



Repotenciación de la LST 66 kV Coronel Oviedo –Villarrica

Ing. José Servián Renna, Ing. Rose Marie Gil Páez de Stark,

Ing. Mario Velásquez, Ing. Felipe Mitjans

ANDE

PARAGUAY

RESUMEN

El presente trabajo consiste en presentar todos los aspectos relacionados a la Repotenciación de la LTS 66 kV Coronel Oviedo –Villarrica, por cambio de conductores ACAR 281,4 MCM x AAAC 500 MCM.

La repotenciación de la citada línea requirió de un análisis previo, que abarcó:

- a) Revisión de toda la información disponible de la línea (relevamientos planialtimétricos topográficos anteriores y actuales; datos de proyecto, planos de estructuras metálicas, trabajos de mantenimiento realizado en los años 1994 y 1995 a la línea existente en lo referente a fundaciones y estructuras, informe elaborado por personal del Departamento de Ingeniería Civil relacionado al mantenimiento de la Línea).
- b) Recorrido de la Línea, relevando datos tales como: estado actual de las estructuras (postes, crucetas, riendas, muertos de anclaje, etc.), observando también los trabajos de mantenimiento a las que fueron sometidas con anterioridad, columnas pintadas, reforzadas, fuste hormigón.
- c) Análisis de los obstáculos bajo la Línea y Cambio de Conductor, como así también la altura mínima de seguridad, utilizando el Programa PLS CADD.
- d) Análisis estructural de las columnas y resistencia de los diferentes tipos de estructuras y fundaciones utilizadas.
- e) Conclusiones y recomendaciones de proyecto.

Posteriormente, en base al estudio previo de la línea y a las conclusiones y recomendaciones de proyecto, actualmente se están ejecutando los trabajos a lo largo de la traza de la línea, que permitirán el cambio de conductor, los mismos también son resumidos en el presente trabajo.

PALABRAS CLAVES

Repotenciación, línea de transmisión, conductor, estructuras, anclaje falso, aislador rígido



1. INTRODUCCIÓN

El análisis de la repotenciación de la línea existente LTS 66 kV COV-VIL nació con el reporte de altos flujos de potencia a través de la línea y frecuentes fuera de servicio de la misma a lo largo de los años 2005 y 2006. El Dpto. de Estudios Eléctricos de la ANDE, realizó varias simulaciones del comportamiento del sistema en régimen permanente, teniendo en cuenta diversas configuraciones corrientemente adoptadas por el SIN y la proyección de la demanda simultánea para el mes de diciembre del año 2007, y finalmente recomendó medidas a ser adoptadas para la operación segura y confiable de la mencionada línea y de su área de influencia, entre las que figuraban:

- compensación reactiva en la SE-VIL (de tal modo a completar los 12 MVAR)
- cambio de conductores de la LTS 66 kV COV-VIL por conductores de 500 MCM

Con la implementación de tales medidas, se aseguraba la continuidad del servicio en la región, preservando la integridad de la LTS y permitiendo un aumento de cargas para la zona.

Visto la recomendación efectuada por la referida Unidad, el Dpto. de Proyectos Electromecánicos de la ANDE realizó los estudios y análisis para la viabilidad de los trabajos de repotenciación de la línea, los cuales se presentan en el presente trabajo.

Actualmente el Departamento de Mantenimiento de Líneas de Transmisión de la ANDE, está llevando a cabo la ejecución de los trabajos requeridos que son descriptos más abajo.

2. HISTÓRICO

Para el estudio de factibilidad de cambio de conductores, fueron empleados como antecedentes de la Línea:

- a) Planos de relevamiento planialtimétrico del año 1.971 (Condiciones Topográficas de la época).
- b) Relevamiento planialtimétrico actual del eje de la Línea realizado por el Departamento de Topografía de la ANDE.
- c) Planos de Estructuras Metálicas.
- d) Planos del Mantenimiento de la LT existente, realizado en los años 1994 1995 (Fundaciones y Estructuras), elaborados por el Dpto. de Ing. Civil de la ANDE
- e) Informe elaborado por personal del Dpto. de Ingeniería Civil de la ANDE, relacionado al mantenimiento de la Línea existente.



