

Implementación de Conductores de Alta temperatura y Baja Flecha (HTLS), en el Sistema Eléctrico Paraguayo.

F. Mitjans*

Introducción

El creciente aumento de la demanda de energía eléctrica asociada a la falta de inversiones en la expansión y mantenimiento del sector, sumado a esto las dificultades para la construcción de Líneas Aéreas de Transmisión, ha elevado las dificultades para suministrar la energía eléctrica en forma confiable y continua a gran parte del país, principalmente en los periodos más calurosos, dejando la operación del sistema eléctrico, próxima de sus límites de capacidad.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo de investigación es el de analizar las alternativas técnicas posibles para aumentar la capacidad de transmisión de potencia eléctrica en las líneas de transmisión aérea existentes en el nivel de tensión de 220kV, sin cambiar los aisladores existentes, ni variar la carga mecánica a la que serían sometidas las estructuras, utilizando como parámetro de similar diámetro y peso que el conductor existente en las líneas de transmisión del Sistema Eléctrico Paraguayo, considerando que las mismas en la mayor parte del año deben soportar cargas superiores a la capacidad nominal de la línea. Se evaluará el cambio de conductor del tipo convencional ACSR 636 MCM, Código Grosbeak para una línea de transmisión aérea piloto de 100km de longitud, ampacidad de 550 Amperios, en el nivel de tensión de 220kV, por conductores de Alta Temperatura y Baja Flecha tipo HTLS, del mismo diámetro y peso, operando con una carga de 800 Amperios (45% más de carga en comparación a un conductor convencional con alma de acero ACSR 636MCM), éstos al soportar mayores temperaturas tienen mayor capacidad de transporte de corriente y por ende mayor capacidad de transmisión de potencia. Tomaremos el valor de carga de 800 Amperios para el estudio, teniendo en cuenta que ninguno de los conductores llega al punto de cizallamiento o Knee point, además el valor de la resistencia ohmica presenta un comportamiento lineal, lo cual nos permitirá evaluar el comportamiento térmico y mecánico de los mismos para las condiciones solicitadas.

Justificativa del Proyecto

Existe una necesidad urgente de aumentar la capacidad de transmisión de energía eléctrica en el Sistema Norte, y Sistema Sur, con la puesta en servicio de los autotransformadores de potencia 2x375MVA, 500/220kV, en la barra de Yacyreta, se deberán indefectiblemente repotenciar con conductores del tipo HTLS las líneas de transmisión aérea de 2x220Kv Ayolas- San Patricio, para poder acompañar el crecimiento

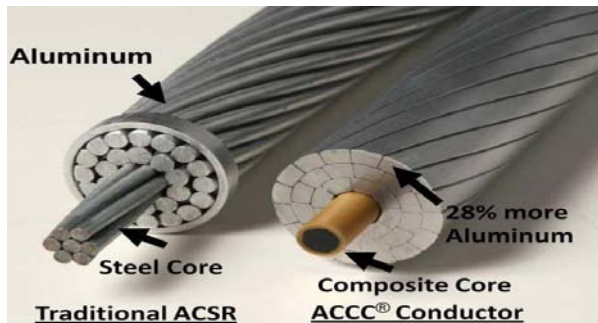
económico y social en el Sur del País, teniendo en cuenta la instalación de numerosas fábricas e industrias en las últimas décadas con lo cual el consumo de energía eléctrica aumentaría prácticamente al doble del consumo actual, a más de esto la puesta en servicio de la Línea de 500Kv Itaipú- Villa Hayes, con una inyección de carga de 2000MW, lo cual supone una reorientación del flujo de potencia en el Sistema Eléctrico Paraguayo, sobre todo en el Sistema Norte, y un nuevo centro de gravedad eléctrico en el que no se puede descartar un fuera de servicio por contingencia de la Línea de 500Kv, lo que significa que las Líneas principales de 220Kv, deberán de estar preparadas para poder contener esa potencia en caso de un fuera de servicio de la Línea de 500kV. En los conductores convencionales del tipo Al 1350 con alma de acero, que son los conductores tradicionalmente utilizados en nuestro país en transmisión de energía, la temperatura máxima de operación es de 90°C, en las condiciones climáticas más desfavorables, superando los 100° C de temperatura de conductor en un periodo de tiempo máximo de 3000 Horas, que son acumulativos, comienza el proceso de recocido en los hilos del conductor y posterior deterioro de sus características mecánicas. En los conductores tipo HTLS el aumento de la capacidad de transmisión de energía eléctrica llega aproximadamente a un 300%, de la potencia nominal en comparación a los conductores del tipo Al1350 con alma de acero, del mismo peso y diámetro sin variar la flecha por lo que el uso de tecnología HTLS de un mismo peso y diámetro que el existente vienen a ser una alternativa muy atractiva evitando en la mayoría de los casos, modificación o cambio de las estructuras y accesorios permitiendo un ahorro importante en el proyecto.

