PROHIBIDA SU PUBLICACIÓN

TEMA 26

CÁLCULO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN II

26.1. DISTRIBUCIONES PERFECTAMENTE CERRADAS CON TENSIÓN CONSTANTE Y SECCIÓN UNIFORME.

Las distribuciones perfectamente cerradas son aquellas en las que el distribuidor se alimenta por ambos extremos con la misma tensión. En consecuencia la diferencia de tensiones entre los extremos es nula.

Este tipo de distribuciones permite disminuir la sección del distribuidor respecto a las distribuciones abiertas. Se utilizará cuando la distancia entre el receptor más alejado y la acometida principal sea suficientemente grande.

En este tipo de distribución existe un receptor que toma corriente de ambos extremos, este receptor recibe el nombre de *centro de gravedad o punto de mínima.*

Dentro de estas distribuciones supuesto vamos a considerar los siguientes casos:

① Corriente continua.

② Corriente alterna monofásica.

③ Corriente alterna trifásica.

26.1.1. CORRIENTE CONTINUA.

Sea un distribuidor perfectamente cerrado alimentado con tensión continua de igual valor por ambos extremos según se indica en la Fig. 26.1.

Supongamos que la intensidad que parte del extremo **A** del distribuidor sea **X**.

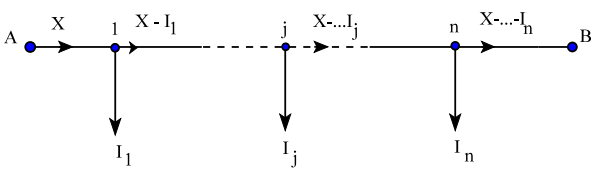


Fig. 26.1

La diferencia de tensiones entre **A** y **B** es nula, ya que las tensiones en ambos extremos son iguales. En consecuencia se verifica:

$$\delta_{A,B} = \delta_{A,1} + ... + \delta_{j,j+1} + ... + \delta_{n,B} = 0 \qquad (26.1)$$

La expresión que define la diferencia de tensiones entre dos puntos del distribuidor **j** y **j+1,** según (23.2) es:

$$\delta_{j,j+1} = 2.R_{j,j+1}.I_{j,j+1} \qquad (26.2)$$

Por tanto, sustituyendo (26.2) en (26.1) para los distintos tramos del distribuidor, resulta:

$$0 = 2.R_{A,1}.I_{A,1} + ... + 2.R_{j,j+1}.I_{j,j+1} + ... + 2.R_{n,B}.I_{n,B} \qquad (26.3)$$

Llamando **X** a la intensidad que parte del extremo **A**, y puesto que el distribuidor es de sección uniforme, se verifica:

$$0 = \frac{2.\rho}{s}.[l_{A,1}.X + ... + l_{j,j+1}.(X - I_1 - .... - I_j) + ... + l_{n,B}.(X - I_1 - ..... - I_n)]$$

(26.4)

Sacando X, I_1, ...,I_j, ... I_n factor común de (26.4), resulta:

$$0 = \frac{2.\rho}{s}.[X.(l_{A,1} + ... + l_{n,B}) - ..... - I_j.(l_{j,j+1} + ... + l_{n,B}) - .... - I_n.l_{n,B}] \qquad (26.5)$$

Ahora bien, llamando:

$$\begin{aligned} L_{A,B} &= l_{A,1} + \ldots + l_{j,j+1} + \ldots + l_{n,B} \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ L_{j,B} &= l_{j,j+1} + \ldots + l_{n,B} \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ L_{n,B} &= l_{n,B} \end{aligned} \qquad (26.6)$$

La expresión (26.5), de acuerdo con (26.6) se puede escribir de la siguiente forma:

$$0 = \frac{2.\rho}{s}.[X.L_{A,B} - \ldots\ldots - I_j.L_{j,B} - \ldots\ldots - I_n.L_{n,B}] \qquad (26.7)$$

Despejando **X** de (26.7), resulta:

$$X = \frac{1}{L_{A,B}} \sum_{j=1}^{n} I_j.L_{j,B} \qquad (26.8)$$

De la expresión (26.8) se deduce que, *la intensidad que parte de un extremo de un distribuidor perfectamente cerrado, es igual a la suma de los momentos de las intensidades respecto del otro extremo, dividido por la longitud total del distribuidor.*

La suma de las intensidades que parten de los extremos **A** y **B,** es igual a la suma de las intensidades que absorben el conjunto de receptores alimentados por el distribuidor. Por tanto se cumple:

$$X + Y = \sum_{j=1}^{n} I_j \qquad (26.9)$$

Sustituyendo (26.8) en (26.9), resulta:

$$Y = \sum_{j=1}^{n} I_j - \frac{1}{L_{A,B}} \sum_{j=1}^{n} I_j.L_{j,B} = \frac{1}{L_{A,B}}[L_{A,B} \sum_{j=1}^{n} I_j - \sum_{j=1}^{n} I_j.L_j,B] = \frac{1}{L_{A,B}}[\sum_{j=1}^{n} I_j.L_{A,B} - \sum_{j=1}^{n} I_j.L_{j,B}]$$

$$Y = \frac{1}{L_{A,B}}[\sum_{j=1}^{n} I_j.(L_{A,B} - L_{j,B})] = \frac{1}{L_{A,B}}[\sum_{j=1}^{n} I_j.L_{j,A}] \qquad (26.10)$$

Como **X** es inferior a la suma de las intensidades que absorben todos los receptores, habrá uno que recibirá corriente de ambos extremos, supongamos que éste sea **k.** En consecuencia, de toda la intensidad que absorbe dicho receptor, una parte $\mathbf{I'_k}$, la tomará del extremo **A** y la restante $\mathbf{I''_k}$, del **B**. La Fig.26.2 representa esta situación.

