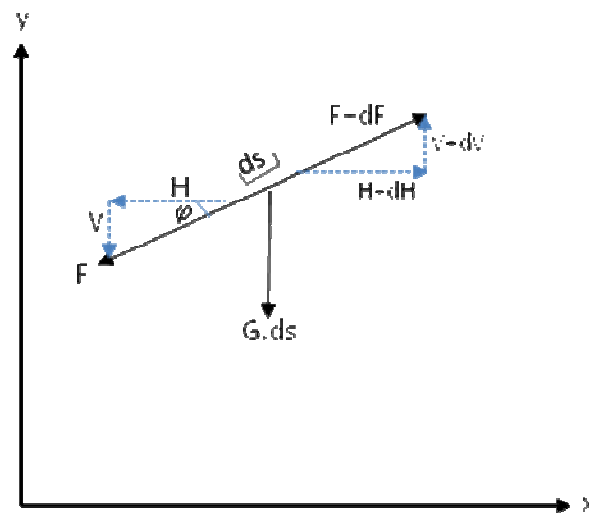


Fig. A2

En la figura 2 se pueden observar tres fuerzas, que son F , ($F = DF$), $G \cdot ds$. Descomponiendo las mismas según los ejes x - y , tendremos los componentes según ambas direcciones, partiendo de la condición de que ser un sistema en equilibrio la sumatoria debe ser nula, dando signo positivo a los vectores que apuntan hacia arriba y hacia la derecha, tendremos:

Proyectando sobre el eje x :

$$\sum F_x = 0 = -H + (H + dH)$$

de donde resulta que $dH = 0$, único resultado que satisface la igualdad. Luego se deduce que el valor de H es constante a lo largo de la cuerda en estudio.

Proyectando sobre el eje y :

$$\sum F_y = 0 = -V + (V + dV) - G \cdot ds$$

$$0 = dV - G \cdot ds$$

$$dV = G \cdot ds$$



Descomponiendo también ds según ambas direcciones, figura A3, tendremos:

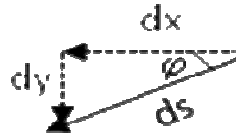


Fig. A3

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

multiplicando y dividiendo, el segundo término de la igualdad por dx .

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} \cdot \frac{dx}{dx}$$

$$ds = \sqrt{\frac{dx^2}{dx^2} + \frac{dy^2}{dx^2}} \cdot dx$$

definiendo a $dy/dx = y$, tendremos que:

$$\frac{dy^2}{dx^2} = y^2$$

luego sustituyendo

$$ds = \sqrt{1 + y^2} \cdot dx \quad \textcircled{2}$$

pero como

$$dV = G \cdot ds \quad \textcircled{1}$$

podemos reemplazar $\textcircled{2}$ en $\textcircled{1}$

$$dV = G \cdot \sqrt{1 + y^2} \cdot dx \therefore \frac{dV}{dx} = G \cdot \sqrt{1 + y^2} \quad \textcircled{3}$$

Como la derivada en cualquier punto de la cuerda es la tangente y está en el punto que estamos analizando es igual a V/H podemos escribir que:

$$f = \frac{a^2 \cdot g}{8 p}$$



luego

$$V = H \cdot \frac{dy}{dx}$$

derivando

$$\frac{dV}{dx} = H \cdot \frac{d^2y}{dx^2} \quad \text{④}$$

Igualando ③ con ④ , tendremos

$$G\sqrt{1+y^2} = H \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$$

reagrupando términos

$$\sqrt{1+y^2} = \frac{H}{G} \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$$

denominando a H/G como h, obtendremos

$$\sqrt{1+y^2} = h \cdot y$$

Para reconocer la ecuación, llamamos

$z = y$ por lo tanto $y'' = z = dz/dx$

reemplazando en

$$\sqrt{1+z^2} = h \cdot \frac{dz}{dx}$$

$$\frac{dx}{h} = \frac{dz}{\sqrt{1+z^2}}$$

integrando y resolviendo

$$\frac{x}{h} = \text{arc} \cdot \text{sh} z + c$$

cuando $X = 0$ $C = 0$ por lo tanto

$$\frac{x}{h} = \text{arc} \text{ sh } z$$



expresándolo en forma de la función trigonométrica, obtendremos:

$$z = \text{sh} (x / h)$$

recordando que $z = y \, dy / dx$

$$\frac{dy}{dx} = sh \frac{x}{h}$$

reagrupando

$$dy = sh \frac{x}{h} \cdot dx$$

Integrando y resolviendo

$$y = h \cdot ch \frac{x}{h} + C_1$$

ecuación de catenaria

la constante C_1 será nula cuando $x = 0$

Desarrollando en serie la ecuación hiperbólica, tenemos

$$y = h \left(1 + \frac{x^2}{h^2 \cdot 2} + \frac{x^4}{h^4 \cdot 4} + \dots \right)$$

A partir de ésta podemos realizar una serie de hipótesis simplificativas

1) Podemos despreciar el tercer término, que está elevado a la cuarta potencia, siempre que h^4 sea mucho mayor que x^4 , con lo que obtenemos la ecuación de una parábola.

$$y + h \left(1 + \frac{x^2}{h^2 \cdot 2} \right)$$

$$y = h + \frac{x^2}{2h}$$

Con esta sustitución y para vanos menores de 400 m (que es la comúnmente utilizada en líneas de transmisión) con flechas menores del 6 % del vano, el error que se comete en la determinación de la flecha es menor del 0.5 % (tal demostración se hará mas adelante).

2) recordando que $h = H/G$, la fuerza horizontal H es la tensión mecánica del conductor multiplicado por la sección, en N, en el centro del vano. A esta la denominamos P_0 , que también es posible expresarla como $P_0 = p_0 \cdot S$, donde p_0 , es la tensión mecánica específica, en N/mm^2 , y S la sección del conductor. En realidad en lugar de trabajar con p_0 correspondería usar p_i que



es más general, ya que la tensión mecánica a lo largo del conductor en todo el vano es variable, posteriormente se demostrará que $p \cong p_i \cong p_o$.

Expresando el peso por unidad de longitud G también en función de la sección, se tiene que $G = g.S$, en donde g es el peso específico en Kg/m.mm^2 ; por lo tanto:

$$h = \frac{H}{G} = \frac{P_o}{G} = \frac{p_o.S}{g.S} \cong \frac{p_o}{g} (m)$$

No interesa extremar la precisión, pues se hacen una serie de consideraciones que a veces se cumplen y otras no, por ej. si se tiene en cuenta un viento de 120 Km/h, a lo mejor una sola condición. Lo mismo vale para el hielo.

Volviendo a la figura 1, siendo h la distancia al conductor desde la abscisa resulta que la flecha de la cuerda será:

$$f = y - h$$

Como hemos demostrado, para cualquier punto.

$$y = h + \frac{x^2}{2h}$$

Además la flecha será máxima en la mitad del vano a , siempre que las cargas sean uniformes y el terreno horizontal, es decir.

$$y_{máx} \Rightarrow x = \frac{a}{2}$$

por lo tanto

$$y_{máx} = h + \frac{(a/2)^2}{2h} = h + \frac{a^2}{8h}$$

luego

$$f_{máx} = y_{máx} - h$$

reemplazando

$$f_{máx} = h + \frac{a^2}{8h} - h$$

$$f_{máx} = \frac{a^2}{8h}$$



$$f_{max} = \frac{a^2 \cdot g}{8 \cdot p}$$

A partir de estos últimos razonamientos y con la ayuda de la figura 3 probamos la factibilidad de la hipótesis simplificativa 2.

p es la composición de $G.L/2$

$$P = \sqrt{P_0^2 + (G.L/2)^2}$$

con el fin de expresar la anterior en función de tensión mecánica y peso específico, es necesario plantear la hipótesis simplificativa 3:

El largo del conductor 1 es igual al vano a , luego se demostrará que $1 \cong a$. Teniendo en cuenta lo establecido y analizado la figura A4, surge:

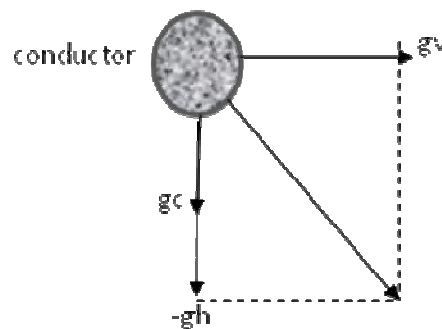


Fig. A4

$$p = \sqrt{p_0^2 + \frac{(a \cdot g)^2}{4}}$$

en definitiva

$$p = \left[p_0^2 + \frac{(a \cdot g)^2}{4} \right]^{1/2}$$

desarrollando la última expresión en Serie



$$(a+b)^{1/2} = a^{1/2} + \binom{1/2}{1} a^{1/2-1} \cdot b + \binom{1/2}{2} a^{1/2-2} \cdot b^2 + \dots$$

donde el número combinatorio $\binom{1/2}{n}$ vale

$$\binom{1/2}{n} = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{2} - 2\right) \dots \left(\frac{1}{2} - n + 1\right)}{n!}$$

para el caso tratado el último combinatorio es igual al primero, en efecto $1/2$ es el primero y $(1/2) = 1/2/n!$ es el último.

$$\binom{1/2}{1} = (1/2 - 1 + 1) = 1/2$$

reemplazando

$$\left[p_0^2 + \frac{(a \cdot g)^{1/2}}{4} \right]^{1/2} = p_0 + \frac{1}{2} p_0^{-1} \frac{(a \cdot g)^2}{4}$$

entonces

$$p = p_0 + \frac{1}{2} \cdot \frac{a^2 \cdot g^2}{4 p_0}$$

recordando que

$$f = \frac{a^2 \cdot g}{8p}$$

por lo tanto

$$p = p_0 + g \cdot f \quad (P_0 = P, \text{ en el centro del vano})$$

La flecha máxima en los conductores es aproximadamente 5m para vanos del orden de los 200 a 300 m. En el caso de conductores de cobre, de peso específico = 8,9 Kg/dm³ tratando el cobre con una Pr = kg/mm² y suponiendo padm = 20 Kg/mm²; tenemos:



$$p = 20 \frac{Kg}{mm^2} + 8,9 \frac{Kg}{dm^3} \cdot \frac{1 dm}{1000000 mm^3} \cdot 5m \cdot \frac{1000mm}{1m}$$

$$p = 20 Kg/mm^2 + 0,045 Kg/mm^2 = 20,045 Kg/mm^2$$

$$P \cong P_0$$

Suponiendo un conductor de Al/Ac con $= 35,4 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m} \cdot \text{mm}^2$ y para un vano $a = 400\text{m}$, resulta una flecha de 10m en ese caso, si su tensión fuera de 10 kg/mm^2 .

$$y \text{ m á } x \Rightarrow x = \frac{a}{2}$$

Puede apreciarse que la diferencia entre P_p y P_0 es despreciable, utilizándose en consecuencia p ó p_0 indistintamente.

A.2. ECUACION DE CAMBIO DE ESTADO

Los conductores se deben tensar de modo que, sin importar la condición climática imperante, su tensión nunca supere la máxima admisible. Intuitivamente se puede establecer que si la temperatura es baja, la flecha es reducida y la tensión mecánica elevada y en cambio si la temperatura es alta el cable se afloja y por lo tanto la flecha es elevada.

Las condiciones climáticas de la zona que atraviesa la línea, que se fijan para el proyecto, se denominan estados de carga y se emplea el conjunto de las más desfavorables a criterio del proyectista experimentado en los cálculos determinísticos.

La siguiente tabla muestra un ejemplo de estado de carga:

ESTADO	TEMPERATURA (°C)	VIENTO Km/h
I	-5	0
II	10	120
III	50	0

Estos estados se consideran en base a registros climáticos de la zona.



I. Cargas específicas

Un conductor está sometido no solo a la acción del peso propio, como hemos considerado hasta el momento, sino también a la presión del viento que pueda existir y, en ciertas zonas, al peso del hielo (figura A4).

g_c = carga específica debida al peso propio

g_h = carga específica debida al hielo

g_v = carga específica debida al viento

Por lo tanto el valor de la carga específica será:

$$g = \sqrt{g_v^2 + (g_c + g_h)^2}$$

Es decir que la variación de las condiciones climáticas modifican la carga a la cual está sometido el conductor.

II. Longitud del Conductor

En general

$$dl = ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

o como ya se ha demostrado

$$dl = ds = \sqrt{1 + y'^2} \cdot dx \quad \text{①}$$

También visto que

$$y = h \cdot \operatorname{ch} \frac{x}{h} \quad \text{ecuación de la catenaria}$$

$$y = h + \frac{x^2}{2h} \quad \text{ecuación de la parábola}$$

A continuación se demostrará, mediante un ejemplo, que es factible emplear la fórmula de la parábola como se ha enunciado inicialmente (hipótesis simplificada 1).



