



EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED, C.A.

Definición de los Aspectos Básicos del Diseño de la Línea de Transmisión

SIEPAC

INFORME FINAL

RESUMEN EJECUTIVO

Mayo 2004

AB Transmission-Consult
Rutherford, NJ, USA



EPR

EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED

Definición de los Aspectos Básicos del Diseño de la Línea de Transmisión SIEPAC

Resumen Ejecutivo del Informe Final

Elaborado por:

Ing. Amado Beloff
Consultor

Mayo 2004

AB Transmission-Consult
Rutherford, NJ, USA

EPR
LINEA DE TRANSMISION 230 kV SIEPAC

Definición de los Aspectos Básicos del Diseño de la Línea de Transmisión SIEPAC

RESUMEN EJECUTIVO DEL INFORME FINAL

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. <u>ANTECEDENTES</u>	1
2. <u>OBJETIVOS DE LA CONSULTORIA INDIVIDUAL</u>	1
3. <u>REVISIÓN DEL INFORME DPC</u>	2
4. <u>ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES</u>	2
4.1 Capacidad de Transporte del Conductor.....	2
4.2 Pérdidas Corona y Efectos Ambientales y Electromagnéticos.....	2
4.3 Materiales del Conductor.....	3
4.4 Comparación Económica de Conductores.....	3
4.5 Vientos.....	3
4.6 Aislamiento y Material de los Aisladores.....	3
4.7 Distancias Eléctricas.....	4
4.8 Familia de Estructuras.....	4
4.9 Altura Básica de Estructuras y Vano Económico.....	4
4.10 Hipótesis de Carga.....	4
5. <u>TALLER INTERMEDIO</u>	5
6. <u>VIENTOS DE PROYECTO Y TEMPERATURAS ASOCIADAS</u>	5
7. <u>CARACTERÍSTICAS DEL CONDUCTOR</u>	6
8. <u>DETERMINACIÓN DE LOS CABLES DE GUARDIA</u>	6
8.1 Hilo de Guardia.....	6
8.2 OPGW.....	6
9. <u>LIMITACIONES EN LA TENSIÓN MECÁNICA DE LOS CONDUCTORES E HILO DE GUARDIA</u>	7
9.1 Conductor.....	7
9.2 Hilo de Guardia.....	7
9.3 OPGW.....	7
10. <u>ESTUDIO DE AISLAMIENTO</u>	7
10.1 Distancias Eléctricas.....	8
10.2 Aisladores Cerámicos.....	8
10.3 Aisladores No-Cerámicos.....	8
10.4 Contaminación Ambiental.....	8

11. <u>GEOMETRÍA DE LAS ESTRUCTURAS</u>	9
11.1 Angulo de Protección contra Descargas de Rayo.....	9
12. <u>FAMILIA DE ESTRUCTURAS</u>	9
12.1 Torres de Circuito Simple.....	10
12.2 Torres de Circuito Doble.....	10
12.3 Torres de Base Estrecha.....	10
12.4 Estructuras Estéticas con Postes de Acero.....	11
12.5 Siluetas de Estructuras.....	11
13. <u>TORRES ESPECIALES DE 4 CIRCUITOS</u>	11
13.1 Aspectos de Confiabilidad.....	12
13.2 Aislamiento Diferencial.....	12
13.3 Salidas de Línea.....	13
13.4 Comentarios Adicionales y Conclusiones Derivadas del Taller Final.....	13
13.5 Familia de Estructuras de 4 Circuitos.....	14
14. <u>ESTRUCTURAS COMPACTAS CON POSTES DE ACERO</u>	14
14.1 Cable de Guardia.....	14
14.2 Circuito Adicional de 69 kV.....	14
14.3 Simulaciones de Salidas de Línea.....	15
14.4 Características del Conductor.....	15
14.5 Cálculo de Flechas y Tensiones.....	15
14.6 Brazo Aislante- Aislamiento.....	15
14.7 Anillo Anti-Corona.....	15
14.8 Geometría.....	16
14.9 Contra-Flecha.....	16
14.10 Familia de Estructuras Compactas con Postes de Acero.....	16
15. <u>ESTRUCTURAS COMPACTAS CON POSTES DE CONCRETO</u>	16
15.1 Características del Conductor.....	17
15.2 Cálculo de Flechas y Tensiones.....	17
15.3 Cálculo de Capacidad de Postes de Concreto.....	17
15.4 Familia de Estructuras con Postes de Concreto.....	17
16. <u>HIPÓTESIS DE CARGA</u>	18
16.1 Estructuras de Suspensión y Angulo.....	18
16.2 Estructuras de Amarre y Angulo.....	18
16.3 Estructuras Terminales y Amarre y Angulo.....	19
17. <u>ÁRBOLES DE CARGA</u>	19
18. <u>ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA UTILIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS COMPACTAS</u>	19

EPR
LINEA DE TRANSMISION 230 kV SIEPAC

Definición de los Aspectos Básicos del Diseño de la Línea de Transmisión SIEPAC

RESUMEN EJECUTIVO DEL INFORME FINAL

1.0 **ANTECEDENTES**

El proyecto SIEPAC considera la construcción de una línea de transmisión en 230 kV con una longitud aproximada de 1840 km que interconecta los países de América Central. La línea en su mayor parte será de simple circuito, pero existen tramos específicos con dos y cuatro circuitos.

Como parte del proyecto, en julio del 2001, la empresa DPC (Danish Power Consult) elaboró un diseño preliminar que definió aspectos básicos de la línea de transmisión, sujetos a una definición más precisa conforme se avanzara en la definición de la ruta y obtención del trazo topográfico.

Dentro de los aspectos definidos están el tipo y calibre del conductor, distancias mínimas al suelo (libramientos) del conductor, tipo y calibre del hilo de guardia y OPGW, geometría básica de las torres de uno y dos circuitos, criterios de diseño estructural, tipo y número de aisladores y diseño básico de cimentaciones.

Con base en estos resultados, en una etapa posterior, la empresa INGENDESA realizó una serie de estudios adicionales para definir con mayor detalle aspectos como la geometría de la familia completa de torres de uno y dos circuitos, el cálculo de los árboles de carga de todas estas estructuras, el diseño estructural de las torres indicadas, determinación de las características del hilo de guardia de acuerdo a los criterios de corriente de corto circuito y descarga atmosférica, determinación del aislamiento con base en valores estimados para las sobretensiones de frecuencia industrial y por maniobra.

Por otro lado, con el avance en la definición de la ruta y de los trabajos de topografía se identificó la necesidad de contar con estructuras compactas (tipo poste) que se emplearían en lugares específicos con problemas de servidumbre o en accesos restringidos en algunas subestaciones, particularmente en Guatemala.

