

LÍNEA DE EXTRA ALTA TENSIÓN 500 KV

RINCÓN DE SANTA MARÍA

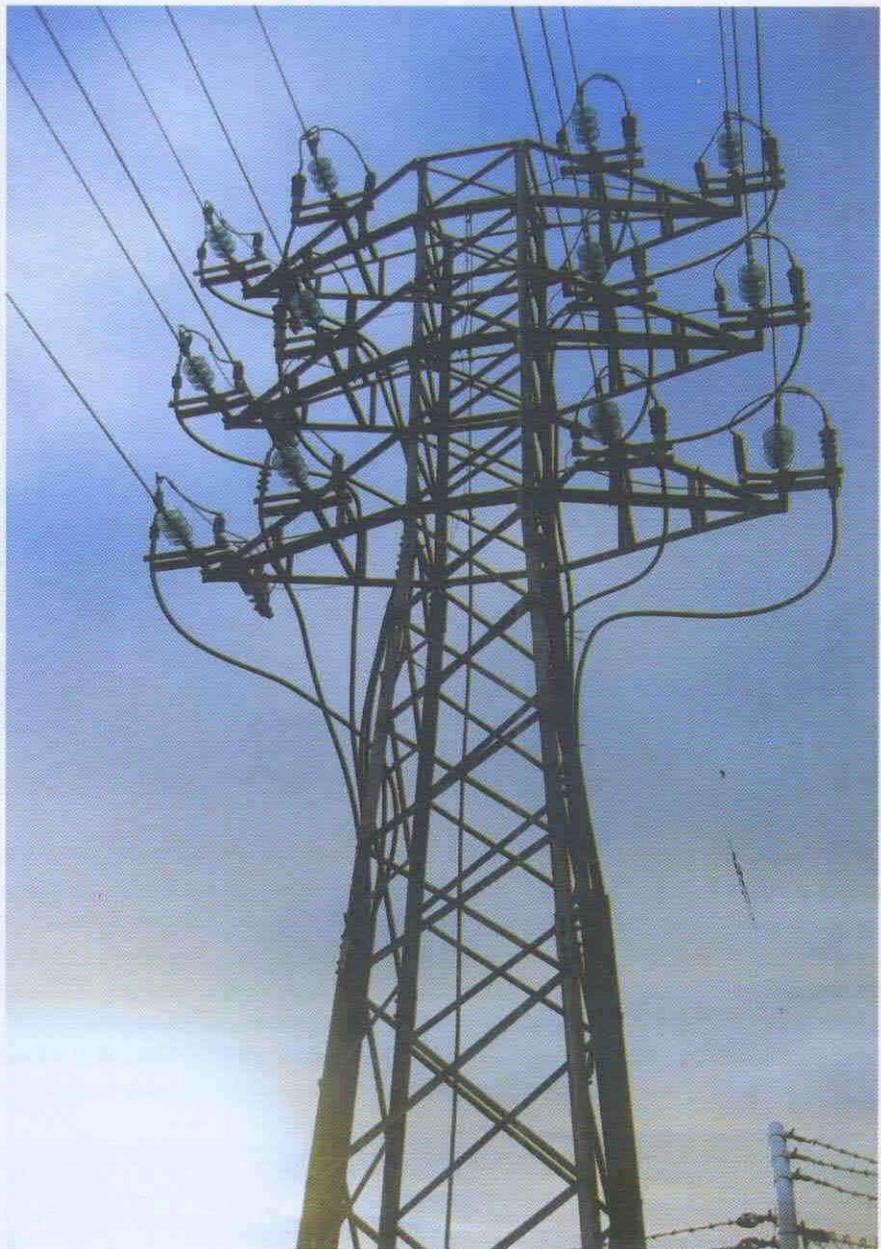
MERCEDES - COLONIA ELÍA

Continuando con esta serie de notas que me animé a escribir para dar a conocer a todos los colegas asociados al Consejo Profesional, los trabajos de consultoría realizados por las empresas asociadas a la Cámara Argentina de Consultores de Ingeniería, me voy a referir a la Línea de Extra Alta Tensión 500 kV - Rincón de Santa María - Mercedes - Colonia Elía, cuyo proyecto desarrolló nuestra consultora entre los años 2006 y 2007.

