

NOMOGRAMA GENERAL PARA EL CALCULO DE LA CAIDA DE TENSION EN LINEAS ELECTRICAS (*)

Por ANTONIO ANGULO ALVAREZ
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Se trata de un gráfico que permite calcular rápidamente las caídas de tensión en las líneas denominadas "cortas", en las que no se tiene en cuenta la capacidad entre conductores. Los sistemas gráficos son poco precisos, pero dan una idea muy clara de los órdenes de magnitud, además de tener mayor facilidad de aplicación que los métodos numéricos. Se demuestra que la exactitud obtenida con el "nomograma general" es más que sobrada para las aplicaciones prácticas. Se ha extendido la aplicación del "nomograma" a los diversos casos de líneas que pueden presentarse: trifásicas, monofásicas o de corriente continua. Aéreas o subterráneas. Con conductores de cualquier naturaleza, y refiriéndose concretamente a los de cobre y de aluminio con alma de acero, normalizados en España (UNE). Por ser aplicable a la diversidad mencionada, se le ha asignado el adjetivo de "general".

FUNDAMENTO

La expresión, suficientemente aproximada de la caída de tensión en una línea trifásica, que son las más utilizadas, es la siguiente:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot L (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)$$

No se ha deducido por ser ampliamente conocida.

En dicha fórmula:

ΔU , es la caída de tensión, referida a la tensión U entre fases, también denominada "tensión compuesta". Se mide en voltios.

I , es la intensidad que recorre la línea, que se considera igual a la de la carga por tratarse de líneas "cortas". Está fijada en amperios.

L , es la longitud de la línea, igual a la de cada uno de los conductores y se expresa en kilómetros.

r , es la resistencia kilométrica del conductor utilizado y que está determinada por la naturaleza y constitución del conductor. En el caso de conductores normalizados, las propias normas UNE fijan la resistencia kilométrica de los diferentes conductores. Se expresa en ohmios por kilómetro.

Cuando se trata de conductores homogéneos, la bien conocida fórmula que da la resistencia kilométrica es:

$$r = \rho \cdot \frac{1000}{S}$$

En la cual ρ vale $\frac{1}{56}$ para conductores de cobre, $\frac{1}{34}$ para los de

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a esta Redacción hasta el día 28 de febrero de 1970.

aluminio y $\frac{1}{29}$ para los de las aleaciones normalmente utilizadas, que se conocen con los nombres comerciales de "Aldrey", "Almelec" y "Silmalec".

La letra minúscula s designa la sección del conductor en milímetros cuadrados.

$\cos \varphi$, es el factor de potencia de la carga, correspondiendo por tanto a un dato de la carga que se considere. Se parte de que la carga será inductiva u óhmica, nunca capacitiva.

x , es la reactancia kilométrica de la línea, medida en ohmios por kilómetro, y está definida en función de la relación existente entre la separación media D de los conductores y el diámetro d de los mismos.

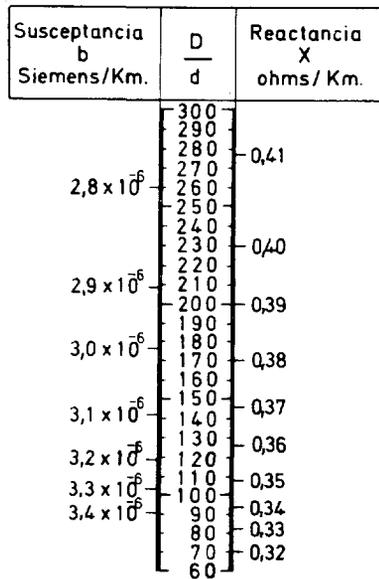


Figura 1.

el diámetro a considerar (prácticamente el del círculo circunscrito a la sección) lo ha de definir el fabricante, o la norma que ha regido en la ejecución del cable.

$\sin \varphi$, es consecuencia del factor de potencia de la carga ($\cos \varphi$).

La fórmula anterior exige el conocimiento de la intensidad I , pudiéndose sustituir, en función de la potencia (activa o real) de la carga, por la también conocida expresión:

$$P \text{ (vatios)} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cos \varphi$$

Por lo tanto, se puede despejar el valor de $\sqrt{3} \cdot I$ obtenido de esta expresión, y sustituirlo en la anterior, resultando:

$$U = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \cdot L (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \frac{P \cdot L}{U} (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

En la figura 1 se incluye una escala que da la reactancia kilométrica x en función de la relación $\frac{D}{d}$ (en la parte derecha), que se ha establecido tomando los datos de tratados especializados.

