






# Design of a 34,5 kV line for backup auxiliary power services of the La Arenosa 765 kV Substation

Santiago Abreu , Antonio Otero , Eva Monagas\* , César Rodolfo Ruiz<sup>(†)</sup>,  
Juan C. Ataya , Yonder Guevara 

*Departamento de Potencia, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela*

*La selección de este artículo fue realizada en el marco de la Jornada de Investigación de la Escuela de Ingeniería Eléctrica "Prof. César Rodolfo Ruiz" Octubre 2020, siendo la evaluación, arbitraje, aceptación y edición a cargo de Revista Ingeniería UC.*

**Abstract.-** The purpose of this paper is to present the new design of the 34,5 kV line, originally designed to back up the auxiliary services of the La Arenosa 765 kV Substation, once it was out of service due to a failure, lack of maintenance and later due to vandalism. The route planned for its recovery and commissioning corresponds to the same as the original design located between S/E La Arenosa 765 kV and S/E La Arenosa 400 kV. The design criteria are presented based on the diagnosis of the existing infrastructure, the electrical and mechanical calculations of conductors and structures. The SISTRANS software, which was prepared and validated by the School of Electrical Engineering of the University of Carabobo, was used for the calculations in order to comply with current national regulations. This design contributes to the applied electrical engineering research line of the Power Department.

**Keywords:** substations; auxiliary services; backup systems; design.

## Diseño de línea 34,5 kV para respaldo de energía de los servicios auxiliares de la S/E La Arenosa 765 kV

**Resumen.-** El propósito de este artículo es presentar el estudio de reconstrucción de la línea 34,5 kV, originalmente diseñada para el respaldo de energía de los servicios auxiliares de la S/E La Arenosa 765 kV, una vez que quedó fuera de servicio por una falla, falta de mantenimiento y posteriormente por vandalismo. La ruta prevista para su recuperación y puesta en servicio corresponde a la misma del diseño original ubicada entre S/E La Arenosa 765 kV y S/E La Arenosa 400 kV. Se presentan los criterios de diseño con base en el diagnóstico de la infraestructura existente, los cálculos eléctricos y mecánicos de conductores y estructuras. Para los cálculos se utilizó el software SISTRANS, elaborado y validado por la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo, con el fin de cumplir de las normativas nacionales vigentes. Este diseño aporta a la línea de investigación de ingeniería eléctrica aplicada del Departamento de Potencia.

**Palabras clave:** subestaciones; servicios auxiliares; sistemas de respaldo; diseño.

Recibido: 22 de octubre, 2020.

Aceptado: 18 de enero, 2021.

### 1. Introducción

La subestación La Arenosa es una importante vía para el transporte de energía desde el complejo hidroeléctrico del Guri hacia el occidente de Venezuela, se conecta con la subestación San

Gerónimo y es la vía para interconectar con otros centros de generación. Ella se conecta con la subestación La Horqueta, Yaracuy y Planta Centro por lo cual recibe mensualmente un aproximado de 800.000 MWh, cuenta con un patio de 765 kV y un patio de 400 kV tal como se muestra en la Figura 1.

La importancia de los servicios auxiliares en subestaciones de gran potencia, y especialmente en las subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional, ha sido analizada en diversas investigaciones realizadas en distintas universidades venezolanas que

\* Autor para correspondencia:

Correo-e: evamonagas@gmail.com (E. Monagas)

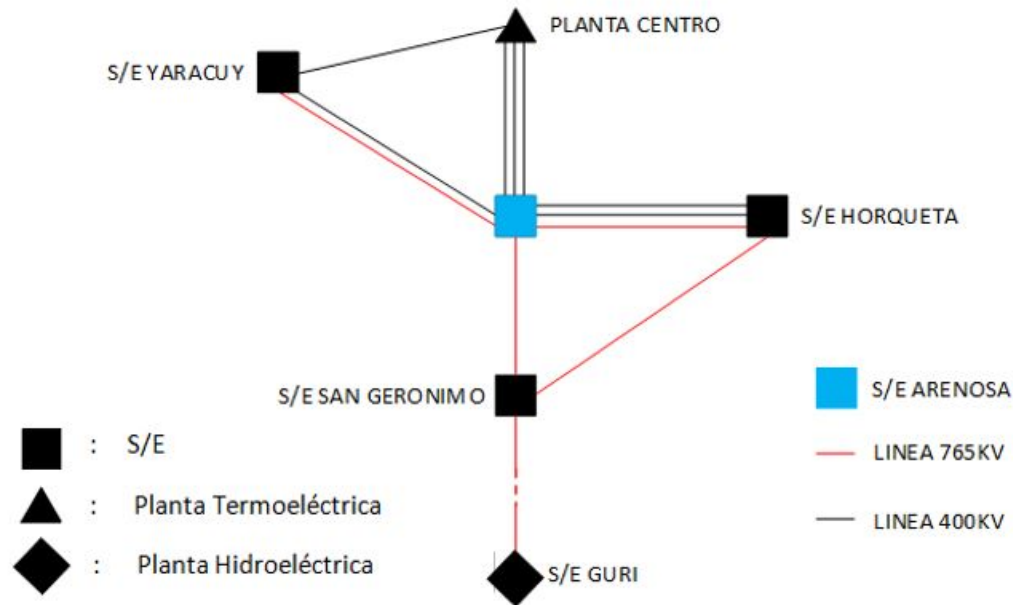


Figura 1: Sistema de anillo S/E Arenosa-S/E Horqueta-S/E Yaracuy [1]

han contribuido con el desarrollo de metodologías para el diseño, análisis del funcionamiento, la confiabilidad de los sistemas de alimentación y desarrollo de programas de mantenimiento.