CATENARIA	PARÁBOLA
$y = h \cdot \text{ch}(x/h)$	$y = h + x^2 / 2h$
$p = 10 \text{ Kg. / mm}^2$	Idem
$g = 34,4 \cdot 10^4$	Idem
$h = p / g \text{ sea}$	Idem
$h = 2825 \text{ m}$	Idem
Sea $x = 200 \text{ m}$	Idem
$y = 2825 \cdot \text{ch}(200 / 2825)$	$y = 2825 + 200^2 / 2 \cdot 2825$
$y = 2825 \cdot 1,0025071$	$y = 2825 = 7,0796$
Flecha	Flecha
$f = y - h = 2832,0826 - 2825$	$f = y - h = 2832,0796 - 2825$
$f = 7,0826 \text{ m}$	$f = 7,0796 \text{ m}$
	Error
	$e\% = (f_c - f_p) \cdot 100 / f_c$
	$e\% = (7,0826 - 7,0796) \cdot 100 / 7,0826$
	$e\% = 0,042$

En otro ejemplo, sea un conductor de aluminio con alma de acero de $240/40 \text{ mm}^2$, con un vano de 400 m. Aplicando la ecuación de la catenaria resuelta $f = 17,383 \text{ m}$, mientras con la ecuación de la parábola $f = 17,316 \text{ m}$. El error es de 0,387 % por lo que, empleando la ecuación de la parábola

$$y = h + \frac{x^2}{2h}$$

$$\frac{dy}{dx} = y = \frac{x}{h} \quad \textcircled{2}$$

Sustituyendo $\textcircled{2}$ en $\textcircled{1}$

$$dl = \sqrt{1 + (x/h)^2} \cdot dx$$

$$dl = [1 + (x/h)^2]^{1/2} \cdot dx$$



desarrollando en serie

$$dl = \left[1^{1/2} + \frac{1}{2} \left(\frac{x}{h} \right)^2 + \dots \right] dx$$

siendo $h = p / g$

$$dl = \left[1^{1/2} + \frac{1}{2} x^2 \left(\frac{g}{p} \right)^2 \right] dx$$

integrando a lo largo del vano

$$\int_{-a/2}^{+a/2} dl = L = \int_{-a/2}^{+a/2} \left[1^{1/2} + \frac{1}{2} x^2 \frac{g^2}{p^2} \right] dx$$

$$L = a + \frac{x^3}{3 \cdot 2} \left(\frac{g}{p} \right)^2 \Big|_{-a/2}^{+a/2}$$

$$L = a + \frac{a^3}{4 \cdot 3 \cdot 2} \left(\frac{g}{p} \right)^2$$

$$L = a + \frac{a^3}{24} \frac{g^2}{p^2}$$

③

A partir de esta última se puede probar la hipótesis simplificativa 3, es decir que la longitud del conductor es aproximadamente igual a la longitud del vano.

Recordando que

$$f = \frac{a^2 \cdot g}{8p}$$

$$f^2 = \frac{a^4 \cdot g^2}{64 p^2} = \frac{a}{64} \cdot \frac{a^3 \cdot g^2}{p^2}$$

$$\frac{a^3 \cdot g^2}{p^2} = \frac{64 \cdot f^2}{a} \quad \text{④}$$



Sustituyendo ④ en ③

$$L = a + \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{a}$$

Sea entonces

$$a = 250 \text{ m}; f = 5 \text{ m (115 kV)};$$

entonces

$$L = 250 + \frac{8}{3} \cdot \frac{5^2}{250} = 250,26 \text{ m}$$

$$a = 500 \text{ m}; f = 10 \text{ m (400 kV)};$$

entonces

$$L = 500 + \frac{8}{3} \cdot \frac{10^2}{500} = 500,53 \text{ m}$$

Por lo tanto la longitud del conductor es casi igual a la del vano, como se había anticipado, a los efectos de los cálculos. Para cómputos se estima $L = 1,005 a$ y a veces se agrega otro 5%. Para contemplar desperdicios, cuellos muertos, entrada a subestaciones, etc.

III. Ecuación de cambio de estado

Analizando la influencia de la temperatura y de la carga específica, se tiene:

Estado I.

En el estado I se ha previsto una temperatura t_1 y un viento v_1 , con lo que determina una carga específica g_1 , una longitud L_1 y soporta una tensión p_1 .

$$L_1 ; g_1 ; p_1$$
$$L_1 = a + \frac{a^3}{24} \cdot \frac{g_1^2}{p_1^2}$$

Estado II

El mismo conductor en el estado II soporta cargas específicas y tensiones distintas.



$$L_2 ; g_2 ; p_2$$

$$L_2 = a + \frac{a^3}{24} \cdot \frac{g_2^2}{p_2^2}$$

Por lo tanto la diferencia de longitud ΔL será para $t_2 > t_1$

$$\Delta L = L_2 - L_1$$

$$\Delta L = \frac{a^3}{24} \left[\left(\frac{g_2}{p_2} \right)^2 - \left(\frac{g_1}{p_1} \right)^2 \right] \textcircled{5}$$

Analizando el alargamiento del conductor desde el punto de vista de la temperatura por su coeficiente de dilatación térmica y del viento por el coeficiente de elasticidad, cuando se pasa de estado I al II, se tiene:

1. Por aumento de la temperatura, $t_2 > t_1$

$$L_{2T} = L_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

$$L_{2T} - L_1 = \Delta L_T = L_1 \alpha(t_2 - t_1) \textcircled{6}$$

siendo α el coeficiente de dilatación térmica

2. Como en el estado II hay viento y en el estado I no hay la sobrecarga externa aumenta la longitud

β = coeficiente de elasticidad

E = módulo elástico o de Young.

$\beta = 1/E$

$$L_{2E} = L_1 [1 + \beta(p_2 - p_1)]$$

$$L_{2E} - L_1 = \Delta L_E = L_1 \cdot \beta \cdot (p_2 - p_1) \textcircled{7}$$

Como en el conductor se alarga debido a ambos efectos, se deben sumar ambas ($\textcircled{6}$ y $\textcircled{7}$).

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = L_1 \alpha(t_2 - t_1) + L_1 \beta(p_2 - p_1) \textcircled{8}$$

Igualando $\textcircled{5}$ y $\textcircled{8}$



$$\frac{a^3}{24} \left[\left(\frac{g_2}{p_2} \right)^2 - \left(\frac{g_1}{p_1} \right)^2 \right] = L_1 \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) + L_1 \cdot \beta \cdot (p_2 - p_1)$$

Siendo aproximadamente $L_1 \cong a$, se puede simplificar la expresión.

$$\frac{a^3 g_2^2}{24 p_2^2} - \frac{a^3 g_1^2}{24 p_1^2} = a \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) + a \cdot \beta \cdot (p_2 - p_1) \quad \textcircled{a}$$

reduciendo

$$\frac{a^2 g_2^2}{24 p_2^2} - \frac{a^2 g_1^2}{24 p_1^2} = \alpha (t_2 - t_1) + \beta (p_2 - p_1) \quad \textcircled{b}$$

Como en la ecuación de cambio de estado interesa obtener la tensión mecánica de un estado en función del otro, debe tratarse de obtener p^2 en función de p^1 . Dividiendo la ec. 9 por β y multiplicando por g_2^2 , se tiene:

$$\frac{a^2 g_2^2 p_2^2}{24 p_2^2 \beta} - \frac{a^2 g_1^2}{24 p_1^2 \beta} = \frac{\alpha}{\beta} (t_2 - t_1) p_2^2 + p_2^3 - p_1 \cdot p_1 \cdot p_2^2$$

agrupando

$$p_2^3 - p_2^2 \left[p_1 - \frac{\alpha}{\beta} (t_2 - t_1) - \frac{a^2 \cdot g_1^2}{24 \cdot p_1^2 \beta} \right] = \frac{a^2 \cdot g_2^2}{24 \cdot \beta} \quad \textcircled{c}$$

que es la denominada **ecuación de cambio de estado**, que es una ecuación cúbica de forma.

$$p_2^3 - p_2^2 \cdot A = B$$

Esta ecuación, emite, conocida la tensión mecánica en un estado dado, calcular la tensión en cualquier otro estado conociendo el material, las condiciones climáticas y las sobrecargas.

Además permite deducir muchas condiciones del conductor, el problema es determinar el estado básico, o sea el más desfavorable, al cual se le asigna P_{adm} , para ello se analiza el comportamiento de la ecuación de cambio de estado para distintos vanos.



1. Vanos pequeños

Para efectuar este análisis hacemos tender a cero el vano en la ecuación.

$$d \Rightarrow 0$$

Así el segundo término es nulo y queda.

$$p_2^3 - p_2^2 \left[p_1 - \frac{\alpha}{\beta} (t_2 - t_1) \right] = 0$$

dividiendo por p_2^2

$$\frac{p_2^3}{p_2^2} - \frac{p_2^2}{p_2^2} \left[p_1 - \frac{\alpha}{\beta} (t_2 - t_1) \right] = 0$$

$$p_2 - p_1 = -\frac{\alpha}{\beta} (t_2 - t_1)$$

Multiplicando ambos miembros por -1 , se tiene

$$p_1 - p_2 = \frac{\alpha}{\beta} (t_2 - t_1)$$

Se puede apreciar en esta ecuación que no interviene la carga específica (g), luego la influencia predominante es la temperatura (t). Es decir que para vanos pequeños, teniendo a cero, las variaciones de la tensión mecánica en el conductor estarán dadas por la variación de la temperatura.

El estado mas desfavorable será el de menor temperatura, pues siendo en este caso $t_2 > t_1$, resulta $p_1 > p_2$

2. Vanos grandes

Para efectuar este análisis hacemos tender a infinito el vano en la ecuación de estado

$$d \Rightarrow \infty$$

Dividiendo ambos miembros de la ecuación por a^2 , queda:

$$\frac{p_2^3}{d^2} - p_2^2 \left[\frac{p_1}{d^2} - \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{1}{d^2} (t_2 - t_1) - \frac{g^2}{24 p_1^2 \beta} \right] = \frac{g^2}{24 \beta}$$



con $\beta \Rightarrow \infty$ resulta como

$$\frac{p_2^2 \cdot g_1^2}{24 p_1^2 \beta} = \frac{g_2^2}{24 \beta}$$

simplificando y reagrupando

$$\frac{p_2^2}{p_1^2} = \frac{g_2^2}{g_1^2}$$

Se aprecia en esta ecuación que no interviene la temperatura (t), luego la influencia predominante es la carga específica. Es decir que para vanos grandes, teniendo a infinito, las variaciones de tensión mecánica en el conductor dependen de la carga específica. El estado más desfavorable será el de mayor carga. En este caso "el estado 2"

3. Vano crítico

Del análisis de los vanos pequeños y grandes se concluye que:

existirá un vano intermedio en el cual ambos estados serán igualmente desfavorables. A dicho vano se lo denomina vano crítico.

También es posible definir el vano crítico como aquel vano que frente a una disminución de la tensión mecánica por variación de la temperatura la misma se compensa por el aumento de tensión debida a la variación de la carga.

Por lo tanto $p^1 = p^2 = p^{adm}$ cte para $a_c =$ vano crítico; recordando la ecuación de estado y reemplazando, se tiene:

$$p_{adm} - p_{adm} \left[p_{adm} - \frac{\alpha}{\beta} (t_2 - t_1) - \frac{a_c^2}{24 \beta p_{adm}^2} \right] = \frac{a_c^2 \cdot g_2^2}{24 \beta}$$

simplificando

$$p_{adm}^2 \frac{\alpha}{\beta} (t_2 - t_1) + \frac{a_c^2 \cdot g_1^2}{24 \beta} = \frac{a_c^2 \cdot g_2^2}{24 \beta}$$

sacando factor común $a_c^2 / 24 \beta$ y reagrupando

$$p_{adm}^2 \frac{\alpha}{\beta} (t_2 - t_1) = \frac{a_c^2}{24 \beta} (g_2^2 - g_1^2)$$



de donde el vano crítico será

$$\bar{\alpha} = p_{adm} \sqrt{\frac{24 \alpha (t_2 - t_1)}{g_2^2 - g_1^2}} \quad (11)$$

En la práctica generalmente, se toman más de los tres estados básicos considerados inicialmente, por lo que a menudo se presenta la situación que para dos condiciones climáticas se establezcan distintos valores de tensión mecánica admisible, por ejemplo para tener en cuenta el efecto de las vibraciones, en tal caso:

$$p_{1adm} \neq p_{2adm}$$

Por lo tanto, a partir de la ec.9

$$\frac{\bar{\alpha}^2 \cdot g_2^2}{24 \cdot P_{2adm}^2} - \frac{\bar{\alpha}^2 \cdot g_1^2}{24 \cdot P_{1adm}^2} = \alpha (t_2 - t_1) + \beta (R_{1adm} - R_{1adm})$$

luego

$$\frac{\bar{\alpha}^2}{24} \left[\frac{g_2^2}{P_{2adm}^2} - \frac{g_1^2}{P_{1adm}^2} \right] = \alpha (t_2 - t_1) + \beta (R_{2adm} - R_{1adm})$$

o también

$$\frac{\bar{\alpha}^2}{24} \left[\frac{g_1^2}{P_{1adm}^2} - \frac{g_2^2}{P_{2adm}^2} \right] = \alpha (t_1 - t_2) + \beta (R_{1adm} - R_{2adm})$$

de donde

$$\bar{\alpha}_c = \sqrt{\frac{24 \left[\alpha (t_1 - t_2) + \beta (R_{1adm} - R_{2adm}) \right]}{\left(g_1^2 / P_{1adm}^2 - g_2^2 / P_{2adm}^2 \right)}}$$

u ordenado de otro modo

$$\bar{\alpha}_c = \sqrt{\frac{\alpha / \beta (t_1 - t_2) + R_{1adm} - R_{2adm}}{1 / 24 \beta \left[\frac{g_1^2}{P_{1adm}^2} - \frac{g_2^2}{P_{2adm}^2} \right]}}$$



4. Estado Básico

Se ha visto que entre dos condiciones climáticas, existe un vano crítico que afecte los vanos en que prevalece una de las condiciones climáticas, la que produce la condición más desfavorable en el conductor, es decir provoca la máxima tensión mecánica. A esta condición climática la denominamos estado básico.