Voy a aprovechar la excusa de hacer conocer este proyecto, para comentar a los ingenieros civiles más noveles qué es una línea de transmisión eléctrica en detalle, qué conocimientos se deben poner en juego para diseñarla, y finalmente, realizar una reflexión sobre la incumbencia profesional y la formación académica. Desde ya pido disculpas, a todos los colegas que estén familiarizados con este tipo de proyectos, por la descripción de aspectos conocidos.

Descripción del proyecto

La Central Hidráulica de Yacretá se encuentra generando a una cota aproximada de 78,50 msnm. La elevación a la cota definitiva de 83 msnm., producirá una sustancial mejora de la potencia generada por las turbinas que debe ser evacuada para los centros de consumos a través del sistema interconectado en 500 kV. Una de las líneas de transmisión que colaboran en esta tarea es la Línea de Extra Alta Tensión 500 kV - Rincón de Santa María - Mercedes - Colonia Elía,



El trazado de la línea constituye una sucesión de tramos conformando una poligonal que se diseñó teniendo en cuenta los accidentes topográficos, las construcciones o plantaciones que debieron atravesarse, así como las condiciones geotécnicas e hidrológicas que se encontraron.

que partiendo de las cercanías de la Central, atraviesa de norte a sur las provincias de Corrientes y Entre Ríos hasta llegar a Colonia Elia, conformando un recorrido de 281 km. el Tramo Norte y 386 km. el Tramo Sur, siendo el total de 667 km. La potencia generada se transmite por una terna de haces de 4 cables correspondientes a las fases R, S y T de generación, los cuales son protegidos contra descargas atmosféricas por un par de cables de acero, llamados cables de guardia, que se disponen por sobre las 3 fases.



Uno de los cables contiene una fibra óptica que presenta como función transmitir datos entre las estaciones transformadoras de cabecera.

Considerando una determinada longitud de conductor, a menor tensión eléctrica de transmisión se incrementan sustancialmente las pérdidas de carga, de tal manera que, de acuerdo a la

potencia a transmitir y a la longitud, en nuestro caso se hizo necesario el empleo de una tensión de 500 kV para hacer viable el proyecto.

Cada uno de los 4 conductores de cada haz es un cable Peace River Modificado formado por una trenza interna de 7 hilos de acero (total 31,93 mm²), que otorga resistencia al conjunto, y una trenza perimetral de 48 hilos de aluminio (364, 63 mm² total), que confieren capacidad de conducción eléctrica.

La aislación de los conductores se produce a través del aire circundante, por lo cual, se dispusieron distintas estructuras a lo largo del recorrido, que soportan el cable a ciertas distancias tales que impidan la producción de descargas al entorno y, al mismo tiempo, que el conjunto resulte estable en condiciones normales y con una seguridad adecuada ante efectos destructivos.

El trazado de la línea constituye una sucesión de tramos conformando una poligonal que se diseñó teniendo en cuenta los accidentes topográficos, las construcciones o plantaciones que debieron atravesarse, así como las condiciones geotécnicas e hidrológicas que se encontraron.



SECCIÓN CONDUCTOR PEACE RIVER

Las torres de retención son de características similares a las autosoportadas de suspensión, pero más robustas.

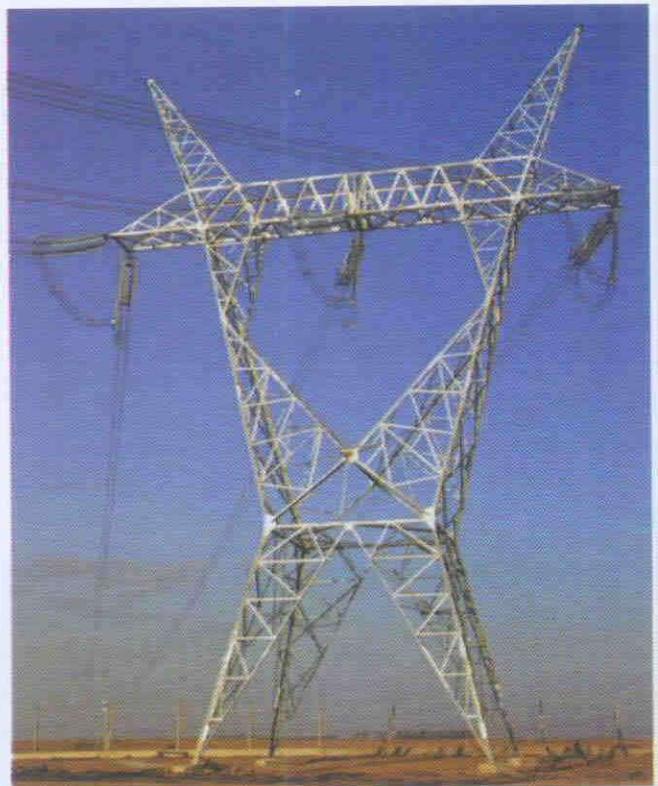
La vinculación del haz de conductores a las torres, son cadenas de aisladores de retención y suspensión respectivamente, que se ensayaron en laboratorio para verificar su aptitud mecánica y de aislación eléctrica.