Desde **A** o **B** hasta **k** va aumentando la diferencia de tensiones, luego **k** es el punto que se encuentra a mayor diferencia de tensiones respecto de ambos extremos del distribuidor, por tanto será el punto de menor tensión y recibe él nombré de *punto de mínima o centro de gravedad.*

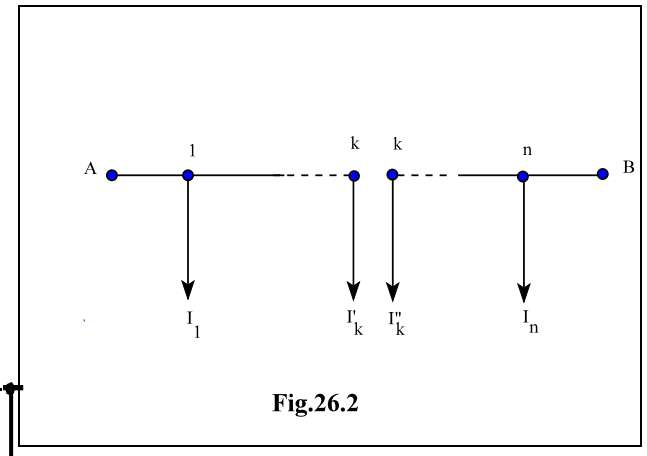


Fig.26.2

El distribuidor **A-B**, de sección uniforme, hay que calcularlo de forma que la máxima diferencia de tensión en él sea **δ**. Como ésta tiene que ser la que exista entre **k** y **A** o **B**, el problema se reduce a calcular cualquiera de las dos distribuciones abiertas (Fig.26.2), en que se descompone la cerrada (Fig.26.1).

Por tanto:

$$S = \frac{2.\rho}{\delta}[\sum_{j=1}^{k-1} [I_j.L_{j,A}] + I'_k.L_{k,A}] \qquad (26.11)$$

o bien:

$$S' = \frac{2.\rho}{\delta}[\sum_{j=k+1}^{n} [I_j.L_{j,B}] + I''_k.L_{k,B}] \qquad (26.12)$$

según se elija una u otra distribución.

Las dos secciones **S** y **S'** son iguales.

$$\frac{2.\rho}{\delta}[\sum_{j=1}^{k-1} [I_j.L_{j,A}] + I'_k.L_{k,A}] = \frac{2.\rho}{\delta}[\sum_{j=k+1}^{n} [I_j.L_{j,B}] + I''_k.L_{k,B}] \qquad (26.13)$$

Operando (26.13), resulta:

$$\sum_{j=1}^{k-1} [I_j.L_{j,A}] + I'_k.L_{k,A} - \sum_{j=k+1}^{n} [I_j.L_{j,B}] - I''_k.L_{k,B} = 0$$

$$\sum_{j=1}^{k-1} [I_j.L_{j,A}] + I'_k.L_{k,A} - \sum_{j=k+1}^{n} [I_j.(L_{A,B}-L_{j,A})] - I''_k.(L_{A,B} - L_{k,A}) = 0$$

$$\sum_{j=1}^{k-1} [I_j.L_{j,A}] + L_{k,A}(I'_k+I''_k) + \sum_{j=k+1}^{n} [I_j.L_{j,A}] = L_{A,B}.[\sum_{j=k+1}^{n} [I_j\ ]+ I''_k] \qquad (26.14)$$

Pero el primer miembro de (26.14) es la suma de los momentos de las intensidades respecto del extremo **A** en el distribuidor cerrado, y el segundo miembro es la corriente **Y** que parte del extremo **B,** multiplicada por la longitud total del distribuidor, es decir:

$$Y.L_{A,B} = \sum_{j=1}^{n} I_j.L_{j,A} \qquad (26.15)$$

o bien:

$$Y = \frac{1}{L_{A,B}} \sum_{j=1}^{n} I_j.L_{j,A} \qquad (26.15)$$

La expresión (26.15) se obtuvo en (26.10), con lo que queda demostrada la igualdad de ambas secciones.