Conductor tipo HTLS con Tecnología Termorresistente T- ACSR

Este tipo de conductor tiene un coeficiente de expansión térmica, que se asemeja más a la de un cable convencional con alma de acero tipo ACSR, por lo que el comportamiento mecánico del T-ACSR funciona como un conductor convencional, por tanto es un cable mucho más barato y de menor calidad que cualquier conductor tipo HTLS. El tipo de cable T-ACSR, es un cable ACSR normal con una tensión de ruptura mucho mayor que un ACSR 636MCM normal, esto se puede corroborar con los datos de los polinomios del mismo conductor, en el que se visualiza que los coeficientes del polinomio de esfuerzo y deformación corresponden a la de un cable normal con alma de acero. Esto implica que el cable completo (corona + núcleo), es sometido a una tensión de tracción muy superior, de tal manera a poder obtener un cable con diámetro similar al ACSR 636MCM instalado, además de lograr una disminución considerable de la flecha durante la inyección de carga para las condiciones climáticas más exigentes. Es importante mencionar que la tracción a la que es sometido el cable ocasiona una deformación en las hebras de la corona del cable de aluminio normalmente del tipo aluminio termorresistente, esto a su vez una distorsión en el campo eléctrico del cable, teniendo en cuenta que la homogeneidad del campo eléctrico depende de las propiedades geométricas del cable, además de ocasionar pérdidas de potencia activa y facilidad de formación de punto caliente o efecto corona. Cabe recalcar que las temperaturas de este tipo de cables oscilan entre los 80° C en régimen de operación normal y 90° C, en régimen de emergencia, esto demuestra que el cable T-ACSR tiene un comportamiento prácticamente similar a un ACSR convencional,

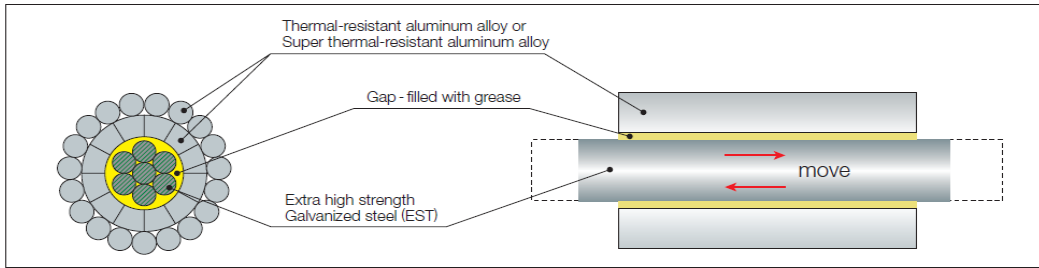
del mismo calibre y el mismo código. El montaje del conductor es similar al cable convencional con alma de acero, tolera empalme a medio vano, pero presentan muchas pérdidas de origen eléctrico debido a que el alma es de acero y el mismo es un semiconductor lo que ocasiona un considerable de calentamiento del conductor en comparación con otras tecnologías para la misma ampacidad y condiciones ambientales, no precisa de roldanas especiales para el montaje del mismo.