Cada tramo de la poligonal está sostenido por torres metálicas reticuladas de suspensión, es decir, que toman cargas solamente en los sentidos predominantemente transversales y en los extremos de cada tramo de la poligonal se dispusieron torres metálicas reticuladas de retención angular, que soportan las resultantes de las cargas de tendido del cable provenientes de los tramos adyacentes, más las acciones climáticas, en cualquiera de las direcciones posibles. Las torres de suspensión diseñadas son las de más moderno y económico diseño, es decir, torres tipo Cross Rope.

Este tipo de estructura de suspensión, está formada por dos mástiles metálicos reticulados. Cada mástil dispone de un par de riendas que los sostienen lateralmente hacia adelante y hacia atrás, y se vinculan entre sí por un cable Cross Rope. Este cable es una catenaria transversal a la dirección de la línea que sostiene tres aisladores poliméricos que soportan los cables. En la foto siguiente, el cable que une los mástiles es auxiliar, ya que aún no se han tendido los conductores.



Torres Cross Rope sin conductores tendidos



Torre de Retención Angular RA 60/T

Las torres de retención son de características similares a las autosoportadas de suspensión, pero más robustas. Todas las torres fueron diseñadas y sus prototipos ensayados a rotura en la Estación de Ensayos que el fabricante disponía en Belo Horizonte, Brasil. Las fundaciones que se emplearon para las estructuras tuvieron una gran variación, de acuerdo a diversos factores, entre los cuales podemos mencionar: las características de los suelos atravesados, la presencia de agua y la accesibilidad del equipo de construcción a la traza.

Las fundaciones de mástiles de torres Cross Rope fueron resueltas en este trazado con fundaciones directas premoldeadas, cuando fue posible transportarlas, fundaciones directas hormigonadas in situ, pilotes de gran diámetro, de 0,60 a 1,20 m.



Fundación directa premoldeada para base de mástil antes del montaje

Todas las torres fueron diseñadas y sus prototipos ensayados a rotura en la Estación de Ensayos que el fabricante disponía en Belo Horizonte, Brasil.

Las fundaciones de riendas fueron solucionadas por anclajes inyectados AIA tipo ISCHEBECK que consistió en una pre perforación con una barra hueca de acero de alta resistencia hasta una longitud que varía con las características de los suelos, para posteriormente, inyectar lechada rica en cemento a alta presión hasta formar un pilote de tracción que interese un cono de arrancamiento tal que asegure la carga de servicio de la rienda, más un coeficiente de seguridad. Todos los anclajes, luego de inyectados se ensayaron a carga de rotura.



Barra de anclaje AIA



Rienda montada sobre barra de anclaje AIA

Las fundaciones de torres autoportadas fueron realizadas en forma directa in situ cuando los suelos lo permitieron.