3. RECORRIDO DE LA LÍNEA

Se realizó el recorrido de la Línea desde la Estación Coronel Oviedo hasta la Subestación Villarrica detectándose los puntos resaltantes que ha seguir se detallan:

- a) Algunas estructuras de suspensión se encuentran inclinadas en dirección transversal al eje de la Línea hacia el lado donde están instaladas dos cadenas de aisladores. Otras presentan deformaciones en la punta.
- b) Debido a la inclinación mencionada más arriba, se observaron algunas estructuras de suspensión arriendadas en el sentido opuesto a la inclinación de la torre.
- c) A lo largo de la Línea se observaron que en varias estructuras, las crucetas de madera han sido cambiadas por crucetas metálicas compuestas de caños y tensores.
- d) Algunas crucetas de madera de las estructuras de suspensión, no se encuentran en buen estado, ya que presenta signos de deterioro bien visibles como arqueamiento, disminución de la sección y presencia de moho en los extremos.
- e) Las crucetas de madera de las estructuras de anclaje arriendadas, se encuentran bastantes deterioradas con signos de agrietamiento, pérdida de sección y presencia de moho.
- f) Todas las columnas se encuentran pintadas hasta cierta altura y presentan ventanitas soldadas a diferentes niveles, señal de que han sido rellenas con Hormigón, como parte de los trabajos elaborados en el mantenimiento de la Línea (1994). Además se pudo constatar que las columnas cuentan con un fuste Hormigón de 80 cm de lado que sobresale 80 cm por encima del terreno natural. Todos estos trabajos de mantenimiento y refuerzo coinciden con lo detallado en los planos correspondientes, en donde también se detalla que fueron construidos dados de Hormigón ciclópeo por debajo del terreno natural.

4. ANÁLISIS DE LOS OBSTÁCULOS DE LA LÍNEA Y CAMBIO DE CONDUCTOR

La Línea fue evaluada en el Programa PLS_CADD, y en primera instancia, se tuvo en cuenta el perfil planialtimétrico con los planos de topografía de la época, debido a que no se dispone de datos relativos a los criterios del proyecto original de la Línea, puesta en servicio en el año 1973. La evaluación consistió en la transmisión de potencia, para valores de 46 MVA a 40°C, a pleno sol, y esta situación fue considerada la peor condición de transmisión. El estudio arrojó un valor de 80°C de temperatura en el conductor, que fue adoptado como la temperatura máxima del conductor en régimen de emergencia. Del análisis efectuado se pudo constatar que con el conductor actual, ACAR 281,4 MCM, existen inconvenientes de déficit de distancia de seguridad entre los conductores de la Línea y los obstáculos que atraviesan la misma. El relevamiento de los obstáculos existentes debajo de la Línea fue realizado por los Departamentos de Topografía y Mantenimiento de Líneas de Transmisión.

En relación a lo mencionado más arriba, se recomendó la adecuación de las Líneas de 23 kV, de Baja Tensión, de Autoayuda, Copaco y Conductores Unipolares en aquellos vanos de la Línea que presentan déficit de altura de seguridad entre conductores, los cuales se detallan más abajo:

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Vano	Tipo de Línea	Distancia faltante	Observaciones
0/3-0/4	Línea de Baja tensión	0,99 m	
0/5-0/6	Línea de Copaco	2,46 m	
0/6/07	Línea de Baja Tensión	0,75 m	
1/2-1/3	Línea de Baja Tensión	1,38 m	
1/4-1/5	----	0,25 m	Sin datos del tipo de Línea
2/4-Columna Intermedia	----	0,38 m	Sin datos del tipo de Línea
Columna Intermedia-2/5	Línea de Baja Tensión	0,87 m	
3/4-3/5	Conductor Unipolar	0,71 m	
6/6-7/1	Línea de Media Tensión	0,6 m	
7/3-7/4	Conductor Unipolar	0,46 m	
9/4-9/5	Conductor Unipolar	0,48 m	
17/6-18/1	Conductor Unipolar	1,23 m	
18/6-19/1	Línea de Baja Tensión	0,18 m	
23/1-23/2	Línea de Baja Tensión	1,09 m	
23/1-23/2	----	1,62 m	Sin datos del tipo de Línea
23/3-23/4	Línea de Baja Tensión	1,45 m	
23/5-23/6	Línea de Baja Tensión	1,5 m	
24/2-24/3	Conductor Unipolar	1,1 m	
24/3-24/4	Línea de Media Tensión	0,73 m	
31/3-31/4	Línea de Media Tensión	1,0 m	
37/5-37/6	Línea de Baja Tensión	0,38 m	
38/1-38/2	L BT Autoayuda	1,34 m	
38/4-38/5	L BT Autoayuda	0,70 m	