La distancia D entre conductores es un valor medio, en el caso de que no estuviesen situados en los vértices de un triángulo equilátero, de lado D precisamente.

En el caso general, si se designan a las distancias entre los tres conductores R, S y T por las letras D_{RS}, D_{ST}, D_{TR} , el valor de D se obtiene por la fórmula:

$$D = \sqrt[3]{D_{RS} \cdot D_{ST} \cdot D_{TR}}$$

Respecto al diámetro d del conductor escogido, no precisa aclaración en el caso de tratarse de un alambre o varilla, pero si fuese un cable,

Antes de proseguir merece la pena destacar que la potencia se ha expresado en función de la tensión U ; en general, sin distinguir si se trata de la tensión al principio o al final de la línea, puesto que entre ellas existirá precisamente la diferencia ΔU .

Es costumbre admitir *sistemáticamente* la tensión nominal para el cálculo de la intensidad. Sin duda, implica un error, pero es normal despreciarlo, ya que la potencia de la carga no es fácil garantizarla con errores menores. Tampoco se puede fijar con mayor exactitud el factor de potencia. Por estas razones, se admite normalmente el valor de la tensión nominal U para el cálculo de la intensidad.

Como criterio para fijar la magnitud de la caída de tensión en una línea, adoptamos el 4 por 100 de la tensión nominal, por considerarlo bastante representativo y comprendido dentro del límite del 7 por 100 vigente en la legislación española, como máxima variación relativa de la tensión. Por supuesto, dicha caída de tensión será la máxima previsible cuando la línea transporte toda la potencia P de la carga máxima.

Reflejando esta condición en la ecuación anterior se obtiene:

$$\Delta U = \frac{4}{100} \cdot U = \frac{P \cdot L}{U} (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

o lo que es lo mismo:

$$\frac{4}{100} \cdot \frac{U^2}{P \cdot L} = r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Que es la igualdad que se obtiene gráficamente en el nomograma (fig. 2), ya que en las escalas laterales están r y $x \cdot \operatorname{tg} \varphi$, y en la central, valores proporcionados a $\frac{U^2}{P \cdot L}$.

En el caso de líneas monofásicas las expresiones correspondientes son (llamando V a la tensión):

$$\begin{aligned} \Delta V &= 2 \cdot I \cdot L \cdot (r \cos \varphi + x \operatorname{sen} \varphi) \\ P &= V \cdot I \cdot \cos \varphi \end{aligned}$$

o sea:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot P \cdot L}{V} (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

Y la condición de caída de tensión del 4 por 100 bajo la carga máxima P , es ahora la siguiente:

$$V = \frac{4}{100} \cdot V = \frac{2 \cdot P \cdot L}{V} (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

o sea:

$$\frac{2}{100} \cdot \frac{V^2}{P \cdot L} = r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Cables de aluminio con alma de acero

UNE-21016

Sección nominal de aluminio r
(ohms/Km)

