

Alvaro Torres

Resumen

Este artículo describe en términos generales el proyecto de normalización de estructuras metálicas para líneas de transmisión de energía eléctrica, desarrollado entre 1986 y 1990 en el país. El proyecto fué llevado a cabo por ISA bajo la dirección del autor. Este proyecto no solo incluyó



ALVARO TORRES. Ingeniero Electricista, UIS. Dr. Eng. Sistemas de Potencia, RPI, USA. Profesor de Ingeniería Eléctrica, Uniandes. Área de Especialización: Sistemas de Potencia.

el diseño, prueba y montaje de la primera línea a 230 kV con estructuras normalizadas sino que en él también se estudiaron las metodologías de diseño existentes hasta el momento en el país y se establecieron normas de diseño de líneas que introducen en el país de una manera formal la aplicación de métodos probabilísticos de diseño estructural. Este proyecto demuestra la necesidad de analizar cuidadosamente las normas extranjeras aplicadas en el país y los resultados muestran la conveniencia para el país de normalizar las líneas de transmisión a este y otros voltajes utilizados. Las ventajas de la normalización de las líneas de transmisión son múltiples, siendo importante el hecho de que estas normalizaciones permitirán reducir el efecto de fallas causadas por fenómenos naturales o por sabotajes. El artículo describe el desarrollo del proyecto, las ventajas de la normalización y los resultados obtenidos.

Normalización De Estructuras Metálicas Para Líneas De Transmisión

Premio Enrique Morales de la SCI - 1990

Introducción Y Antecedentes

Una gran tarea para el sector eléctrico ha sido el de establecer una normalización de

componentes, equipos y procedimientos de selección y cálculo, para unificar criterios de adquisición, establecer parámetros de control de calidad y ayudar a mejorar la competitividad de la industria nacional.

Esta normalización se está

llevando a cabo a través de la conformación de un equipo o comité integrado por las diferentes empresas del sector. El avance en este sentido ha sido de gran importancia para el sector eléctrico y para el país por las ventajas que una adecuada normalización representa. Sin embargo, queda mucho camino por recorrer y cualquier esfuerzo en este sentido se verá reflejado, finalmente, en un beneficio al usuario, representado en la calidad del servicio ofrecido.

Conciente de este problema, el sector eléctrico, bajo la dirección de ISA ha establecido un plan de investigación en donde se incluyen proyectos de normalización para continuar los efectos realizados hasta el momento.

Un esfuerzo importante ha sido la normalización de estructuras metálicas para líneas de transmisión a 230 kV. Este proyecto se realizó entre 1986 y 1990 y contó con la participación de un gran número de especialistas nacionales involucrados en el diseño, operación y construcción de las líneas de transmisión y de

reconocidos expertos extranjeros.

El proyecto incluyó el cuestionamiento de las metodologías de diseño de líneas existentes hasta el momento en el país, y el planteamiento de nuevos criterios y parámetros acordes con las tecnologías actuales y el estado del arte en los diferentes aspectos de las líneas de transmisión. El proyecto evolucionó desde el estudio de los conceptos fundamentales, el establecimiento de los parámetros de diseño para las torres normalizadas y la construcción y prueba de prototipos, hasta la construcción de la primera línea con torres normalizadas en el país. Habiendo cumplido con todas las etapas de desarrollo de una normalización, se puede decir que el proyecto constituye un éxito importante para el sector eléctrico y el país.

La Adopción De Normas Extranjeras En El País

A falta de normas nacionales en diferentes campos de la ingeniería, se han adoptado en el país, normas extranjeras y en muchos casos estas se han aplicado sin el suficiente criterio para obtener las ventajas que una normalización puede representar. Es más, en muchos casos la aplicación de normas ha representado sobrecostos injustificados y sobredimensionamientos que no conducen a mejoramientos en la seguridad y confiabilidad de las obras. Este ha sido el caso de las líneas de transmisión.

Cada artículo de una norma tiene una base en algún concepto físico

o matemático o representa un concepto aceptado con base en la práctica. La adopción de cada artículo para aplicación en el país debe basarse en el estudio de los fundamentos o las razones por las cuales estas normas han sido establecidas y en el análisis de las condiciones particulares existentes en Colombia.