En general, entre dos condiciones climáticas existirá un vano crítico, luego para lo vanos menores al crítico prevalecerá una de las condiciones climáticas (estado básico) y para vanos mayores al crítico la otra condición climática será el estado básico.

Sin embargo en la práctica son dadas varias condiciones climáticas según las zonas que atraviesa la línea por lo tanto entre cada par de condiciones climáticas se determinan los correspondientes vanos críticos y se deducen los respectivos estados básicos. De este conjunto de estado básico se debe establecer el estado básico correspondiente a la línea.

5. Metodología de cálculos

Analizando la ecuación 12 de vano crítico surge la posibilidad de encontrar varios resultados a saber: reales, imaginarios e infinitos.

Una amplia discusión sobre este tema puede verse en el artículo "Vano Crítico", de los Ing. Tadeo Maciejewski y Adam Ostromecki, aparecido en la Revista Electrotecnia, Enero - Febrero de 1966. A continuación se resume la información que surge de analizar dicha ecuación.

VANO CRITICO	COMPARACION	ESTADO BASICO
	Para todo vano menor que el crítico	el de menor g/p
Real	Para todo vano mayor que el crítico	el de mayor g/p
Imaginario	Todo vano	el de mayor g/p
∞	$\alpha E(t_1 - t_2) + p_1 - p_2 < 0$	el estado 1
$\left(\frac{g_1}{R_1} - \frac{g_2}{P_e} = 0 \right)$	$\alpha E(t_1 - t_2) + p_1 - p_2 > 0$	el estado 2
	$\alpha E(t_1 - t_2) + p_1 - p_2 = 0$	cualquiera de los dos
	$g_1 = g_2 \cdot p_1 = p_e$	el de menor temperatura



Sea comparar cuatro estados, que se indican como I, II, III, IV, para encontrar el más favorable y a él asignarle la tensión mecánica máxima admisible (p_{adm}). Teniendo en cuenta las distintas condiciones climáticas se determinan los vanos críticos, según las ecuaciones 11 o 12, efectuando todas las combinaciones de a pares posibles entre las mismas. Lógicamente no se tendrá en cuenta el estado de Carga de máxima temperatura, ya que dicho estado nunca podrá ser el más desfavorable desde el punto de vista de la tensión. Es decir en nuestro caso eliminamos el estado III.

Por lo tanto las combinaciones factibles serán I-II, I-IV y II-IV. calculados los vanos críticos y determinados los estados básicos, mediante el empleo de la Tabla A, se puede trazar la siguiente tabla:

Comparacion I - II (vano real)										
Comparacion I - IV (vano real)										
Comparacion II - IV (vano real)										

Trazando sobre la Tabla el vano en estudio (a^{d1}), se concluye que los estados básicos posibles son: I y IV.

Recurriendo a la comparación I-IV se observa que el estado más desfavorable es el I. Por lo tanto el estado básico de la línea para ese vano es el I y al mismo se le debe asignar la p_{adm} .

Supongamos que para la misma línea se desea determinar el estado básico para otro vano, por ejemplo el a^{d2} . El procedimiento a seguir es similar al antes indicado, es decir, se traza sobre la Tabla dicho vano, se determina que los estados básicos factibles son: II y I, se establece que el más desfavorable es el II y por ende el estado básico de la misma línea pero para este vano es el II.

Del mismo modo es posible analizar otros vanos u obtener una tabla final que determina el estado correspondiente para todos los vanos entre 0 e ∞

A.3. CALCULO DE LA TENSION MECANICA DE UN CONDUCTOR PARA UNA CONDICION CUALQUIERA PARTIENDO DEL ESTADO BASICO.

Recordaremos la ecuación de cambio de estado del conductor:

$$P_2^3 - P_2^2 \left[p_1 - \frac{\alpha}{\beta} (T_2 - T_1) - \frac{\rho^2 \cdot g l^2}{24 p_1^2 \cdot \beta} \right] = \frac{\rho^2 \cdot g l^2}{24 \beta}$$

Mediante el empleo del concepto de vano crítico y las técnicas de resolución explicadas se determina el estado básico, por ejemplo el estado I, al cual le asignamos la P_{adm} .



Luego mediante el uso de la ecuación de cambio, que en forma simplificada se puede escribir como:

$$P_2^3 + P_2^2 \cdot A = B$$

Que es la expresión de un ecuación de tercer grado en grado P_z , se puede determinar la tensión mecánica del otro estado. A partir de la misma y recordando que:

$$f = \frac{\rho L \cdot g}{8 \cdot p}$$

se puede calcular la flecha correspondiente a dicho estado.

A.4. CALCULO MECANICO DEL CABLE DE GUARDA

El cálculo mecánico se repite para el cable de guarda. Puede suceder que, dado que la sección y material del mismo son diferentes al del conductor, que los vanos críticos sean diferentes y, quizás, el estado básico resulte distinto.

Dado que el conductor debe ser protegido por el cable de guarda, hay que verificar que la distancia C_2 , en el medio del vano, sea mayor que la distancia de separación existente en el poste C_1 . (Ver figura A6).

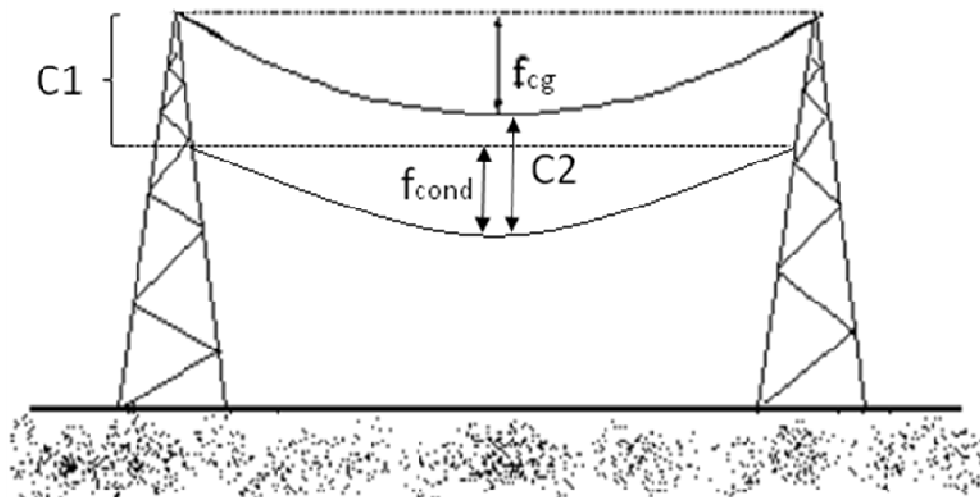


Figura A6



Para que ello ocurra se calcula el cable de guarda verificando que se cumpla para todos los estados de carga que:

$$f_{cg} \leq 0,9 \cdot f_{cond}$$

Para ello se procede de la siguiente manera:

Se adopta una tensión máxima admisible, considerando que las tensiones de ruptura usuales para cables de guardia se pueden elegir entre 60 y 120 Kg/mm².

Se calculan los vanos críticos.

Se determina el estado básico.

Se realiza el cálculo mecánico.

Se verifica la relación de flechas entre el cable de guardia y el conductor.

De no verificarse, se calcula con la flecha del conductor de dicho estado la nueva tensión mecánica p , con la expresión:

$$p = \frac{c^2 \cdot g}{8,0,9 \cdot f_{cond}}$$

Con la nueva tensión mecánica se reinicia el cálculo, a partir del segundo paso.

Así sucesivamente hasta obtener que se cumpla la relación de flechas.

NOTA: Algunos proyectistas consideran que $f_{cg} \leq 0,9 \cdot f_{cond}$ solo se debe verificar en el estado de aplicación de la temperatura media anual.

A.5. GENERALIZACION PARA APOYO A DISTINTO NIVEL

A menudo se presenta el caso de que los dos puntos fijos de suspensión de la línea o conductores están a distinto niveles, siendo la diferencia Δh entre ambos puntos (ver figura A7).

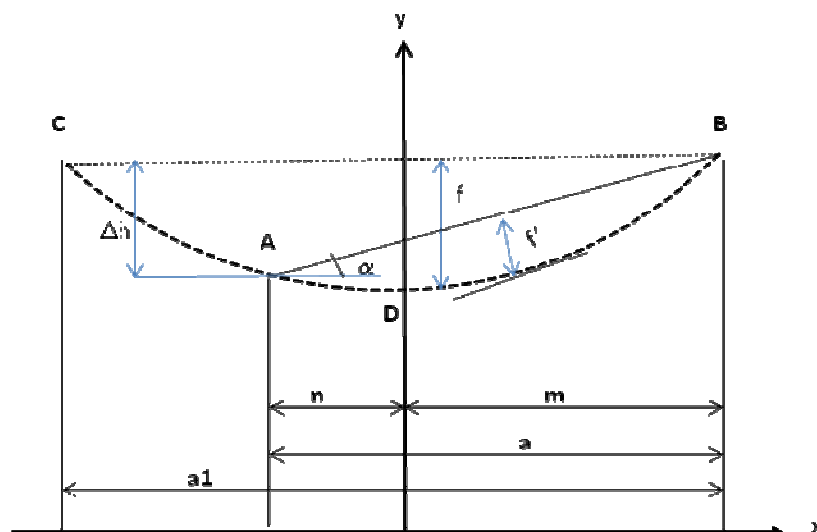


Figura A7.



Resulta así que prolongando el arco de la parábola (o catenaria), desde el punto A hasta el C que se encuentra al mismo nivel de B, estaremos en presencia del arco CADB, que es el estudiado anteriormente, correspondiente a un vano ficticio a^1 . Bajo estas condiciones se tiene la flecha ficticia f , la cual puede estar ubicada a la izquierda del punto D, en el punto D, o a la derecha del punto D, todo depende donde esté ubicado el punto A.

El valor de a^1 se obtiene

$$a^1 = a + \frac{2p \cdot \Delta h}{g \cdot a}$$

La flecha f como.

$$f = \frac{q^2 \cdot g}{8p}$$

y los valores de m y n

$$m = \frac{g \cdot a^2 + 2p \cdot \Delta h}{2 \cdot a \cdot g}$$

$$n = \frac{g \cdot a^2 - 2p \cdot \Delta h}{2 \cdot a \cdot g}$$

además

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta h}{a^2 \cdot \cos \alpha}$$

siendo a^2 la distancia entre A y B (ver figura A9).

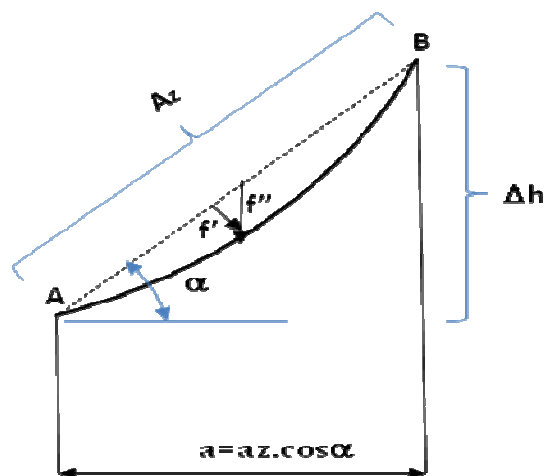


Figura A9.