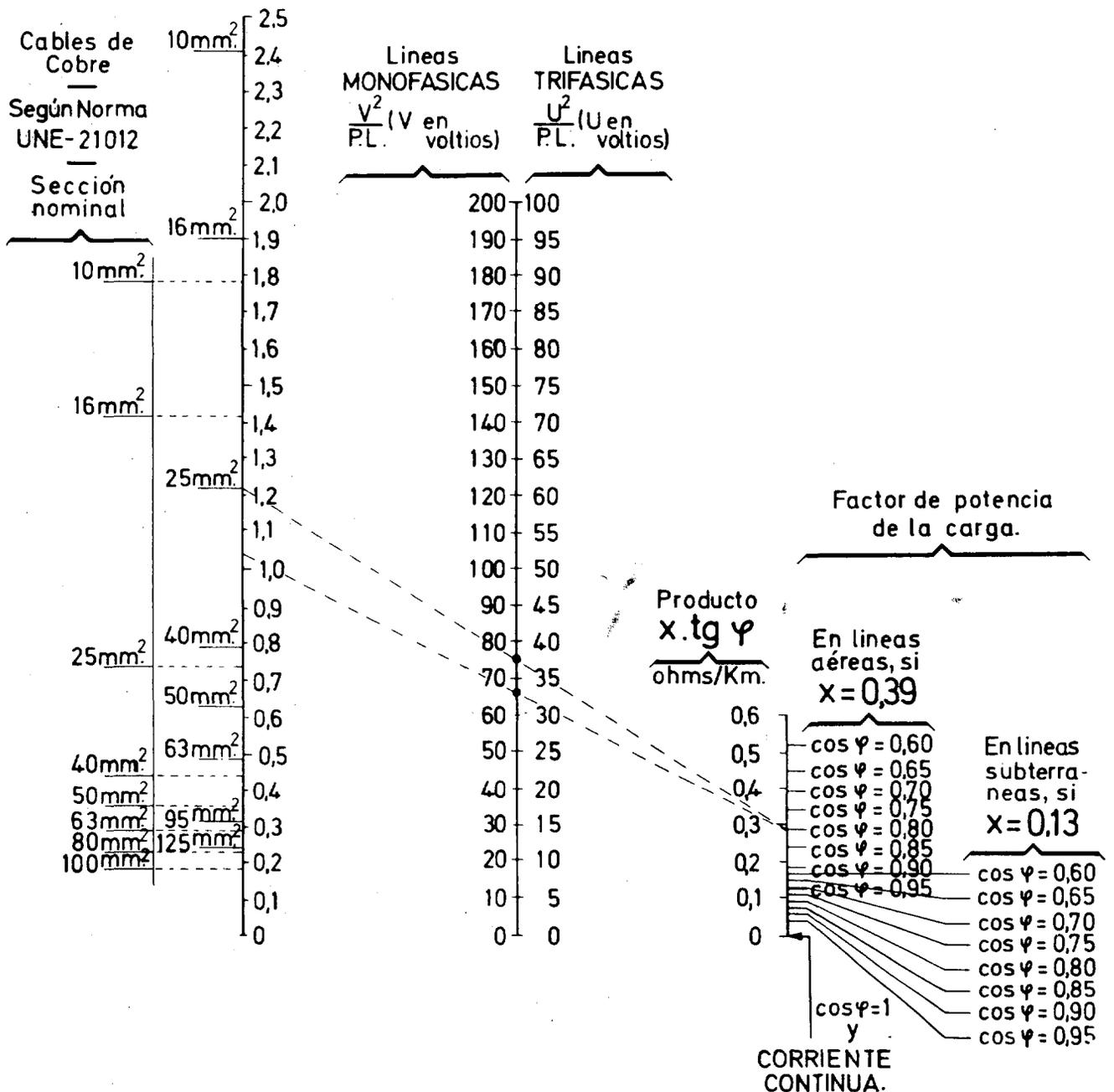


Fig. 2. — Nomograma general para líneas eléctricas. Caída de tensión = 4 %; p = vatios; L = kilómetros.

Como sólo existe una diferencia de coeficiente entre ambas fórmulas, se puede utilizar el mismo nomograma, fijando dos escalas en la recta central. Una correspondiente a líneas trifásicas, y otra, a monofásicas.

UTILIZACION

Para aplicar el *nomograma*, basta unir con una recta el punto representativo de la resistencia kilométrica r del conductor, situado en la escala de la izquierda, con el correspondiente al valor concreto del producto $x \cdot \operatorname{tg} \varphi$, que figura en la escala de la derecha.

Esta recta corta a la escala central que corresponda (según se trate de líneas trifásicas o monofásicas) en un punto, que define una cifra concreta, que llamaremos C , que vale:

$$C = \frac{100}{4} (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)$$

Si esta cifra C coincidiese con el valor de la fracción $\frac{U^2}{P \cdot L}$ o $\frac{V^2}{P \cdot L}$, según que la línea sea trifásica o monofásica, resulta evidente que la caída de tensión será exactamente del 4 por 100.

En el caso de que no exista la coincidencia citada, la caída de tensión resultante tendrá la siguiente expresión:

$$\text{Caída de tensión} = 4 \cdot \frac{C}{U^2/P \cdot L} \text{ (expresada en \%)}$$

Puede, pues, calcularse la caída de tensión con esta fórmula, supuestos conocidos todos los datos de la carga y de la línea.