Del análisis de estos documentos y de las nuevas situaciones que en su momento no se podría prever por carecer de la información topográfica, la EPR determinó que para efectos de llevar a cabo la elaboración de las especificaciones y los carteles de licitación harían falta definir con mayor precisión algunos aspectos del diseño básico.

En este sentido se requeriría la asesoría experta de Consultor individual para definir estos aspectos y consolidar el diseño requerido para fines licitatorios.

2.0 **OBJETIVOS DE LA CONSULTORIA INDIVIDUAL**

El Consultor se compromete a prestar sus servicios profesionales a la EPR en su calidad de especialista en el diseño de líneas de transmisión de alto voltaje, realizando los estudios y análisis técnicos que permitan definir de manera concluyente el diseño básico

de la línea de transmisión, tomando como base los documentos técnicos ya realizados. Dentro de estos objetivos, el Consultor en el área de su especialidad, deberá llevar a cabo las siguientes tareas:

- Revisión de la documentación existente elaborada por DPC, INGENDESA y EPR.
- Realización de un Taller con participación de enlaces técnicos de las empresas eléctricas socias de EPR.
- Determinación del Conductor
- Determinación de los cables de guardia
- Definición de los límites de la tensión mecánica en los conductores e hilo de guardia.
- Evaluación de materiales de aisladores y definición de distancias eléctricas a través de un estudio de aislamiento.
- Establecer la geometría de estructuras normales, especiales y compactas.
- Definición de las familias de estructuras.
- Determinación de las hipótesis de carga de las estructuras.
- Analizar y definir la utilización de estructuras compactas en la línea.
- Realización de un Taller para la exposición de los resultados finales con la presencia de los enlaces técnicos de las empresas socias y entrega del informe final.

3.0 REVISION DEL INFORME DE DPC

Como primera actividad se efectuó una revisión de los resultados presentados por DPC en su Informe del Diseño Preliminar. Se hicieron observaciones mayores en los aspectos del conductor, los vientos, el aislamiento y las hipótesis de carga y fueron expuestas en el primer taller realizado con los socios.

4.0 ANALISIS Y RECOMENDACIONES

4.1 **Capacidad de Transporte del Conductor**

El conductor 795 kcmil ACSR recomendado por DPC y adoptado para el cálculo de estructuras por INGENDESA no cumple con las condiciones de transporte establecidos para la línea.

Recomendación:

Se recomienda considerar conductores de mayor sección que permitan transportar la capacidad total de 300 MW en todas las condiciones ambientales y topográficas de la línea.

4.2 **Pérdidas Corona y Efectos Ambientales y Electromagnéticos**

El informe DPC es omiso con respecto al fenómeno corona y sus efectos ambientales.

Recomendación:

En lo que respecta a la línea SIEPAC localizada en altitudes que llegan a los 2000 m, se recomienda por efectos corona, considerar conductores de mayor diámetro que el conductor propuesto por DPC calibre 795 Kcmil ACSR de 27.74 mm de diámetro.

4.3 Materiales del Conductor

Los materiales considerados en el informe DPC son el ACSR y el ACAR, sin embargo no esta clara la preferencia por el ACSR, en una región que notoriamente carece de las cargas de hielo y donde solo ellas podrían naturalmente justificar el uso de un núcleo mas resistente de acero.

Recomendación:

En lo que respecta a la línea SIEPAC se recomienda dar preferencia al tipo ACAR; pero sin dejar de considerar ambos tipos de conductor (el AAAC y el ACSR/AW) en la evaluación económica de conductores.

4.4 Comparación Económica de Conductores

Fue realizada la evaluación económica de conductores para lo que fueron considerados un conjunto de conductores propuestos por el consultor, complementados con otros a solicitud de los países socios.

Recomendación:

Como conclusión de este análisis se recomienda entre los conductores tipo ACSR/AW, ACAR y AAAC que tienen la capacidad suficiente para transmitir 300 MW seleccionar el 1024.5 Kcmil 18/19 ACAR que presenta el menor costo de inversión y cuya adopción se recomienda.

4.5 Vientos

Los vientos de proyecto considerados en el informe DPC exceden en gran proporción (alrededor de 50%) los valores adoptados en la región para los proyectos de 230 kV.

El viento máximo resultante del informe DPC es 150 km/h contra 100 km/h en la región y el impacto económico adverso sería la de producir estructuras extremadamente pesadas (25% más en peso) con un costo extra para el proyecto de cerca de \$25, 000,000.

Recomendación:

Se recomienda adoptar un viento máximo de 100 km/h actuando uniformemente en los conductores y estructuras sin corrección de altura.

4.6 Aislamiento y Material de los Aisladores

El informe DPC establece el uso de 16 unidades de discos cerámicos (vidrio o porcelana) de 254 mm x 246 mm para las cadenas de aisladores que se considera correcto para este proyecto localizado en topografía con alturas variando de 100 msnm a 2000 msnm.

Recomendación:

a) Se recomienda el empleo de aisladores cerámicos de larga y excelente experiencia en los países de la región, en la mayor parte de la línea no expuesta a condiciones de

contaminación ambiental significantes. Sin embargo podrían aceptarse propuestas alternativas con aisladores no-cerámicos de características eléctricas y mecánicas equivalentes si resultaran de interés económico para EPR.

- b) En los trechos de línea expuestos a contaminación salina y/o volcánica elevada se recomienda el empleo de aisladores no-cerámicos.*

4.7 Distancias Eléctricas

Las distancias eléctricas del informe DPC son consideradas deficientes para las sobretensiones de impulso (2150 mm) sin deflexión de la cadena por acción de viento.

Recomendación:

- a) Siendo que la cadena de aisladores de suspensión estará compuesta de 16 unidades de discos estándar cerámicos de 254 mm x 146 mm cuya distancia en seco es 2336 mm, se recomienda como mínimo adoptar la misma distancia en aire para asegurar la integridad del aislamiento.*
- b) Además, se recomienda considerar la acción de viento moderado (40 km/h), normalmente asociado durante tormentas y descargas eléctricas.*

4.8 Familia de Estructuras

Recomendación:

- a) Se recomienda agregar un tipo de estructura de ángulo medio en suspensión, utilizar un solo tipo de estructura para ángulo grande y terminal y utilizar las estructuras terminales de 0° con brazos adicionales para las entradas en ángulo a las subestaciones.*
- b) También se recomienda la disposición de conductores en triángulo para las estructuras de 1 circuito con el brazo medio equidistante del brazo superior e inferior.*

4.9 Altura Básica de Estructuras y Vano Económico

Recomendación:

La altura básica adoptada para las estructuras del informe DPC y diseños de INGENDESA son muy elevadas (30 m al nivel del brazo inferior) y se recomienda reducirlas a 20 m para permitir una mejor utilización económica de las alturas y vanos en ocasión de efectuar la distribución de estructuras en los planos de Planta y Perfil.