A partir de (26.11) o (26.12) se calcula la sección uniforme del distribuidor **A-B.** Pero dicha sección, una vez definida a partir de la comercial más próxima por exceso, hay que comprobar que cumple por densidad de corriente[1]. Para realizar esta comprobación, la intensidad que parte de **A** o de **B** (la mayor de las dos), tiene que ser menor que la máxima permitida para la anterior sección. En él supuesto que el mayor valor de la intensidad que parte de ambos extremos sea superior al máximo permitido, se tomará la sección que cumpla por densidad de corriente, y está será la que se instalará.

[1]La instrucción ITC BT 06, prevé las intensidades admisibles en los conductores desnudos montados al aire. La instrucción ITC BT 07, en su apartado 3, establece las intensidades máximas admisibles en conductores aislados.(RD 842/2002, de 2 de agosto de 2002)

26.1.2. CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA.

En este caso hay que construir la *red activa*. Para ello se considerarán las siguientes aproximaciones:

1ª.- Las intensidades que absorben los receptores serán las nominales.
2ª.- Las tensiones en las acometidas se considerará que están en fase.

De esta forma se podrán calcular las intensidades que absorben los receptores y se podrán sumar de forma algebraica sus componentes activas.

La Fig.26.3 representa una distribución cerrada en corriente alterna monofásica:

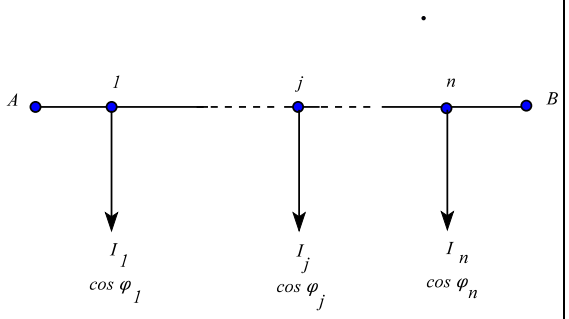


Fig.26.3

A partir de los valores de las intensidades que absorben los receptores y de sus factores de potencia se calcula la *red activa*, de forma que:

$$I_{aj} = I_j.\cos\varphi_j$$

Designando por $\mathbf{X_{aA}}$, componente activa de la corriente que parte del extremo **A** del distribuidor, resulta

$$X_{aA} = X_A.\cos\varphi_A \qquad (26.16)$$

Siendo:

X_A = La intensidad de la corriente que parte de **A**.

$\cos\varphi_A$ = Factor de potencia de la intensidad de la corriente que parte de **A**.

La componente activa de la corriente que parte de A, según (26.8), es:

$$X_{aA} = \frac{1}{L_{A,B}} \sum_{j=1}^{n} I_{a_j}.L_{j,B} \qquad (26.17)$$

Suponiendo que el centro de gravedad sea el receptor **k**, las dos distribuciones abiertas en que se descompone la cerrada están representadas en la Fig.26.4.

La sección uniforme del distribuidor **A-B** se calcula a partir de cualquiera de las dos distribuciones abiertas en que se descompone, por tanto:

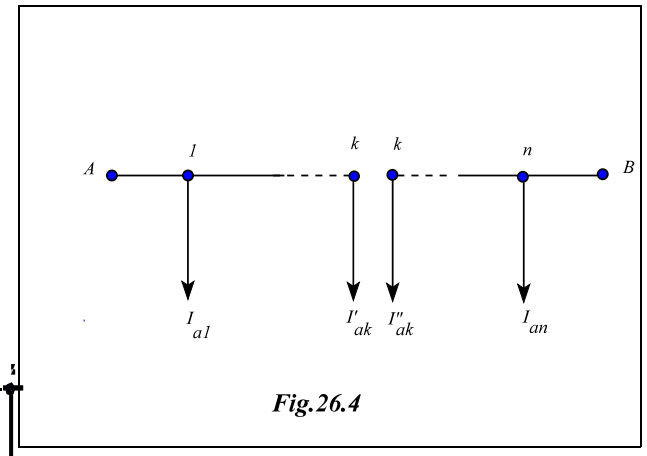


Fig.26.4

$$S = \frac{2\rho}{\delta}.[\sum_{j=1}^{k-1} I_{a_j}.L_{j,A} + I'_{a_k}.L_{k,A}]$$

o bien: (26.18)

$$S' = \frac{2\rho}{\delta}.[\sum_{j=k+1}^{n} [I_{a_j}.L_{j,B}] + I''_{a_k}.L_{k,B}]$$

De forma análoga a como se demostró en el apartado anterior, se demuestra que las secciones **S** y **S'**, son iguales, calculadas por cualquiera de ambos extremos.

La sección que se deberá instalar será la comercial inmediatamente próxima calculada a partir de (26.18). Ahora bien, para comprobar que esta sección cumple por densidad de corriente, hay que calcular la *red reactiva*, con objeto de determinar los amperios aparentes que circulan por los diferentes tramos del distribuidor. Se tomará el mayor valor de las intensidades aparentes de ambos extremos, y este valor se comprobará con la sección calculada. Igual que en el apartado anterior se toma la primera sección que cumpla por *densidad de corriente* y esa será la que se instalará[2].