Tabla N° 1

En segunda instancia, la Línea fue analizada con el nuevo conductor AAAC 500 MCM realizándose el paraboleo de la misma en el perfil planialtimétrico actual, realizado por el Departamento de Topografía de la ANDE.

En esta última evaluación, la simulación consistió en la transmisión de potencia, para valores de 62 MVA a 40°C, a pleno sol, y esta situación fue considerada la peor condición de transmisión. El estudio arrojó un valor de 80°C de temperatura en el conductor, que fue adoptado como la temperatura máxima del conductor en régimen de emergencia.

A continuación se resumen en la Tabla N° 2 los datos de los conductores y los valores de la capacidad de transmisión de la línea antes y después de la repotenciación, para las condiciones mencionadas en el párrafo anterior.

Conductor	Sección (MCM)	Sección Transversal (mm ²)	Peso Nominal (Kg/Km)	Ampacidad (A)	Potencia (MVA)
ACAR 281,4MCM (Cond. Actual)	281.4	142.6	392	405	46
AAAC 500MCM	500	253,3	695	539	62

Tabla N° 2

Con los valores obtenidos, se detectaron violaciones de la altura de seguridad mínima requerida del conductor al suelo, que de acuerdo a la Norma NBR 5422, es de 6,5m.

4.1 Altura Mínima Requerida

Los inconvenientes de falta de altura mínima requerida del conductor al suelo, se resolvieron con la instalación de anclajes falsos y con el montaje de aisladores rígidos de porcelana existentes en los depósitos de ANDE, adoptándose esta última condición para la temperatura máxima en el conductor.

Se detectaron 83 de estructuras de suspensión que requirieron Anclajes Falsos y/o Aisladores Rígidos.

5. ESTRUCTURAS

5.1. Tipos de Estructuras

A lo largo de la línea se presentan tres tipos de estructuras:

- Suspensión tipo P1
- Anclaje tipo P3A
- Anclaje tipo P5

5.2 Características de la columna de las estructuras

Las dimensiones del poste utilizado se detallan a continuación:

- Altura de la columna (h): 18 m.
- Diámetro en el tope (d): 14 cm.
- Diámetro en la base (D): 35 cm.
- Espesor de la chapa (e): 5 mm.

Obs.: los valores de “D” y “d” corresponden a los diámetros circunscriptos superior e inferior respectivamente

La columna está fabricada en acero de calidad ASTM – A572 68° Grado 45 Tipo 1

- Límite de rotura a tracción: 4220 Kg/cm²
- Límite de fluencia: 3160 Kg/cm²

5.3 Análisis estructural de la columna de las estructuras

Con las referidas características detalladas la columna soporta una Carga Nominal en la punta de aproximadamente: - CN = 600 Kg.

Obs.: Sin considerar los refuerzos realizados en la etapa de mantenimiento de la Línea y considerando un coeficiente de seguridad a la rotura de FS(fr) = 2 y un coeficiente de seguridad al límite de fluencia de Fs(fy) = 1,5

5.4 Resistencia de los diferentes tipos de estructuras utilizadas

5.4.1 Estructuras de Suspensión tipo P1:

Fueron consideradas las nuevas cargas transmitidas a las estructuras por el nuevo conductor a ser tendido, encontrándose mayores cargas horizontales y verticales, debido a que el referido cable es de mayor diámetro y más pesado que el conductor existente.