Fuste hormigonado de torre autoportada

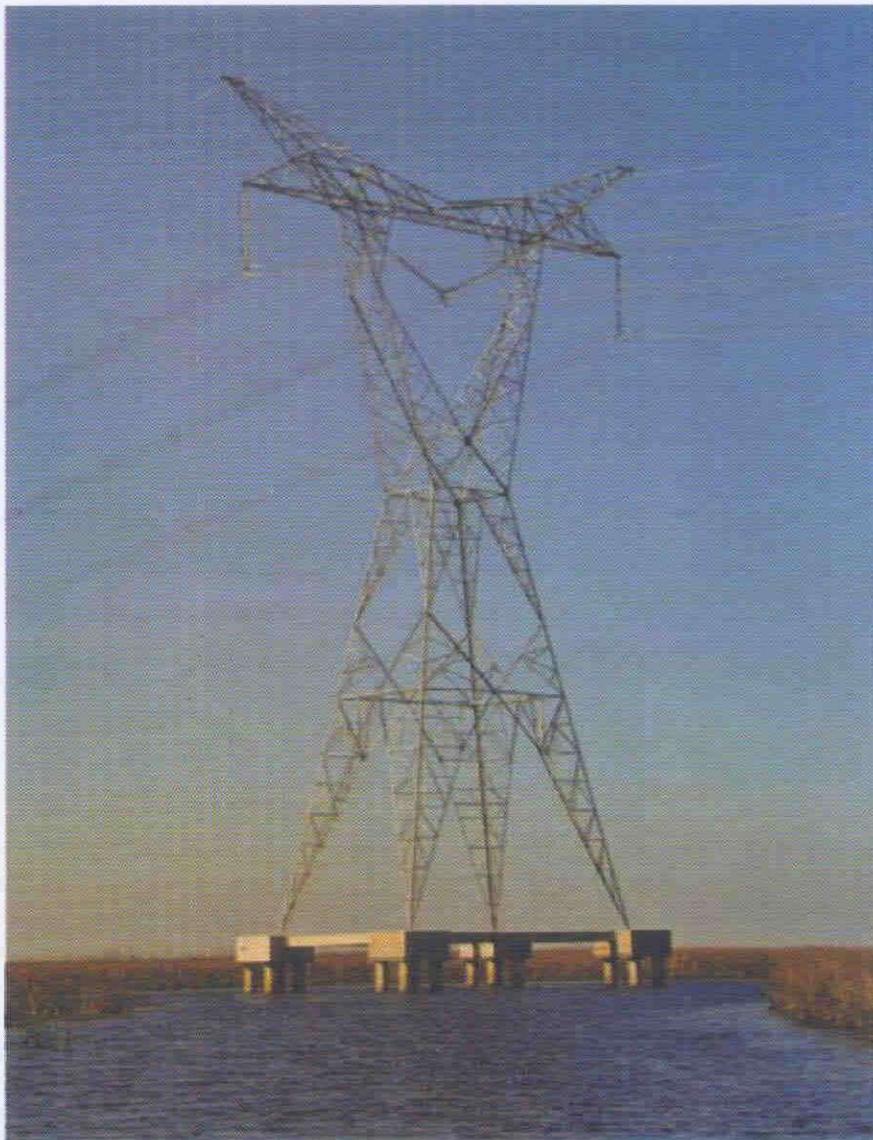


Armadura premoldeada de fundación directa antes del colado in situ

En los casos en que los suelos así lo exigieron, dichas torres fueron fundadas mediante pilotes hormigonados in situ o pre-moldeados tradicionales. En algunos otros casos en que el nivel de inundación así lo exigía fue necesario trabajar con pórticos espaciales elevados, como en el caso del Cruce del Río Miriñay, donde las torres se encuentran elevadas entre 7,00 y 8,00 m. sobre el nivel del terreno natural.

En la fotografía se puede apreciar una torre autoportada de suspensión (tipo SY6) elevada.

COINTEC, de la Cámara Argentina de Consultores de Ingeniería, tuvo a cargo el diseño ejecutivo de esta línea de transmisión en extra alta tensión. La construcción estuvo a cargo de LIMSA S.A. Unión Transitoria de Empresas formada por IECSA-CARTELLONE-ISOLUX.



Descripción de las etapas del diseño de líneas de transmisión

Con el fin de analizar el tipo de formación profesional requerido para el diseño de una línea, describiremos someramente las distintas etapas en las que se puede segmentar el diseño de una línea de transmisión. Avancemos.

Conociendo la potencia a transmitir y la distancia a la cual debe ser transportada, se realiza el estudio eléctrico de la línea mediante el cual se selecciona la tensión de transmisión, la disposición de los conductores, y la sección del conductor, de tal manera de tener en cuenta distintas consideraciones eléctricas entre las cuales se encuentra la minimización de pérdidas. Este es un cálculo propio de la ingeniería eléctrica.

Como dije, en el caso de la línea que describí en la primera parte del artículo, esta tensión es de 500.000 V, es decir 500 kV lo cual es denominado en la jerga eléctrica "extra alta tensión".

A partir de la definición de la tensión, sección de los conductores y disposición espacial de los mismos, comienza el diseño mecánico-civil de la línea.