Dada la importancia de la subestación La Arenosa, el sistema de alimentación de servicios auxiliares (AC y DC) fue diseñado con dos sistemas de respaldo de energía para cubrir los distintos elementos correspondientes a cargas críticas tales como: sistemas de enfriamiento para transformadores, cambiadores de tomas, circuitos de interruptores (control, compresores y motores para accionar), equipos de calentamiento, relés de protección, alarmas, sistema contra incendios, equipos de comunicación, luces de seguridad y cargadores de baterías [2]. También incluye cargas no críticas tales como: iluminación de exteriores e interiores, tomas de uso general en exteriores e interiores, cargas destinadas al mantenimiento (equipos para tratamiento de aceite, equipos de transporte para gas SF<sub>6</sub>, entre otros) y cargas destinadas a la construcción (soldadoras, taladros, remolques, entre otros) [2].

En este caso, los servicios auxiliares del patio de 765 kV contaban con alimentación principal por medio de los terciarios (20 kV) de 2 bancos de

autotransformadores, y dos sistemas de respaldo: 1) una línea de 34,5 kV (aproximadamente 600 m) alimentada desde el patio de 400 kV y 2) un generador diésel de 440 V con capacidad de 1.500 kVA.

La línea de 34,5 kV alimentada del patio de 400 kV se deriva de una barra alimentada por los terciarios (34,5 kV) de los 2 bancos de autotransformadores (ATR1 y ATR2) y un generador diésel de 1.500 kVA también como respaldo de acuerdo a la actualización de planos en sitio que se muestra en la Figura 2 [1]. La línea de interconexión entre patios funciona mediante la conexión por un supervisor de voltaje y un seccionador en el patio de 765 kV, mientras que el otro extremo de la línea se encuentra normalmente abierto por medio de un interruptor de bajo volumen de aceite a la barra de servicios auxiliares (en adelante SSAA), lo cual permite una ausencia de flujo de potencia cuando se opera con los otros medios de alimentación.

En la fecha del 06/10/2006 se deja fuera de servicio a la línea de SSAA que conecta los patios de 765 kV y 400 kV, debido a una falla en el autotransformador N°2 de 400 kV / 230 kV / 34,5 kV por una sobretensión que ocasionó el

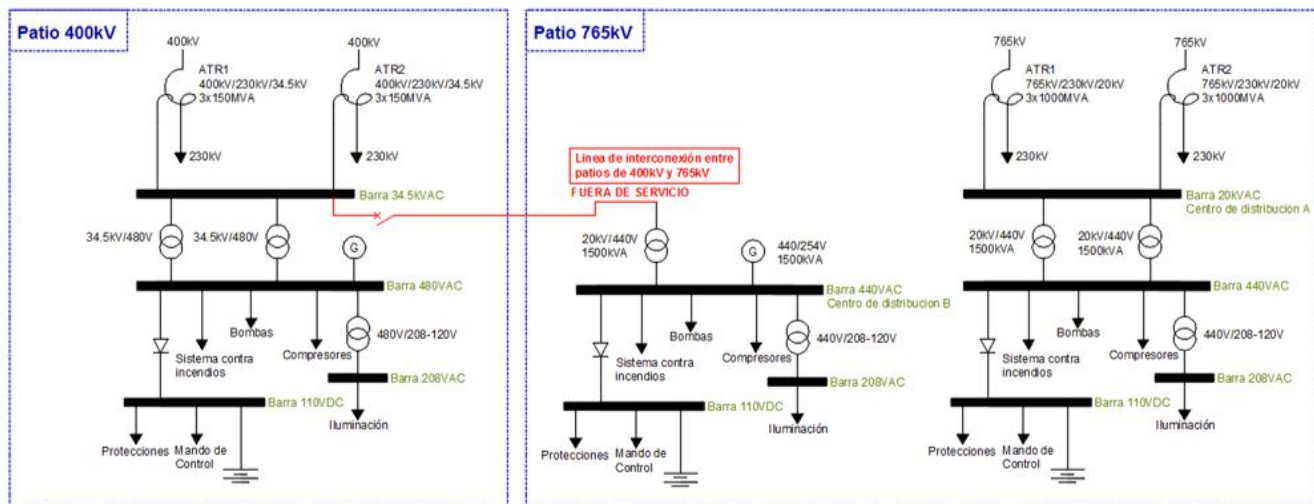


Figura 2: Diagrama de alimentación para SSAA de los patios de 765 kV y 400 kV [1]

deterioro de diversos elementos producto de un tiempo largo de despeje de la falla (30 ciclos) [3]. Una vez despejada la falla, los conductores y varios elementos (copas terminales, aisladores de vidrio, pararrayos, fusibles, conectores y contactos de seccionadores) presentaron daños.