Existen numerosos ejemplos que se podrían citar sobre la adopción de normas sin suficiente análisis. Un caso es el de la altitud. Este aspecto no ha merecido suficiente atención en normas correspondientes a países en donde el territorio no ofrece cambios sustanciales, como es el caso de Gran Bretaña. Las normas de líneas de este país fueron tomadas para algunos diseños en Colombia sin considerar que la altitud reduce en un porcentaje importante (más del 30% en algunos casos) la presión del viento debido a la disminución de la densidad del aire. La fuerza producida por el viento es la más importante para el diseño estructural de líneas de transmisión.

Otro ejemplo importante es el de las hipótesis de carga para el diseño estructural. La condición dominante en el diseño de líneas en los países industrializados es la formación de hielo sobre las líneas y la acción simultánea del viento. Todos los factores de seguridad e hipótesis utilizadas en estos países se basan en la existencia de esta condición en un período del año y que ocasiona la mayoría de los daños en las líneas. Prácticamente todos los aspectos de las normas extranjeras están basadas en la consideración del hielo. La no existencia en el país de esta condición hace que sea necesario reevaluar completamente cualquier aplicación de un artículo de una norma extranjera.

Por el contrario, en nuestro país, existen niveles cerámicos (número de días al año con tormentas eléctricas), que superan ampliamente los existentes en los

países del hemisferio norte. Esto hace que sea necesario analizar detenidamente el efecto de las descargas atmosféricas para obtener diseños adecuados. La adopción de las normas y procedimientos de cálculo establecidos para otros países sin el suficiente análisis y adaptación a las condiciones propias, ha conducido a que las líneas que se han diseñado durante los últimos veinte años tengan un pobre comportamiento ante este fenómeno natural. Las descargas atmosféricas causan al rededor del 60% de las salidas de servicio de las líneas de transmisión en el país.

Otras costumbres o prácticas existentes en países extranjeros se han venido copiando y exigiendo en el país sin el suficiente análisis técnico y económico y sin considerar los aspectos prácticos que deben tenerse en cuenta en el establecimiento de normas. Por ejemplo, una regla aplicada en la fabricación de torres para líneas de transmisión en otros países es que, los tornillos deben tener longitudes tales que el área del corte no esté en la zona roscada. Sin embargo, la exigencia de esto para estructuras fabricadas en el país no es práctica ya que aquí la fabricación de tornillos no se hace con tecnologías que permitan un dimensionamiento automático. Además, el proceso de construcción en campo no permite una inspección a este nivel de detalle. Por lo tanto, es más aconsejable, calcular el número de tornillos requeridos considerando el esfuerzo admisible y el área efectiva de la zona roscada que exigir el cumplimiento de esta práctica.

Existen muchos ejemplos como los mencionados aquí. Sin embargo, un aspecto más importante es que, las normas existentes en países extranjeros evolucionan muy lentamente con respecto al estado de arte en diferentes aspectos de la ciencia y tecnología. Esto hace que en

muchos casos las ventajas de nuevos conceptos o tecnologías no se puedan obtener inmediatamente. La adopción rígida de normas conduce a retardar la aplicación de conceptos que representan ventajas importantes para la economía, la confiabilidad o seguridad de las obras.

Aunque se está hablando de las normas que se aplican al diseño y construcción de líneas de transmisión, las anteriores prácticas se aplican a muchas normas adoptadas para ser cumplidas en la ingeniería nacional. Estas normas deben analizarse cuidadosamente desde las razones científicas hasta las razones de índole práctico de la existencia de cada artículo, antes de su aplicación en el país, teniendo en cuenta las prácticas y normas ya existentes, es decir, la adopción de cualquier norma debe ser consecuente con las condiciones y circunstancias existentes y coherente para armonizar con las normas o prácticas complementarias en la rama de la ingeniería que se pueden afectar.