Conductores tipo HTLS con tecnología de Núcleo compuesto ACCC y ACCR.



Núcleo compuesto puede ser definido como un material obtenido a partir da aglutinación de dos o, más elementos, ejerciendo funciones de matriz y refuerzo. La matriz confiere la estructura del aluminio compuesto, en cuanto a los materiales de refuerzo elevan las propiedades mecánicas, electromagnéticas o químicas. En esta categoría de conductores con núcleo compuesto, encontramos el conductor ACCR (*Aluminium Conductor Composite Reinforced*) e o ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*). El alma de los conductores ACCR está constituida a partir de fibras de un compuesto de óxido de aluminio (Al_2O_3) sobre una matriz de aluminio (Al). En los conductores tipo ACCC, el núcleo está compuesto por fibras de carbono revestidas por una capa aislante en resina epoxi, cuya función es impedir el proceso de oxidación. Los núcleos compuestos presentan coeficientes de expansión térmica hasta tres veces menores, lo que reduce considerablemente la flecha de estos conductores. Las capas conductoras de ACCR están compuestas de una aleación de aluminio-zirconio, que permite operar a temperaturas en régimen continuo de $210^{\circ} C$, estos tipos de conductores presentan menos perdidas técnicas que los conductores termorresistente, son de menor peso que el conductor convencional con alma de acero ACSR, pero necesitan de roldanas especiales para su montaje, los mismos toleran empalme a medio vano, además los componentes del núcleo presentan diferentes coeficientes de dilatación por lo que fisuras internas no se pueden descartar para esta tecnología, por lo que requiere de especial atención durante el montaje y la puesta en servicio del mismo.

Conductor tipo HTLS con tecnología GTACSR.



El conductor tipo GAP TYPE tiene una capa en material sintético entre el núcleo de acero y la camada conductora de aluminio, que reduce considerablemente las flechas de estos tipos de conductores. Ese material sintético que en realidad es una grasa de alta temperatura permite un movimiento independiente entre el núcleo de acero de las capas conductoras en aluminio termorresistente, resultando en un coeficiente de expansión térmica de casi dos veces menor que en el conductor tradicional ACSR. Este conductor tiene un régimen de temperatura de operación de hasta 240° C, su dificultad radica en el montaje del mismo teniendo en cuenta que no permite empalmes a medio vano por lo que los empalmes solo se pueden hacer en las estructuras más próximas, esto hace que en las estructuras de suspensión tengan que realizarse adecuaciones en sus mensuras para realizar el empalme, colocando pequeños perfiles en los mismos sometiendo a las estructuras a tensiones superiores al 20% de la tensión de ruptura del conductor, Independiente que la fundación de la estructura sea del tipo autoportante o engrillada, en el segundo caso requeriría de un estudio más minucioso en su árbol de carga, a esto hay que sumarle las pérdidas por longitud de conductor ocasionada por realizar los empalmes en las estructuras de suspensión y no en vano medio que es del orden del 30%, esto es variable para cada proyecto de línea de transmisión que sería repotenciada con este conductor, ameritaría un estudio más minucioso en lo que respecta a la pérdida por longitud de conductor y con esto reducirlo, otro punto a tener en cuenta es que durante el montaje del conductor se pierde la homogeneidad del diámetro del conductor y con ello la distorsión del campo eléctrico, lo que trae como consecuencia gran cantidad de efecto corona. Esta tecnología es la que se encuentra montando actualmente la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) en las Líneas de transmisión aérea Coronel Oviedo-Guarambaré y Coronel Oviedo -San Lorenzo, 1100Km de conductor será instalado y los mismos formarán parte del plan verano 2014, con el mismo se dispondría de una capacidad de transmisión de 340MVA en cada uno de los 3 circuitos.

Consideraciones Técnicas

Tomando como parámetros de referencia el diámetro (diámetro similar o ligeramente inferior de tal manera a evitar efecto corona y el peso del cable ACSR 636MCM código grosbeak), de tal manera que no sea necesario el refuerzo en torres y fundaciones.