Para desniveles no muy grandes se puede expresar que

$$f = -\frac{\rho_2^2 \cdot g}{8p}$$

además como

$$\cos \alpha = \frac{f'}{f''}$$

de donde

$$f'' = \frac{f'}{\cos \alpha}$$

reemplazando

$$f'' = \frac{\rho_2^2 \cdot g}{8p \cdot \cos \alpha}$$

CARGAS Y FUERZAS ACTUANTES

I. Sobre el conductor

Según hemos visto anteriormente el conductor está sometido a cargas específicas debidas al peso propio, al viento al hielo. A continuación se desarrolla la respectiva metodología de cálculo.

1) Peso propio

La carga específica debida al peso propio se determina según la siguiente ecuación.

$$g_c = \frac{G}{S} = \frac{\text{kg} / \text{m}}{\text{mm}^2}$$

siendo G: peso propio del conductor (dato del fabricante).

S: sección real del conductor (dato del fabricante o por cálculo).



2) Viento

Para calcular la carga específica debida al viento partimos de considerar un viento de velocidad v y actuando sobre una placa; el mismo ejercerá sobre ella una presión p . Utilizando la fórmula de Bernoulli:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{pv}{\delta_{\text{aire}}}$$

siendo v : velocidad del viento, m/seg.

δ : peso específico del aire = 1,29 Kg/dm³.

g : aceleración de la gravedad = 9,81 m/seg²

figura A10 en consecuencia:

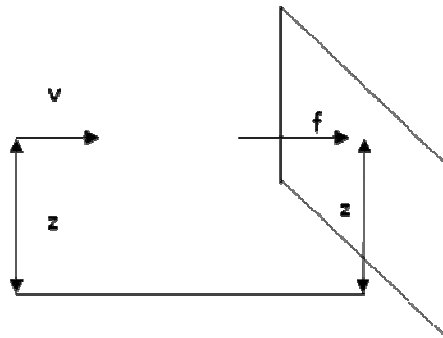


Figura A10.

$$pv(\text{kg/m}^2) = \frac{v^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,29$$

en donde

$$pv = \frac{v^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 1,29 \cong \frac{v^2}{16}$$



La carga del viento sobre un conductor cilíndrico (figura A11) se afecta de un coeficiente de presión dinámica C (ver [tabla I](#)) que depende de la forma del elemento, ya que la ecuación deducida es válida para placas planas; y de un factor k, que toma en cuenta la desigual acción del viento a lo largo del vano.

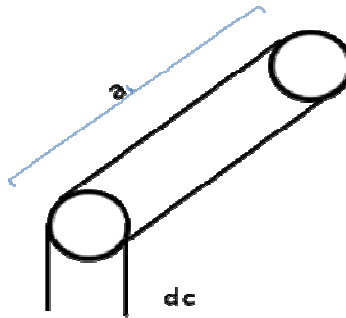


Figura A11

Tabla I - coeficiente C (extractado de la norma VDE 0210/ 5.69)

Elemento estructural	Coef. C
Caras reticuladas planas de perfiles	1,6
estructuras reticuladas, cuadradas o rectangulares de perfiles	2,8
Caras reticuladas de tubos	1,2
Estructuras reticulares, cuadradas o rectangulares, de caños	2,1
Postes de madera, tubulares de acero, de hormigón armado de sección circular.	0,7
Postes dobles de madera, de caños tubulares de acero, de hormigón armado de sección circular (X)	
a) En el plano de la estructura	
parte de estructura expuesta al viento	0,7
parte de estructura en la sombra del viento	
para $a < 2 \text{ dm}$	-
para $a = 2 \text{ dm}$ hasta 6 dm	0,35
para $a > 6 \text{ dm}$	0,7
b) Normal al plano de la estructura, siendo la distancia del eje a 2 dm	0,8
Postes tubulares de acero y postes de hormigón armado, de sección hexagonal u octagonal	1,0
Conductores de hasta $12,5 \text{ mm}$ de diametro	1,2
Conductores de diametro superior a $12,5 \text{ mm}$	1,1
Conductores con diametro superior a $15,8 \text{ mm}$	1,0

dm = diámetro

a = distancia entre los lados interiores de los postes en el caso de postes A debería medirse "a" en la mitad de la altura del poste.



k: 0,75 - 0,80 para cables

k: 1 para el resto de los elementos

$$p^v = C \cdot k \cdot v^2 / 16$$

y la fuerza del viento será:

$$F = p^v \cdot \text{Superficie}$$

$$F = C \cdot k \cdot (v^2 / 16) \cdot a \cdot dc$$

siendo dc : diámetro del conductor, en m²

a: longitud del vano.

Finalmente la carga específica será:

$$g^v = \frac{F}{S} = C \cdot k \cdot \frac{v^2}{16} \cdot \frac{dc}{S}$$

siendo S: sección real del conductor, mm²

Nota: recordando la figura 4, obsérvese que con carga de viento la flecha no aparece mas en el plano vertical. Prácticamente se puede ver que con un viento de 120 Km/h un conductor de Al/Alc de 70/12 se inclina ángulo del orden de los 70 grados.

3) Hielo

Es una carga específica de zonas de muy baja temperatura. El cálculo es aproximado. Se toma un valor razonable en base a los registros meteorológicos.

Por otra parte se admite que el hielo forma un manguito cilíndrico (ver figura 12) alrededor del conductor (cosa que en realidad pocas veces ocurre).

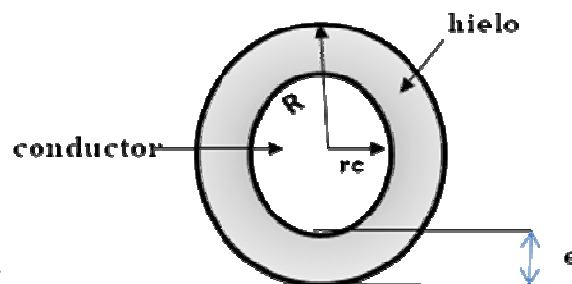


Figura A12.



r^c = radio del conductor Calculo de la sección

R = radio con manguito de hielo

$$A_c = \pi(R^2 - r_c^2) = \pi[(r_c + e)^2 - r_c^2]$$

$$A_c = \pi(r_c^2 + 2r_c \cdot e + e^2 - r_c^2)$$

$$A_c = \pi(2r_c \cdot e) = \pi(2r_c + e) \cdot e$$

$$A_c = \pi e(dc + e)$$

e = espesor del manguito

$\delta h = 0,95 \text{ Kg/dm}^3$

$$Gh = \delta h \cdot \pi e(e + dc) \cdot 10^{-9}$$

Luego la carga especifica será

$$gh = \frac{Gh}{S}$$

siendo S: sección real del conductor

La presencia del manguito de hielo no solo incrementa el peso sino también de existir viento en dicha condición climática, aumenta la superficie expuesta al mismo y consecuentemente la sollicitación gv.

Las Tablas III, IV, V dan el calculo de g_c , g_h , g_y , y g^{total} para cobre, aluminio con alma de acero y aleación de aluminio para distintas secciones y velocidades de viento.



Tabla III - Conductores de cobre

SECCI (mm ²)	DIAMET (m)	PESO (Kg / m)	VELOC. VIENTO (Km / h)	ESFUER-VIENTO (Kg / m)	CARGA ESP VERTICAL (Kg /m.mm ²)	CARGA ESP HORIZONT. (Kg / m.mm ²)	CARGA ESP TOTAL (Kg/m.mm ²)
16 (16,55)	5,1	0,1622	50	0,055	92.10 ⁻⁴	33.2.10 ⁻⁴	97,7.10 ⁻⁴
			120	0,318	"	192.10 ⁻⁴	205.10 ⁻⁴
			125	0,346	"	209.10 ⁻⁴	228.10 ⁻⁴
			130	0,374	"	226.10 ⁻⁴	244.10 ⁻⁴
25 (26,16)	6,3	0,2606	50	0,069	"	26,4.10 ⁻⁴	95,5.10 ⁻⁴
			120	0,394	"	151.10 ⁻⁴	177.10 ⁻⁴
			125	0,428	"	164.10 ⁻⁴	188.10 ⁻⁴
			130	0,462	"	177.10 ⁻⁴	200.10 ⁻⁴
35 (35,15)	7,5	0,3233	50	0,082	"	28,3.10 ⁻⁴	95,0.10 ⁻⁴
			120	0,469	"	133,5.10 ⁻⁴	162,5.10 ⁻⁴
			125	0,510	"	145,0.10 ⁻⁴	171,5.10 ⁻⁴
			130	0,550	"	157,0.10 ⁻⁴	182,0.10 ⁻⁴
50 (50,12)	9,0	0,4626	50	0,898	"	19,6.10 ⁻⁴	94,0.10 ⁻⁴
			120	0,562	"	112,0.10 ⁻⁴	145,0.10 ⁻⁴
			125	0,611	"	122,0.10 ⁻⁴	152,0.10 ⁻⁴
			130	0,660	"	132,0.10 ⁻⁴	161,0.10 ⁻⁴
70 (70,88)	11	0,6542	50	0,120	"	16,9.10 ⁻⁴	93,5.10 ⁻⁴
			120	0,687	"	96,9.10 ⁻⁴	133,5.10 ⁻⁴
			125	0,746	"	105,0.10 ⁻⁴	139,8.10 ⁻⁴
			130	0,807	"	114,0.10 ⁻⁴	146,8.10 ⁻⁴
95 (95,23)	12,75	0,879	50	0,127	"	13,4.10 ⁻⁴	93,0.10 ⁻⁴
			120	0,720	"	76,5.10 ⁻⁴	119,5.10 ⁻⁴
			125	0,792	"	83,1.10 ⁻⁴	124,0.10 ⁻⁴
			130	0,856	"	89,8.10 ⁻⁴	138,5.10 ⁻⁴
120 (119)	14,15	1,098	50	0,141	"	11,8.10 ⁻⁴	92,8.10 ⁻⁴
			120	0,858	"	68,0.10 ⁻⁴	114,3.10 ⁻⁴
			125	0,878	"	73,8.10 ⁻⁴	118,0.10 ⁻⁴
			130	0,950	"	79,8.10 ⁻⁴	122,0.10 ⁻⁴
150 (158,8)	16,1	1,393	50	0,146	"	9,7.10 ⁻⁴	92,6.10 ⁻⁴
			120	0,637	"	55,6.10 ⁻⁴	107,5.10 ⁻⁴
			125	0,910	"	60,4.10 ⁻⁴	118,0.10 ⁻⁴
			130	0,985	"	65,3.10 ⁻⁴	112,0.10 ⁻⁴
150 (150,8)	16,1	1,393	50	0,146	"	9,7.10 ⁻⁴	92,6.10 ⁻⁴
			120	0,637	"	55,6.10 ⁻⁴	107,5.10 ⁻⁴
			125	0,910	"	60,4.10 ⁻⁴	118,0.10 ⁻⁴
			130	0,985	"	65,3.10 ⁻⁴	116,0.10 ⁻⁴
185 (185,4)	17,85	1,713	50	0,162	"	8,7.10 ⁻⁴	92,5.10 ⁻⁴
			120	0,982	"	50,0.10 ⁻⁴	104,3.10 ⁻⁴
			125	1,010	"	54,3.10 ⁻⁴	107,0.10 ⁻⁴
			130	1,092	"	58,8.10 ⁻⁴	109,1.10 ⁻⁴
			50 *	0,343	137,3.10 ⁻⁴	13,8.10 ⁻⁴	130,0.10 ⁻⁴
240 (240,6)	20,25	2,297	50	0,183	92,0.10 ⁻⁴	7,36.10 ⁻⁴	92,3.10 ⁻⁴
			120	1,053	"	42,4.10 ⁻⁴	101,0.10 ⁻⁴
			125	1,144	"	46,0.10 ⁻⁴	103,0.10 ⁻⁴
			130	1,240	"	49,8.10 ⁻⁴	104,5.10 ⁻⁴
			50 *	0,364	129,0.10 ⁻⁴	14,63.10 ⁻⁴	130,0.10 ⁻⁴

* cargas para conductores con manguito de hielo (espesor 10 mm).