Normas Nacionales Para Diseño De Líneas

Un producto importante de la normalización de estructuras para líneas de transmisión fué el establecimiento de normas y procedimientos de diseño de líneas. Anteriormente las líneas se diseñaban siguiendo normas o patrones extranjeros, a veces, sin la adecuada adaptación a las condiciones del país. Las normas o prácticas aplicadas dependieron en muchos casos del grupo consultor encargado de cada diseño.

Para formular estas normas fué necesario investigar detalladamente las normas y prácticas existentes en diferentes países y las de carácter internacional para examinar los fundamentos científicos y prácticos

detrás de ellas. Sin embargo, la formulación de una norma para el país también debía considerar el estado del arte en diferentes aspectos del cálculo y diseño de las líneas. De esta manera se ha formulado un conjunto de normas y procedimientos dentro del concepto del diseño probabilístico tanto en los aspectos mecánicos y estructurales como eléctricos.

Se puede decir entonces, sobre las normas formuladas para diseño de líneas, que estas siguen el paradigma moderno del diseño probabilístico aplicado de una manera coherente y armónica tanto para los aspectos mecánicos y estructurales como para el diseño del aislamiento eléctrico. Muy pocas normas en el mundo involucran de esta manera simultánea los aspectos principales del diseño de líneas de transmisión. Es más, muchos países industrializados y que han trabajado desde hace mucho tiempo en métodos probabilísticos de diseño, no han podido involucrar estos conceptos en sus normas nacionales debido a los lentos procesos reglamentarios que deben seguir para cambios.

La norma de diseño de líneas (1), involucra conceptos modernos del diseño probabilístico en un formato de fácil aplicación para los diseñadores. De esta manera el diseñador de líneas no necesita ser un experto en teoría probabilística ni hacer complejos cálculos matemáticos para llegar a los parámetros de diseño o la materialización de elementos de diseño. Esto se ha evitado teniendo en cuenta que la aplicación de los métodos probabilísticos de diseño, depende fundamentalmente de la claridad y facilidad de los procedimientos para los diseñadores.

Torres Normalizadas

El objetivo del proyecto era obtener una familia de estructuras que se pudieran utilizar en todo el

país, considerando las diferentes condiciones meteorológicas y geográficas existentes a lo largo del territorio nacional. Este objetivo se cumplió. La familia de estructuras junto con las normas modernas de diseño establecidas, permiten utilizar las mismas torres en diferentes zonas, con diferentes conductores y parámetros meteorológicos y para líneas con diferentes requerimientos de confiabilidad. La universalidad de aplicación de las torres obtenidas le permite obtener al país ventajas y beneficios importantes.

De una manera general, existen dos métodos de obtener un conjunto de torres para una línea de transmisión:

- (a) Utilizar estructuras especialmente diseñadas y adaptadas a los requerimientos específicos de la línea en particular;
- (b) Escoger las estructuras a partir de un conjunto de torres normalizadas, y optimizadas dentro de un marco de referencia más general.

La primera solución ha sido aplicada en el país hasta ahora, y aunque se obtienen optimizaciones adecuadas a cada línea en particular, la solución puede estar lejos de la solución óptima global, considerando un conjunto de líneas.

El diseño de líneas con estructuras normalizadas presenta, entre otras, las siguientes ventajas principales:

- Menores costos de suministro:
 - Los prototipos se prueban una sola vez, y no para cada línea como se ha hecho
 - Permite una fabricación continua y programada de estructuras
 - Permite anticipar y programar los requerimientos de materias primas

- Facilidad de suministro y en el manejo de stocks - Esto es importante en los casos de sabotajes. Se cuenta con stocks y repuestos en cualquier parte del país.
- Facilidad de mantenimiento:
 - Los elementos de las torres pueden intercambiarse
 - Las estructuras se construyen con perfiles y procesos de fabricación normalizados
- Menores costos de construcción:
 - Puede existir una metodología de montaje que se perfecciona continuamente
 - Puede existir un suministro continuo durante la construcción.