La *red reactiva* se calcula a partir de los amperios reactivos que absorben los receptores, teniendo en cuenta que: $I_{rj} = I_j.\text{sen}\varphi_j$ (j=1,....,n)

Los amperios reactivos que parten de **A**, $\mathbf{X_{rA}}$, se calculan a partir de la expresión:

$$X_{r_A} = \frac{1}{L_{A,B}} \sum_{j=1}^{n} I_{r_j}.L_{j,B}$$

(26.19)

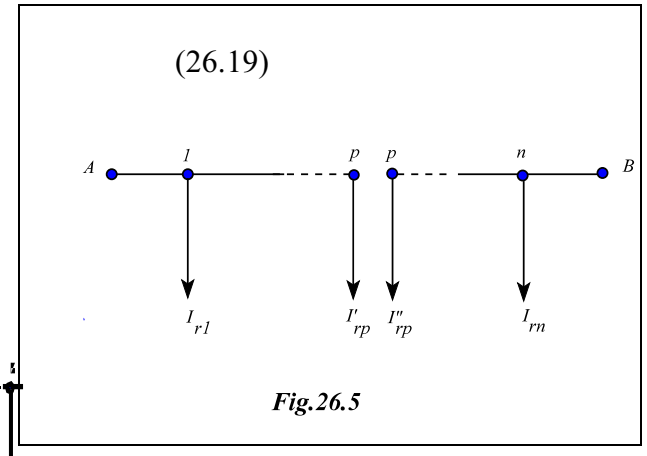


Fig.26.5

[2] De acuerdo con las instrucciones ITC BT 06 o ITC BT 07, para conductores desnudos o aislados, respectivamente.

En consecuencia la red reactiva da lugar a dos distribuciones abiertas equivalentes[3], según se indica en la Fig.26.5

El valor de la intensidad aparente que circula por cada tramo del distribuidor, se calcula a partir de la expresión:

$$I_{j,j+1} = \sqrt{I^2{}_{a_{j,j+1}} + I^2{}_{r_{j,j+1}}} \qquad (26.20)$$

También se pueden calcular las intensidades aparentes en los distintos tramos del distribuidor a partir de la hipótesis de que la *caída de tensión* entre los extremos **A** y **B**, sea nula. En efecto, la caída de tensión en cualquier tramo genérico del distribuidor será:

$$\overline{U}_{r_{j,j+1}} = 2.R_{j,j+1}.\bar{I}_{j,j+1} \quad (j=1,2,...,n)$$

La caída de tensión entre los extremos **A** y **B** es nula, por tanto se cumplirá:

$$\overline{U}_{r_{A,B}} = 2.R_{A,1}\bar{I}_{A,1} + 2.R_{1,2}\bar{I}_{1,2} + ... + 2.R_{j,j+1}.\bar{I}_{j,j+1} + ... + 2.R_{n,B}.\bar{I}_{n,B} = 0 \qquad (26.21)$$

Como el distribuidor es de sección uniforme se verifica:

$$0 = \frac{2.\rho}{s}.[l_{A,1}.\overline{X} + ... + l_{j,j+1}.(\overline{X} - \bar{I}_1 - .... - \bar{I}_j) + ... + l_{n,B}.(\overline{X} - \bar{I}_1 - ..... - \bar{I}_n)]$$

Sacando $\overline{X}, \bar{I}_1, ..., \bar{I}_n$ factor común de (26.22), resulta:

$$0 = \frac{2.\rho}{s}.[\overline{X}.(l_{A,1} + ... + l_{n,B}) - ..... - \bar{I}_j.(l_{j,j+1} + ... + l_{n,B}) - .... - \bar{I}_n.l_{n,B}] \qquad (26.23)$$

Ahora bien, llamando:

$$\begin{aligned} &L_{A,B} = l_{A,1} + ... + l_{j,j+1} + ... + l_{n,B} \\ &..... \\ &L_{j,B} = l_{j,j+1} + ... + l_{n,B} \\ &..... \\ &L_{n,B} = l_{n,B} \end{aligned} \qquad (26.24)$$

[3]Conviene señalar, que el centro de gravedad de la red reactiva no tiene porqué coincidir con el de la red activa.

La expresión (26.23), de acuerdo con (26.24) se puede escribir de la siguiente forma:

$$0 = \frac{2.\rho}{s}.[\overline{X}.L_{A,B} - .... - \bar{I}_j.L_{j,B} - ..... - \bar{I}_n.L_{n,B}] \qquad (26.25)$$

Despejando $\overline{X}$ de (26.25), resulta:

$$\overline{X} = \frac{1}{L_{A,B}} \sum_{j=1}^{n} \bar{I}_j.L_{j,B} \qquad (26.26)$$

A partir de este valor se obtienen los valores de las intensidades en los restantes tramos del distribuidor.

La intensidad que parte de **B**, será:

$$\overline{Y} = \frac{1}{L_{A,B}} \sum_{j=1}^{n} \bar{I}_j.L_{j,A} \qquad (26.27)$$

La sección, una vez que esté definida a partir de la comercial más próxima por exceso, hay que comprobar que cumple por densidad de corriente. Para realizar esta comprobación, la intensidad que parte de **A** o de **B** (la mayor de las dos), tiene que ser menor que la máxima permitida para la sección calculada a partir del anterior criterio. En el supuesto que el mayor valor de la intensidad que parte de ambos extremos sea superior al máximo permitido, se tomará la sección que cumpla por densidad de corriente, y ésta será la que se instalará.