La empresa también informó que realizó una prueba de aislamiento al transformador 34,5 kV / 440 V que conecta la línea con el centro de distribución B de los servicios auxiliares en 765 kV y este arrojó valores normales. Posteriormente, la falta de mantenimiento correctivo y el hurto en secciones subterráneas dejó desmantelada y fuera de servicio la línea.

Por su parte, la Universidad de Carabobo, a través de sus líneas de investigación y desde el año 2002, realiza una aplicación de software denominado SISTRANS, y desarrollado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, para realizar cálculos para el diseño de líneas de transmisión y distribución.

## 2. Metodología

Para realizar el diseño se siguió el siguiente diseño metodológico:

1. Fijación de criterios de diseño. De acuerdo a la información de los componentes de la red existente, el proyecto original, informes de fallas relacionadas con la puesta fuera de servicio de la línea 34,5 kV de interconexión

de servicios auxiliares de los patios de 765 kV y 400 kV en la S/E Arenosa, perfil longitudinal del terreno, datos climatológicos y la revisión en campo de las condiciones actuales de funcionamiento de equipos y componentes de la línea original se fijan criterios de diseño considerando los componentes que pueden ser reutilizados, los que deben ser desincorporados.

2. Cálculo del conductor. Para la especificación del conductor de la línea de 34,5 kV se consideran las normas de diseño, la potencia de la línea, ampacidad, el cálculo térmico, la caída de tensión, las distancias mínimas, y el cálculo mecánico del conductor.
3. Cálculo de los soportes. Para verificar las estructuras se consideran las normas de diseño, la carga vertical admisible, el vano máximo por carga, la carga longitudinal y transversal, el vano máximo por flecha máxima, se conforman la hoja de localización y de tensado, y se dibuja el tendido de acuerdo al perfil del terreno.
4. Validación de los resultados por medio de herramienta computacional SISTRANS.

Aunque el diseño y modelación de líneas de distribución en Venezuela está regida por las Normas de la empresa estatal distribuidora

Corpoelec, que establecen la metodología, los análisis, las técnicas, los materiales, entre otros, es importante considerar que aún el tema del diseño de líneas sigue vigente y abierto a propuestas de innovación.

En este caso, las decisiones del aprovechamiento de postes existentes tratando de reducir los esfuerzos mecánicos involucra la revisión de cómo organizar las líneas en los postes, cómo reducir las distancias sin afectar la seguridad, cuáles son las nuevas tecnologías en herrajes y arreglos, cómo mejorar las técnicas de mantenimiento con líneas energizadas, cómo aumentar los ciclos de vida de los activos, entre otros [4].

En este proyecto, aunque las limitaciones normativas se imponen para el diseño, el mercado de nuevos productos y la preparación técnica de los líderes de proyectos en la industria eléctrica [5], son determinantes en el desempeño de la misma.

### 3. Resultados

#### 3.1. Criterios de diseño

Los criterios para el nuevo diseño de línea 34,5 kV para respaldo de energía de los servicios auxiliares de la S/E La Arenosa 765 kV son los siguientes:

1. Cumplimiento de Normas Cadafe – Corpoelec.
2. Aprovechamiento de las estructuras y soportes existentes en buen estado incluyendo los equipos de protección y soporte en el pórtico de 765 kV (Edelca) todo esto debido al mantenimiento realizado de fusibles, seccionadores, pararrayos y soportes dañados.
3. Diseño con base a la potencia del transformador de 1.500 kVA, 34,5 kV / 440 V ubicado en el patio de 765 kV.
4. Cambio del conductor en tramo subterráneo.
5. Cambio del interruptor de potencia.

#### 3.2. Cálculo del conductor

La norma Cadafe Nº 53-87: Normas de diseño para líneas de alimentación y redes distribución. Normalización de calibres primarios y secundarios [6]. Especifica los calibres que pueden utilizarse para las condiciones de trabajo establecidas en este proyecto, se hace referencia al menor calibre permitido (AWG 2) y el mayor (AWG 4/0) así como el material del conductor.

La verificación de caída de tensión en la línea permite asegurar que el conductor seleccionado permita una variación de tensión dentro de los rangos establecidos por las normas pertinentes. Para un sistema de subtransmisión 34,5 kV la norma Cadafe 42-87 de Regulación de tensión en el sistema de distribución establece que la caída de tensión permitida no debe ser mayor al 3,5 % en media tensión [7]. Considerando un factor de potencia 0,8 inductivo en el sistema y una distancia de 700 m de línea. Los resultados del cálculo de caída de tensión, en las condiciones indicadas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Caída de tensión para conductores

| Calibre AWG | Kd 10-3 | %ΔV      |
|-------------|---------|----------|
| 2           | 0,0925  | 0,097125 |
| 1/0         | 0,0656  | 0,06888  |
| 2/0         | 0,0557  | 0,058485 |
| 3/0         | 0,0489  | 0,051345 |
| 4/0         | 0,0426  | 0,04473  |

Longitud = 0,7 km; kVA = 1.500

Ya que todos los calibres cumplen las condiciones de ampacidad y caída de tensión se decide seleccionar el conductor de menor calibre ya que este tendrá un menor costo con respecto a los demás, siendo AAAC 6201 T81 AWG #2.