Algunas de las desventajas que se han argumentado en contra de la normalización se basan en que una línea en particular no se optimizaría. Este argumento no puede considerarse válido puesto que el objetivo ha sido optimizar todo el plan de expansión de transmisión del sistema nacional, por lo tanto, la solución ha obedecido a un óptimo global y no a un óptimo local. Sin embargo, es posible probar que, la existencia de las torres normalizadas permitiría optimizar una línea si se consideran sus limitaciones desde el trazado de la ruta y a lo largo de todo el proceso de diseño para evitar requerimientos de torres especiales que se salen de la familia. Esto significa que la creatividad del diseñador y la correcta aplicación de su criterio ingenieril es de gran importancia para la optimización de la aplicación de las torres normalizadas.

Los beneficios de utilizar torres normalizadas en un país de escasos recursos como es Colombia, son muy grandes. La capacidad existente en la

ingeniería nacional garantiza que la utilización de esta nueva herramienta se haga con gran eficiencia, sobrepasando las limitaciones de las torres normalizadas con el ingenio y el criterio del diseñador. Es por esto incorrecto pensar que la utilización de las nuevas torres reduce la intervención del ingeniero de diseño. Por lo contrario, se vuelve más importante la experiencia y el trabajo de ingeniería para lograr los beneficios esperados del proyecto.

Etapas Del Proyecto E Investigación Futura

El proyecto de normalización partió del establecimiento de normas de diseño de líneas con el objeto de garantizar una aplicación homogénea en criterios y metodologías para las torres normalizadas. Sin la aplicación de estas guías de diseño no se podrán obtener todas las ventajas de las torres normalizadas.

El siguiente paso fué la determinación de las torres normalizadas. Para esto, se analizó el plan de expansión del sistema nacional hasta más allá del año 2000. Se aplicó una metodología probabilística que permitió obtener las distribuciones de probabilidad de las cargas sobre las estructuras normalizadas y de allí se obtuvieron las cargas de diseño de las torres. Este proceso se describe en mayor detalle en la referencia (2).

Se realizó el diseño estructural detallado de los prototipos, los cuales se contruyeron y se probaron en Brasil. Las pruebas consistieron en la aplicación de las cargas de diseño y en aumento de estas hasta el colapso de las torres. Estas pruebas permitieron verificar los diseños y modelos de cálculo utilizados.

Finalmente, se diseñó la línea Ancón Sur-Esmeralda con más de 100 km de longitud y se construyeron en el país las torres normalizadas requeridas para esta línea. La línea se puso en operación a principios de 1990.

El hecho de que el proceso de normalización cumplió todo el ciclo desde la concepción hasta la puesta en operación de una primera línea, permitió apreciar completamente los beneficios de la normalización y el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

El trabajo a realizar en el futuro en esta área es muy importante. Se debe continuar el esfuerzo de normalización diseñando otras familias para líneas de 115 kV y 230 kV circuito sencillo. El sistema de 115 kV es muy amplio en el país y requiere urgentemente de la normalización para su optimización.

Participantes

El proyecto de normalización tuvo una característica importante. Participaron profesionales de diferentes disciplinas y varias

entidades y firmas consultoras y constructoras que permitieron una amplia discusión de los modelos, metodologías y resultados obtenidos.

El Proyecto de Normalización de Estructuras para Líneas de Transmisión fué realizado por espacio de 4 años, bajo la dirección del autor, por la firma Consultoría Colombiana S.A. y para Interconexión Eléctrica S.A. La financiación del Proyecto se hizo por parte de COLCIENCIAS. La construcción y prueba de los prototipos fué realizada por SADE-Brasil y las torres normalizadas para la Línea Ancón Sur-Esmeralda fueron construidas en el país por SADELEC. La Interventoría de fabricación y de construcción de la línea fué realizada por la firma Zuleta Holguín y Cía S.A.

La Sociedad Colombiana de Ingenieros confirió el Premio Enrique Morales 1990 a la firma Consultoría Colombiana S.A. por este proyecto. Este premio fué recibido por el autor, de manos del Presidente Virgilio Barco Vargas.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ISA-CONSULTORIA COLOMBIANA S.A. "Metodología de Diseño de Líneas de Transmisión y Guía de Aplicación de las Estructuras Normalizadas", Sept. 1989.
- (2) Torres, A., "Application of probabilistic methods for transmission tower standardization", International Conference on Large High Voltage Electric Systems-CIGRE- 1988 Session, París.