Para las presiones de proyecto de la línea: presión de viento de 40 Kg/m² sobre el conductor y cable de guardia, y de 80 Kg/m² sobre la estructura, la Carga Nominal (requerida) de la columna, es de aproximadamente: - CN (requerida) = 800 Kg.

Para presiones de proyecto más exigentes, que son las que actualmente se utilizan en Líneas de 66 kV: presión de viento de 50 Kg/m² sobre el conductor y cable de guarda, y de 100 Kg/m² sobre la estructura, la Carga Nominal (requerida) de la columna, es de aproximadamente:

- CN (requerida) = 1000 Kg.

Cabe mencionar que el paraboleo del nuevo conductor a instalar fue realizado con una presión de viento de 55 Kg/m².

Ante esta situación lo que se decidió fue arriendar las estructuras de suspensión en la dirección perpendicular a la línea en ambos sentidos, conforme se detallan en la Figura N° 1. Las riendas propuestas son simples, en acero galvanizado EHS 3/8" (como mínimo).

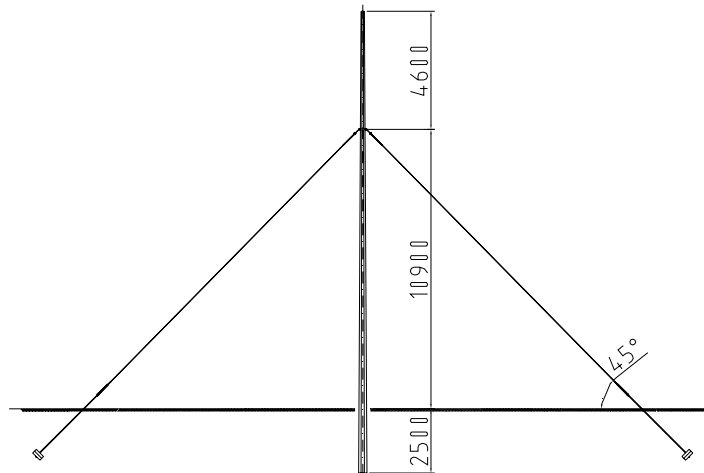


Figura N° 1

Conviene resaltar sin embargo que la altura de instalación de las riendas está supeditada a las distancias eléctricas que se deben respetar, por lo que podrían presentarse deformaciones por encima de ellas.

Otro dato de interés que fue llevado en consideración es el obtenido del “Informe de los Trabajos de Mantenimiento de la Línea”, en el que se resalta el hecho de que las ventanas que fueron abiertas de forma a rellenar las mismas con H° 180, necesitan ser reforzadas puesto que las mismas constituyen un punto de debilitamiento de la columna. El refuerzo en las ventanas se detalla la Figura N° 2.

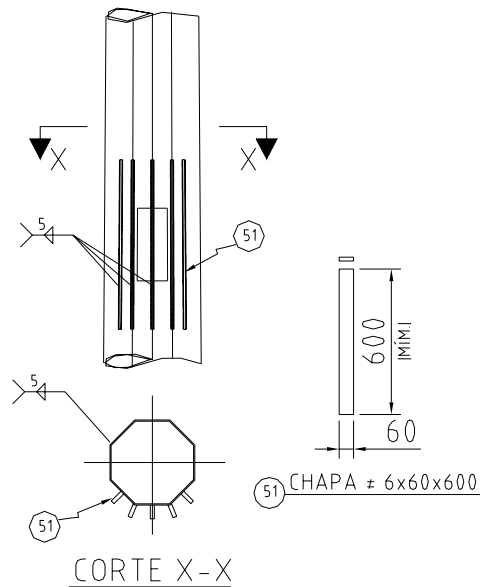


Figura N° 2

Cabe resaltar que es de suma importancia realizar los refuerzos correspondientes, pues se cuentan con resultados de ensayos de carga a la columna en donde se produjo la rotura de la misma al nivel de la ventanita. La carga de rotura de la columna aplicada en la punta durante el ensayo fue de 1197 Kg., lo que nos indica un coeficiente de seguridad a la rotura fue de apenas $FS(fr) = 1197/1000 = 1,2$ (para la condición más exigente), mucho menor que el normalmente requerido $FS(fr) (req.) = 2$ (dos).