#### 3.3. Cálculo térmico del conductor

Se realizó mediante una hoja de cálculo en Excel el cálculo térmico del conductor para diferentes potencias transmitiéndose en la línea, dicho cálculo térmico está basado en el método de Westinghouse, el cálculo arrojó que para la potencia nominal de transmisión (1.500 kVA) se tiene una temperatura de operación en el conductor  $T = 30,99^{\circ}\text{C}$ .

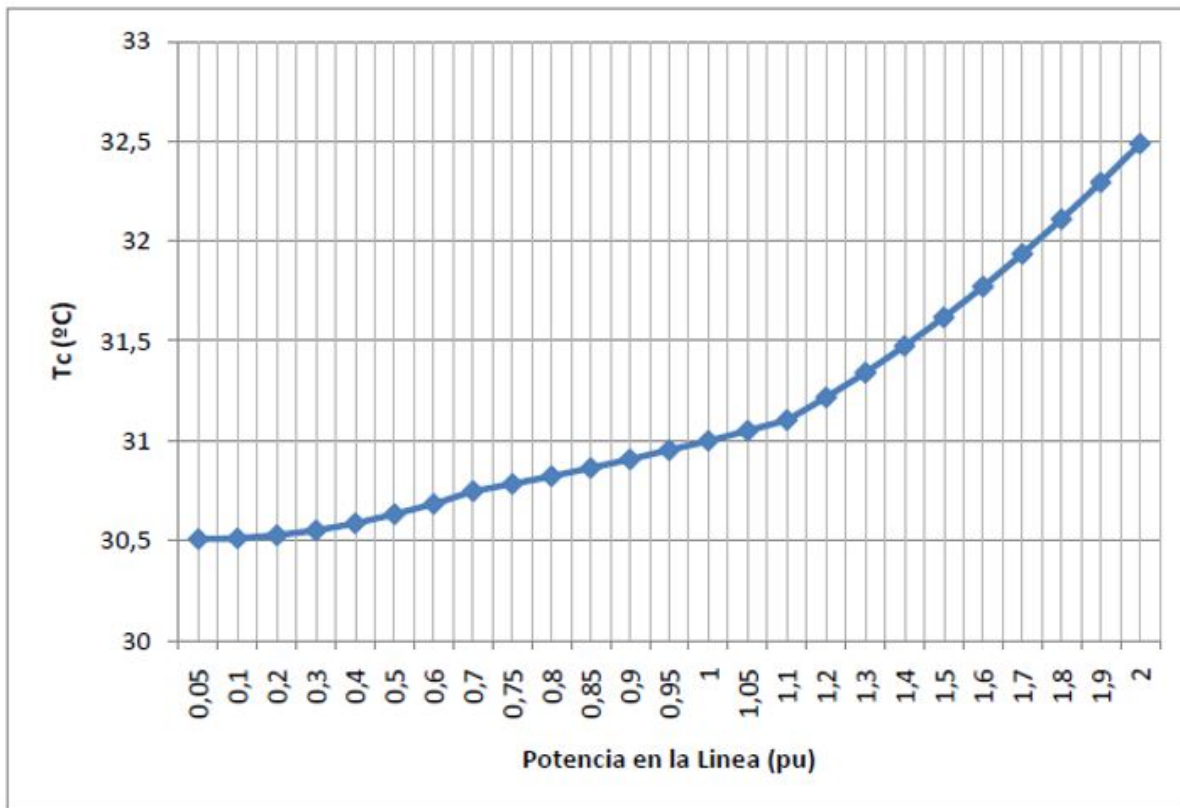


Figura 3: Cálculo térmico del conductor

Todo esto partiendo de la ecuación (1) de equilibrio térmico (Potencia absorbida = Potencia disipada), la ecuación resultante será [8]:

$$R \cdot I^2 + a \cdot S \cdot \left(\frac{A}{2}\right) = (w_r + w_c) \cdot A, \quad (1)$$

donde:

- I*: Corriente del conductor, (A)
- R*: Resistencia efectiva del conductor, (Ω/pie)
- a*: Coeficiente de absorción solar
- S*: Intensidad de radiación, (W/pulg<sup>2</sup>)
- A*: Área transversal del conductor por unidad de longitud, (pulg<sup>2</sup>/pie)
- w<sub>r</sub>*: Potencia disipada por radiación, (W/pulg<sup>2</sup>)
- w<sub>c</sub>*: Potencia disipada por convección, (W/pulg<sup>2</sup>)

### 3.4. Diseño de línea

En la norma de Cadafe NR apartado 2-04-04 se expresan las temperaturas a ser utilizadas en el cálculo mecánico de conductores para redes de distribución y subtransmisión. Como la línea de

34,5 kVA de interconexión de servicios auxiliares se encuentra aproximadamente a una altura de 440 m respecto al nivel del mar, se consideran las siguientes temperaturas: máxima = 60 °C, media = 28 °C y mínima = 10 °C.