Tabla IV - Conductores de aluminio – acero

SECCI (mm ²)		DIAMET (m)	PESO (Kg / m)	VELOC. VIENTO (Km / h)	ESFUER- VIENTO (Kg / m)	CARGA ESP VERTICAL (Kg /m.mm ²)	CARGA ESP HORIZONT. (Kg / m.mm ²)	CARGA ESP TOTAL (Kg/m.mm ²)
50/8	56,31	9,6	0,195	50	0,1045	35,4.10 ⁻⁴	18,4.10 ⁻⁴	40.10 ⁻⁴
				120	0,6	"	106,10 ⁻⁴	112.10 ⁻⁴
				125	0,651	"	115,10 ⁻⁴	120.10 ⁻⁴
				130	0,705	"	125,10 ⁻⁴	130.10 ⁻⁴
70/12	77,8	11,6	0,274	50	0,1265	"	16,8.10 ⁻⁴	39.10 ⁻⁴
				120	0,723	"	93,5.10 ⁻⁴	99,5.10 ⁻⁴
				125	0,785	"	101,10 ⁻⁴	107.10 ⁻⁴
				130	0,850	"	110,10 ⁻⁴	115.10 ⁻⁴
95/15	105	13,4	0,368	50	0,134	"	12,7.10 ⁻⁴	37.10 ⁻⁴
				120	0,77	"	73,5.10 ⁻⁴	81,5.10 ⁻⁴
				125	0,835	"	79,5.10 ⁻⁴	86,5.10 ⁻⁴
				130	0,905	"	86,10 ⁻⁴	93.10 ⁻⁴
120/21	143,5	15,7	0,50	50	0,157	"	10,9.10 ⁻⁴	37.10 ⁻⁴
				120	0,905	"	63,10 ⁻⁴	72.10 ⁻⁴
				125	0,98	"	68,3.10 ⁻⁴	77.10 ⁻⁴
				130	1,058	"	73,8.10 ⁻⁴	81,5.10 ⁻⁴
150/25	174,3	17,3	0,61	50	0,156	"	8,95.10 ⁻⁴	36,6.10 ⁻⁴
				120	0,9	"	51,5.10 ⁻⁴	63.10 ⁻⁴
				125	0,98	"	56,9.10 ⁻⁴	66,5.10 ⁻⁴
				130	1,06	"	60,9.10 ⁻⁴	70,5.10 ⁻⁴
185/32	215,5	19,2	0,76	50	0,174	"	8,1.10 ⁻⁴	36,3.10 ⁻⁴
				120	1,00	"	46,3.10 ⁻⁴	58,47.10 ⁻⁴
				125	1,085	"	50,03.10 ⁻⁴	61,7.10 ⁻⁴
				130	1,17	"	54,5.10 ⁻⁴	65,10 ⁻⁴
				50 *	0,356	75,6.10 ⁻⁴	16,5.10 ⁻⁴	77,5.10 ⁻⁴
240/40	276,1	21,7	0,97	50	0,197	35,4.10 ⁻⁴	7,1.10 ⁻⁴	36,2.10 ⁻⁴
				120	1,125	"	40,9.10 ⁻⁴	54,10 ⁻⁴
				125	1,22	"	44,2.10 ⁻⁴	56,8.10 ⁻⁴
				130	1,32	"	47,8.10 ⁻⁴	59,5.10 ⁻⁴
				50 *	0,378	69,5.10 ⁻⁴	14,5.10 ⁻⁴	10.10 ⁻⁴
300/50	344,4	24,2	1,21	50	0,22	35,4.10 ⁻⁴	6,4.10 ⁻⁴	36.10 ⁻⁴
				120	1,25	"	36,5.10 ⁻⁴	50,9.10 ⁻⁴
				125	1,37	"	39,6.10 ⁻⁴	53.10 ⁻⁴
				130	1,48	"	43.10 ⁻⁴	55,5.10 ⁻⁴
				50 *	0,4	64,6.10 ⁻⁴	11,6.10 ⁻⁴	64,9.10 ⁻⁴

* cargas para conductores con manguito de hielo (espesor 10 mm).



Tabla V - Conductores de aleación de aluminio

SECCI (mm ²)	DIAMET (m)	PESO (Kg / m)	VELOC. VIENTO (Km / h)	ESFUER-VIENTO (Kg / m)	CARGA ESP VERTICAL (Kg /m.mm ²)	CARGA ESP HORIZONT. (Kg / m.mm ²)	CARGA ESP TOTAL (Kg/m.mm ²)
50	9	0,1363	50	0,898	27,6.10 ⁻⁴	19,6.10 ⁻⁴	34.10 ⁻⁴
			120	0,561	"	112.10 ⁻⁴	116,5.10 ⁻⁴
			125	0,611	"	122.10 ⁻⁴	125.10 ⁻⁴
			130	0,661	"	132.10 ⁻⁴	134,9.10 ⁻⁴
95	12,75	0,268	50	0,1275	"	13,4.10 ⁻⁴	30,7.10 ⁻⁴
			120	0,729	"	16,5.10 ⁻⁴	31,3.10 ⁻⁴
			125	0,791	"	83,3.10 ⁻⁴	87,8.10 ⁻⁴
			130	0,856	"	90.10 ⁻⁴	94.10 ⁻⁴
160	16,1	0,4267	50	0,146	"	9,7.10 ⁻⁴	29,2.10 ⁻⁴
			120	0,386	"	56,8.10 ⁻⁴	62,2.10 ⁻⁴
			125	0,94	"	60,7.10 ⁻⁴	66,7.10 ⁻⁴
			130	0,985	"	65,7.10 ⁻⁴	71,1.10 ⁻⁴
185	17,85	0,5245	50	0,161	"	8,7.10 ⁻⁴	28,9.10 ⁻⁴
			120	0,93	"	50,3.10 ⁻⁴	67,4.10 ⁻⁴
			125	1,01	"	54,6.10 ⁻⁴	61,1.10 ⁻⁴
			130	1,09	"	59.10 ⁻⁴	65.10 ⁻⁴
			50 *	0,343	73,3.10	18,55.10 ⁻⁴	75,6.10 ⁻⁴
240	19,95	0,6551	50	0,181	27,6.10 ⁻⁴	7,55.10 ⁻⁴	28,6.10 ⁻⁴
			120	1,037	"	43,2.10 ⁻⁴	51,3.10 ⁻⁴
			125	1,127	"	46,9.10 ⁻⁴	54,3.10 ⁻⁴
			130	1,22	"	50,8.10 ⁻⁴	57,8.10 ⁻⁴
			50 *	0,362	64,6.10 ⁻⁴	15,1.10 ⁻⁴	66,4.10 ⁻⁴
300	22,95	8,868	50	0,298	27,6.10 ⁻⁴	6,94.10 ⁻⁴	28,4.10 ⁻⁴
			120	1,195	"	39,8.10 ⁻⁴	48,4.10 ⁻⁴
			125	1,298	"	43,2.10 ⁻⁴	51,2.10 ⁻⁴
			130	1,465	"	46,7.10 ⁻⁴	54,2.10 ⁻⁴
			50 *	0,39	61,7.10 ⁻⁴	13.10 ⁻⁴	63.10 ⁻⁴
400	25,65	1,084	50	0,233	27,6.10 ⁻⁴	5,82.10 ⁻⁴	28,2.10 ⁻⁴
			120	1,338	"	33,4.10 ⁻⁴	43,3.10 ⁻⁴
			125	1,48	"	36,2.10 ⁻⁴	45,6.10 ⁻⁴
			130	1,57	"	39,2.10 ⁻⁴	48.10 ⁻⁴
			50 *	0,415	53,8.10 ⁻⁴	10,4.10 ⁻⁴	54,8.10 ⁻⁴

* cargas para conductores con manguito de hielo (espesor 10 mm).



II. Sobre aisladores

a) peso propio

El peso propio del aislador es dato del fabricante, sin embargo, los aisladores deben cumplir con lo indicado en la NRF-018 de CFE.

b) Fuerza del viento

Debido a su forma, los aisladores no están encuadrados dentro de una superficie sencilla, entonces se debe adaptarlos. La superficie normal es un triángulo (ver figura A13) de aproximadamente 254.15 [mm] (para aisladores de suspensión, de campana normal) entonces tenemos:

$$F_{va} = C \cdot k \cdot \frac{V^2}{16} \frac{b \cdot h}{2}$$

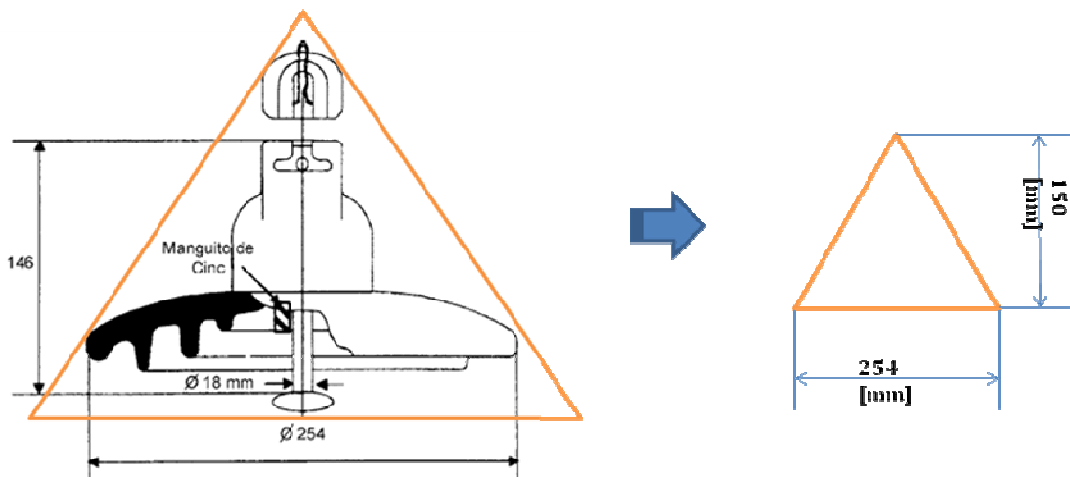


Figura A13

La mayor dificultad consiste en determinar los coeficientes C y K. Para vientos de 130 km/h se adopta $F_{va} = 1,4 \text{ kg / aislador}$.



III. Sobre la estructura

I. Postes

1a. Peso propio

El peso propio de los postes de hormigón (concreto) o de acero es dato del fabricante; en el caso de estructuras se debe calcular o tomarlo de la lista tope o planos de diseño.

1b. Fuerza del viento

Los postes de hormigón o los trococónicos de acero tienen la forma trapezoidal que muestra la figura A14.

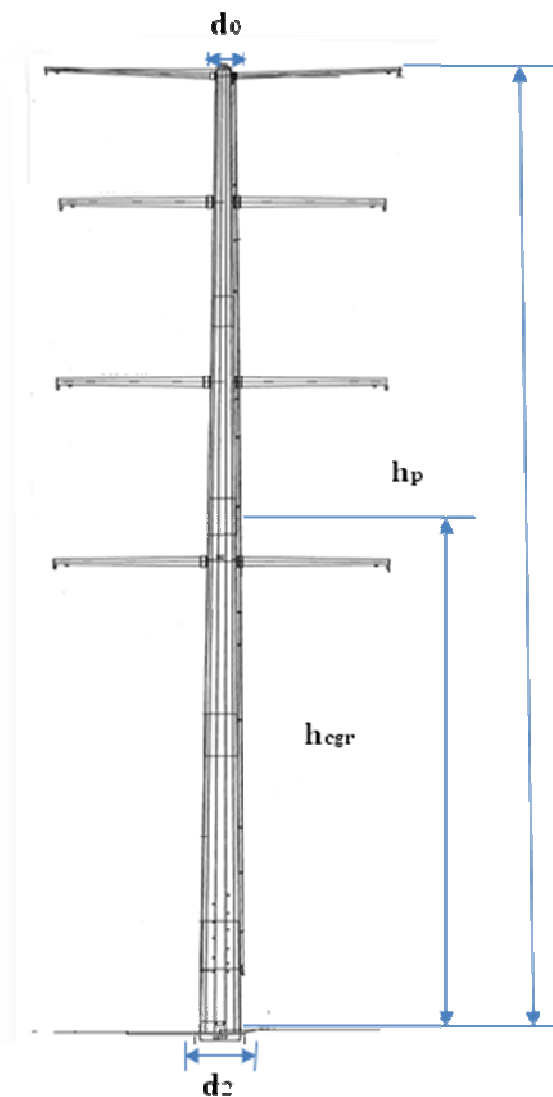


Figura A14



La fuerza del viento estará aplicada a la altura del centro de gravedad de la superficie del mismo. Para ello calcularemos el paralelogramo:

Reemplazando las superficies por sus valores:

$$h_p \cdot \frac{d_2 + d_o}{2} \cdot h_{cgr} = \frac{h_p}{2} \frac{d_2 - d_o + 3d_o}{3} h_p$$

de donde la altura del centro de gravedad de la superficie del paralelogramo resulta:

$$h_{cgr} = \frac{h_p}{2} \cdot \frac{2}{d_2 + d_o} \cdot \frac{d_2 + 2d_o}{3} = \frac{2d_o + d_2}{d_2 + d_o} \cdot \frac{h_p}{3}$$

Interesa establecer la fuerza del viento sobre el poste referida a la cima.