El vano medio de 380-400 m adoptado en el informe DPC aparece correcto para la topografía y extensión de la línea SIEPAC.

4.10 Hipótesis de Carga

Las hipótesis de carga adoptadas por INGENDESA son en general aceptables, excepto por la hipótesis de cable reventado en las estructuras de suspensión y ángulo de 1 circuito donde se establece el equivalente de dos cables reventados, simultáneamente.

El informe INGENDESA recomienda insertar una estructura de amarre y ángulo medio por cada 10 estructuras de suspensión con el propósito aparente de limitar el daño que un evento de falla en cascada pudiera ocasionar. Esto se considera incoherente y costoso para el proyecto.

Los factores de seguridad adoptados en los informes DPC/INGENDESA son adecuados para las cargas normales (1.50) y cargas excepcionales (1.20). Sin embargo será necesario re-establecer la condición de cargas de construcción para tendido y cargas de mantenimiento (doble vertical) con factores de seguridad mayores de 1.50 ya que se trata de operaciones con participación de personal.

Recomendación:

- a) *Se recomienda modificar la hipótesis de cable reventado para el equivalente de un cable por circuito.*
- b) *Eliminar la inserción indiscriminada de estructuras de mayor resistencia en trechos de línea menores de 20-30 km.*
- c) *Adicionar una hipótesis excepcional de desbalance longitudinal de todos los cables en cualquier dirección simultáneamente.*
- d) *Agregar cargas longitudinales simultáneas en las hipótesis normales con viento máximo para las estructuras de suspensión (100-200 kg) y de amarre (400-500 kg).*
- e) *Adicionar las hipótesis de carga de construcción (tendido de cables) y mantenimiento (doble vertical) con factor de seguridad 1.70.*

5.0 TALLER INTERMEDIO

Luego de que los países analizaron las recomendaciones del Consultor, y con su aprobación y consenso manifestado en el Taller Intermedio, se definió como punto de partida para el diseño que el conductor adoptado sería el 1024.5 Kcmil 18/19 ACAR y el viento de proyecto de 100 km/h equivalente a una presión de viento de 48 kg/m² en los conductores.

6.0 VIENTOS DE PROYECTO Y TEMPERATURAS ASOCIADAS

Recomendación:

Los vientos de proyecto, presiones de viento en los conductores y estructuras serán los siguientes:

Viento Máximo: *100 km/h sin corrección de altura en los conductores y estructuras a 0 °C, equivalente a 48 kg/m² de presión en los conductores y superficies cilíndricas cuyo factor de forma es 1.0; y a 154 kg/m² en dos caras de las estructuras metálicas de celosía. Estos valores de presión serán multiplicados por los factores de carga que correspondan a las hipótesis de carga seleccionadas.*

7.0 CARACTERISTICAS DEL CONDUCTOR

Las características físicas y mecánicas del conductor seleccionado 1024.5 Kcmil 18/19 ACAR son las siguientes:

Diámetro: 29.59 mm
Peso: 1.4312 kg/m
Área total: 519.10 mm²
RTS: 11702 kg

Nota: En elevaciones superiores a los 1500 msnm ubicadas en zonas urbanas se recomienda usar dos conductores 477.0 ACSR “Hawk”, por fase.

8.0 DETERMINACIÓN DE LOS CABLES DE GUARDIA

La línea SIEPAC tendrá dos cables de guardia instalados siendo que uno de ellos será OPGW provisto con 48 fibras ópticas. Para efectos de determinación de cargas en las estructuras se consideró la instalación de dos OPGW en las estructuras por tener mayor diámetro, peso y tensión de ruptura. Las características y materiales de ambos cables se muestran a continuación:

8.1 **Hilo de Guardia**

Recomendación:

El hilo de guardia recomendado por INGENDESA es aceptable desde el punto de vista mecánico y de capacidad para disipar las corrientes de corto circuito que se generen durante fallas a tierra en el sistema. También es adecuado para operar en ambientes contaminados que pudieran afectar el alma de acero del material. El calibre seleccionado es el 7#8 – 7 hilos Alumoweld con las siguientes características físicas y mecánicas:

Diámetro: 9.779 mm
Peso: 0.390 kg/m
Área total: 58.56 mm²
RTS: 7226 kg

8.2 **OPGW**

El cable OPGW considerado tiene capacidad para alojar 48 fibras ópticas y sus características eléctricas y mecánicas son las siguientes:

Diámetro: 14.00 mm
Peso: 0.593 kg/m
Área total: 107.17 mm²
RTS: 8723 kg

Recomendación:

Considerando que las corrientes de corto circuito máximas en el sistema no exceden de 12 kA y que las protecciones de “backup” deberían operar dentro de los 20 ciclos (1/3

de seg), la capacidad térmica mínima a especificar para el OPGW deberá ser de $44 (kA)^2 \cdot seg$.

9.0 LIMITACIONES EN LA TENSIÓN MECÁNICA DE LOS CONDUCTORES E HILO DE GUARDIA

9.1 Conductor

El factor limitante más importante es la tensión EDS. Esta establece el límite de trabajo del material del conductor para protegerlo contra la fatiga de origen aeólica.

Recomendación:

En el caso de conductores ACAR es práctica común y aceptada limitar la tensión EDS al 16% de la tensión máxima de rotura (RTS). Partiendo de esta condición a la temperatura de 25 °C, sin viento, final con creep se llega a los siguientes límites de tensiones iniciales y finales:

Condición de Carga	Tensión Mecánica (kg)		% de RTS	
	Inicial	Final	Inicial	Final
EDS, 25 °C, sin viento	2091	1872	17.9%	16.0%
Viento Máximo 48 kg/m ² , 0 °C	3120	2815	26.7%	24.0%
Temperatura Mínima 0 °C, sin viento	2425	2124	20.7%	18.2%

9.2 Hilo de Guardia

Partiendo de la relación de flechas 0.90 con respecto a la flecha del conductor para la condición de carga EDS a 25 °C, sin viento, final con creep, se obtienen las tensiones límites para el hilo de guardia 7#8AW:

Condición de Carga	Tensión Mecánica (kg)		% de RTS	
	Inicial	Final	Inicial	Final
EDS, 25 °C, sin viento	635	600	8.8%	8.3%
Viento Máximo 48 kg/m ² , 0 °C	973	932	13.5%	12.9%
Temperatura Mínima 0 °C, sin viento	699	657	9.7%	9.1%

9.3 OPGW

De manera similar al hilo de guardia se establecen las tensiones límites para el OPGW 107.17 mm²-14 mm de diámetro:

Condición de Carga	Tensión Mecánica (kg)		% de RTS	
	Inicial	Final	Inicial	Final
EDS, 25 °C, sin viento	1000	915	11.5%	10.5%
Viento Máximo 48 kg/m ² , 0 °C	1491	1387	17.1%	15.9%
Temperatura Mínima 0 °C, sin viento	1121	1014	12.9%	11.6%

10.0 ESTUDIO DE AISLAMIENTO

El aislamiento fue definido en los informes DPC/INGENDESA con la adopción de 16 unidades de aisladores cerámicos de 235 mm x 146 mm para las cadenas de suspensión.

10.1 Distancias Eléctricas

Recomendación:

Las distancias eléctricas mínimas en aire que se recomiendan fueron determinadas para las sobretensiones de impulso, maniobra y 60 Hz. El resultado de esta determinación se muestra a continuación donde también se indican las distancias propuestas por DPC/INGENDESA a título de comparación:

Tipo de Sobretension	Distancia Eléctrica (mm)	INFORME DPC/INGENDESA
<i>Impulso</i>	2360	2150
<i>Maniobra</i>	1320	1600
<i>60 Hz</i>	710	650

10.2 Aisladores Cerámicos

Recomendación:

La longitud de la cadena de aisladores compuesta de 16 unidades discos cerámicos de 254 mm x 146 mm incluyendo herrajes tipo estándar es 2600 mm (2810 mm con herrajes para trabajo en caliente). El tipo de aislador será ANSI Clase 52-5 de 25000 lb (11364 kg) M&E. La carga útil que podrá soportar este aislador con factor de seguridad 2.50 será:

$$11364 \text{ kg}/2.50 = 4545 \text{ kg}$$

10.3 Aisladores No-Cerámicos

Recomendación:

- a) *Aisladores no-cerámicos del tipo suspensión y amarre serán utilizados en reemplazo de los aisladores estándar cerámicos en zonas de elevada contaminación salina y/o volcánica.*
- b) *Las características eléctricas y mecánicas que tendrán estos aisladores serán como mínimo aquellas garantizadas para la cadena completa compuesta de 16 aisladores estándar cerámicos ANSI Class 52-5. El factor de seguridad de estos aisladores será ≥ 2.50*

10.4 Contaminación Ambiental

A igualdad de características eléctricas y mecánicas, los aisladores no-cerámicos a ser empleados en las zonas altamente contaminadas de la línea se diferenciarán de los aisladores cerámicos por el valor notablemente superior de su distancia de fuga.

Recomendación:

- a) *Se recomiendan adoptar las siguientes distancias de fuga para los aisladores no-cerámicos dependiendo de la localización de la línea respecto de la proximidad a las zonas contaminadas:*

<i>Localización de la línea</i>	<i>Nivel de Contaminación</i>	<i>Distancia de Fuga del Aislamiento</i>
<i>Proximidad de la línea al mar menor que 5 km</i>	<i>Nivel IV (31 mm/kV L-L)</i>	≥ 7000 mm
<i>Proximidad de la línea al mar >5 hasta 10 km</i>	<i>Nivel III (25 mm/kV L-L)</i>	≥ 6300 mm
<i>Proximidad a contaminación de origen volcánico</i>	<i>Nivel III (25 mm/kV L-L)</i>	≥ 6300 mm

- b) *La utilización y el desempeño de aisladores no-cerámicos en las áreas sujetas a contaminación volcánica deberá ser investigada con los fabricantes de estos aisladores.*
- c) *Independientemente de la adopción de estos valores para los niveles de contaminación EPR deberá considerar el mantenimiento periódico (programa de lavado) del aislamiento en áreas con contaminación severa.*

11.0 GEOMETRÍA DE LAS ESTRUCTURAS

La geometría de las cabezas de las estructuras fue determinada con base en los valores adoptados para las distancias eléctricas mínimas para las sobretensiones de impulso, maniobra y 60 Hz. Esta geometría define a su vez la configuración de los conductores e hilo de guardia soportados por las estructuras.

Los cálculos fueron realizados con una longitud de cadena de 2600 mm considerando herrajes estándar. Los mismos fueron verificados para la cadena provista con herrajes para trabajo de mantenimiento en línea viva cuya longitud total sería 2810 mm.

11.1 **Ángulo de Protección contra Descargas de Rayo**

Basado en los estudios de salidas de línea ejecutados por EPR con el programa “TFlash” de EPRI rehacen las siguientes recomendaciones:

Recomendación:

- a) *Mantener el valor de la resistencia de pie de torre en 10 ohms para toda la extensión de la línea.*
- b) *Se recomienda la adopción de un ángulo de protección de 10° negativo.*

12.0 FAMILIA DE ESTRUCTURAS

Varias familias de estructuras han sido consideradas para cubrir los requerimientos de la línea SIEPAC, que incluyen estructuras de diversos tipos constructivos para uno y dos circuitos, siendo que la de mayor aplicación es la de torres metálicas de celosía de un circuito que cubre las necesidades de la línea en un 80%.

Existe una familia de torres metálicas de celosía de doble circuito y también se han considerado familias de estructuras metálicas de celosía de base angosta para uno y dos circuitos y de estructuras estéticas en postes de acero de uno y dos circuitos, intercambiables entre sí.

Otras familias de estructuras que por sus características específicas de aplicación o diseño fueron consideradas para la línea SIEPAC, son las estructuras especiales de cuatro circuitos y las compactas en postes de acero y concreto.