Tecnologías	Diám (mm)	Peso (kg/km)	R(ohm/km)*
ACSR 636MCM	25,16	1302	
GTACSR	24,4	1301	0,0943
ACCC	25,15	1245	0,0791
T-ACSR	25,16	1302	0,1154
ACCR	24,25	1227	0,1167

* 800 Amperios, Temperatura ambiente 25 C.

Es importante destacar que para cada una de las tecnologías propuestas las tensiones del conductor en el estado final Creep (20% de la tensión de ruptura del conductor) y en la condición final Viento Máximo (40% de la tensión de ruptura del conductor), no fueron sobrepasadas teniendo en cuenta una velocidad de viento de 145km/h, además la condición de emergencia en la condición final (17% de la tensión de ruptura del conductor), para todas las hipótesis propuestas precedentes, ninguno de los cables propuestos por cada uno de los fabricantes deberán de superar los valores máximos que se menciona. El vano Standard utilizado para la simulación y estudio correspondiente en la selección del conductor económico será de 400m, normalmente utilizados en la construcción de Líneas de Transmisión con este nivel de tensión además de eso supondremos una planialtimetría plana, en la condición climática más desfavorable ninguna de las tecnologías deberá superar la flecha de 14m, en la mayor solicitud de carga y condición climática más desfavorable. Cabe mencionar que los criterios propuestos más arriba fueron obtenidos de Normas Internacionales tales como la Norma Brasileira Nº 5422 “ Construcciones de Líneas de transmisión”, DIN VDE 210 y, como herramienta para la simulación fue utilizado el Software PLS-CADD versión 10.50 cargados con los criterios mencionados. Para cada uno de los análisis que se realizaron con los criterios mencionados más arriba se tuvo presente el árbol de carga para una estructura del tipo reticulada, en la que la distancia e seguridad de la línea al suelo es de 8m en la condición climática más desfavorable 40° C.

Tecnologías	Temperatura del Conductor C	Traccion EDS (%)	Traccion Viento Maximo (%)	Flecha (m)
GTACSR	87	20	39	14
ACCC	82	19	40	11
T-ACSR	97	20	38	13
ACCR	91	19	40	12

Cuadro comparativo de las flechas para cada una de las tecnologías

Para las condiciones establecidas más arriba y con los resultados que se muestran en el cuadro comparativo que antecede, ninguna de las tecnologías presentaría inconveniente alguno para la selección de las mismas en reemplazo de un conductor ACSR 636 MCM Código GROSBEAK tipo convencional, en lo que respecta al análisis técnico, especialmente en la flecha y las características geométricas como son el diámetro y el peso.

Consideraciones Económicas

Para las consideraciones económicas fueron tenidas en cuenta el costo de los conductores, pérdidas eléctricas para una longitud de Línea de 100km circuito simple (R, S, T), nivel de tensión de 220kV, una carga de 800 Amperios, precio del montaje de cada una de las tecnologías. Entre las variables económicas fue tomada una tasa de interés del 10% anual, para un periodo de 20 años, el costo de tarifa de Itaipú de 22,60US\$/KW-MES, un factor de carga para la Línea de transmisión de 50%, un valor presente en lo que respecta a pérdidas técnicas de 2540US\$/KW, lo cual utilizaremos para analizar las pérdidas eléctricas entre cada una de las tecnologías.

