

Repotenciación de la Línea de Transmisión La Guaca – La Mesa 1 y 2

C. D. Jiménez, Ingeniero Electricista

Abstract—Oriental Generation System of “Sistema Bogotá”, is a large generation source, as well as being very cheap for having, mostly, Hydraulic Plants. However, at this time the total capacity is not being consumed because one of his lines, specifically the transmission line La Guaca – La Mesa 1 and 2, has a “Corte”, it means a limit of transmission dispatching. The Repowering project of the Transmission Line La Guaca – La Mesa 1 and 2 could be the possible solution for the issue described, adding two more circuits to the same structure, avoiding negotiations of a new right of way and accomplish with all necessary technical criteria.

Resumen--El Sistema de Generación Oriental de Sistema Bogotá tiene una gran capacidad, además de ser muy económico por poseer en su mayoría plantas hidráulicas. Sin embargo, no se está aprovechando la totalidad de esta capacidad debido a que una de las líneas, específicamente la Línea de Transmisión La Guaca – La Mesa presenta un corte, es decir un límite de despacho para transmisión. El proyecto de repotenciación de la línea de transmisión La Guaca – La Mesa es una posible solución a este problema, agregando dos circuitos adicionales a la misma estructura, evitando negociaciones de una nueva franja de servidumbre y cumpliendo con todos los criterios técnicos necesarios.

Palabras Clave–Despacho económico, Franja de servidumbre, Generación Oriental, Límite de transmisión, Línea de transmisión, Repotenciación.

I. INTRODUCCIÓN

EL Sistema Bogotá es un conjunto de líneas de transmisión, en el cual permite evacuar la generación del sistema Oriental, en el cual está incluido el Sistema PAGUA, generación en la central El Paraíso y la central La Guaca. Sin embargo, la generación producida por estas dos plantas no es posible evacuarlas debido a aspectos de confiabilidad del sistema. La línea de transmisión La Guaca – La Mesa 1 y 2 presenta un límite debido a que si uno de sus dos circuitos falla, el circuito no fallado debe atender toda la capacidad de transmisión y no tiene como, generando un nuevo despacho, también que algunas unidades del sistema PAGUA sean no despachadas y que por supuesto, la energía sea un poco más costosa al no contar con dichas unidades hidráulicas. Se ve una oportunidad de Repotenciación para la línea La Guaca – La Mesa 1 y 2 principalmente por el espacio existente en las subestaciones La Guaca y La Mesa, con el fin de evacuar la generación de la

Guaca. No pasa lo mismo con la generación de Paraíso, ya que esta es una subestación GIS antigua y realizar la repotenciación significaría cambiar la totalidad de la tecnología de dicha subestación. Este documento realiza una breve descripción de los trabajos planeados para la repotenciación de la línea de transmisión La Guaca – La Mesa 1 y 2.

II. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

La línea de transmisión La Guaca – La Mesa 1 y 2 a 230 kV es una línea de transmisión corta de 4.71 km, ubicada en los municipios de La Mesa y El Colegio. Cuenta con 12 estructuras tipo doble circuito vertical en las cuales las suspensiones (A y AA) poseen hasta 6 cuerpos y las retenciones (B, C y D) hasta 5. El conductor de fases es un conductor tipo AAAC 1600 kCMIL.

La línea de transmisión esta declara en PARATEC con los siguientes parámetros:

TABLA I
PARÁMETROS PARATEC

NOMBRE CIRCUITO	(kV)	(km)	CAP TRANSPORTE			Año Entrada
			Normal (A)	Térmico (A)	Emergencia (A)	
LA GUACA - LA MESA 1 230 kV	230	4.71	1,120	1,120.0	1,200	1983
LA GUACA - LA MESA 2 230 kV	230	4.71	1,120	1,120.0	1,200	1983

Fuente: Elementos declarados PARATEC – EEB

III. REPOTENCIACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

La alternativa de repotenciación se decide realizar modificando la estructura de acuerdo con la siguiente alternativa:

Remplazo de los brazos actuales, por brazos que puedan soportar dos fases de dos circuitos diferentes, es decir, en la configuración futura contarán con dos circuitos para cada lado de la estructura como se presenta en la Fig. 1.