La disposición existente en el tramo de estudio es una instalación en forma de triángulo con crucetas de 2,44 m colocada a 10 cm del tope del poste. Lo establecido en la norma de Cadafe 55-87 la separación mínima horizontal entre conductores de un mismo circuito viene dada por la expresión (2), donde se podrá obtener la siguiente flecha máxima:

$$S = 0,762 \cdot V + 3,68 \cdot \sqrt{fmax} \quad (2)$$

$$\rightarrow fmax = 607,6 \text{ cm.}$$

El cálculo mecánico del conductor fue realizado siguiendo lo establecido por la norma de Cadafe 55-87 Normas de diseño para las líneas de alimentación y redes de distribución: Cargas mecánicas [9] y se realiza para verificar el funcionamiento del mismo en condiciones climatológicas extremas y fundamentar la selección de postes y estructuras.

Sin embargo, el criterio de diseño establece usar las estructuras o postes existentes, por lo cual, las características de los postes existentes se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Dimensiones de postes existentes

| Altura               | Lo        | Diámetro            |         |         |
|----------------------|-----------|---------------------|---------|---------|
|                      |           | D1                  | D2      | D3      |
| Total (m)            | EMP (m)   | (mm)                | (mm)    | (mm)    |
| 12,2                 | 1,8       | 219,1               | 168,3   | 139,7   |
| Juntas               |           | Espesor de Sección  |         |         |
| J1 (mm)              | J2 (mm)   | E1 (mm)             | E2 (mm) | E3 (mm) |
| 460                  | 356       | 7                   | 6,3     | 5,5     |
| Carga en Cumbre (kg) | Peso (kg) | Longitud de Sección |         |         |
|                      |           | L1 (m)              | L2 (m)  | L3 (m)  |
| 460                  | 356       | 7                   | 6,3     | 5,5     |

El grado de esbeltez mecánico para los postes de acero según lo establecido en la norma de Cadafe 449-05 [10], es mayor a 105. De esta manera, el poste seleccionado es: 40' o 12,2 m con secciones de 8" - 6 5/8" - 5 1/2", Ec. 437 kg, Peso: 355 kg. Esta selección se corresponde con lo instalado actualmente.

Para el cálculo de la fuerza vertical se consideran los soportes de 3 secciones (a una altura total de 12,2m de acuerdo a los postes existentes). Será calculada aplicando la fórmula de Euler (ecuación (3)), la cual permite determinar la fuerza crítica vertical admisible.

$$F_{cvadm} = \frac{K \cdot I_c \cdot E \cdot \pi^2}{\eta \cdot L^2 \cdot 100}, \quad (3)$$

donde:

$F_{cv}$ : Fuerza crítica vertical máxima admisible, [kg]

$I_c$ : Momento de inercia equivalente, [cm<sup>4</sup>]

$E$ : Módulo de elasticidad del acero, [20 300 kg/cm<sup>2</sup>]

$\eta$ : Coeficiente de seguridad, [2,5]

$K$ : Coeficiente dependiente del modo de fijación de los extremos

Aunque no se realiza una comprobación vía excavación o calicata de las fundaciones existentes, en las Figuras 4, 5 y 6 se observan los planos de las fundaciones originales que muestra el cumplimiento con lo establecido en las normas.

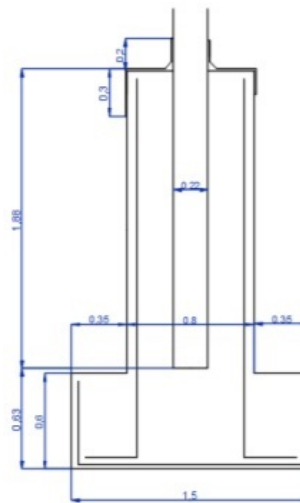


Figura 4: Detalles de postes 2, 3, 5 y 9

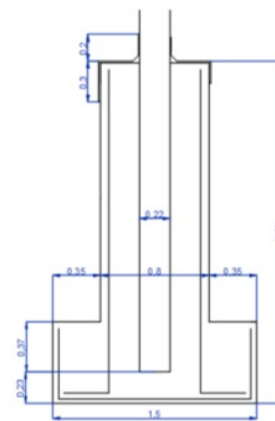


Figura 5: Detalles de postes 3, 6, 7 y 8

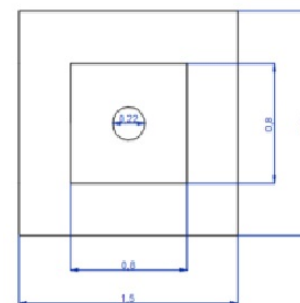


Figura 6: Vista en planta de postes 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9

Se debe comprobar que se cumple la siguiente condición  $F_v < F_{cvadm}$ , donde  $F_v$  se obtiene considerando el peso de crucetas, herrajes, aisladores, poste, una persona, conductor y fuerzas