12.1 Torres de Circuito Simple

La familia de torres metálicas de celosía para un circuito está definida por los siguientes tipos y prestaciones:

TIPO	APLICACIÓN	ANGULO MAXIMO	VANO DE VIENTO (m)	VANO DE PESO (m)	OBSERVACIONES
TS1	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	400	600	
TS2	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	700	1050	⁽¹⁾ Vano límite 800 m
TSA	Suspensión y ángulo 2-10 grados	10	400	1050	
TMS	Amarre en línea y ángulo 0-30 grados	30 0	400 1500	1500 1500	Arrancamiento vertical (-900) m
TDS	Terminal ⁽²⁾ y ángulo 0-65 grados	65	400	1500	Arrancamiento vertical (-900) m

12.2 Torres de Circuito Doble

La familia de torres metálicas de celosía para dos circuitos está definida por los siguientes tipos y prestaciones:

TIPO	APLICACIÓN	ANGULO MAXIMO	VANO DE VIENTO (m)	VANO DE PESO (m)	OBSERVACIONES
TD1	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	400	600	
TD2	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	700	1050	⁽¹⁾ Vano límite 800 m
TDA	Suspensión y ángulo 2-10 grados	10	400	1050	
TMD	Amarre en línea y ángulo 0-30 grados	30 0	400 1500	1500 1500	Arrancamiento vertical (-900) m
TDD	Terminal ⁽²⁾ y ángulo 0-65 grados	65	400	1500	Arrancamiento vertical (-900) m

12.3 Torres de Base Estrecha

La familia de torres metálicas de celosía de base estrecha para uno y dos circuitos están definidos por los siguientes tipos y prestaciones:

TIPO	APLICACIÓN	ANGULO MAXIMO	VANO DE VIENTO (m)	VANO DE PESO (m)	OBSERVACIONES
1 Circuito					
TES1	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	400	600	
TEMS	Amarre y ángulo 0-30 grados	30 0	400 1500	1500 1500	Arrancamiento vertical (-900) m
2 Circuitos					
TED1	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	400	600	
TEMD	Amarre y ángulo 0-30 grados	30 0	400 1500	1500 1500	Arrancamiento vertical (-900) m

12.4 Estructuras Estéticas con Postes de Acero

La familia de estructuras estéticas en postes de acero para uno y dos circuitos está definida por los siguientes tipos y prestaciones:

TIPO	APLICACIÓN	ANGULO MAXIMO	VANO DE VIENTO (m)	VANO DE PESO (m)	OBSERVACIONES
1 Circuito					
PS1	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	400	600	
PMS	Amarre y ángulo 0-30 grados	30	400	1500	Arrancamiento vertical (-900) m
2 Circuitos					
PD1	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	400	600	
PMD	Amarre y ángulo 0-30 grados	30	400	1500	Arrancamiento vertical (-900) m

12.5 Siluetas de Estructuras

Las siluetas de estructuras en torres de celosía y postes de acero cuyas familias fueron definidas mas arriba se muestran en el Anexo 26 del informe final.

13.0 TORRES ESPECIALES DE 4 CIRCUITOS

Torres especiales de 4 circuitos fueron propuestas para ser utilizadas en trechos específicos de la línea SIEPAC, entrando en las Subestaciones de Ahuachapan, Nejapa y 15 de Septiembre localizadas en El Salvador, por aparentes dificultades en obtener servidumbre.

Se presenta para este tipo de construcción la situación de circuitos que podrían sufrir salidas simultáneas, típicas de las estructuras de dos o más circuitos donde frecuentemente la salida de un circuito por efecto de rayos provoca la salida de ambos.

Otras circunstancias que preocupan desde el mismo aspecto de confiabilidad es la posibilidad de falla estructural de una o mas torres por efecto de sobrecargas de origen meteorológico (vientos), colapso de fundaciones por efecto sísmico o por falla de suelos (lluvias) y también por vandalismo. Cualquiera de ellos podría involucrar la pérdida total de los circuitos de 230 kV de EPR.

13.1 Aspectos de Confiabilidad

No es inusual en sistemas de transmisión desarrollados el de tener estructuras multicircuitos en AT y aun EAT. La confiabilidad de mantener uno o más de los circuitos activos con la salida de uno de ellos ha sido siempre un problema a ser confrontado.

Uno de los aspectos cruciales de confiabilidad es cuantos o cuales circuitos pueden ser sacrificados sin, por lo menos en situación de emergencia de corta duración, afectar el servicio del sistema como un todo. En sistemas muy desarrollados (mallados de nodos y líneas) es posible aceptar la salida de circuitos o contingencias de uno, dos u ocasionalmente mas circuitos.

En sistemas nacientes, de una línea, un circuito, por ejemplo no existe la flexibilidad de la contingencia y el sistema es entonces más precario, en esos casos la planificación de sistemas exige que un segundo circuito, cuando adicionado, sea instalado físicamente separado del primer circuito.

Esta última situación es por la que atraviesa EPR en el tramo de ETESAL ya que a pesar de la línea SIEPAC estar eléctricamente conectada en paralelo con los sistemas nacionales, que podrían hacer las veces de paso alternativo o contingencia para cualquier evento en la línea de EPR, esto no se verifica en El Salvador.

Recomendación:

- a) *Efectuar la separación física de circuitos entre EPR y ETESAL*
- b) *EPR debería considerar la entrada y salida de las subestaciones en estructuras de circuito simple manteniendo el criterio y configuración del resto de la línea SIEPAC. Esta línea debería estar localizada en servidumbre propia, no compartida.*
- c) *Circunstancias de fuerza mayor podrían hacer inviable la separación total recomendada. En ese caso EPR deberá aceptar riesgos de continuidad y confiabilidad del servicio y para ello deberá hacer estudios especiales para planificar las medidas a tomar por sus operadores en estas emergencias.*
- d) *Evitar el uso de estructuras de 4 circuitos y solamente considerarlas, en caso extremo, como ultima opción.*

13.2 Aislamiento Diferencial

La probabilidad mas frecuente de salida simultánea de circuitos se presenta con la falla por efecto de descargas eléctricas cuya magnitud es considerada muy alta en toda la región de la América Central.

Una técnica frecuentemente utilizada en estructuras de dos circuitos es la de aplicar aislamiento diferencial de tal manera que uno de los circuitos, el circuito de sacrificio, es aislado con menor BIL (numero menor de aisladores), lográndose de esa manera mantener en servicio un circuito en la mayoría de los eventos posibles.