La alternativa depende totalmente de la robustez de la torre actual, por lo que se utilizó el software TOWER¹, para el

¹ TOWER: Software de diseño de estructuras del desarrollador Power Line Systems con licencia para la Empresa de Energía de Bogotá.

modelamiento de la estructura y posteriormente el software PLS-CADD² para el plantillado de la línea.

Adicionalmente se evaluó el cambio de conductor, actualmente AAC 1600 MCM, con el fin de buscar un conductor o haz de conductores, menos pesados y más eficientes, para que las cargas en la estructura sean menores.

Con el fin de evitar el balanceo de las cadenas de suspensión, se optó por utilizar cadenas en “V”, limitando cualquier movimiento del conductor en cercanías a la torre y asegurando las distancias mínimas.

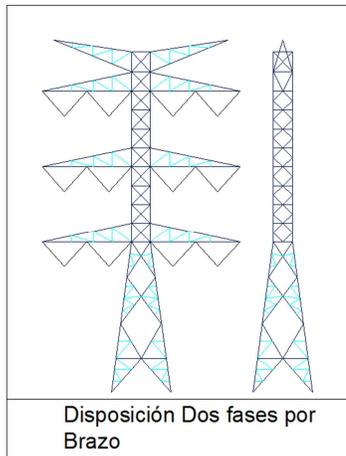


Fig. 1. Estructura Alternativa de repotenciación (Fuente: Propia)

A. Selección del conductor de fases

La selección del conductor de fases tiene en cuenta los criterios climáticos de la zona Tabla II y la capacidad de transmisión de la línea, presentada en la Tabla III. Para el proyecto de repotenciación se considera para cada fase un haz de dos subconductores ACAR 550 kCMIL 18/19.

TABLA II
PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

Criterio	Unidad	Valor
Altura promedio sobre nivel del mar	m.s.n.m.	977
No. De días con lluvias al año [1]		135-206
Media anual de lluvias [1]	mm	1200-1400
Presión de Viento Max	kg/m ²	81.1
Presión de Viento Prom	kg/m ²	48
Temperatura Máxima (conductor)	°C	75
Temperatura media	°C	22
Temperatura mínima	°C	-6
Nivel Contaminación según IEC 60815		Nivel I-Leve - 16 mm/kV

Fuente: Selección de Conductor – Consultores Unidos – Biblioteca EEB

² PLS-CADD: Software para diseño electromecánico de líneas de transmisión del desarrollador Power Line Systems con licencia para la Empresa de Energía de Bogotá.

TABLA III
CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CONDUCTOR

Criterio	Unidad	Valor
Nivel de tensión	kV	230
Capacidad máxima de transmisión (Paractec)	A	1120
Campo eléctrico a borde de servidumbre: Poblacional [2]	kV/m	≤ 4.16
Ocupacional [2]	kV/m	≤ 8.3
Densidad de flujo magnético a borde de servidumbre: Poblacional [2]	uT	≤ 200
Ocupacional [2]	uT	≤ 1000
Ruido audible al límite de la faja de servidumbre	dB	≤ 50 dB

El software PLS-CADD posee una herramienta basada en el estándar IEEE 738-2006 con la cual fue calculado el límite de capacidad de transmisión para el conductor escogido ACAR 550 kcmil 18/19 y las condiciones del proyecto, obteniendo como resultados para una temperatura de operación de 75 °C una capacidad de corriente de 698.5 As, es decir, con dos subconductores por fase es posible transportar 1397 A, capacidad mayor a la declarada en PARATEC (Tabla I).

Para el conductor de fases también se realizaron los cálculos de campo eléctrico y densidad de flujo magnético a través de las herramientas del software PLS-CADD, obteniendo como resultado el cumplimiento de los valores presentados en la

, a borde de franja de servidumbre. Igualmente los valores de gradiente superficial y ruido audible se cumplen para el conductor ACAR 550 kCMIL, calculados a partir de los criterios técnicos tomados de las publicaciones IEC CISPR 18-1, 18-2 y 18-3.

B. Verificación estructural

La verificación estructural es quizás uno de los procesos más importantes en este proyecto de repotenciación, ya que se valida la configuración de la Fig. 1 y las nuevas cargas asociadas al conductor ACAR 550 kcmil, La verificación se realizó mediante el software Tower de Power Line Systems. Las estructuras más altas de cada tipo fueron el objetivo de revisión con la nueva configuración, debido a que ellas son las que mayores solicitaciones presentarían.