26.1.3. CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA.

En él supuesto que la corriente sea alterna trifásica, el razonamiento para el cálculo de la sección uniforme del distribuidor perfectamente cerrado, es análogo al aplicado en el apartado anterior. En este caso las expresiones que definen las dos distribuciones abiertas equivalentes, son:

$$S = \sqrt{3}.\frac{\rho}{\delta} [\sum_{j=1}^{k-1} [I_{a_j}.L_{j,A}] + I'_{a_k}.L_{k,A}] \qquad (26.28)$$

o bien:

$$S' = \sqrt{3}.\frac{\rho}{\delta} [\sum_{j=k+1}^{n} [I_{a_j}.L_{j,B}] + I''_{a_k}.L_{k,B}] \qquad (26.29)$$

según se elija una u otra distribución.

Bien entendido que siempre se verifica que **S** y **S'** son iguales.

La sección comercial inmediatamente próxima a la calculada a partir de (26.28) o (26.29) tendrá que cumplir por densidad de corriente. Para ello, igual que en el apartado anterior, se determinarán los valores de las intensidades aparentes que parten de A o de B. El cálculo de las mismas se podrá realizar; bien a partir de las redes activa y reactiva, aplicando la expresión (26.20), o utilizando el criterio de la caída de tensión mediante las expresiones (26.26) y (26.27). A partir de los valores de las intensidades aparentes anteriormente calculadas, se comprobará que cumple con la sección calculada por anterior criterio. En él supuesto que esto no fuese así, se tomaría la primera que cumpliese por densidad de corriente.

26.2. DISTRIBUCIONES CERRADAS CON UNA RAMIFICACIÓN.

En este caso uno de los receptores se sustituye por una distribución abierta cuya acometida principal coincide con el punto de entronque con el distribuidor.

La Fig.26.6 indica como se une en el punto **k** la ramificación al distribuidor principal cerrado **A-B,** dicha ramificación alimenta **n'** receptores.

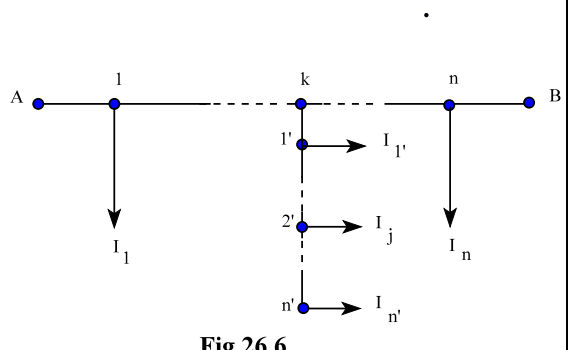


Fig.26.6

Dentro de este tipo de distribuciones se van a considerar dos casos:

❶ Que el centro de gravedad coincida con la acometida **k.**
❷ Que el centro de gravedad no coincida con la acometida **k**.

A su vez, dentro de cada uno de estos se van a estudiar los siguientes:

☞ Corriente continua.
☞ Corriente alterna monofásica.
☞ Corriente alterna trifásica.

26.2.1. DISTRIBUCIONES CERRADAS CON UNA RAMIFICACIÓN CUANDO EL CENTRO DE GRAVEDAD COINCIDE CON LA RAMIFICACIÓN.

26.2.1.1 CORRIENTE CONTINUA.

En primer lugar, la ramificación **k-n'**, se sustituye por un receptor equivalente que tome una intensidad $\mathbf{I_k}$ que equivalga a la suma de la que toman todos los receptores que alimenta dicha ramificación.

En la Fig.26.7 se ha sustituido la ramificación por un receptor equivalente.

$$I_k = \sum_{j=1'}^{n'} I_j \qquad (26.30)$$

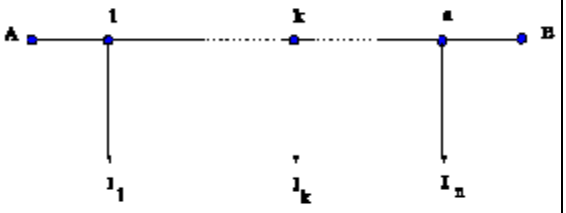


Fig.26.7

En esta situación los amperios que parten del extremo **A** del distribuidor principal, se calculan mediante la expresión:

$$X_A = \frac{\sum_{j=1}^{n} I_j L_{j,B}}{L_{A,B}} \qquad (26.31)$$

Supongamos que la acometida **k** coincida con el centro de gravedad del distribuidor principal. En este caso la distribución cerrada se puede sustituir por dos distribuciones abiertas equivalentes, tal como se indica en la Fig.26.8

La diferencia de tensiones entre **A** o **B,** y **k** se supone que es δ_1 voltios, con lo que quedarán $(\delta-\delta_1)$ para que el receptor **n'** (que es el más alejado de los extremos del distribuidor) esté conectado a una tensión que difiera de la que existe en **A** o **B** en **δ**. De esta forma se garantiza que todos los receptores están a una tensión, que difiere de la de los extremos del distribuidor principal, en menos de **δ** voltios.