Tecnologías	Longitud (m)	Costo US\$	Perdidas US\$	Montaje US\$	Totales US\$	%
GTACSR	300.000	2.400.000	11.497.056	4.000.000	17.897.056	100
ACCC	300.000	4.200.000	9.643.872	6.000.000	19.843.872	111
T-ACSR	300.000	2.100.000	14.069.568	4.000.000	20.169.568	112
ACCR	300.000	7.500.000	13.399.008	6.000.000	26.899.008	150

Cuadro comparativo de las perdidas técnicas para cada una de las tecnologías

Observando el cuadro comparativo, podemos ver que el costo total de una línea repotenciada con conductores del tipo HTLS y tecnología GTACSR, para una Línea de 100km de longitud lineal circuito simple (R,S,T), presentaría un costo de 12% superior en comparación a la construcción de una nueva Línea de 220Kv simple terna, siendo el precio de una Línea de transmisión convencional de 160.000 US\$/km, sin contabilizar las pérdidas eléctricas a más de esto una ampacidad límite de 45% inferior al GTACSR.

Conclusión

Conforme al análisis técnico de cada una de las tecnologías, no sería conveniente descartar a ninguna de las mismas, teniendo en cuenta que todas cumplirían con las solicitudes técnicas para su implementación en lo que respecta a transmisión de energía, pero observando el aspecto económico encontramos que el conductor tipo GTACSR presentaría una ventaja económica frente a las demás tecnologías para el escenario planteado, en contrapartida mayor dificultad para el montaje, en el caso del T-ACSR un conductor más barato no implicaría un menor costo a futuro, teniendo los parámetros que anteceden en el cuadro comparativo de las pérdidas técnicas, no obstante es importante observar que para la toma de decisión entre una tecnología y otra este punto es fundamental, en contrapartida para líneas de transmisión de longitudes cortas. Este punto no entra a tener un efecto desequilibrante a la hora de la selección.

Otro punto a tener en cuenta es que estas tecnologías no tendrían exclusividad en el uso de líneas de transmisión aérea, sino también en las estaciones, específicamente en las barras de las estaciones teniendo en cuenta a la carga que son sometidas en caso de una falla en barras, en lo que respecta a nivel de corto circuito en las mismas, para lo cual la selección de una u otra tecnología dependería exclusivamente del uso que se le quisiera dar al mismo. Cabe recalcar que independientemente del tipo de tecnología HTLS que

sería montado los mismos no requieren del cambio de los aisladores sean estos de vidrio templado, poliméricos de goma de silicona o rígidos tipo line post, por que en este caso la repotenciación de la línea es por carga y no por tensión y la disipación de calor que ocurre por el aumento de carga por consiguiente de temperatura, es disipada en los herrajes, que si hay que cambiarlos, ya que los herrajes para conductores convencionales están diseñados para operar a temperaturas de 90° C.

Como punto final es importante mencionar que los fabricantes con tecnología HTLS, garantizan una ampacidad del conductor en un 300%, más que un conductor convencional con alma de acero ACSR 636MCM, del mismo diámetro y peso, sin que la flecha de los mismos sea modificada, lo cual en la mayoría de los casos no es posible, teniendo en cuenta que este aumento de carga solo se refiere a la capacidad térmica del conductor, debido a la baja resistencia ohmica de los mismos, pero no tiene en cuenta la capacidad eléctrica en la que variables como capacitancia y la inductancia en líneas de extensa longitud presentan valores considerables y limitan su capacidad eléctrica, por ende su capacidad térmica, debido a la similitud de estas variables con los conductores convencionales con alma de acero.

Referencias

Plan Maestro de la Administración Nacional de Electricidad (2013-2018).

Norma Internacional NBR 5422 Construcciones de Líneas de Alta Tensión.

Norma Internacional DIN VDE 210 Criterios para la construcción de Líneas de Transmisión.

Norma Internacional ASTM- B232.

Catálogos de Fabricantes de Conductores de Alta temperatura y baja flecha.

Especificaciones Técnicas de la Administración Nacional de Electricidad (Ande), Suministro de Conductores de Alta Temperatura y Baja Flecha, HTLS.

Software PLS-CADD versión +10.50, utilizado en la Construcción de Líneas de Alta Tensión.

*Ingeniero Electromecánico, Docente Investigador de la Facultad de Ingeniería FIUNA, Máster en Energía para el desarrollo sostenible (UPC España), Proyectista de Líneas de Transmisión de la Ande, 2012.