Para las presiones de viento consideradas originalmente por el proyectista (40 Kg/m² y 80 Kg/m²), las estructuras arriendadas y reforzadas, siempre y cuando no se presenten pérdidas de sección por oxidación u otros defectos, resistirían las cargas transmitidas con un coeficiente de seguridad de: - $FS1(fr) = 2$ (a la rotura)

- $FS1(fl) = 1,5$ (a la fluencia)

Para las presiones de viento más exigentes (50 Kg/m² y 100 Kg/m²), las estructuras arriendadas, siempre y cuando no se presenten pérdidas de sección por oxidación u otros defectos, resistirían las cargas transmitidas con un coeficiente de seguridad de:

$FS2(fr) = 1,6$ (a la rotura)

$FS2(fy) = 1,2$ (a la fluencia)

Obs.: Estos últimos coeficientes de seguridad son menores a los normalmente requeridos.

Por otro lado, las crucetas de madera que se encuentren en malas condiciones deberán ser sustituidas por crucetas metálicas, fabricadas con caños tipo Schedule 40, en acero A-53.

Por otro lado, conviene mencionar que las crucetas metálicas existentes, que han sustituido a las de madera, fabricadas en acero A-53, con caños de Dext.=61 cm y esp.=3mm, están



preparadas para resistir los esfuerzos transmitidos por el nuevo conductor, pero con un coeficiente de seguridad menor que las crucetas fabricadas con caños Schedule 40.

5.4.2 Estructuras de Anclaje tipo P3A:

La estructura P3A está conformada por una sola columna idéntica a la columna de las estructuras de suspensión tipo P1, por lo que la misma solo soporta una Carga Nominal de aproximadamente: $CN = 600 \text{ Kg}$ (en la direc. perpendicular a la bisectriz del ángulo de la Línea) por lo que en esa dirección la resultante de las tensiones de los conductores y cables de guardia que entran y salen a la estructura deberá ser mínima.

En la dirección de la bisectriz de la Línea, las resultantes de las tensiones y la acción del viento son tomadas por las riendas existentes, por lo que resulta indispensable la verificación de la condición en que se encuentran las mismas actualmente, de forma a evitar todo tipo de inconvenientes, sustituyendo las partes dañadas (riendas, muertos, etc.). En los casos que las riendas se encuentren flojas y exista pérdida de verticalidad de las estructuras se procederá a corregir tal situación. Las riendas serán simples, en acero galvanizado EHS 3/8" (como mínimo). Se deberá verificar también el grado de oxidación y el estado general de las columnas. En este tipo de estructuras, las ventanas que fueron abiertas de forma a rellenar las mismas con H° 180 deberán también ser reforzadas de la forma indicada en la Figura N° 2, puesto que las mismas constituyen un punto de debilitamiento de la columna.

5.4.3 Estructuras de Anclaje tipo P5:

La estructura tipo P5 está conformada por dos columnas idénticas a la columna de las estructuras de suspensión tipo P1 y las de anclaje tipo P3A. Las mismas se encuentran arriendadas con riendas dobles en la dirección de la Línea en ambos sentidos a alturas casi coincidiendo con los cables de guardia y conductores. En el sentido transversal a la Línea, solamente las estructuras que no corresponden a anclajes en recta, llevan riendas simples.

Para las cargas transmitidas por los nuevos conductores las estructuras en recta no presentarían inconvenientes en la dirección de la Línea ni tampoco en la dirección perpendicular a ésta, siempre y cuando las columnas no presenten pérdidas de sección por oxidación u otros defectos. La condición en que se encuentren las riendas existentes, deberán ser verificadas de forma a evitar todo tipo de inconvenientes, sustituyendo las partes dañadas (riendas, muertos, etc.) Las riendas en la dirección de la Línea deberán ser dobles, en acero galvanizado EHS 3/8" (como mínimo). Se deberá verificar también el grado de oxidación y el estado general de las columnas.