SIMPLIFICACIONES

En la escala de la izquierda, correspondiente a las resistencias kilométricas r del conductor considerado, se han anotado las secciones nominales de los conductores normalizados (UNE) en España, referidas por su resistencia. Por ser los más empleados, se han figurado los datos correspondientes a conductores de cobre y de aluminio con alma de acero.

Basta, pues, utilizar el punto de la escala definido por la sección nominal del conductor, sin necesidad de calcular su resistencia.

Otra simplificación consiste en considerar que la reactancia kilométrica x es constante, igual a 0,39 ohmios/Km. para las líneas aéreas, y 0,13 ohmios/Km. para las subterráneas. Así, resulta que el producto $x \cdot \operatorname{tg} \varphi$ que se refleja en la escala de la derecha, es sólo una función del factor de potencia $\cos \varphi$, por lo que se ha hecho referencia a dicho factor en dos zonas: una, correspondiente a líneas aéreas, y otra, relativa a las subterráneas.

Merece destacarse que esta hipótesis de constancia de la reactancia implica errores, sin duda, pero de escasa importancia por tres razones.

1.^a El valor de la reactancia difiere poco del estimado, aun cuando varíe la proporción $\frac{D}{d}$, según se deduce de la figura 1.

2.^a El error cometido al estimar x , no supera ni con mucho el límite de variaciones de r motivado por las inevitables variaciones de temperatura.

Este concepto se aclara en la figura 3, que es un *nomograma general*, en el que a título de ejemplo se ha rayado la zona del mismo correspondiente al cable normalizado de aluminio con alma de acero, de 25 mm.² de sección nominal (norma UNE-21 016), para variaciones de temperatura de $\pm 25^\circ$. Factor de potencia de la carga $\cos \varphi = 0,8$ y línea aérea.

3.^a La fijación del factor de potencia de la carga no se puede hacer con exactitud, dando lugar tal imprecisión, a variaciones notablemente mayores que las motivadas por adoptar un valor de la reactancia kilométrica x que difiera ligeramente de valor exacto.

Por supuesto, las simplificaciones mencionadas, con los errores que puedan suponer, se refieren únicamente al caso de utilizar la escala de la derecha en fun-

