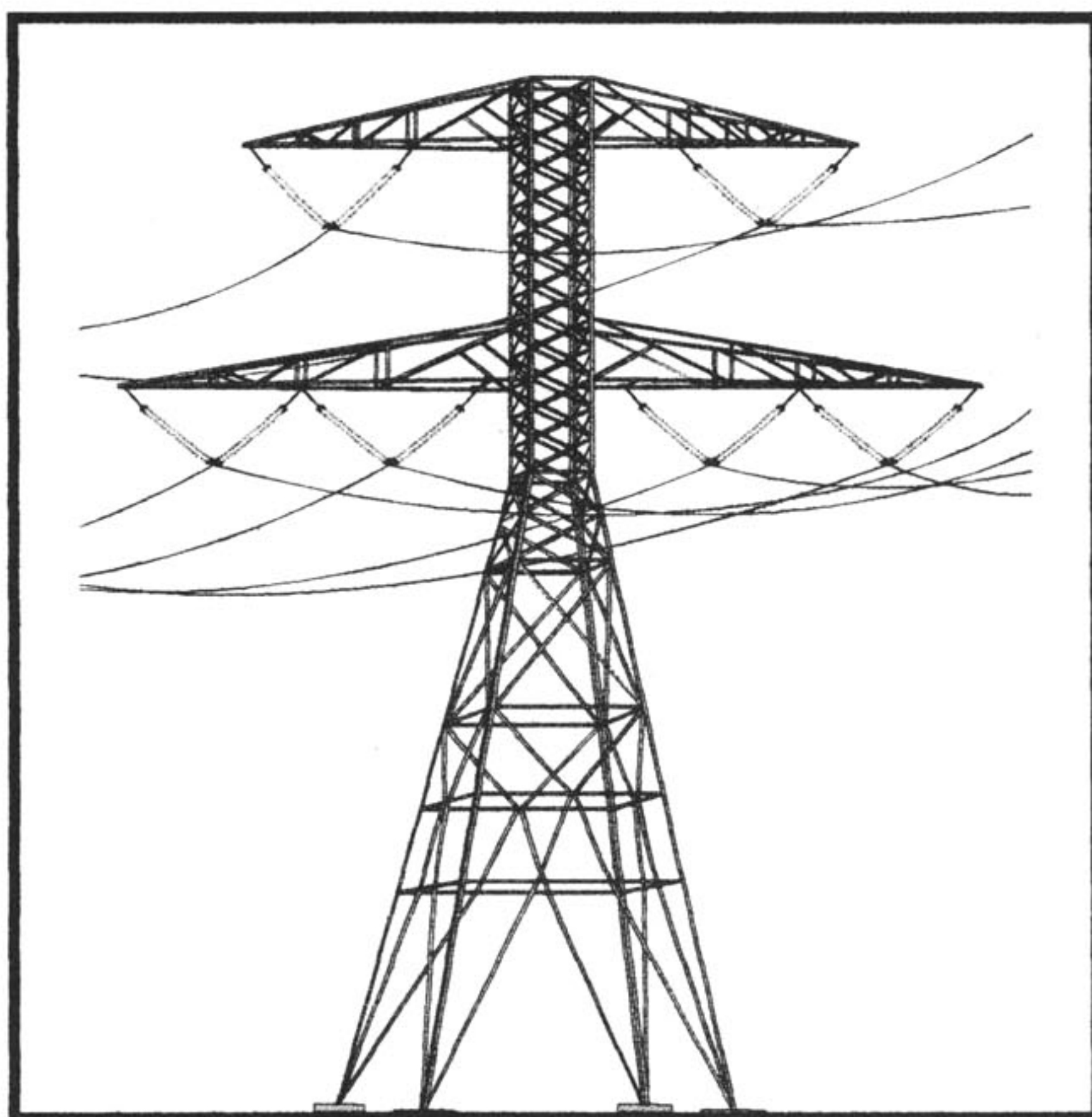


# Línea eléctrica compacta a 33 kV



□ **Ibia Leizán González**  
Ingeniera Electricista  
Profesora Asistente  
Departamento de  
Electroenergética  
Universidad de Oriente  
Santiago de Cuba  
CUBA

## RESUMEN

Se muestran los efectos de acercar las fases y aumentar la cantidad de subconductores en líneas eléctricas aéreas de distribución de fases planas a 33 kV. Se amplían las posibilidades de operar las líneas en regímenes eficientes por la cercanía entre la potencia transmitida y la natural de la línea; siendo factible transferir, al mismo nivel de voltaje,

bloques de potencia muchos más elevados.

## ABSTRACT

*This paper shows the effects to approach phases and augment the number of subconductor in overhead power distribution lines at 33 kV with phases on a plane, expanding the possibility to operate lines in efficient managements because transmitted power differs very little from the surge-impedance loading; being feasible to transfer greater loading quantities with the same voltage level.*

## KEYWORDS

*Sistemas de Potencia y Distribución.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La elevación de la capacidad de transmisión de las líneas aéreas de corriente alterna tradicionalmente ha estado encaminada en dos vertientes: la elevación del nivel de voltaje y el perfeccionamiento de las características constructivas de la línea.