Voy a tratar de resumir y simplificar las distintas etapas del diseño a los efectos de hacer comprensible la exposición a quien no está familiarizado con este tipo de proyectos, dejando aclarado que el diseño de líneas tiene muchos otros pasos intermedios más, aún cuando su ausencia no va a modificar las conclusiones de este escrito. Podemos resumir estas etapas o pasos en los siguientes:

- Definición de las condiciones climáticas.

Las condiciones climáticas pueden estar definidas por estudios anteriores al proyecto que se está desarrollando, disposiciones reglamentarias, o bien podría requerirse un análisis meteorológico. En la climatología de líneas nos quedamos sin CIRSOC, ya que en nuestro caso lo que se analiza es la probabilidad de ocurrencia de que una velocidad de viento dada se supere en algún frente definido de una línea que tiene la longitud de nuestro trazado, y por lo tanto, se analizan probabilidades bien diferentes a las del reglamento mencionado.

Para ello, a través de un estudio probabilístico de tormentas severas registradas por la traza de daños físicos en un determinado tiempo, se definen distintas velocidades de viento y condiciones de carga, que conforman un dato de partida para el diseñador.

- Cálculos mecánicos de conductores, hipótesis de cargas de las estructuras y secuencia de falla.

Ya determinada la sección del conductor por diseño eléctrico, el cálculo mecánico corresponde a la definición de las tensiones de tendido de los conductores asociadas a cada una de las condiciones climáticas. El cálculo se desarrolla por aplicación de la ecuación de la catenaria, con consideraciones particulares de compatibilidad entre el aluminio y el acero y de creep debido a la fluencia lenta a lo largo del tiempo.

Estos diseños son de naturaleza similar a los empleados en los proyectos de los obnques de un puente.

A partir de las tensiones que se verifican en los conductores y en los cables de guardia para cada estado climático, se obtienen los diagramas de cargas que los cables les transmiten a las estructuras.

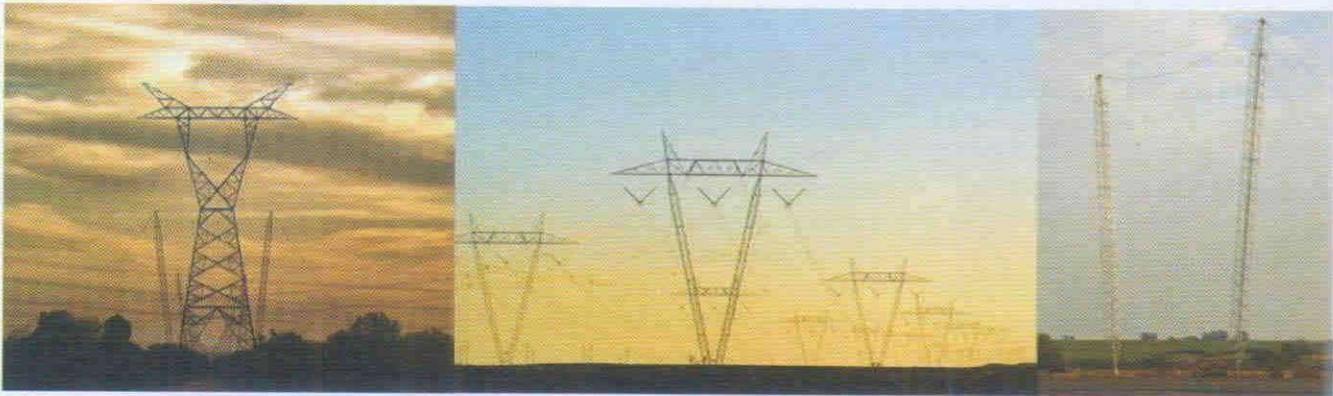
Las cargas van derivando de los cables a las estructuras y a las fundaciones con distintos coeficientes de secuencia de falla, de tal manera de seleccionar de ante mano el modo de falla más conveniente al diseño.

- Diseño de estructuras.

Se realiza el diseño geométrico, y posteriormente, mecánico-civil de la torres. Para este tipo de líneas las estructuras son metálicas reticuladas de perfiles angulares galvanizados con bulones de calidad especial. Todas las distancias de seguridad y de protección para realizar el diseño geométrico de la torre son distancias y disposiciones reglamentarias que dependen de cada país, y en ciertos casos, se adoptan normas o recomendaciones de validez internacional correspondientes a organismos tales como CIGRE -Comité de Grandes Redes Eléctricas- o IEC -International Electrotechnical Comisión-.