Tabla 3: Fuerzas vertical crítica admisible según sujeción

| Tipo de sujeción            | K    | L    | I1 (cm4) | I2 (cm4) | I3 (cm4) | Ie (cm4) | Fcvadm (kg) |
|-----------------------------|------|------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| 2 Empotrado                 | 4    | 0,5L | 2625,75  | 1053,42  | 522,89   | 1731,05  | 149130,49   |
| 1 empotrado<br>1 articulado | 2    | 0,7L | 2625,75  | 1053,42  | 522,89   | 1731,05  | 38043,49    |
| 2 articulados               | 1    | 1L   | 2625,75  | 1053,42  | 522,89   | 1731,05  | 9320,66     |
| 1 libre 1 empotrado         | 0,25 | 1L   | 2625,75  | 1053,42  | 522,89   | 1731,05  | 2330,16     |

del viento. Que para el caso planteado da como resultado  $FV = 934,33$  kg, menor que la fuerza vertical crítica admisible que se obtuvo en la Tabla 3.

En los postes de alineación se debe cumplir que la fuerza que ejerce el viento sobre los conductores ( $Fvc$ ) sea menor o igual al esfuerzo útil disponible en cumbre del poste, donde el esfuerzo útil en la cumbre del poste ( $E.U$ ) es equivalente al esfuerzo cumbre ( $E.C$ ). Una vez conocidas estas condiciones, sabiendo ciertos parámetros constructivos del poste y valores climatológicos del ambiente como es la presión del viento máximo, valor que se encuentra normalizado por Cadafe como  $55 \text{ kg/m}^2$  es posible calcular cuál será el vano máximo permitido, en la Tabla 4 se muestran los parámetros obtenidos en el proceso de cálculo y el vano máximo resultante.

Tabla 4: Vano máximo por carga del viento

|            |         |
|------------|---------|
| Pvc (kg/m) | 55      |
| E.C (kg)   | 437     |
| Fvp1 (kg)  | 126,184 |
| Fvp2 (kg)  | 45,986  |
| Fvp3 (kg)  | 38,172  |
| Fvp (kg)   | 137,71  |
| E.U (kg)   | 299,29  |
| Smax       | 244,458 |

El vano máximo permitido por carga de viento en el conductor obtenido fue  $S_{max} = 244$  m, se puede observar comparando con los vanos reales que se encuentran físicamente en el tramo de línea de estudio que todos los vanos cumplen esta condición, teniendo un vano máximo de 61 m.

Las cargas mecánicas longitudinales ocurren en la aparición de la rotura de un conductor, generando un desbalance en el equilibrio de tensiones sobre

el soporte. La norma Cadafe 55-87 establece las condiciones que deben cumplirse para considerar el soporte adecuado, los valores de tensión según el tipo de soporte (suspensión o amarre). Para que el soporte no se someta a deformaciones debe cumplir la ecuación (3.4):

$$\text{coef.de seguridad} = \frac{2,5 \cdot E.C}{E.R} \leq 1,3;$$

$$E.R = \sqrt{T^2 + E.C^2},$$

donde:

$E.C$ : Esfuerzo en cumbre del poste, [kg]

$E.R$ : Esfuerzo resultante en la cumbre, [kg]

$T$ : Tensión reducida, [kg]

Los resultados para cada poste que se encuentran reflejados en la Tabla 5.

Una vez realizados todos los cálculos, se procedió finalmente a dibujar las catenarias que modelarían el tendido eléctrico para las condiciones establecidas, esto tiene como objetivo comprobar que no se irrespete la distancia mínima hacia el suelo (6,75 m). Dicho tramo de la plantilla representaría el segmento de catenaria similar al conductor físicamente una vez fuese tendido, implementando la ecuación (4):

$$y = C \cdot \cosh\left(\frac{x}{C}\right), \tag{4}$$

donde:

$C$ : Parámetro en caliente, (m)

$X$ : distancia en eje horizontal, (m)

$Y$ : distancia en eje vertical, (y)

La distancia que existe en cada tramo se muestra en la Tabla 6, así como en la Figura 4 se encuentra el tendido del conductor, pudiendo observarse como

Tabla 5: Coeficientes de seguridad para cargas longitudinales

| Poste | Amarre | Suspensión | E.C (kg) | T (kg)  | E.R (kg) | Coef. Seguridad |
|-------|--------|------------|----------|---------|----------|-----------------|
| 2     | X      |            | 437      | 135,875 | 457,636  | 2,387           |
| 3     | X      |            | 437      | 135,875 | 457,636  | 2,387           |
| 4     |        | X          | 437      | 67,9375 | 442,249  | 2,47            |
| 5     | X      |            | 437      | 135,875 | 457,636  | 2,387           |
| 6     |        | X          | 437      | 67,9375 | 442,249  | 2,47            |
| 7     |        | X          | 437      | 67,9375 | 442,249  | 2,47            |
| 8     |        | X          | 437      | 67,9375 | 442,249  | 2,47            |
| 9     | x      |            | 437      | 135,875 | 457,636  | 2,387           |

en todos los tramos se cumple la condición de distancia mínima al suelo, línea representada de color verde.