En la verificación la estructura tipo B fue la que mayor sollicitación presentó con un 93.5% de resistencia (Uso) en conjunto, con lo cual no se requiere hacer refuerzos en ningún elemento de la estructura incluyendo la cimentación.

C. Plantillado con estructuras nuevas

A través del software PLS-CADD se realizó el plantillado de

la línea de transmisión con las estructuras planteadas y modeladas en TOWER, teniendo en cuenta los criterios de tensionado del nuevo conductor y las distancias mínimas a cumplir según RETIE.

TABLA IV
CRITERIOS DE TENSIONADO PARA ACAR 550 KCMIL

Catenaria		8252.68
Condición	%	Valor
Inicial	28%	2310.75
Vmax	50%	4126.34
EDS	20%	1650.54
Tmax	20%	1650.54

Fuente: Documento para construcción Línea La Guaca – La Mesa – Biblioteca EEB

TABLA V
DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD [2]

Descripción	Distancia (m)
Perfil de Terreno	6.8
Carreteable	8.0
Carretera	8.5

El resultado del plantillado presentó el cumplimiento de las distancias de seguridad en cada uno de los vanos excepto el vano anterior a la estructura T9, con lo cual se plantea la reubicación de la estructura 60 metros atrás, obteniendo resultados satisfactorios.

IV. CRITERIOS DE REMUNERACIÓN DE LA LÍNEA REPOTENCIADA

La implementación de dos circuitos adicionales sobre la misma franja de servidumbre, repercute directamente sobre la remuneración que tendrá la línea de transmisión según la Resolución CREG 011 de 2009, “por la cual se establece la metodología y fórmulas tarifarias para la remuneración de la actividad de transmisión de energía eléctrica en el Sistema de Transmisión Nacional” [3].

Se realizó una comparación de las Unidades Constructivas para la línea con la configuración actual y la línea con la configuración repotenciada, tal y como se especifica en el Capítulo 3.1.4 de La Resolución.

Teniendo en cuenta que la configuración repotenciada no tiene las Unidades Constructivas explícitas en La Resolución, se realizó una extrapolación lineal a la remuneración por UC.

TABLA VI
REMUNERACIÓN POR UC ESTIMADA

UC	DESCRIPCIÓN	Nivel	Valor (miles \$/08)	VIDA ÚTIL
LI221	km de línea, 1 circuito	2	300,396.00	40

LI222	km de línea, 2 circuitos	2	453,582.00	40
LI223	km de línea, 2 circuitos, 2 subconductores por fase	2	617,072.00	40
-	km de línea, 4 circuitos, 2 subconductores por fase	2	773,693.00	40

A. Supuestos a tenidos en cuenta para la Repotenciación

Para el proyecto se asumió que se cumple con cada uno de los criterios de calidad del servicio en el STN indicado en el Capítulo 4 de La Resolución, con el fin de no calcular reducciones por calidad.

Los Valores de AOM se asumieron iguales para el escenario actual y el escenario futuro, con el fin de no realizar comparaciones en este ítem.

Debido a que la repotenciación se realizará sobre la misma infraestructura los Costos Anuales Equivalentes de Servidumbre, tampoco se tuvieron en cuenta.

Según la definición expuesta para Trabajos de expansión [3] en La Resolución 011 de 2009, los costos mensuales por compensaciones para trabajos de expansión, son iguales a cero.

Con motivo de los supuestos anteriormente descritos, sólo se realizó la comparación de las Unidades Constructivas.

B. Cálculos de remuneración de línea actual y línea repotenciada

Los cálculos se realizaron a marzo de 2016 por lo que fue necesario actualizar la remuneración de unidades constructivas a través del IPP correspondiente. En la Tabla VII y la Tabla VIII se presenta los valores de remuneración de la línea actual y la repotenciada respectivamente.