La asimilación de voltajes de transmisión cada vez más altos tropieza con las justificadas dificultades desde el punto de vista tecnológico. Por otro lado, la posibilidad de incrementar la capacidad de transmisión, actuando sobre la configuración de



la línea es una variante que reporta gran aplicación y beneficio, sobre todo en la búsqueda de soluciones que reduzcan el efecto ambiental negativo y las pérdidas de energía anuales entre generación y consumo, que en los países en desarrollo ascienden al 17 por ciento [1].

## 2. LÍNEAS COMPACTAS

El término de línea compacta fue introducido en Estados Unidos para denotar a las líneas aéreas que se caracterizan por una disminución de la distancia entre fases en comparación a las líneas tradicionales. Teóricamente pueden emplearse en cualquier nivel de voltaje y la distancia mínima entre fases está determinada, entre otros aspectos, por los sobrevoltajes permisibles normados para el aire.

Uno de los factores que ha provocado que este tipo de línea llame la atención en diversas latitudes es que generalmente es más barata que su equivalente de construcción tradicional [2].

Una variante que incrementa las posibilidades de las líneas compactas es la construcción de fases multiconductoras, o sea, la sección de la fase se distribuye en varios subconductores, resultando un empleo más completo de la superficie y de la sección de los conductores. Se plantea que con el aumento del número de componentes en la fase, el peso de la estructura aumenta no proporcionalmente al número de subconductores, incluso puede lograrse que en 1 km. de línea el costo específico de una línea compacta multiconductora sea menor que el de su equivalente de construcción tradicional [3].

### 2.1 La relación potencia a transmitir - potencia natural (S/P<sub>n</sub>)

Alcanzar el régimen natural de transmisión, donde coinciden la potencia transmitida S y la natural P<sub>n</sub> de la

línea, es el objetivo inicial de la compactación, debido que el régimen con una marcada desigualdad entre S y P<sub>n</sub>, que con frecuencia se presenta en las líneas actuales (generalmente la potencia transmitida es mucho mayor que la natural) produce el incremento de la caída de voltaje y de las pérdidas de energía en la línea.

La potencia natural P<sub>n</sub> es la carga a la cual los MVA reactivos producidos por el voltaje de línea V en kV aplicado a la susceptancia por km de la línea son iguales a los MVA reactivos consumidos por la corriente de línea en la reactancia por km. [4]:

$$P_n = \frac{V^2}{\sqrt{L/C}} \tag{1}$$

Donde:

- L - Inductancia de la línea por unidad de longitud.
- C - Capacidad de la línea por unidad de longitud.

El denominador de la ecuación (1) se conoce como la impedancia característica de la línea y parte del concepto de "línea ideal" [4] o "sin pérdidas" [5], en el cual la resistencia R es cero, consideración que puede llevar a errores en el caso de las líneas de distribución a 33 kV, las que de acuerdo con las aproximaciones admitidas al trabajar con sus parámetros, pertenecen al grupo de las líneas cortas (de longitud menor que 80 km.), en las que se desprecia el valor de la susceptancia capacitiva total y que se representan sólo por la impedancia, con la resistencia y la reactancia inductiva.

Para estas líneas es adecuado trabajar con la definición general de Z<sub>c</sub>:

$$Z_c = \sqrt{z/y} \tag{2}$$

Donde:

- z, y - Impedancia en serie y admitancia en paralelo por unidad de longitud de la línea, respectivamente.

En las configuraciones actuales de las fases en las líneas de 33 kV [6], el mayor valor de potencia natural que se puede obtener no sobrepasa los 3,56 MW.

El comportamiento de líneas aéreas de diferentes voltajes, o de igual voltaje y desiguales entre sí, puede compararse fácilmente si la carga o potencia transmitida S se expresa en términos de potencia natural, como la relación entre la potencia transmitida y la natural: S/P<sub>n</sub>, es decir, puede expresarse la carga permisible de una línea como fracción de su potencia natural y conocer cuán eficiente, o no, es la transmisión por la cercanía, o lejanía, entre esa relación y la unidad. Se consideran buenos valores S/P<sub>n</sub> = (0,8 ÷ 1,1) [7].

### 2.2 Configuración y separación de las fases

Los tipos de configuraciones o distribuciones espaciales de las fases en las líneas compactas son muy variadas (elípticas, parabólicas, circulares, coaxiales y otras). La selección del tipo de configuración tiene que ver con las exigencias técnicas y económicas del proyecto, lo que, por supuesto, debe abarcar el efecto ecológico. Se reconoce que las circulares son las más efectivas.

Para este trabajo fueron seleccionadas las configuraciones planas en sus dos formas, vertical y horizontal, que ofrecen, por su sencillez, buenas posibilidades constructivas para el nivel de voltaje analizado y que coinciden con la circular para dos conductores por fase; se efectúan variaciones en la distribución espacial de las fases a partir de lo establecido en las líneas tradicionales.