Tabla 6: Longitud del tendido aéreo

| Tramo             | Long. Conductor (m) |
|-------------------|---------------------|
| S <sub>1-2</sub>  | 50,4                |
| S <sub>2-3</sub>  | 52                  |
| S <sub>3-4</sub>  | 64,6                |
| S <sub>4-5</sub>  | 64,4                |
| S <sub>5-6</sub>  | 50,8                |
| S <sub>6-7</sub>  | 50,3                |
| S <sub>7-8</sub>  | 50,5                |
| S <sub>8-9</sub>  | 60,7                |
| S <sub>9-10</sub> | 27,5                |

La Figura 7 representa el tendido del conductor. Se puede observar como la línea verde hace referencia a la distancia mínima, la cual no debe ser traspasada por el conductor que se encuentra dibujado en azul. En dicha figura se puede observar como el diseño cumple lo establecido con la norma.

En correspondencia con el trazo demarcado en rojo de la Figura 2, el proyecto comprende lo siguiente:

- Instalación de tramo trifásico subterráneo de cable 1P MV-90 con aislamiento XLPE para 36 kV calibre #2 AWG en bancada existente, siguiendo el Std 525-2016 [11].
- Instalación de red trifásica aérea con conductor de aleación 6201 #2 AWG.
- Red de postes de acuerdo a Figura 7 donde se aprovechan los existentes.
- Para el tendido de la línea y en correspondencia con la Tabla 5, se consideran los

herrajes y materiales establecidos para cada tipo de sujeción, ya sea amarre o alineación, establecidos de acuerdo a las Normas Cadafe 274-91 [12], 269-91 [8], 276-91 [13], 265-88 [14], 264-91 [15], 259-91 [16] y 26-01 [17].

- Instalación de seccionador de línea en 34,5 kV de acuerdo a Norma Cadafe 39-87 [18].
- Instalación de aisladores para línea aérea de acuerdo a la Tabla 5, ya sea en amarre, con aisladores de suspensión, o alineación, con aisladores de espiga.
- Instalación de puesta a tierra y pararrayos en poste con seccionador según Norma Cadafe 46-87 [19].
- Suministro e instalación de interruptor de potencia de 36 kV de SSAA.

Se estima que la reconstrucción de la línea requiera una inversión aproximada de \$10.300,00 dólares americanos desde el pórtico de La Arenosa 765 kV hasta el pórtico de La Arenosa 400kV incluyendo el interruptor de potencia en 36kV, y se estima que el tiempo de ejecución de la obra sea de 10 días sin considerar los tiempos de procura de materiales.

#### 4. Discusión de resultados

Partiendo de la revisión del proyecto original y la revisión de campo se fijaron los criterios de diseño de la línea de 34,5 kV para los servicios auxiliares donde el principal fundamento de diseño fue la aplicación de las Normas Cadafe – Corpoelec. Uno de los criterios fundamentales para iniciar los



donde se observa como nunca se excede el esfuerzo cumbre del poste. Con el cálculo mecánico del conductor se verificaron resultados de tensión y flechas para diferentes estados ambientales y condiciones de trabajo, comprobando que se respeta la distancia mínima entre conductor a tierra especificado por Cadafe.

A pesar de consolidar una propuesta técnica y económica, este diseño no soluciona algunos problemas observados que pueden seguir incidiendo en los sistemas de respaldo de energía tales como: la falta de vigilancia y el vandalismo, falta de personal calificado y alta rotación del personal, falta de planificación, poca inversión y falta de mantenimiento.

Para este proyecto los datos suministrados sostienen su validez cualitativa y cuantitativa en la información suministrada por la propia empresa distribuidora y el método aplicado sostiene su validez en las Normas nacionales Cadafe. Aunque el software SISTRANS, desarrollado intramuros, ayuda a los cálculos y validación de resultados, requiere mejoras en la interfaz gráfica, en la disponibilidad y usabilidad para que pueda convertirse en producto masificable.

Finalmente, aunque la investigación se justifica en la pertinencia social que busca resolver problemas del sector eléctrico y su adscripción académica para aportar a las líneas de investigación, no puede garantizarse el impacto de la solución si no logra vincularse a la decisión de la ejecución proyecto.

## 5. Conclusiones

El propósito del estudio de reconstrucción de la línea 34,5 kV que ofrece el respaldo de energía de los servicios auxiliares de la S/E La Arenosa 765 kV muestra que el conductor seleccionado es aleación 6201 #2 AWG de acuerdo al cálculo por ampacidad, cálculo térmico, por caída de tensión y por cálculo mecánico. A diferencia del establecido en el diseño original (Aleación 6201 4/0 AWG), esta investigación determina que no es necesario tal sobredimensionamiento.

Esto mejora las condiciones para la reutilización del soporte estructural existente determinada en el criterio de diseño sin alteración de la ruta

respecto al diseño original. Desde el punto de vista metodológico los datos utilizados para los cálculos fueron validados y revisados con la empresa distribuidora y la metodología responde a lo establecido en las Normas vigentes.