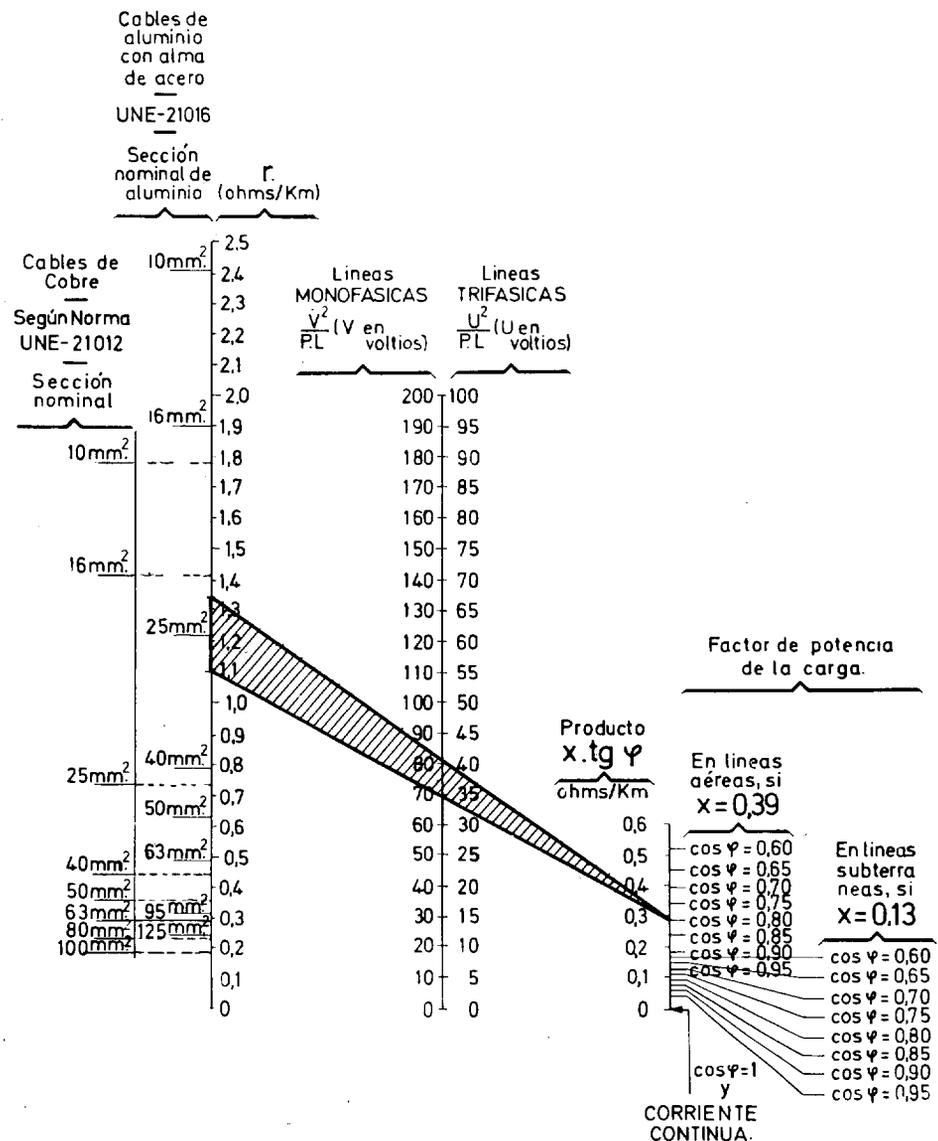


Fig. 3. — Nomograma general para líneas eléctricas. Caída de tensión = 4 %; p = vatios; L = kilómetros.

ción solamente de $\cos \varphi$, pues el empleo del producto $x \cdot \operatorname{tg} \varphi$ no da lugar a error sistemático alguno.

LINEAS PARA CORRIENTE CONTINUA

Son de aplicación las mismas fórmulas de las líneas monofásicas de corriente alterna, con factor de potencia unidad.

Al ser nulo el valor de $\operatorname{tg} \varphi$ debe partirse del origen de la escala de la derecha, en el que también se ha señalado con la indicación de "corriente continua".

El empleo del *nomograma* ha de ser, pues, análogo al utilizado para las líneas monofásicas.

APLICACIONES

La aplicación del *nomograma* es tan simple que casi no requiere aclaraciones. De todos modos, puede indicarse que tiene una primera aplicación de tipo determinativo de la sección de conducto a emplear, partiendo de la longitud de la línea, tensión, carga máxima en el extremo receptor y factor de potencia de la misma.

Tales datos fijan el punto correspondiente en la escala central C, y en la escala derecha se marca el determinado por el factor de potencia de la carga.

Se unen ambos puntos con una recta, que define la resistencia kilométrica r en la escala de la izquierda. Esta resistencia, a su vez, determina el conductor.

Se aclara lo anterior con un ejemplo de línea aérea monofásica:

Longitud de la línea $L = 0,6 \text{ Km.}$
Tensión 220 V.
Carga $1,2 \text{ Kw. (= } 1\ 200 \text{ W.)}$
Factor de potencia: $\cos \varphi$ $0,8$

$$\text{Se calcula } \frac{V^2}{P \cdot L} = \frac{220^2}{1\ 200 \times 0,6} = 67,2$$

y se sitúa en la escala central (fig. 2).

Este punto se une con el de $\cos \varphi = 0,8$ de la escala de la derecha, mediante la recta indicada de trazos en la figura, la cual alcanza la escala izquierda en el punto de:

$$r = 1,04 \text{ ohmios/Km.}$$

Haría falta, pues, un conductor cuya resistencia kilométrica fuese de 1,04 ohmios/Km. para que la caída de tensión fuese del 4 por 100.

Lo general, y así ocurre en este caso, es que el valor de r resultante no coincide con el correspondiente a ninguna sección normalizada de conductor.

Entonces, procede escoger un conductor, determinado por una sección normal, y calcular la caída de tensión correspondiente.

Para hacer este cálculo se ha de fijar el punto representativo de su resistencia kilométrica r , en la escala de la izquierda, y unirlo con el del producto $x \cdot \operatorname{tg} \varphi$, en la de la derecha, con una recta.