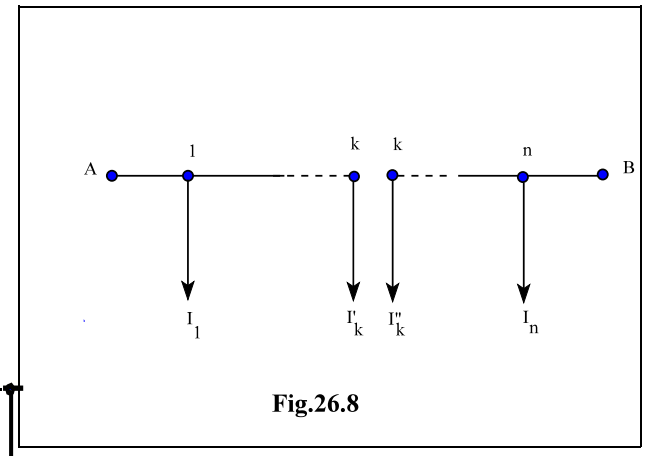


Fig.26.8

Las ecuaciones que definen las secciones del distribuidor principal **A-B** y de la ramificación **k-n'**, son:

$$S_{A,B} = \frac{2.\rho}{\delta_1}.[\sum_{j=1}^{k-1} [I_j.L_{j,A}] + I'_k.L_{k,A}] \qquad (26.32)$$

$$S_{k,n'} = \frac{2.\rho}{\delta-\delta_1}.[\sum_{j=1'}^{n'} I_j.L_{j,k}] \qquad (26.33)$$

Expresiones (26.32) y (26.33) se pueden escribir de la forma:

$$S_{A,B} = \frac{A}{\delta_1} \quad y \quad S_{k,n'} = \frac{B}{\delta - \delta_1} \tag{26.34}$$

Donde:

$$A = 2.\rho[\sum_{j=1}^{k-1} I_j.L_{j,A} + I'_{k'}.L_{k,A}] \quad y \quad B = 2.\rho[\sum_{j=1}^{n'} I_j.L_{j,k}] \tag{26.35}$$

El volumen de conductor empleado con estas secciones, es:

$$V = 2.L_{A,B'}.S_{A,B} + 2.L_{k,n'}.S_{k,n'} \tag{26.36}$$

Por tanto, sustituyendo (26.34) en (23.36), resulta:

$$V = 2.L_{A,B'}.\frac{A}{\delta_1} + 2.L_{k,n'}.\frac{B}{\delta - \delta_1} \tag{26.37}$$

Para determinar las secciones del distribuidor principal y de la ramificación, se puede utilizar el criterio de hacer *mínimo el volumen del conductor* empleado. Con esto se pretende conseguir las menores secciones que cumplan la condición de diferencia de tensión máxima permitida.

Derivando la ecuación (26.37) con respecto a $\boldsymbol{\delta_1}$, e igualando a cero, se obtiene:

$$\frac{\partial V}{\partial \delta_1} = -\frac{2.L_{A,B'}.A}{\delta_1^2} + \frac{2.L_{k,n'}.B}{(\delta - \delta_1)^2} = 0 \tag{26.38}$$

Operando en (26.38), resulta:

$$\delta_1 = \frac{\delta}{1 + \sqrt{\dfrac{L_{k,n'}.B}{L_{A,B'}.A}}} \tag{26.39}$$

Sustituyendo (26.39) en las expresiones (26.34) se calculan las secciones $\mathbf{S_{A,B}}$ y $\mathbf{S_{k,n'}}$.

Estos valores sirven para determinar las secciones comerciales que se deben instalar; $\mathbf{S^*_{A,B}}$ y $\mathbf{S^*_{k,n'}}$, para el distribuidor principal y la ramificación, respectivamente.

Los valores calculados anteriormente no son los definitivos, ya que habrá que verificar que cumplen por *densidad de corriente*. Para ellos hay que comprobar si las intensidades en los tramos **A-**

1y **B-n** cumplen para $\mathbf{S^*_{A,B}}$, y si la intensidad en el tramo **k-1'** cumple para $\mathbf{S^*_{k,n'}}$. Si las intensidades máximas permitidas para dichas secciones son inferiores a las que circulan por los citados tramos, serán las secciones a instalar, en caso contrario, habrá que aumentarlas hasta que cumplan por densidad de corriente, y esas nuevas serán las que se instalarán.

26.2.1.2 CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA.

En este caso hay que construir la *red activa*. Para ello se considerarán las siguientes condiciones:

1ª.- Las intensidades que absorben los receptores serán las nominales.

2ª.- Las tensiones en las acometidas se considerarán que están en fase.