$F \cdot h_p =$ presión del viento * sup expuesta * altura centro de gravedad.

$$F \cdot h_p = C \cdot k \cdot \frac{v^2}{16} \cdot \frac{1}{3} \cdot h_p \cdot \frac{2d_o + d_2}{d_o + d_2} \cdot h_p \cdot \frac{d_o + d_2}{2}$$

donde C y K corresponden al poste utilizado.

En definitiva

$$F_{vp} = C \cdot k \cdot \frac{v^2}{16} \cdot \frac{1}{6} \cdot h_p \cdot (2d_o + d_2)$$

Esta ecuación es válida para postes simples, para el caso de otras estructuras se emplean los valores de figura A15.

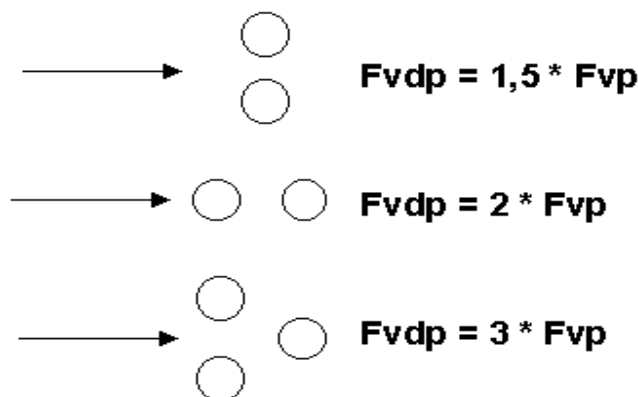


Figura A15



A.6. DEFINICIONES DE CFE PARA PARAMETROS MECANICOS DE L.T's,

Claro

Es la parte de una línea aérea comprendida entre dos estructuras consecutivas.

Claro medio horizontal o claro de viento de una estructura

Es la semisuma de los valores de los dos claros adyacentes a la estructura de referencia.

Claro vertical o claro de peso de una estructura

Es el valor de la distancia horizontal existente entre los dos puntos más bajos de las catenarias adyacentes a la estructura de referencia.

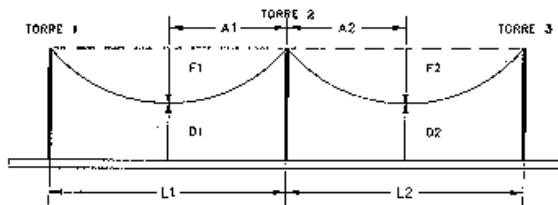
Flecha

Es la mayor distancia medida verticalmente desde una línea recta imaginaria, que une sus dos puntos de soporte hasta la parte más baja de la catenaria que forma el conductor.

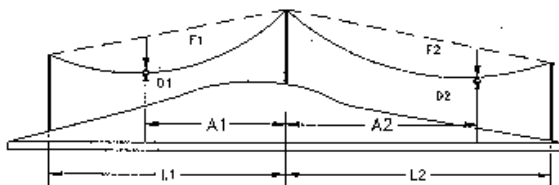
Libramiento

Es la distancia existente entre la parte más baja del conductor y el suelo en cualquier parte del claro.

CASO 1: TORRES EN UN MISMO PLANO (RELACION WD/WT=1)
WD = CMH CLARO MEDIO HORIZONTAL WT = CMV CLARO MEDIO VERTICAL



CASO 2: TORRES A DIFERENTE NIVEL (RELACION WD/WT = 0.7)
WD = CMH CLARO MEDIO HORIZONTAL WT = CMV CLARO MEDIO VERTICAL



PARA TODOS LOS CASOS:

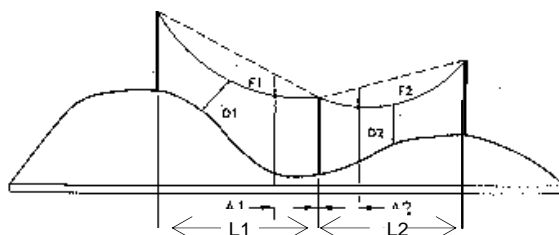
$$\text{CLARO MEDIO HORIZONTAL} = \frac{L1 + L2}{2}$$

$$\text{CLARO VERTICAL} = A1 + A2$$

F1 = FLECHA EN CLARO 1

F2 = FLECHA EN CLARO 2

CASO 3: TORRES A DIFERENTE NIVEL (RELACION WD/WT = 1.7)
WD = CMH = CLARO MEDIO HORIZONTAL WT = CMV CLARO MEDIO VERTICAL



NOTA: D1 Y D2 SON LOS LIBRAMIENTOS
QUE DEBERAN CONSERVARSE.



TABLA DE FLECHAS PARA LOS CONDUCTORES ACSR/AS CALIBRES 1113 Y 900 KCM

Es un dato importante para determinar las flechas que se deben dar a los conductores tendientes a originar libramientos conductor-suelo u otras vías de comunicación (carreteras, telégrafos, FFCC, etc.). Para tal efecto, se deberán tensionar los conductores entre un 20 y 25 % de la tensión de ruptura del conductor.

CLARO EFECTIVO HORIZONTAL	1113 kcm			900 kcm		
	20 %	23%	25%	14%	17%	19%
	2808 kg	3229 kg	3510 kg	1994 kg	2421 kg	2706 kg
200	3.34	2.90	2.67	4.14	3.41	3.05
300	7.51	6.53	6.00	9.31	7.67	6.86
400	13.35	11.61	10.68	16.55	13.63	12.20
500	20.87	18.14	16.69	25.86	21.30	19.06
600	30.05	26.13	24.04	37.24	30.67	27.48
700	40.90	35.56	32.72	50.69	41.74	37.35
800	53.42	46.45	42.74	66.20	54.52	48.78
900	67.61	58.79	54.09	83.79	69.00	61.74
1000	83.47	72.58	66.77	103.44	85.19	76.22
1100	101.00	87.82	80.80	125.16	103.00	92.23
1200	120.20	104.00	96.15	148.96	122.67	109.70

TABLA A2.- flechas y tensiones para cables ACSR a 25°C, considerando terreno plano y los porcentajes en función de la carga de ruptura del conductor.

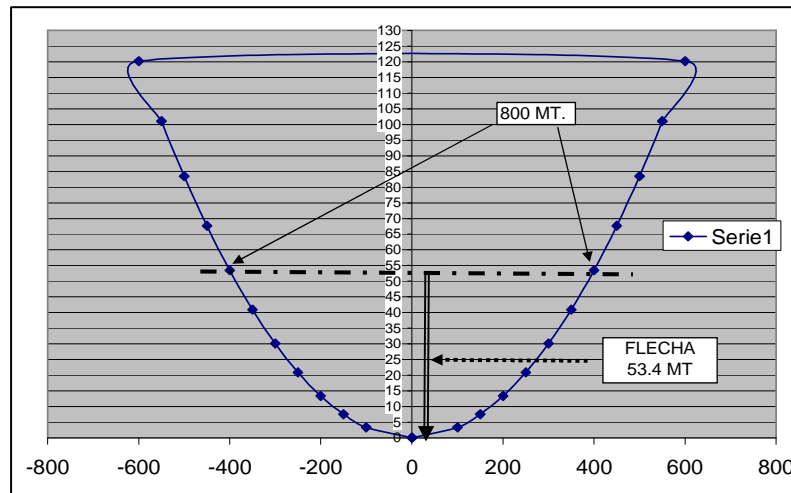
NOTA: La carga de ruptura del conductor ACSR 1113 kcm es de 14040 [kg] y para el cable ACSR 900 kcm 14,242 [kg].

Estos datos solo son de referencia se deberá analizar el libramiento a tierra y el estado de las estructuras para su aplicación.

A continuación se muestra una gráfica de la tabla anterior, donde se muestra el comportamiento del conductor con respecto a la variación de los claros efectivos, manteniendo la tensión constante del 20%, de carga de ruptura del conductor.



GRAFICA DE FLECHA PARA CABLE 1113 KCM CON EL 20 % TENS. RUPTURA



CLARO (MTS.)	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
FLECHA (MTS.)	3.34	7.51	13.4	20.9	30.1	40.9	53.4	67.6	83.5	101	120

Ejemplos de aplicación:

Caso 1 torre en un mismo nivel (terreno plano)

DATOS:

Tipo de conductor ACSR 900	KCM CANARY
Diámetro de conductor	29.51 mm
Tensión de ruptura	14,242 kg
Tensión de trabajo al 21.5%(T)	3,060 kg
Peso unitario (Pu)	1.65 kg/m
Claro torres 1-2 (L)	450 m
Altura de Conductor	25 m

Flecha = F

$$F = \frac{Pu (L)^2}{8 T}$$

$$F = \frac{(1.65 \text{ kg/m}) (450 \text{ m})^2}{8(3,060)} = \frac{1.65 \text{ kg/m} (202.500 \text{ m}^2)}{24,480 \text{ kg}}$$

Flecha F = 13.65 m

Libramiento = 25.00 - 13.65 = 11.35 m

Observaciones: 11.35 metros de libramiento conductor a suelo es suficiente.



UTILIZACIÓN DE LOS PLANOS DE PROYECTO DE PLANTA Y PERFIL, EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

El contar con los perfiles topográficos de las líneas de transmisión en las Gerencias de Transmisión, se convierte en una herramienta muy valiosa para la toma de decisiones rápidas en el restablecimiento de Líneas de Transmisión, en forma provisional con estructuras de emergencia o con uso de estructuras definitivas.

En la página siguiente, la gráfica muestra el perfil topográfico de una L. T. de 400 kV, 2 conductores ACSR 1113 KCM por fase, donde habremos de suponer que requerimos sustituir por daño la estructura no. T-2. Analizando la información podemos fácilmente determinar:

1. La altura conductor-piso de la estructura dañada, tomando en cuenta la escala vertical 1:750 es de 20 metros.
2. El mismo valor puede determinarse con el uso de las tablas de altura de conductor – piso, para las torres tipo más utilizadas en 230 y 400 kV en CFE.

Para una torre B -5.

Altura conductor - piso torre B + O código A6 =25 m

Altura conductor - piso torre B - 5 = 25 - 5 = 20

3. Este dato (20 m) nos indica cual es nuestra altura conductor a piso que debemos respetar como mínimo cuando seleccionemos la estructura de emergencia. Lo anterior, para que los libramientos al terreno y contraperfiles no se alteren.

La gráfica, la distancia "A" nos indica el libramiento más crítico a un contraperfil, el cual debe verificarse en campo.

4. Claro medio horizontal. Utilizando la escala horizontal 1: 7500 se obtienen las distancias L1 (350 m) y L2 (670 m), que deben coincidir con los datos que contiene en la parte inferior la hoja de perfil.

El claro medio horizontal Wd es la semisuma de estas 2 distancias.

$$Wd = \frac{L1+L2}{2} = \frac{350 + 670}{2} = 510 \text{ m}$$

Este dato (510 m) nos indica el Wd que esta soportando la estructura T-1. Verificando en la tabla de alturas conductores-piso encontramos que la torre, B(A6) puede soportar un claro medio horizontal de hasta 1000 m, con lo que se demuestra su correcta utilización.

5. Claro vertical. Utilizando la escala horizontal 1: 7500 se obtiene la distancia horizontal entre los puntos más bajos de las catenarias de los claros adyacentes a la estructura T-2, que es el claro vertical que soporta. En la gráfica el claro vertical = 500 m, valor que normalmente aparece encerrado en la parte superior de la estructura en un círculo, en la hoja de perfil.