TABLA VII
TOTAL UC LÍNEA ACTUAL

CÓDIGO LÍNEA	UC	CANTIDAD	Valor	Total (miles \$)
			(miles \$/mar 16)	
LinGcaLme21	LI221	0.06	\$369,539.24	\$22,172.35
LinGcaLme21	LI222	2.33	\$557,984.63	\$1,300,104.18
LinGcaLme22	LI221	0.06	\$369,539.24	\$22,172.35
LinGcaLme22	LI222	2.33	\$557,984.63	\$1,300,104.18
Total				\$ 2,644,553.07

TABLA VIII
TOTAL UC LÍNEA REPOTENCIADA

CÓDIGO LÍNEA	UC	CANTIDAD	Valor	Total (miles \$)
			(miles \$/mar 16)	
LinGcaLme21	LI222	0.06	\$557,984.63	\$33,479.08
LinGcaLme21	Nueva	2.33	\$951,776.74	\$2,217,639.81
LinGcaLme22	LI222	0.06	\$557,984.63	\$33,479.08

LinGcaLme22	Nueva	2.33	\$951,776.74	\$2,217,639.81
Total				\$4,502,237.78

La remuneración para la línea repotenciada es mayor en un 70.25%, para Unidades Constructivas. Los valores de UC son expresados en miles COP \$/año, es decir, se tendría una diferencia de \$ 1,857,684,720.00 COP al año.

V. INVERSIÓN DEL PROYECTO

Para la repotenciación es necesario realizar algunas inversiones en la línea de transmisión tales como el nuevo conductor de fases, aisladores y cadenas de aisladores, nuevas crucetas y la estructura que se requiere mover para cumplir con las distancias de seguridad. En la Tabla IX se presentan los costos estimados de cada uno de los suministros en dólares. Se realizaron cotizaciones para conductor con APAR-India y Hentong ZTT-China, para Aisladores con GAMMA-Colombia y para estructuras con FEM-Colombia.

TABLA IX
COSTOS DE INVERSIÓN

<i>Ítem</i>	<i>Valor (US)</i>
Costo Conductor + Transporte	\$294,495.82
Aisladores, Cadenas y Transporte	\$194,088.97
Estructura + Transporte	\$134,063.86
Total	\$488,584.79

VI. COMPARACIÓN INVERSIÓN VS. INGRESO

Con el fin de realizar la comparación de los dos ejercicios realizados de costo de inversión del proyecto y de remuneración del mismo, teniendo en cuenta que sólo se especificó el delta en Unidades Constructivas, fue necesario convertir el costo de inversión a Pesos Colombianos para la misma fecha en la cual se establece la remuneración del activo, es decir, marzo 31 de 2016 contando con una TRM=\$3,022.35 (Fuente: Banrep).

TABLA X
COMPARACIÓN INGRESO VS. INVERSIÓN

<i>Remuneración del Activo</i>	<i>Inversión del Proyecto</i>	<i>Diferencia</i>
1,857,684,720.00	(\$ 1,476,674,240.06)	\$381,010,479.94

De la comparación es posible ver que se tiene un claro valor agregado con la consecución del proyecto, ya que con sólo la remuneración del primer año se costea la inversión, lo cual lo hace un proyecto muy atractivo.

Adicionalmente, la eficiencia y la economía que representa para el Despacho eléctrico, el proyecto de repotenciación de la línea La Guaca – La Mesa 1 y 2, es el proyecto solución para el área oriental del Sistema Bogotá.

VII. CONCLUSIONES

Debido a las restricciones actuales en líneas de transmisión, ambientales, prediales entre otros, los proyectos de repotenciación son la solución a la expansión del sistema eléctrico de un país.

Se requiere pedir a la CREG la inclusión de la nueva Unidad Constructiva “km de línea, cuatro circuitos, dos subconductores”, con el fin de que regulatoriamente se establezca la unidad constructiva.

La ventaja del sobredimensionamiento de las estructuras de la línea de transmisión La Guaca – La Mesa 1 y 2, permite fácilmente el cambio de configuración para implementación de dos circuitos adicionales, sin realizar refuerzos en la estructura y/o las cimentaciones.

Los espacios en las subestaciones asociadas en la repotenciación son los adecuados para los trabajos.

El conductor escogido para las fases de los 4 circuitos cumple con las características de capacidad de transmisión, campo eléctrico y densidad de flujo magnético, Gradiente superficial y ruido audible.

Con un año de remuneración del activo, es posible cubrir los costos de inversión de la repotenciación, incluyendo conductor de fases nuevo, estructura nueva, aisladores y mano de obra.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Consultores Unidos S.A., «Selección de Conductor,» Consultores Unidos S.A., Bogotá, Agosto 1979.
- [2] (RETIE) Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2013.
- [3] (CREG), Comisión de Regulación de Energía y Gas, *Resolución 011 de 2009*, Republica de Colombia: Ministerio de Minas y Energía, 2009.