13.3 Salidas de Línea

EPR ha producido una serie de simulaciones de salidas de línea empleando el programa “TFlash” de EPRI. Del examen de resultados se recomienda:

Recomendación:

- a) *Ubicar los circuitos de EPR a un lado de la estructura, en vertical, opuesto a los circuitos ETESAL, nuevo y existente de 115 kV con el cual hará paralelismo.*
- b) *Aislar los dos circuitos de ETESAL con 13 aisladores (3 aisladores proveen el aislamiento diferencial óptimo)*
- c) *Considerar que si bien se disminuyen notablemente las probabilidades de salidas simultáneas de circuitos, la posibilidad de ocurrencia y pérdida total de dos o más circuitos aún existe.*

13.4 Comentarios Adicionales y Conclusiones Derivadas del Taller Final

La utilización y confiabilidad de estructuras de cuatro circuitos fue ampliamente discutida con los participantes del SIEPAC durante el Taller Final realizado en San José, Costa Rica, los días 22 y 23 de Abril/2004, donde nuevos puntos de vista fueron presentados, como sigue:

El representante de la Unidad Ejecutora del SIEPAC explicó la configuración física y eléctrica de los cuatro circuitos (2 de EPR y 2 de ETESAL) que tornarían indeseables las siguientes condiciones:

- a. La salida de un circuito de ETESAL daría como consecuencia la interrupción del circuito EPR por sobrecarga y viceversa por lo que sería irrelevante la aplicación del aislamiento diferencial ya que ambos circuitos tendrían igualdad de importancia.
- b. La separación física de los circuitos de EPR y ETESAL traería como consecuencia el cruzamiento de ambos circuitos.

El representante de la Unidad Ejecutora del SIEPAC indicó la posibilidad de crear una subestación de maniobra, con o sin transformación de 115 kV para conexión al sistema existente en la subestación de Nejapa. La subestación de maniobra estaría localizada en la bifurcación de la línea EPR con ETESAL a unos 8-10 km de Nejapa. La construcción de esta subestación mejoraría notablemente la confiabilidad total del sistema de 230 kV.

Como consecuencia EPR y ETESAL se comprometieron a buscar una mejor opción al problema de confiabilidad sea mediante la separación física de los circuitos, sea mediante la construcción de una subestación de maniobra en las inmediaciones de Nejapa.

Igual temperamento sería seguido para la entrada a la subestación de Auachapán; pero buscando la posibilidad de separación de los circuitos. (En las subestaciones de Ahuachapán y 25 de septiembre la opción es buscar una separación geográfica de los circuitos, ya que hacer otra subestación no es económicamente lo mejor).

13.5 Familia de Estructuras de 4 Circuitos

La familia de torres metálicas especiales de celosía para cuatro circuitos está definida por los siguientes tipos y prestaciones:

TIPO	APLICACIÓN	ANGULO MAXIMO	VANO DE VIENTO (m)	VANO DE PESO (m)	OBSERVACIONES
2TD1	Suspensión y ángulo 0-2 grados	2	400	600	
2TMD	Amarre y ángulo 0-30 grados	30 0	400 1500	600 600	Arrancamiento vertical (-400) m
2TDD	Terminal y ángulo 0-65 grados	65	400	600	Arrancamiento vertical (-400) m

14.0 ESTRUCTURAS COMPACTAS CON POSTES DE ACERO

Las estructuras compactas en postes de acero están proyectadas para llevar el circuito de 230 kV de EPR y un circuito adicional de 69 kV de propiedad de ETCEE. Este trecho, localizado en Guatemala, tendrá una extensión de aproximadamente 20 km y empalmará con estructuras metálicas de celosía de un circuito en las proximidades de la salida de la Subestación Guate Norte.

Este trecho de línea ocupará la servidumbre de la línea existente de 69 kV de ETCEE y el circuito de 230 kV estará proyectado para dos conductores 477.0 ACSR “Hawk” por fase debido a que estará localizado en una altitud cercana a los 1900 m donde los problemas de pérdidas corona y efectos ambientales pueden ser severos y molestos, especialmente por la proximidad de conjuntos habitacionales. No obstante, este tipo de estructura se podría usar en otros tramos de línea donde las restricciones de servidumbre así lo requieran.

14.1 Cable de Guardia

Las estructuras compactas en postes generalmente son proyectadas para la instalación de un único cable de guardia. Sin embargo, para la línea de EPR se ha creído importante mantener la configuración general de conductores y protección contra descargas adoptando el criterio de instalar los dos cables, constituidos por el 7#8 Alumoweld y el OPGW, soportados por brazos metálicos a ambos lados del poste.

14.2 Circuito Adicional de 69 kV

El circuito de 69 kV de ETCEE llevará un conductor 477.0 Kcmil ACSR “Hawk” por fase que es el conductor de la línea existente que se quiere sustituir.

14.3 Simulaciones de Salidas de Línea

Fueron realizadas simulaciones de salidas de línea por EPR y el Consultor para verificar el desempeño del circuito de 230 kV con protección de dos cables de guardia que, en la estructura típica de suspensión, estarán soportados por un brazo de 1.0 m de largo con un ángulo de protección de aproximadamente 17 grados. El circuito de 69 kV por su menor aislamiento tendrá un número elevado de salidas, mientras que el circuito de 230 kV operará con salidas prácticamente nulas.

Recomendación:

a) *Con el objetivo de reducir el número de salidas del circuito de 69 kV se recomienda especificar una resistencia de puesta a tierra de 5 ohms para esta aplicación conjunta de los dos circuitos instalados en el mismo poste.*

b) *Cuando esta estructura sea utilizada con el circuito de 230 kV solamente, la resistencia de puesta a tierra será la normal de 10 ohms.*

14.4 Características del Conductor

El conductor para ambos circuitos será el 477.0 Kcmil 26/7 ACSR “Hawk” predominantemente utilizado por ETCEE en sus líneas de 230 kV y 69 kV. Sus características físicas y mecánicas son las siguientes:

Diámetro: 21.793 mm
Peso: 0.9760 kg/m
Área total: 280.90 mm²
RTS: 8845 kg

14.5 Cálculo de Flechas y Tensiones

Las flechas y tensiones del conductor fueron calculadas partiendo de una tensión EDS igual al 18% para la temperatura de 25 °C, sin viento, final con creep para diversos vanos de regulación.

14.6 Brazo Aislante – Aislamiento

El aislamiento de estas estructuras compactas estará provisto por aisladores especiales fabricados de compuestos orgánicos siliconados de excelente nivel de desempeño en ambientes con contaminación severa y que permiten la compactación de líneas de una manera eficaz, particularmente tratándose de postes simples. Las características eléctricas y mecánicas de estos aisladores permiten duplicar aquellos valores provistos por los aisladores cerámicos estándar de las cadenas de 16 unidades.

14.7 Anillo Anti-Corona

Recomendación:

Los elementos de tensión de los brazos aislantes y los utilizados en el amarre de conductores deberán llevar instalados anillos anti-corona (“grading rings”) en los extremos próximos al conductor.

El propósito de este anillo anti-corona es la de uniformizar (“grade”) la intensidad del campo eléctrico alrededor del aislador en la zona inferior donde la distribución del voltaje aplicado (fase-tierra) es mayor y eliminar posibles causas de deterioro del material y acumulación de contaminantes en la superficie del aislador. La utilización de los anillos anti-corona es recomendada por los fabricantes de aisladores no-cerámicos para tensiones de 230 kV.