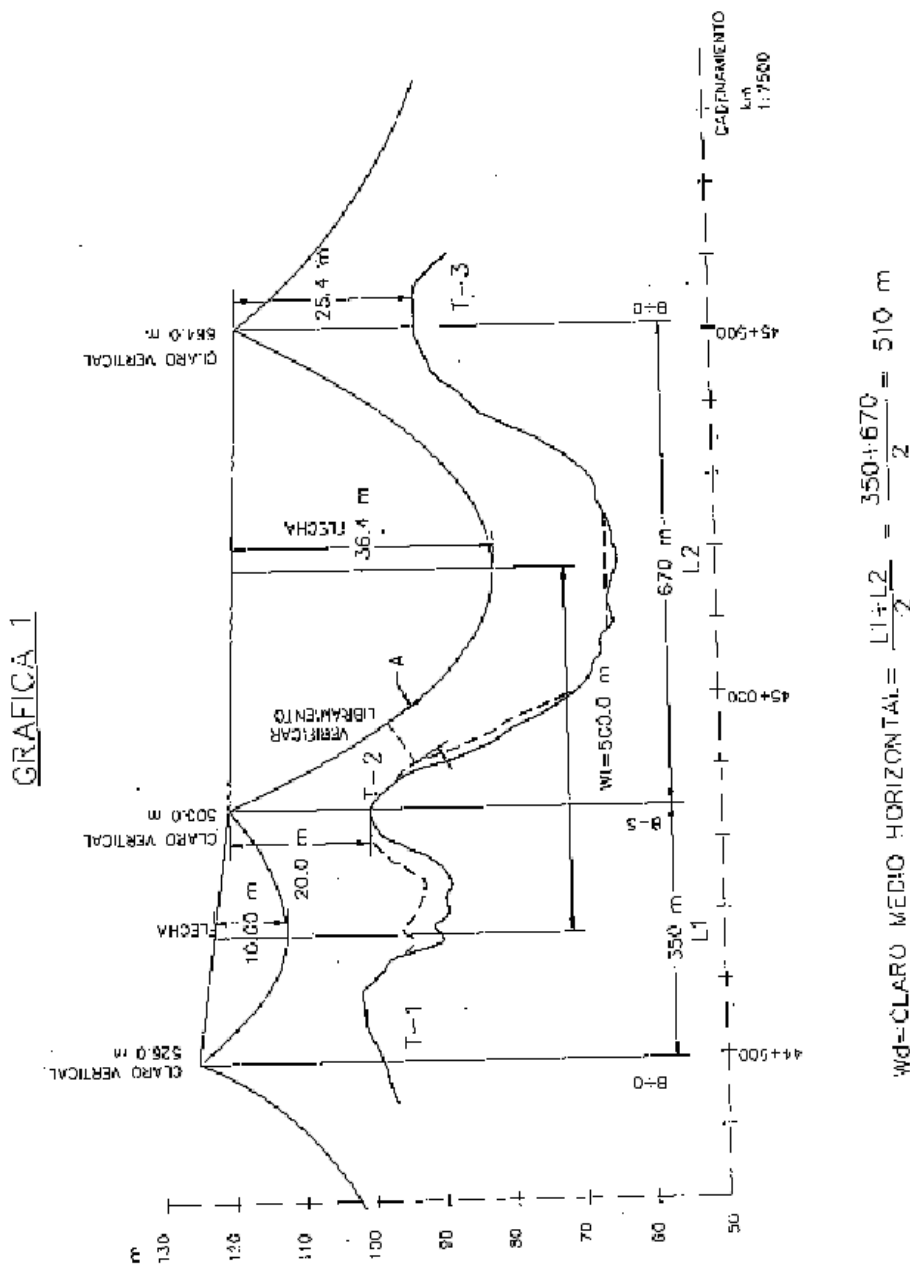


6. Flecha. Utilizando la escala vertical máxima se puede obtener la flecha en cada claro de la línea.

7. Contrapéfil al terreno y libramientos.

La línea continua nos indica el perfilamiento del terreno a lo largo de la trayectoria de la L. T., los libramientos conductor-piso pueden verificarse en la gráfica y determinar aquellos que pueden ser críticos.

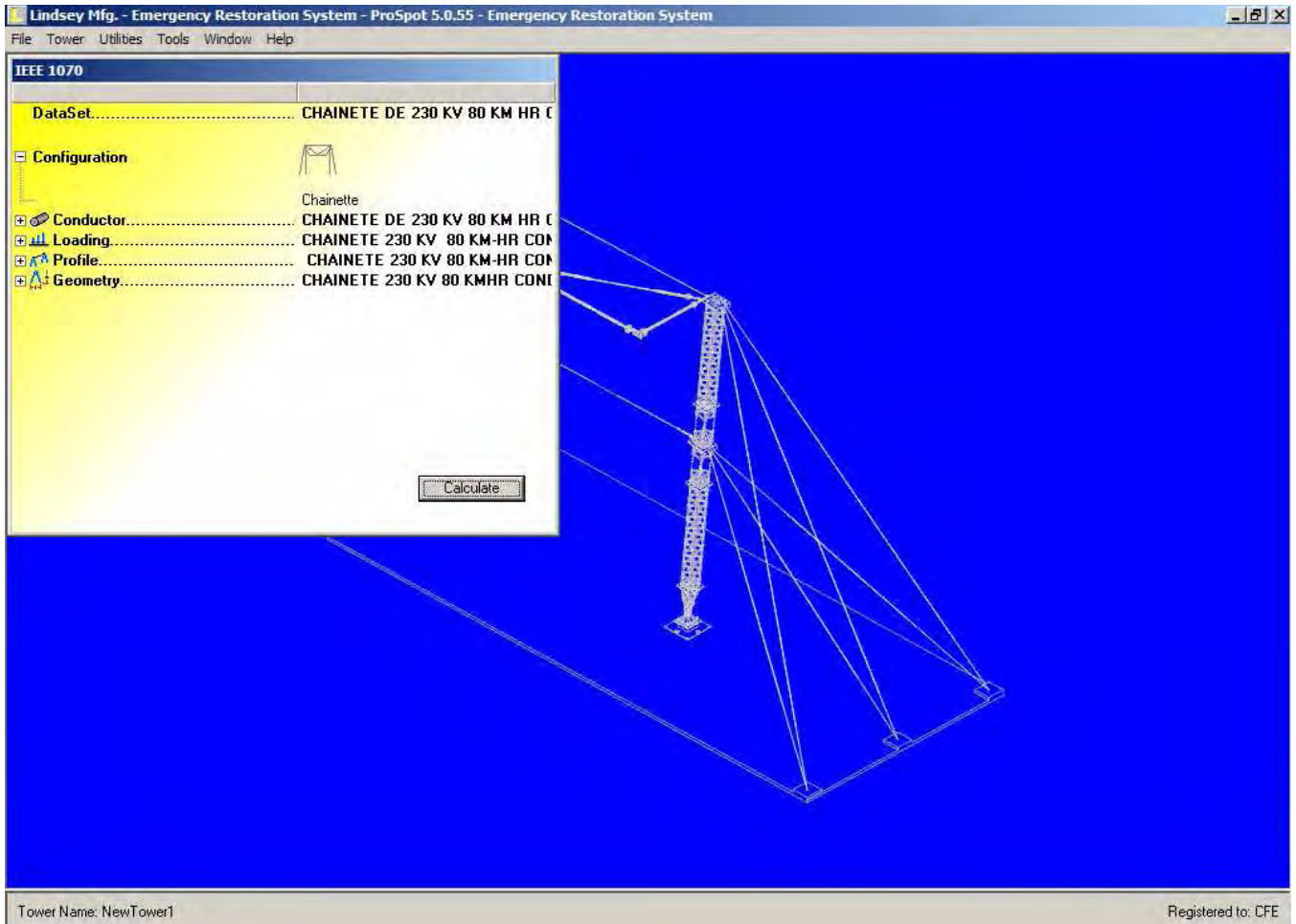
Asimismo, la raya discontinua son los libramientos horizontales que se presentan en los contraperfiles al terreno, también deben verificarse cuidadosamente.





A.7. SOFTWARE LINDSEY PARA EL CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA

En las siguientes imágenes se mostrara paso a paso los datos que hay que llenar para obtener una corrida de estructuras de emergencia, esto es solo un ejemplo, el software tiene más utilerías que no se mostraran por no ser objeto del presente reporte, las cuales se van desarrollando con la practica y dependiendo de la problemática a resolver.





Lindsey Mfg. - Emergency Restoration System - ProSpet 5.0.55 - Emergency Restoration System

File Tower Utilities Tools Window Help

IEEE 1070

DataSet..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C

Configuration

Chainette

Chainette DE 230 KV 80 KM HR C

Conductor..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C

Loading..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C

Profile..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C

Geometry..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C

Tower Configuration - IEEE 1070

Structure Type

Chainette

Running Angle

Four Pole

Delta H-Vee

Dead End

H-Bone SC

Horizontal Vee

H-Bone DC

OK Cancel

Tower Name: NewTower1

Registered to: CFE




Lindsey Mig - Emergency Restoration System - ProSpak 5.01.35 - Emergency Restoration System

File Tower Utilities Tools Window Help

IEEE 1070

DataSet..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C

Configuration 

Chainette

Conductor..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C

Loading..... CHAINE

Profile..... CHAIN

Geometry..... CHAINE

Conductor

File

Conductor and Overhead Ground Wire Data

Conductor Name CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR CONDUCTOR 9

	Conductor	DHGW	
Quantity per Phase:	0	<input checked="" type="checkbox"/>	
Diameter:	2.95	0.954	cm
Unit Weight:	1.72	0.41	kg/m
Tension 1:	23	8	kN
Tension 2:	0	0	kN
Tension 3:	0	0	kN

Description
Enter number of sub-conductors per phase. (Bundle)

Load Restore Defaults OK Cancel

Tower Name: NewTower1 Registered to: CFE



The screenshot displays the 'Lindsey Mfg. - Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.55 - Emergency Restoration System' window. The interface includes a menu bar (File, Tower, Utilities, Tools, Window, Help) and a tree view on the left. The tree view shows the following structure:

- IEEE 1670
 - DataSet..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C
 - Configuration
 - Chainette
 - Conductor..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C
 - Loading..... CHAINETE 230 KV 80 KM-HR CON
 - Profile..... CHAINETE 230 KV 80 KM-HR CON
 - Geometry..... CH

The 'Loading' dialog box is open, showing the following configuration:

- File
- Loading Name: CHAINETE 230 KV 80 KM-HR CONDUCTOR 900
- Wind on Conductor: 305.1 Pa
- Wind on Column: 305.1 Pa
- Radial Ice: 0 cm
- Conductor / OHGW Tension: Tension 1
- Shape Factor: 2
- Vertical Overload: 1.5
- Horizontal Overload: 1.98
- Line Tension Overload: 1.5
- Additional Eccentricity: 15 cm

Description:

Enter the wind pressure on the projected sub-conductor/ORGW area. The program will automatically multiply by the horizontal OLF. The table below lists pressure for various wind velocities based on the formula:
 $1 \text{ Pascal} = 0.04767 \times (\text{km/hr})^2 = 1 \text{ N/m}^2 = 0.1019 \text{ kg/m}^2$

Units: km/hr, m/s, Pascal.

Buttons: Load, Restore Defaults, OK, Cancel.

Tower Name: NewTower1 Registered to: CFE



The screenshot shows the 'Lindsey Pkg - Emergency Restoration System' software. The main window has a menu bar (File, Tower, Utilities, Tools, Window, Help) and a toolbar. The left pane shows a configuration tree for 'IEEE 1079' with the following items:

- DataSet: CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C
- Configuration: Chainette
- Conductor: CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C
- Loading: CHAINETE 230 KV 80 KM-HR CON
- Profile: CHAINETE 230 KV 80 KM-HR CON
- Geometry: CHAINETE 230 KV 80 KMHR CON

The 'Profile' dialog box is titled 'Line Profile / Span and Conductor Height Data' and contains the following fields and buttons:

- Profile Name: CHAINETE 230 KV 80 KM-HR CONDUCTOR 900
- Total Line Angle: 5 degrees
- Wind Span: 500 m
- Weight Span: 294.12 m
- Ratio of Wind Span to Weight Span: 1.7
- Desired Conductor Height: 20 m
- Buttons: Calculate Wind/Wt Span..., Load, Restore Defaults, OK, Cancel

At the bottom of the main window, the status bar shows 'Tower Name: NewTower1' and 'Registered to: CFE'.