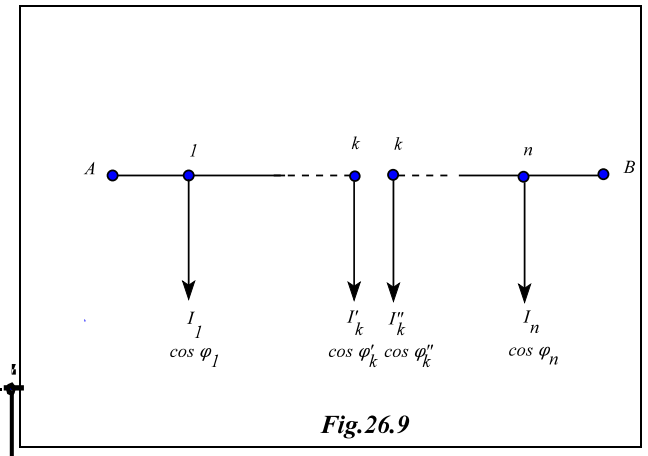


Fig.26.9

De esta forma, como en el apartado anterior, las componentes activas de las intensidades se podrán sumar de forma algebraica.

La componente activa de la intensidad que parte de **A**, $\mathbf{X_{aA}}$ está definida por la expresión:

$$X_{aA} = \frac{\sum_{j=1}^{n} I_{a_j} L_{j,B}}{L_{A,B}} \qquad (26.40)$$

Siendo, $I_{a_j} = I_j \cos\varphi_j$, la componente activa de la acometida **j**.

De acuerdo con la expresión (26.40), se determinan las dos distribuciones abiertas que equivalen a la distribución ramificada.

Las secciones de cada una de ellas se calculan mediante las expresiones:

$$S_{A,B} = \frac{2.\rho}{\delta_1}\left[\sum_{j=1}^{k-1} [I_{a_j} L_{j,A}] + I'_{a_k} L_{k,A}\right] \qquad (26.41)$$

$$S_{k,n'} = \frac{2.\rho}{\delta - \delta_1}\left[\sum_{j=1'}^{n'} I_{a_j} L_{j,k}\right] \qquad (26.42)$$

Suponiendo, como en el caso anterior, que la diferencia de tensiones entre **A** o **B** y **k** sea de δ_1 voltios, y utilizando análogo razonamiento, la diferencia de tensiones δ_1, está definida por la expresión:

$$\delta_1 = \frac{\delta}{1 + \sqrt{\frac{L_{k,n'}.B}{L_{A,B}.A}}} \qquad (26.43)$$

Donde:

$$A = 2.\rho[\sum_{j=1}^{k-1} [I_{a_j}.L_{j,A}] + I'_{a_k}.L_{k,A}] \quad y \quad B = 2.\rho[\sum_{j=1'}^{n'} I_{a_j}.L_{j,k}] \qquad (26.44)$$

A partir de (26.43) se calculan las secciones dadas por (26.41) y (26.42). Estas secciones permiten definir las correspondientes secciones comerciales, las cuales habrán de cumplir por densidad de corriente.

Para comprobar que las secciones comerciales cumplen por densidad de corriente, habrá que construir la red reactiva, para así determinar las intensidades aparentes que circulan por el distribuidor principal y la ramificación. Una vez comprobado que las secciones elegidas cumplen ambas condiciones; diferencia de tensiones y densidad de corriente, estas serán las que se instalarán. También se pueden calcular las intensidades en los tramos del distribuidor a partir de (26.26)

26.2.1.3 CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA.

Este caso es análogo al anterior, haciendo las mismas consideraciones para la construcción de la red activa.

La componente activa de la intensidad que parte de **A** está dada por la expresión:

$$X_{a_A} = \frac{\sum_{j=1}^{n} I_{a_j}.L_{j,B}}{L_{A,B}} \qquad (26.45)$$

Siendo $I_{a_j} = I_j.\cos\varphi_j$

En este caso, las secciones de las dos distribuciones; la cerrada **A-B** y la abierta **k-n'**, son:

$$S_{A,B} = \frac{\sqrt{3}.\rho}{\delta_1}[\sum_{j=1}^{k-1} [I_{a_j}.L_{j,A}] + I'_{a_k}.L_{k,A}] \qquad (26.46)$$

$$S_{k,n'} = \frac{\sqrt{3}.\rho}{\delta - \delta_1}[\sum_{j=1'}^{n'} I_{a_j}.L_{j,k}] \qquad (26.47)$$

Razonando de forma análoga a como se hacía en el caso anterior se llega a la expresión que determina la diferencia de tensiones entre los extremos del distribuidor principal y el centro de gravedad:

$$\delta_1 = \frac{\delta}{1 + \sqrt{\frac{L_{k,n}.B}{L_{A,B}.A}}} \qquad (26.48)$$

Donde:

$$A = \sqrt{3}.\rho[\sum_{j=1}^{k-1} [I_{a_j}.L_{j,A}] + I'_{a_k}.L_{k,A}] \quad y \quad B = \sqrt{3}.\rho[\sum_{j=1'}^{n'} I_{a_j}.L_{j,k}] \qquad (26.49)$$

Sustituyendo el valor de δ_1, calculado según (26.48), a las expresiones (26.46) y (26.47), se obtiene las secciones teóricas del distribuidor principal y de la ramificación.