En este punto, es importante considerar que las innovaciones para el diseño de líneas y, específicamente, el rediseño considerando aprovechamiento de estructuras y soportes existentes, pueden aumentar el abanico de soluciones y costos cuando se incorporan nuevos materiales y el ejercicio del liderazgo para el diseño e implementación de nuevas normas técnicas.

En cuanto al uso del software SISTRANS como técnica de procesamiento y análisis de la información se concluye que requiere nuevos proyectos de mejora en la interfaz gráfica, en la disponibilidad y usabilidad. Aunque esta herramienta fue aplicada en una línea de 34,5 kV; aún queda por validar su uso a otros niveles de tensión.

Finalmente, esta investigación también permitió determinar que la vinculación de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo con la empresa distribuidora para el aporte a las soluciones técnicas a los problemas del sistema, aún no se consolida de manera sostenida ante la cantidad de problemas observados. En este caso, los proyectos para solucionar problemas de líneas de distribución y subtransmisión pueden convertirse en una línea de investigación específica de la Universidad de Carabobo.

## 6. Referencias

- [1] S. Abreu and A. Otero, “Diseño de línea de distribución en 34.5 kV de servicios auxiliares entre subestaciones de transmisión. Caso estudio: tramo S/E La Arenosa 765 kV a S/E La Arenosa 400 kV. CORPOELEC,” Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Electricista, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2018.
- [2] IEEE P1818/D6.2, *IEEE Draft Guide for the Design of Low Voltage Auxiliary Systems for Electric Power Substations*, IEEE Std, Jan. 2017.
- [3] J. Perez, “Falla de la línea Cadafe-Edelca a 34,5 kV, asociada a la alimentación de respaldo de los servicios auxiliares de corriente alterna de S/E La Arenosa, ocurrida el 08-10-2006,” Cadafe-Edelca, Venezuela, Informe interno de Falla, 2006.

- [4] R. G. Rodriguez, “Innovative new live line tool and framing designs,” in *2017 IEEE 37th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVII)*, Managua, 2017, pp. 1–6.
- [5] G. Gela, “IEC TC78 “Live working”: Historical overview, new structure, programme of work, and market relevance,” in *2016 IEEE PES 13th International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation & Live-Line Maintenance (ESMO)*, Columbus, OH, USA, 2016, pp. 1–4.
- [6] Cadafe , 53–87, *Normas de diseño para líneas de alimentación y redes de distribución: normalización de calibres primarios y secundarios sistema de distribución*, Cadafe, Venezuela, 1987.
- [7] Cadafe , 42–87, *Normas de diseño para líneas de alimentación y redes de distribución: regulación de tensión en los sistemas de distribución*, Cadafe, Venezuela, 1987.
- [8] Cadafe , 269–91, *Norma herrajes de distribución: asiento para crucetas*, Cadafe, Venezuela, 1991.
- [9] Cadafe , 55–87, *Normas de diseño para líneas de alimentación y redes de distribución: cargas mecánicas*, Cadafe, Venezuela, 1987.
- [10] Cadafe , 449–05, *Norma poste de secciones tubulares de acero*, Cadafe, Venezuela, 2005.
- [11] IEEE Std 525-2016 (Revision of IEEE Std 525-2007), *IEEE Guide for the Design and Installation of Cable Systems in Substations*, IEEE Std, 2016.
- [12] Cadafe , 274–91, *Norma herrajes de distribución: cruceta*, Cadafe, Venezuela, 1991.
- [13] Cadafe , 276–91, *Norma herrajes de distribución: perno roscado a todo lo largo*, Cadafe, Venezuela, 1991.
- [14] Cadafe , 265–88, *Norma herrajes de distribución: abrazadera universal*, Cadafe, Venezuela, 1988.
- [15] Cadafe , 264–91, *Norma de herrajes de distribución: pletina*, Cadafe, Venezuela, 1991.
- [16] Cadafe , 259–91, *Norma herrajes de distribución: grillete*, Cadafe, Venezuela, 1991.
- [17] Cadafe , 26–01, *Norma de herrajes de distribución: espiga para aisladores*, Cadafe, Venezuela, 2001.
- [18] Cadafe , 39–87, *Norma especificación técnica para seccionadores y sus accesorios*, Cadafe, Venezuela, 1987.
- [19] Cadafe , 46–87, *Normas de diseño para líneas de alimentación y redes de distribución: protección contra sobretensiones*, Cadafe, Venezuela, 1987.

## Prof. César Rodolfo Ruiz<sup>†</sup>



Ingeniero Electricista de la Universidad Central de Venezuela (1964). Se desempeñó como Jefe Técnico, Jefe de Distribución, Supervisor de Mediciones, Gerente de Producción y Gerente de Región en Cadafe, y también fue Director en la Energía Eléctrica de Barquisimeto (Enelbar).

Fue Profesor de la Universidad de los Andes (1967 a 1969) y de Universidad de Carabobo (1985 a 2019).

En la Universidad de Carabobo fue Profesor del Departamento de Potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica donde trabajó en las cátedras de Transmisión de Energía, Sistemas de Distribución y Protecciones Eléctricas. Fallece en funciones como Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica el 01/09/2019.