14.8 Geometría

Para la geometría de la estructura PCASA en particular cuya aplicación es suspensión y ángulo hasta 15° se realizaron cálculos de inclinación de las cadenas bajo diversas condiciones de carga, incluyendo combinaciones de vanos de peso mínimos con vientos soplando en dirección contraria al ángulo.

14.9 Contra-Flecha

Los postes de acero se caracterizan por su flexibilidad e importantes deflexiones cuando están sometidos a cargas concentradas en el extremo superior. Esto se verifica durante los ensayos en bancos de prueba, en los cálculos estructurales y también, y más particularmente, son visibles en la operación diaria en estructuras de postes de ángulo y terminales.

Recomendación:

Con el fin de eliminar esta condición que puede aparecer indeseable desde el punto de vista estético, se recomienda fabricar con contra-flecha (“pre-camber”) todos los postes de ángulo mayores de 2° y terminales.

14.10 Familia de Estructuras Compactas con Postes de Acero

La familia de estructuras compactas con postes de acero para un circuito de 230 kV y un circuito de 69 kV está definida por los siguientes tipos y prestaciones:

TIPO	APLICACIÓN	ANGULO MAXIMO	VANO DE VIENTO (m)	VANO DE PESO (m)	OBSERVACIONES
PCAS1	Suspensión y ángulo 0-5 grados	5	250	350	Disposición triangular
PCAS2	Suspensión y ángulo 0-5 grados	5	250	350	Disposición vertical de conductores
PCASA	Suspensión y ángulo 0-15 grados	15	250	350	Disposición vertical de conductores
PCAMS	Amarre y ángulo 0-30 grados	30	250	350	Arrancamiento vertical (-300) m
PCADS	Terminal y ángulo 0-50 grados	50	250	350	Arrancamiento vertical (-300) m

15.0 ESTRUCTURAS COMPACTAS CON POSTES DE CONCRETO

Una familia de estructuras compactas con postes de concreto fue creada para el soporte de un (1) circuito de 230 kV para ser utilizada posiblemente en la salida de la Subestación

de Guate Este, Guatemala, debido a las dificultades encontradas con la obtención de servidumbre en una zona densamente ocupada por propiedades privadas.

15.1 Características del Conductor

Se utilizará el conductor 477.0 Kcmil 26/7 ACSR “Hawk”, dos por fase, por razones de altitud (1700-1900 m), pérdidas corona y efectos ambientales, especialmente Ruido Audible, que podría generar enojo y reclamos entre los residentes del área.

15.2 Cálculo de Flechas y Tensiones

Recomendación:

Debido a las limitaciones impuestas por los postes de concreto en cuanto a su capacidad mecánica y altura se han adoptado tensiones reducidas para el conductor (1000 kg con viento máximo a 0°, inicial) y cables de guardia.

15.3 Cálculo de Capacidad de Postes de Concreto

Basado en las capacidades existentes o especificadas de los postes de concreto se han establecido los tipos de estructuras y configuraciones de los conductores e hilo de guardia y se ha verificado que estas capacidades son adecuadas para los vanos y ángulos de proyecto. Conforme estos cálculos las capacidades de postes y alturas requeridas serán las siguientes: 7000 lbs, 13000 lbs y 20000 lbs, 25 a 33 m.

Sin embargo, es necesario hacer notar que la capacidad del poste de 20000 lbs es meramente especificado; pero no disponible al momento. Su disponibilidad debe ser verificada con el fabricante de postes.

15.4 Familia de Estructuras Compactas con Postes de Concreto

La familia de estructuras compactas en postes de concreto para un circuito de 230 kV está definida por los siguientes tipos y prestaciones:

TIPO	APLICACIÓN	ANGULO MAXIMO	VANO DE VIENTO (m)	VANO DE PESO (m)	OBSERVACIONES
PCCS1	Suspensión y ángulo 0-5 grados	5	175	250	Disposición triangular
PCCS2	Suspensión y ángulo 0-5 grados	5	175	250	Disposición vertical de conductores
PCCSA	Suspensión y ángulo 5-10 grados	10	175	250	Disposición vertical de conductores
PCCMS	Amarre y ángulo 0-30 grados	30	175	250	Arrancamiento vertical (-150) m
PCCDS	Terminal y ángulo 0-50 grados	50	175	250	Arrancamiento vertical (-150) m

16.0 HIPÓTESIS DE CARGA

Las hipótesis de carga y factores de carga asociados fueron determinados con base en las recomendaciones de los documentos CEI 826, ASCE No. 74 y la experiencia existente en el diseño y operación de líneas de 230 kV.

16.1 Estructuras de Suspensión y Angulo

Hipótesis de Carga		Otras Cargas	Factor de Carga
I	Normal, Viento Máximo Transversal, todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos	Desbalance Longitudinal	1.50
II	Normal, Viento Máximo Longitudinal, todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos	Desbalance Longitudinal	1.50
III	Normal Viento Máximo a 45° , todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos	Desbalance Longitudinal	1.50
IV	Excepcional, contención de Falla, tensiones de cables EDS, un conductor o hilo de guardia por circuito, no simultáneos	Otros cables instalados o no	1.20
V	Excepcional, Desbalance Longitudinal, todos los cables (15-20% de la tensión EDS), sin viento, en cualquier combinación produciendo máxima torsión	No	1.20
VI	Construcción, Tendido de Cables, 70% de la tensión EDS, sin viento, un conductor o un hilo de guardia	Otros cables instalados o no	1.70
VII	Mantenimiento, Doble Carga Vertical, sin viento, un conductor o un hilo de guardia	Otros cables instalados o no	1.70

Adicionalmente las estructuras serán verificadas para operación con un circuito instalado solamente.

16.2 Estructuras de Amarre y Angulo

Hipótesis de Carga		Otras Cargas	Factor de Carga
I	Normal, Viento Máximo Transversal, todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos	Desbalance Longitudinal	1.50
II	Normal, Viento Máximo Longitudinal, todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos	Desbalance Longitudinal	1.50
III	Normal Viento Máximo a 45° , todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos	Desbalance Longitudinal	1.50
IV	Excepcional, Amarre Temporal de un lado de la estructura solamente, tensiones de cables EDS, todos los cables simultáneamente	Uno o mas cables	1.20
V	Construcción, Tendido de Cables, 70% de la tensión EDS, sin viento, un conductor o un hilo de guardia	Otros cables instalados o no	1.70
VI	Mantenimiento, Doble Carga Vertical, sin viento, un conductor o un hilo de guardia	Otros cables instalados o no	1.70

Adicionalmente las estructuras serán verificadas para cargas de arrancamiento vertical, así como también para operación con un circuito instalado solamente.