Esta recta intercepta la escala central a una altura C (en su escala), y se obtiene la caída de tensión, en función de este valor de C y de la fracción $\frac{U^2}{P \cdot L}$ por la proporcionalidad antes indicada.

$$\text{Caída de tensión} = 4 \cdot \frac{C}{U^2/P \cdot L} \text{ (en \%)}$$

Si en el ejemplo anterior se adoptase conductor de cable de aluminio con alma de acero de 25 mm.² de sección nominal, resulta que el valor de C leído en el *nomograma* es de 75.

La caída de tensión valdrá, pues:

$$\text{Caída de tensión} = 4 \cdot \frac{C}{U^2/P \cdot L} = 4 \cdot \frac{75}{67,2} = 4,47 \%$$

LÍNEAS CON CARGAS EN DISTINTOS PUNTOS

Cuanto se ha dicho hasta aquí se refiere al caso más frecuente, de que la carga esté situada en un extremo de la línea, y en el otro, reciba la alimentación.

También el *nomograma* permite calcular la caída de tensión en cualquier punto de una línea, en la que existan cargas en diferentes puntos de la misma.

Cada carga tiene un factor de potencia determinado, y por ello, el valor de:

$$C = \frac{100}{4} (r + x \cdot \text{tg } \varphi)$$

debe obtenerse para dicho factor de potencia.

También la fracción $\frac{U^2}{P \cdot L}$ es diferente para cada carga, aun cuando tengan todas las fracciones análogas el mismo numerador.

La caída de tensión será la suma de las debidas a cada carga, o sea:

$$\text{Caída de tensión} = 4 \cdot \sum \frac{C}{U^2/P \cdot L} \text{ (en \%)}$$

Para mayor claridad, se detalla seguidamente el cálculo del caso indicado en la figura 4.

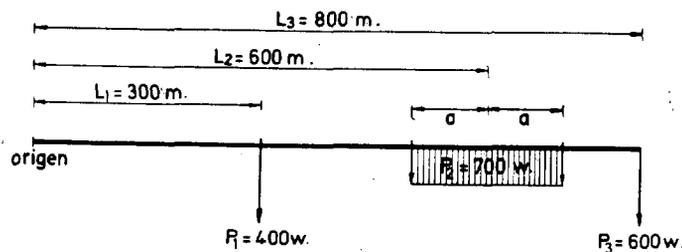


Figura 4.

Se trata de una línea monofásica de 800 m. de longitud, que tiene una carga (P_3) en su extremo receptor de 600 W., con factor de potencia de 0,8. Además, a 600 metros hay otra carga P_2 de alumbrado, repartida, de 700 W., cuyo factor de poten-

cia es la unidad ($\cos \varphi = 1$). Por último, a 300 m. del origen hay otra carga P_1 de 400 W., con factor de potencia 0,7.

La tensión es la de 220 voltios, y el conductor previsto es el cable de aluminio con alma de acero, de 40 mm.² de sección nominal.

Haciendo uso del *nomograma*, y teniendo en cuenta que se trata de una línea monofásica, se obtienen los siguientes valores del valor auxiliar C:

$$\text{Para la carga } P_1 \gg \cos \varphi = 0,7 \gg C = 60$$

$$\text{Para la carga } P_2 \gg \cos \varphi = 1,0 \gg C = 40$$

$$\text{Para la carga } P_3 \gg \cos \varphi = 0,8 \gg C = 54$$

Las fracciones $U^2/P \cdot L$ valen, respectivamente:

$$\text{Para la carga } P_1 \gg \frac{220^2}{400 \times 0,3} = \frac{484}{1,2} = 403$$

$$\text{Para la carga } P_2 \gg \frac{220^2}{700 \times 0,6} = \frac{484}{4,2} = 115$$

$$\text{Para la carga } P_3 \gg \frac{220^2}{600 \times 0,8} = \frac{484}{4,8} = 101$$

Con estos datos se puede preparar el cuadro siguiente:

Carga	Valor de C	Valor de $U^2/P \cdot L$	Cociente $C/U^2/P \cdot L$
P_1	60	403	0,149
P_2	40	115	0,348
P_3	54	101	0,534
Suma			1,031

$$\text{Caída de tensión (en \%)} = 4 \times 1,031 = 4,12 \%$$

Se aprecia la facilidad y sencillez con que se realizan estos cálculos.