Naturalmente, el cable acompaña todo el tendido. Lo que optimiza el costo de una línea es un adecuado y económico diseño y disposición de estructuras y fundaciones. El diseño de las estructuras fue evolucionando a lo largo del tiempo, de tal manera de lograr estructuras más livianas y económicas.

Los diseños evolucionaron de las torres autoportadas, a las estructuras en V arriendadas y, más recientemente, hasta los diseños cross rope de tal forma de minimizar el costo de producción y montaje. El diseño y dimensionamiento se realiza considerando teoría de segundo orden y comportamiento no lineal de las riendas.



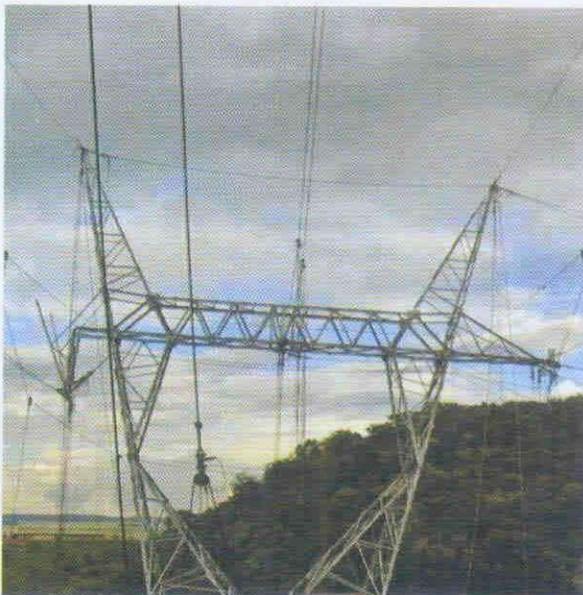
Torre autoportada

Estructuras en V arriendadas

Estructura Cross Rope.

- Ensayos de prototipos de estructuras.

Los diseños se verifican en prototipos a escala real que se prueban hasta el colapso en estaciones de ensayo. El diseño optimizado se verifica cuando la falla de cualquier elemento de la torre se produce ante escalones de cargas levemente superiores al 100% de la carga teórica de diseño. Esto requiere un afinado expertise del diseñador estructural.



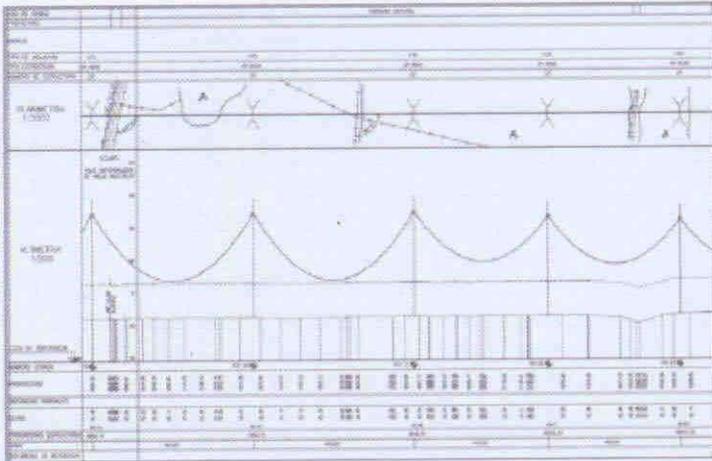
Rotura de la ménsula de una torre prototipo durante un ensayo

- Relevamientos topográficos.

Corresponde a los relevamientos de campo que describen la planialtimetría sobre la cual se distribuirá la línea. Dichos relevamientos no difieren sustancialmente de los que se realizan para un camino.

- Distribución optimizada de estructuras.

Si bien resulta complicado de explicar en pocas palabras, podríamos decir que la distribución optimizada de estructuras consiste en lograr una repartición de torres a lo largo de la traza de mínimo costo y con una disposición tal que no se superen las cargas admitidas para cualquiera de sus elementos -conductores, cadenas de aisladores, torres, riendas, barras de anclaje, fundaciones- y que se verifiquen, a su vez, las distancias mínimas entre los conductores y el suelo, en cualquiera de las condiciones de viento y temperatura.