16.3 Estructuras Terminales y Amarre y Angulo

Hipótesis de Carga		Otras Cargas	Factor de Carga
I	Normal, Viento Máximo Transversal, todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos	Desbalance Longitudinal	1.50
II	Normal, Viento Máximo Longitudinal, todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos	Desbalance Longitudinal	1.50
III	Normal Viento Máximo a 45° , todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos	Desbalance Longitudinal	1.50
IV	Normal, Terminal, Viento Máximo Transversal, todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos		1.50
V	Normal, Terminal, Viento Máximo Longitudinal, todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos		1.50
VI	Normal, Terminal, Viento Máximo a 45° , todos los cables intactos con ángulo y vanos máximos		1.50
VII	Construcción, Tendido de Cables, 70% de la tensión EDS, sin viento, un conductor o un hilo de guardia	Otros cables instalados o no	1.70
VIII	Mantenimiento, Doble Carga Vertical, sin viento, un conductor o un hilo de guardia	Otros cables instalados o no	1.70

Adicionalmente las estructuras serán verificadas para los ángulos mínimos de línea y para cargas de arrancamiento vertical, así como también para operación con un circuito instalado solamente.

17.0 ÁRBOLES DE CARGA

Las cargas verticales, transversales y longitudinales para las diferentes hipótesis de carga fueron calculadas e incorporadas en los árboles de carga elaborados para cada una de las estructuras.

18.0 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA UTILIZACIÓN DE ESTRUCTURAS COMPACTAS

Las familias de estructuras compactas para un circuito de 230 kV y para dos circuitos (uno de 230 kV y otro de 69 kV) han sido desarrolladas conforme criterios específicos de utilización de los materiales y de aplicación de las mismas de acuerdo con las necesidades particulares del proyecto. Ambos materiales son adaptables para la ejecución de estructuras compactas por sus dimensiones que le confieren esbeltez y ubicuidad.

Los postes de concreto son fabricados localmente dentro de la región y tienen la ventaja de su relativamente rápida fabricación y entrega estando por lo tanto disponibles en plazo relativamente corto. Los postes de acero deben ser importados y su disponibilidad es por lo tanto más comprometida.

La capacidad de los postes de concreto son limitadas y las líneas compactas prácticamente deben proyectarse en torno a la capacidad existente de los postes. En

cambio los postes de acero generalmente son proyectados en torno a las necesidades propias del proyecto.

El aspecto económico del uso de uno u otro se podría evaluar si se tratara de un proyecto único y equivalente en cuanto a las soluciones aportadas por el acero y el concreto. Este no es el caso, sin embargo, ya que se trata de dos proyectos claramente diferenciados.

Uno de los proyectos es el llevar dos circuitos (230 kV y 69 kV) usando la servidumbre existente de la línea de 69 kV en las inmediaciones de la Subestación Guate Norte, Guatemala.

La servidumbre de la línea existente de 69 kV esta localizada en áreas de cultivo, a campo abierto, con escasas propiedades adyacentes. Por lo tanto es apropiada la utilización de vanos de transmisión del orden de 250 m para esta línea siendo que los esfuerzos requeridos para la elaboración de la familia de estructuras harían inviable la consideración del poste de concreto para esta aplicación.

La versatilidad de estas estructuras en postes de acero es que podrán ser empleadas para otras aplicaciones, con o sin la instalación del circuito de 69 kV, y también indistintamente con doble conductor “Hawk”, en altitudes arriba de los 1500 msnm o con un conductor simple 1024.5 ACAR, en altitudes inferiores a 1500 msnm.

La capacidad disponible de los postes de acero cuando utilizados con un conductor simple tal como el 1024.5 ACAR podría en la práctica permitir el uso de vanos mayores que los proyectados siempre y cuando se tenga en cuenta la limitación impuesta por los dos hilos de guardia que determinan las cargas máximas aplicables en la punta del poste. Cualquier intento de extender el vano de utilización de la estructura debe ser acompañado de un análisis estructural de la misma para asegurar que las solicitaciones mecánicas del material no son excedidas a lo largo del poste. Como mínimo los postes de acero podrán ser utilizados con seguridad dentro de las condiciones de diseño especificadas.

El segundo proyecto es el de una línea compacta de un circuito de 230 kV que se inicia en las inmediaciones de la Subestación de Guate Este, Guatemala, y localizada en el espacio público a lo largo de camino vecinal entre la línea de propiedad y el camino de gran sinuosidad, donde existe una línea de distribución de 13.8 kV. (Sin embargo esta ruta podrá ser abandonada por otra más directa a campo abierto que esta siendo investigada).

La verificación de capacidades de postes existentes ha demostrado una cierta limitación para crear una familia completa de estructuras de concreto, específicamente para llevar ángulos de línea mayores de 10 grados y hasta 50 grados.

El único fabricante de postes de concreto en la región ha sido contactado para establecer la factibilidad de postes de mayor capacidad que las fabricadas hasta el presente.

La aparente respuesta del fabricante es que vendría a desarrollar una estructura de dos postes en configuración “A”, reforzados con vínculos de concreto armado, que permitiría obtener estructuras de elevada capacidad mecánica y estructural con el empleo de postes de producción normal, abandonando el concepto de poste único, para estructuras de ángulo y terminales. La puesta en ejecución de este concepto necesitará algún tiempo

para su desarrollo, cálculo y validación en la región; aún cuando largamente empleado en otros países (Italia, Argentina).

Recomendación:

- a) *El uso de postes de acero o de concreto es un tema que se recomienda mantener abierto por el momento en vista de la incertidumbre de disponer postes de alta capacidad en concreto.*
- b) *La eventual utilización de los postes de acero con conductor simple tipo 1024.5 ACAR, con o sin el circuito de 69 kV, deberá ser realizada dentro de los parámetros de diseño establecidos para el doble conductor "Hawk", en virtud de las limitaciones impuestas por los dos hilos de guardia. Sin embargo, debido al exceso de capacidad disponible del poste, el vano de utilización podrá ser mayor, cuya determinación deberá ser justificada mediante un análisis estructural detallado del mismo.*
- b) *La utilización de postes de concreto deberá limitarse a casos particulares donde se encuentren limitaciones en el área disponible de la servidumbre y donde no se requiera la utilización de estructuras de alta responsabilidad como son las aplicaciones en ángulos y terminales.*

-----O-----