VALORES NUMERICOS

Los valores de C son función de tres datos (r , x y $\text{tg } \varphi$), de modo que al suponer constante el valor de x , sólo quedan dos variables (r y $\text{tg } \varphi$), lo que permite tabularlos en función de estas dos variables que, a su vez, dependen de la sección del conductor y del factor de potencia.

En la tabla siguiente se reflejan los valores de C para líneas aéreas trifásicas y los distintos tipos normalizados en España, de cables de aluminio con alma de acero, por ser el caso más frecuente.

El uso del cuadro es análogo al del nomograma. Se calcula la fracción $U^2/P \cdot L$ del caso de que se trate, y si se admite la caída de tensión del 4 por 100, se ha de buscar, en la columna correspondiente al factor de potencia de la carga, el valor de C más parecido, el cual define la sección nominal del conductor correspondiente:

LINEAS AEREAS TRIFASICAS ($x = 0,39$ ohmios/Km.)

Valores de $C = \frac{100}{4} (r + x \cdot \text{tg } \varphi)$ para diferentes factores de potencia y conductores de cable normalizados (UNE-21 016) de aluminio con alma de acero:

Sección nominal del conductor mm. ²	Factor de potencia ($\cos \varphi$) de la carga								
	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0
10	74,3	71,6	70,2	68,9	67,5	66,2	64,9	63,4	60,2
16	61,6	58,9	57,5	56,2	54,8	53,5	52,2	50,7	47,5
25	44,6	41,9	40,5	39,2	37,8	36,5	35,2	33,7	30,5
40	33,9	31,2	29,8	28,5	27,1	25,8	24,5	23,0	19,8
50	29,7	27,0	25,6	24,3	22,9	21,6	20,3	18,8	15,6
63	26,3	23,6	22,2	20,9	19,5	18,2	16,9	15,4	12,2
95	21,9	19,2	17,8	16,5	15,1	13,8	12,5	11,0	7,8
125	20,3	17,4	16,2	14,9	13,5	12,2	10,9	9,4	6,2

A título de ejemplo, utilicemos los siguientes datos en un ejemplo:

$$\begin{aligned}
 U &= 15 \text{ Kv. (= 15000 Volts.) Trifásica} \\
 P &= 400 \text{ Kw. (= } 400 \times 1000 \text{ watos)} \\
 L &= 20 \text{ Km.} \\
 \cos \varphi &= 0,8
 \end{aligned}$$

La fracción $U^2/P \cdot L$ vale:

$$\frac{15000^2}{400 \times 1000 \times 20} = 28,2$$

En la columna de $\cos \varphi = 0,8$ se puede escoger el valor de $C = 27,1$, que corresponde al cable de 40 mm.² de sección nominal.

El porcentaje de caída de tensión es de:

$$4 \cdot \frac{C}{U^2/P \cdot L} = 4 \cdot \frac{27,1}{28,2} = 3,84 \%$$

APLICACION DEL NOMOGRAMA PARA CAIDAS DE TENSION DISTINTAS DEL 4 POR 100

Como puede haber casos en los que se considere preferible partir de una caída de tensión diferente de la adoptada en el *nomograma*, que es del 4 por 100, se indica a continuación el modo de proceder.

Basta utilizar el valor de:

$$\frac{n}{4} \cdot \frac{U^2}{P \cdot L} \text{ siendo } n \text{ el porcentaje de caída de tensión.}$$

en lugar del empleado precedentemente, y buscar el valor de C más próximo, correspondiente a un conductor normalizado, teniendo en cuenta el factor de potencia que se haya considerado. En poder de este valor de C , se continúa el cálculo del modo indicado en los ejemplos anteriores.

Si se admitiese una caída de tensión del 6 por 100 para el caso indicado en el apartado anterior, deberá buscarse un valor de C próximo a:

$$\frac{6}{4} \cdot 28,2 = 42,4.$$

En el cuadro, para el factor de potencia $\cos \varphi = 0,80$ el conductor, cuyo valor de C es más parecido, es el de 25 mm.² de sección nominal, para el cual $C = 37,8$:

La caída de tensión, utilizando dicho cable, sería de:

$$4 \cdot \frac{37,8}{28,2} = 5,38 \%.$$

LIMITACIONES EN EL USO DEL NOMOGRAMA

Aun cuando las fórmulas básicas que se han utilizado para establecer el *nomo-grama* son solamente aproximadas, los errores a que dan lugar son bastante menores que las variaciones producidas en la resistencia de los conductores al cambiar la temperatura, por lo que no limitan su aplicación.