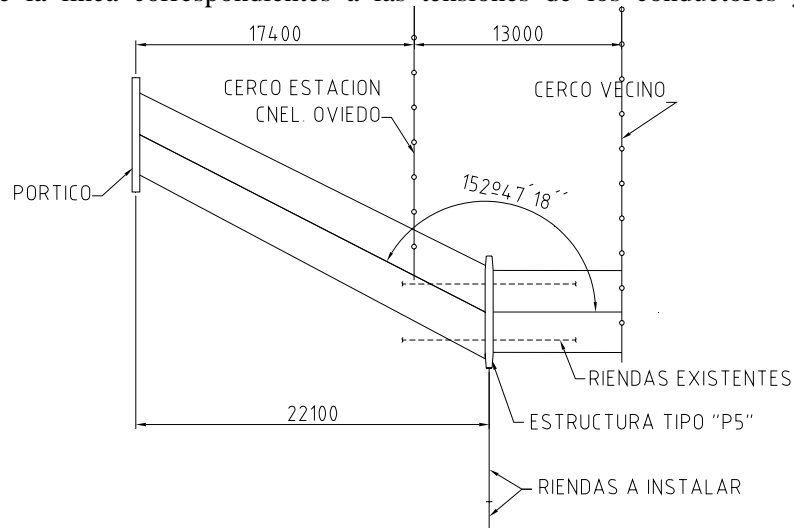
En este tipo de estructuras, las ventanas que fueron abiertas de forma a rellenar las mismas con H° 180 deberán también ser reforzadas de la forma indicada en la Figura N° 2, puesto que las mismas constituyen un punto de debilitamiento de la columna.

Las crucetas de madera serán sustituidas en su totalidad por crucetas metálicas.

5.4.4 Estructuras de Salida y Llegada de Línea tipo P5:

Las estructuras de Salida y Llegada de la Línea trabajan como estructuras de remate, por lo tanto deberán contar con riendas adicionales.

La estructura de Salida de la Línea en la ES. Coronel Oviedo deberá ser arriendada en la dirección indicada la figura N° 3, de forma a absorber los esfuerzos adicionales resultantes del efecto ángulo de la línea correspondientes a las tensiones de los conductores y cables de guardia.



ESTRUCTURA DE SALIDA DE LT 66 kV
ESTACION CORONEL OVIEDO

Figura N° 3

Se ha constatado que las riendas existentes en la dirección de la línea se encuentran en mal estado, las mismas deberán ser sustituidas por riendas nuevas. Se deberá verificar también el grado de oxidación y el estado general de las columnas.

Las riendas en la dirección de la línea serán dobles, en acero galvanizado EHS 3/8" (como mínimo) y en la dirección perpendicular las riendas serán simples, en acero galvanizado EHS 3/8" (como mínimo).

La estructura de Llegada de la Línea en la ES. Villarrica, que está instalada en la bisectriz del ángulo de la línea, precisa de todas las riendas instaladas en ella, de forma a absorber los esfuerzos adicionales resultantes por efecto del ángulo de la línea correspondientes a las tensiones de los conductores y cables de guardia, por lo que se deberá verificar que las riendas existentes se encuentren en buen estado de forma a evitar todo tipo de inconvenientes. Se deberá verificar también el grado de oxidación y el estado general de las columnas. La estructura de Llegada de Línea, posee cruceta de madera en muy mal estado por lo que deberá ser sustituida conforme lo detallado en el ítem 5.4.3. Se deberán verificar que se respeten todas las distancias eléctricas de seguridad con relación a las riendas instaladas.

6. FUNDACIONES

Puesto que a lo largo de la Línea se encuentran suelos flojos (conforme se detalla en el informe de la etapa de mantenimiento de la Línea), las estructuras en su condición inicial, simplemente enterradas, no estaban preparadas conveniente para transmitir correctamente las cargas actuantes al suelo. En la etapa de mantenimiento de las estructuras de la Línea se han dotado a la misma de bloques de H° de ciclópeo y bloques de H° masa a todas las estructuras de la Línea. Estos refuerzos que sirven de fundación a las estructuras han mejorado sustancialmente el comportamiento de la estructura en la unión con el suelo para las condiciones existentes, pero



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

podrían presentar inconvenientes con el nuevo conductor tendido, puesto que las cargas transmitidas al suelo son mayores.