Plano típico de distribución de estructuras de una línea

Estos cálculos estructurales y geométricos se realizan a través de la aplicación de un software específico, de los cuales la versión más difundida es el PLS CADD de Power Line Systems de USA.

• Estudios de Suelos.

En cada ubicación de torre -que habitualmente se encuentran para líneas de estas características entre 480 y 550 m.-, se realiza un estudio de suelos, aguas y medición de resistividad eléctrica. Las características de estos estudios son similares a los que se realizan para otros tipos de diseños.

• Diseño de fundaciones.

Estos diseños emplean metodologías tradicionales con algunos componentes tecnológicos propios y ciertos condicionamientos operativos particulares de este tipo de obras, pero que se encuentra enmarcado en el diseño tradicional de fundaciones.

• Diseños complementarios.

Existen otras partes del diseño de baja complejidad que no mencionamos para no abundar en descripciones que no aportan a la conclusión del escrito.

Comentarios sobre la incumbencia y formación profesional

Tomé como excusa la descripción de uno de los contratos de diseño de líneas de extra alta tensión que ha realizado nuestra consultora, para formalizar este comentario

sobre la incumbencia profesional de la ingeniería civil en construcciones y la formación profesional. De la descripción de las etapas del diseño que mencioné anteriormente, se desprende que no hay especialidad mejor formada para abordar todos estos diseños en su conjunto que el ingeniero civil.

Finalmente como digo siempre, "...una línea de transmisión es una obra mecánica-civil en la que un buen día se baja una palanca y comienza a transmitir energía eléctrica". Brian White antiguo consultor de Hidronor, Elias Ghanoum de Hydro Quebec mentor del diseño probabilístico de líneas de transmisión en el CEI y CIGRE, Alan H. Pierrot de Power Line Systems, desarrollador del PLS CADD en USA, todos ellos son ingenieros civiles. Los grandes diseñadores de líneas de transmisión en el Mundo son ingenieros civiles. En Argentina, podríamos contar con los dedos de una mano a los ingenieros civiles que son generalistas del diseño de líneas, es decir, que pueden abordar todos los aspectos del diseño.

¿Por qué tan pocos, si las líneas de transmisión están en la incumbencia profesional del ingeniero civil?

Conociendo este mercado, me oriento a pensar que la razón de esta falta es una falencia en la formación profesional universitaria. La formación de nuestros ingenieros es buena a nivel de la ciencia pura si se quiere, pero tiene falencias a nivel tecnológico y a nivel de la ingeniería aplicada.

El ingeniero civil participa en partes sustanciales de tipologías de obras dominadas por otras especialidades, pero sale de la universidad sin la suficiente formación como para aplicar sus conocimientos a ese tipo de obras.

Se le brinda información insuficiente sobre códigos y reglamentaciones que codifican y reglamentan aspectos propios del diseño civil para tipologías de obras de otras especialidades. Y las líneas de transmisión son una muestra.

Entonces, el profesional sale de la facultad sin diálogo como para "buscarse" el trabajo dentro de tipologías de obras dominadas por otras especialidades, y tiene que aprender todo esto en la calle, con un considerable esfuerzo y pérdida de tiempo que le acota el futuro poco más que a las obras civiles ciudadinas. Como consecuencia de este vacío, se produce el avance de otras incumbencias como la mecánica en el diseño de estructuras y los ensayos de prototipos y la eléctrica en los más variados campos de incumbencia de la ingeniería civil, entre otros, el cálculo mecánico de cables y fundaciones.

De hecho, un ingeniero eléctrico amigo ha desarrollado hace años una ponencia sobre la generalización del método de Pohl y de Sulzberger para bases de monopostes. A mi entender, se necesita un agguarnamiento de la formación del ingeniero civil que lo posicione mejor, y con más información, sobre las posibilidades de trabajos de su incumbencia en el ámbito de obras dominadas por otras especialidades.

Los temas de las líneas de transmisión y la formación profesional del ingeniero civil están planteados. Superando esta problemática profesional, COINTEC S.A. ha participado en los últimos años en diseños ejecutivos, asistencias a inspección de obras, controles de calidad de producción, tanto para el Comité Federal de Energía Eléctrica como para importantes empresas privadas que suman aproximadamente 1800 km. de distintas obras de líneas de transmisión y estaciones transformadoras en extra alta tensión.

PERFIL DEL AUTOR:

Presidente de COINTEC S.A., Consultora en Ingeniería y Técnica Industrial S.A.