Se proponen estructuras de soporte basadas en el poste de hormigón



de 10,7 m de altura empleado en 33 kV, que se construye, entre otros lugares, en la Planta de Prefabricado 10 de Santiago de Cuba.

Siempre que fue posible se trató de obtener la separación mínima permisible entre las fases que se determina por los sobrevoltajes atmosféricos y en 33 kV es 0,5 m.

2.3 Número y separación de los subconductores

El uso de conductores múltiples, reportado en voltajes altos, incrementa la potencia natural a valores de consideración.

Los estudios derivados del incremento del número de subconductores (n) han arrojado que para el nivel de voltaje analizado en este trabajo, no se obtienen cambios sustanciales en la potencia natural por encima de tres conductores por fase [7].

Sobre la separación entre subconductores (d) se indica como "unas diez veces el diámetro del conductor" [5] para los conductores de aluminio de 35 a 150 mm² de calibre sería a partir de 200 mm, aproximadamente.

El libre crecimiento de d encuentra ciertas limitaciones. Su aumento desmesurado se hace imposible por limitantes mecánicas de los aditamentos que fijan las fases a las estructuras, los llamados herrajes.

En cuanto a los valores mínimos de d, experimentos realizados [7] notifican que para valores menores de 24 veces el radio del conductor simple (que coincide con los 200 mm ya mencionados) los conductores empiezan a vibrar y pueden destruirse los herrajes y las crucetas.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

En los resultados finales [8] se recogen los efectos de variación de la separación entre fases D en un amplio rango, lo que permite, en primer

lugar, compararlos con los de las líneas tradicionales en explotación (para valores grandes de D) y, en segundo lugar, apreciar los efectos de la compactación a valores significativamente pequeños de D.

Tabla I: Variación de la potencia natural (MW)

| Cantidad de conductores | Separación entre las fases (m) |      |      |
|-------------------------|--------------------------------|------|------|
|                         | 0,5                            | 1    | 1,5  |
| 1                       | 3,71                           | 3,27 | 3,07 |
| 2                       | 6,67                           | 5,48 | 4,93 |
| 3                       | 9,46                           | 7,42 | 6,48 |

Las tablas I y II sirven de ilustración de los resultados obtenidos para el conductor de mayor calibre de los analizados, 150 mm² y una separación entre conductores de 400 mm.

Tabla II: Variación de la impedancia característica (Ω)

| Cantidad de conductores | Separación entre las fases (m) |        |        |
|-------------------------|--------------------------------|--------|--------|
|                         | 0,5                            | 1      | 1,5    |
| 1                       | 293,84                         | 332,53 | 355,21 |
| 2                       | 163,34                         | 198,71 | 221,02 |
| 3                       | 115,17                         | 146,80 | 168,09 |

4. CONCLUSIÓN

Es posible aumentar la potencia natural de las líneas de 33 kV con líneas compactas multiconductoras de fases planas y puede transmitirse, con diferentes variantes constructivas, en regímenes cercanos al natural y sin requerimientos adicionales, cargas mucho mayores.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1.] SIMS. A, "Medio ambiente y energía: el dilema vigente", 30 años de desarrollo industrial (1966-1996), Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, ISC, Londres, 1995, pp. 298-316.

[2.] LONGO. V. J, "Sensitivity analysis of 115-138 kV compact transmission line costs." "IEEE

Power Engeneering Society, Text "A" Papers Summer Meeting, Mexico City, 1977'. New York, 1977.

[3.] GERSTUNG. D, et al, "Valoración del costo de las líneas eléctricas de transmisión compactas." Revista Izvestia Vuzov Energuie, No. 2, 1989, pp. 44-47. (en ruso)

[4.] BUTTERWORTH. S, "Electrical Characteristics of Overhead Lines". The Electrical Research Association, Londres, 1954.

[5.] STEVENSON. W. D. (Jr), "Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia". Ediciones Del Castillo, Madrid, 1965.

[6.] Colectivo de autores: Manual de Redes de Distribución. Esquemas Nos. 10 y 17, Capítulo IV. Dirección de Redes. Unión Eléctrica. 1996.

[7.] ALEXANDROV. G. N, et al, "Nuevos métodos de transmisión de energía eléctrica en los sistemas energéticos". Editorial Leningradskava Universitieta, Instituto Técnico de San Petersburgo 1987. 231 pp. (en ruso).

[8.] LEIZAN. I., "Líneas compactas para Cuba". Informe Científico, Universidad de Oriente, Noviembre de 1995

AUTORA

Ibia Leizan González

Ingeniera Electricista de la Universidad de Oriente (1982). Profesora Asistente del Departamento de Electroenergética de la Universidad de Oriente.

CE: ibia@fie.uo.edu.cu.  
Avenida de las Américas s/n, Santiago de Cuba, CP 90400, CUBA.