En las estructuras de suspensión las riendas transmiten una mayor carga vertical a la fundación de la columna, como así también el mayor peso propio del conductor y la utilización de anclajes falsos y cadenas de aisladores adicionales.

En las estructuras de anclajes, las tensiones del nuevo conductor también generan cargas adicionales en las riendas, que se traducen en una mayor componente vertical en las columnas, como así también el mayor peso propio del conductor.

Por todo lo expresado se recomienda tomar los recaudos necesarios de forma a garantizar la adherencia entre la columna y los dados de hormigón masa y hormigón ciclópeo, para que la columna no descienda independientemente de su fundación.

Esto podría lograrse de dos formas:

- a) Rellenando, en caso que hubiere, la rendija existente entre columna y hormigón con adhesivo tipo epoxi
- b) Soldando una placa metálica, a nivel de coronamiento del fuste de protección, a la columna de forma a que las cargas verticales se distribuyan en la superficie del dado de hormigón anti-impacto.

En algunos casos puede que se requieran refuerzos especiales en las fundaciones existentes, principalmente en suelos de baja capacidad portante. Estos refuerzos deberán ser diseñados para cada caso en particular.

Se deberán también verificar el estado en que se encuentran los rellenos en la zona de instalación de los muertos de anclaje. En los casos necesarios, se deberán mejorar los rellenos o sustituir los muertos de anclaje.

7. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE REPOTENCIACIÓN

De forma a permitir la realización de las obras para atender las recomendaciones del Dpto. de Proyectos Electromecánicos, fue necesaria la construcción de una línea provisoria con estructuras de emergencias paralela a la línea actual. El trabajo fue realizado por tramos para permitir el cambio de los conductores y crucetas, instalación de anclajes falsos y/o aisladores rígidos e instalación de riendas y otros refuerzos en las estructuras. La ejecución de las obras actualmente está a cargo del Dpto. de Mantenimiento de Líneas de Transmisión.

8. CONCLUSIONES

- a) Con la instalación de las riendas en las estructuras de suspensión, la ejecución de los refuerzos de las estructuras, el montaje de aisladores rígidos y/o anclajes falsos, el cambio del conductor y otras obras complementarias, se podrá transmitir la máxima potencia prevista por los estudios del sistema eléctrico, respetando las distancias mínimas al suelo.
- b) La Línea existente fue construida en el año 1973. Fue sometida a un mantenimiento general en el año 1994, realizando trabajos correctivos de varios inconvenientes detectados en aquel



entonces, como ser alto grado de corrosión y oxidación de las columnas, pérdida de verticalidad de las mismas, riendas y muertos de anclaje en mal estado, erosiones de suelo entorno a las estructuras, ausencia de fundaciones, crucetas de madera en mal estado, entre otros. Por todo lo expresado se resalta el hecho de que por tratarse de una Línea muy antigua, no se descarta que podrían presentarse inconvenientes no previstos.

- c) Atendiendo a que la Línea se encuentra en servicio desde hace 35 años, técnicamente en el límite de su vida útil, la repotenciación de la LTS 66 kV COV-VIL corresponde a una solución de corto plazo, de tal forma a asegurar la confiabilidad y la calidad del servicio en la zona de los Departamentos de Guairá y Caazapá, hasta tanto entre en servicio la Línea de 220 kV COL-VIL cuyo proyecto se encuentra en proceso de análisis e implementación en la modalidad de Leasing.

9. BIBLIOGRAFÍA

NORMA BRASILEIRA NBR 5422 (1985). "Proyecto de Líneas Aéreas de Transmisión de Energía Eléctrica".

DOP/ELI1/11/2007 (2007). "Informe Servicio de las Cargas Alimentadas por la LT 66 kV COV-VIL".

ASCE-CUADERNO 72. "Desing of Steel Transmission Pole Structures. Second Edition.

ARQUÍMEDEZ FERNANDEZ (1993). "Activ.Relac.Mant.instalac. Obras Civiles con Postes Met. oct."