Con independencia de lo anterior, la limitación queda impuesta por la existencia de capacidad electrostática entre conductores, ya que al tratarse de corriente alterna (que es el caso general) motiva una circulación de corriente, aun cuando no exista carga en el extremo receptor de la línea.

Esta intensidad, circulando a lo largo de la línea, produce caídas de tensión, siendo curioso que tales caídas de tensión son negativas, es decir, que originan mayor tensión en el extremo receptor de una línea en vacío (sin carga) que en el origen, donde está el generador.

La expresión, suficientemente aproximada, de la intensidad (capacitiva) de una línea en vacío es:

$$i \text{ (amperios)} = b \cdot L \cdot \frac{U}{\sqrt{3}}$$

en la cual b es la "susceptancia kilométrica" que define el efecto de condensador de los conductores, y depende de la proporción entre el diámetro de los mismos y su separación. En la escala izquierda de la figura 1 se han señalado los valores de b en función de la proporción $\frac{D}{d}$ antes citada. Su medida son siemens/Km. (el "siemens" es la inversa del "ohmio", medida de resistencia).

Los valores de L y de U son los mismos utilizados en los apartados anteriores.

La mencionada intensidad, estando la línea en vacío, produce una caída de tensión que vale, bastante aproximadamente:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot i \cdot x \cdot L = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot b \cdot L \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot x \cdot L = \frac{b \cdot x \cdot L^2 \cdot U}{2}$$

Adoptemos el criterio de que esta caída de tensión sea análoga a la motivada por la variación de resistencia de los conductores, que se indicó era del orden del ± 10 por 100. Si estimamos que una caída de tensión representativa sea el 4 por 100, podría admitirse como límite de aplicación del *nomograma* la longitud de línea que ocasionase en vacío una variación de tensión:

$$\Delta U = \frac{0,4}{100} \cdot U$$

Sustituyendo en la anterior, resulta:

$$\frac{b \cdot x \cdot L^2 \cdot U}{2} = \frac{0,4}{100} \cdot U$$

o lo que es lo mismo:

$$L^2 = \frac{0,8}{100} \cdot \frac{1}{b \cdot x}$$

Pero el producto $b \cdot x$ es prácticamente constante e igual a $1,14 \times 10^{-6}$, según se deduce de la figura 1, resultando entonces que la condición de longitud límite es:

$$L^2 = \frac{0,8}{100} \cdot \frac{10^6}{1,14} \gg \text{de donde } L = 84 \text{ Km.}$$

Por lo tanto, la aplicación del *nomograma* sólo es aconsejable para líneas de longitud no superior a ochenta kilómetros, por razón de caída de tensión en vacío.

Tengamos en cuenta otra limitación, referente a la importancia relativa de la corriente en vacío, respecto a la intensidad nominal.

Como hace falta fijar un criterio, estimaremos que es aplicable el *nomograma* en tanto la intensidad en vacío no supere al 5 por 100 de la intensidad nominal, correspondiente a la potencia máxima.

Esta condición se refleja en la siguiente desigualdad:

$$i < \frac{5}{100} \cdot I$$

que se puede poner en función de sus datos:

$$b \cdot L \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} < \frac{5}{100} \cdot \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

que se puede simplificar, teniendo en cuenta que para líneas trifásicas aéreas el valor de b está próximo a $3,0 \times 10^{-6}$ siemens/Km., llegando a la siguiente condición:

$$\frac{60}{10^6} \cdot L \cdot U \cdot \cos \varphi < P$$

Como en todas las notaciones utilizadas, L representa la longitud de la línea en kilómetros; U , la tensión entre fases, en voltios, y P , la potencia real o activa en vatios.

Las fórmulas últimamente establecidas que fijan los límites de aplicación del *nomograma* no se han deducido más que para líneas aéreas en corriente trifásica, pues las subterráneas y las monofásicas no suelen ser ni con mucho tan largas e importantes.