Lindsey Mfg. - Emergency Restoration System - ProSpot 5.0.35 - Emergency Restoration System

File Tower Utilities Tools Window Help

IEEE 1070

DataSet..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C

Configuration

- Conductor..... CH
- Loading..... CH
- Profile..... CH
- Geometry..... CH

Chainette Geometry

Configuration Name CHAINETE 230 KV 80 KMHR CONDUCTOR 900

Elevation View Top View

A: 27 m
B: 7.1 m
D: 3.12 m

Tower Slope, N: 1
Tower, N: 84.29 Degrees

Main Guy Slope, X: 1
Main Guy, X: 45.00 Degrees

Intermediate Guying
 Set Specific Int. Guy Height
m

Description
Enter the horizontal distance from phase to tower (dimension A)

Load Restore Defaults Cancel < Back Next > Finish

Tower Name: NewTower1 Registered to: CFE



Lindsey Mfg. - Emergency Restoration System - ProSpec 5.0.55 - Emergency Restoration System

File Tower Utilities Tools Window Help

IEEE 1170

DataSet..... CHAINETE DE 230 KV 80 KM HR C

Configuration

Conductor..... CH

Loading..... CH

Profile..... CH

Geometry..... CH

Chainette Geometry

File

Configuration Name CHAINETE 230 KV 80 KMHR CONDUCTOR 900

Elevation View Top View

Single Double

Triple

Slope

Y = 2

Degrees (Y) = 26.57

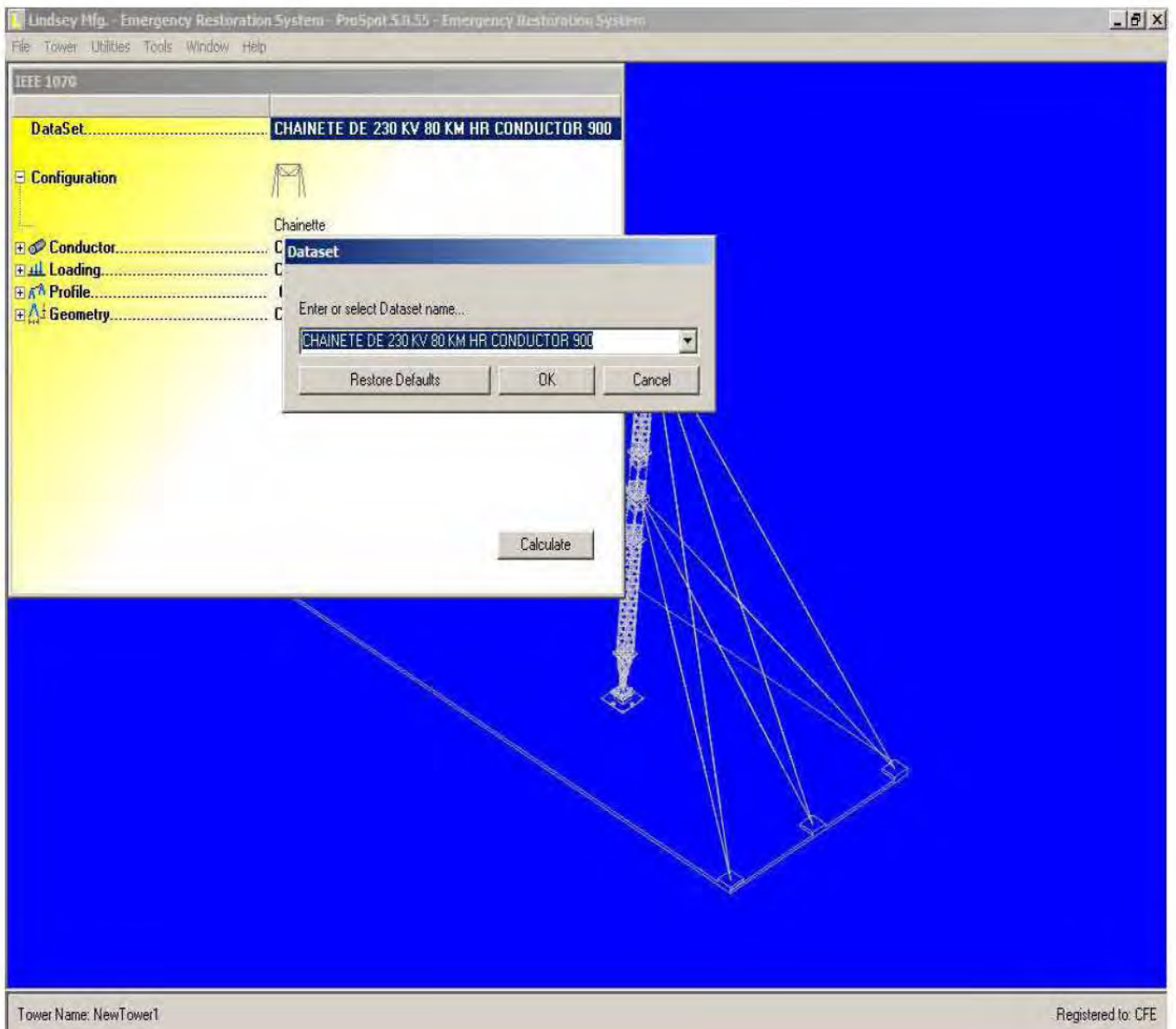
Description

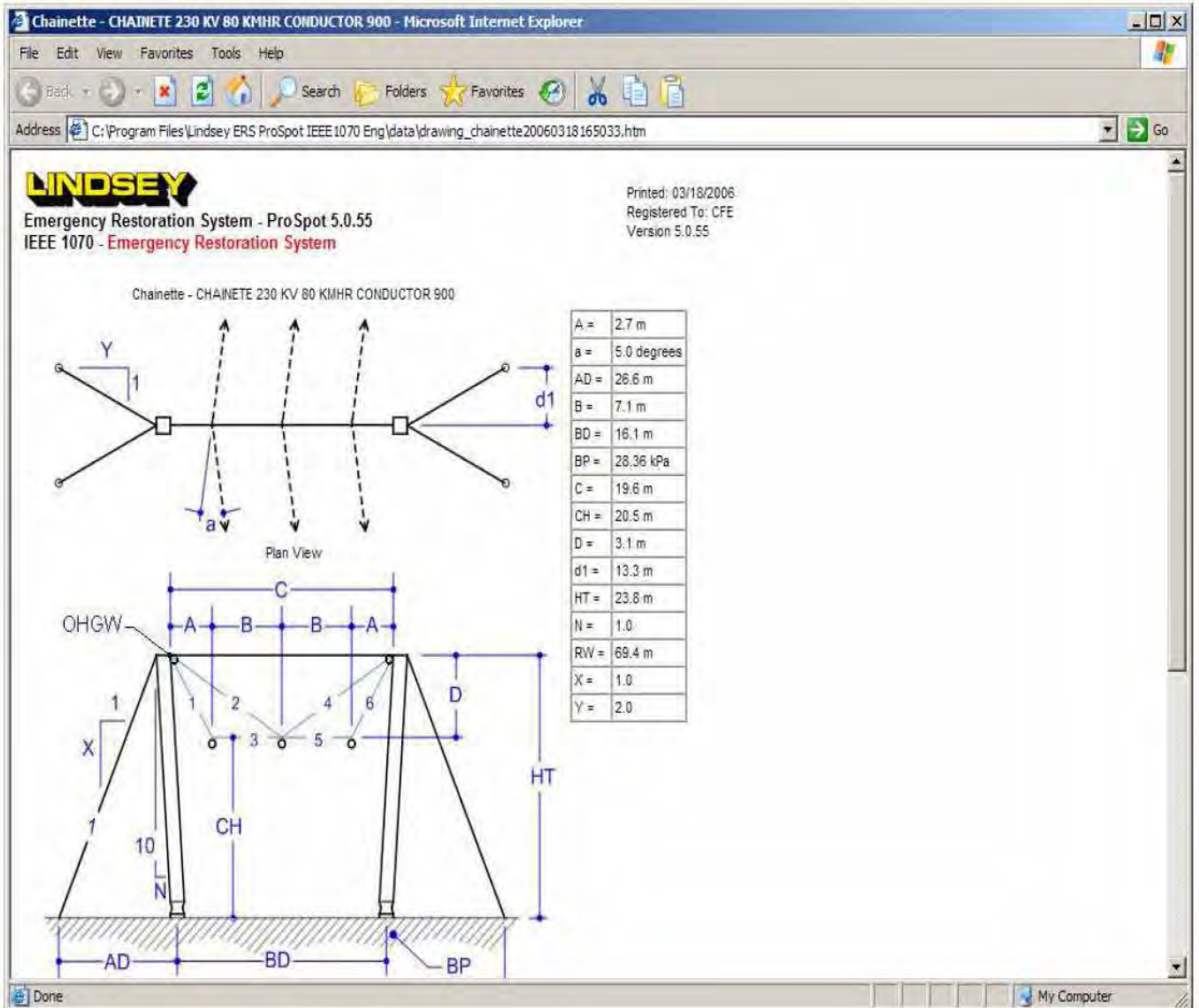
Select quantity of main tower guys. A single guy requires longitudinal guying (shown dashed). Double and triple guys may require additional longitudinal guys if the horizontal guy slope value is greater than 2 or 3.

Load Restore Defaults Cancel < Back Next > Finish

Tower Name: NewTower1

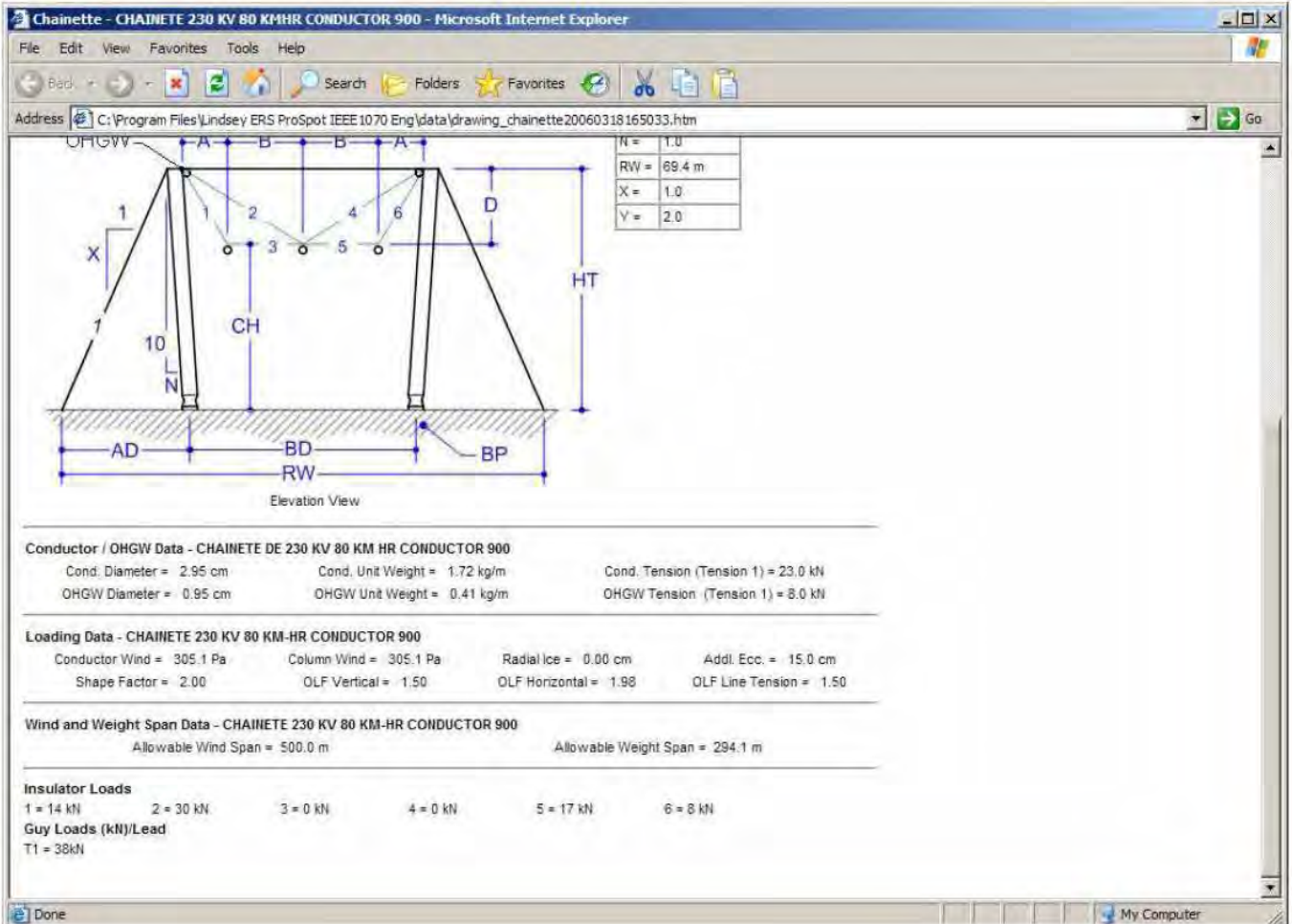
Registered to: CFE







RESTABLECIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
POR COLAPSO DE ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS





7. BIBLIOGRAFÍA

1. GUÍA DE ARMADO E IZAJE DE ESTRUCTURAS MODULARES DE EMERGENCIA; CFE, EDICIÓN ABRIL DE 2008, REV. ABRIL DE 2011
2. GUÍA PRÁCTICA PARA LA UTILIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA; CFE, EDICIÓN JUNIO DE 2006
3. NORMA DE REFERENCIA NRF-043-CFE-2004, HERRAJES Y CONJUNTO DE HERRAJES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS CON TENSIONES DE 115 KV A 400 KV
4. NORMA DE REFERENCIA NRF-017-CFE-2006, CABLE DE ALUMINIO CON CABLEADO CONCÉNTRICO Y NÚCLEO DE ACERO GALVANIZADO (ACSR)
5. NORMA DE REFERENCIA NRF-044-CFE-2006, AISLADORES DE SUSPENSIÓN SINTÉTICOS PARA TENSIONES DE 230 KV A 400 KV
6. ESPECIFICACIÓN CFE E0000-22, CABLES DE GUARDA
7. PROGRAMA DE CALCULO LINDSEY MODULAR EMERGENCY RESTORATION SYSTEM PRO SPOT 5.0.55