Se procede de la misma forma que en el caso anterior para la comprobación de las secciones comerciales, por densidad de corriente.

26.2.2 DISTRIBUCIONES CERRADAS CON UNA RAMIFICACIÓN CUANDO EL CENTRO DE GRAVEDAD NO COINCIDE CON LA RAMIFICACIÓN.

En este caso, el centro de gravedad es el punto **L**, distinto del **k**.

Se suponen los siguientes casos:

☞ Corriente continua.

☞ Corriente alterna monofásica.

☞ Corriente alterna trifásica.

26.2.2.1 CORRIENTE CONTINUA.

Se plantea la siguiente solución:

$$\begin{aligned}
&\delta_{A,L} = \delta \\
&\delta_{B,k} = \delta_1 \\
&\delta_{k,n'} = \delta - \delta_1 \\
&\delta_{k,L} = \delta - \delta_1
\end{aligned} \qquad (26.50)$$

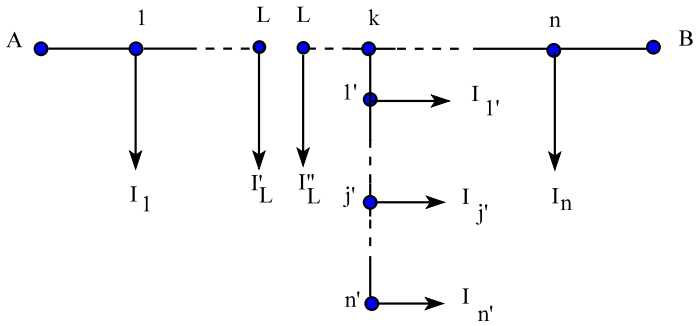


Fig.26.10

Con la solución planteada, tanto el punto **L**, como el **n'**, que son los más desfavorecidos, están a la diferencia de tensiones máxima permitida respecto a los extremos **A** y **B**.

Las ecuaciones de las secciones correspondientes son:

$$S_{A,L} = \frac{2.\rho}{\delta}.[\sum_{j=1}^{L-1} I_j.L_{j,A} + I'_L.L_{L,A}] = \frac{A}{\delta}$$

$$S_{B,k} = \frac{2\rho}{\delta_1}[\sum_{j=k+1}^{n} I_j.L_{j,B} + L_{k,B}\sum_{j=1'}^{n'} I_j] = \frac{B}{\delta_1}$$

$$S_{k,n'} = \frac{2\rho}{\delta-\delta_1}[\sum_{j=1'}^{n'} I_j.L_{j,k}] = \frac{C}{\delta-\delta_1} \qquad (26.51)$$

$$S_{k,L} = \frac{2\rho}{\delta-\delta_1}[\sum_{j=k+1}^{L-1} I_j.L_{j,k} + I''_L.L_{L,k}] = \frac{D}{\delta-\delta_1}$$

El volumen de conductor empleado, teniendo en cuenta las expresiones (26.51) es:

$$V = \frac{2.L_{A,L}.A}{\delta} + \frac{2.L_{B,k}.B}{\delta_1} + \frac{2.L_{k,n'}.C}{\delta-\delta_1} + \frac{2.L_{k,L}.D}{\delta-\delta_1} \qquad (26.52)$$

Derivando la expresión (26.52) con respecto a $\boldsymbol{\delta_1}$ e igualando a cero la expresión, resulta:

$$\frac{\partial V}{\partial \delta_1} = 0 = -\frac{2.L_{B,k}.B}{\delta_1^2} + \frac{2.L_{k,n'}.C}{(\delta-\delta_1)^2} + \frac{2.L_{k,L}.D}{(\delta-\delta_1)^2} \qquad (26.53)$$

Operando,

$$\delta_1 = \frac{\delta}{1 + \sqrt{\frac{L_{k,n'}.C + L_{k,L}.D}{L_{A,B}.B}}} \qquad (26.54)$$

El valor (26.54) sustituido en las expresiones (26.51), permite calcular las secciones del distribuidor. Hay que tener en cuenta que la sección del tramo **A-L**, se obtiene de forma directa.

Una vez calculadas las secciones teóricas se pasarían a las comerciales correspondientes. Las secciones comerciales tienen que cumplir por densidad de corriente, según se ha comentado en el apartado anterior.

26.2.2.2 CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA.

En este caso las ecuaciones de las secciones correspondientes son:

$$S_{A,L} = \frac{2.\rho}{\delta}.[\sum_{j=1}^{L-1} I_{a_j}.L_{j,A} + I'_{a_L}.L_{L,A}] = \frac{A}{\delta}$$

$$S_{B,k} = \frac{2\rho}{\delta_1}[\sum_{j=k+1}^{n} I_{a_j}.L_{j,B} + L_{k,B}\sum_{j=1'}^{n'} I_{a_j}] = \frac{B}{\delta_1} \qquad (26.55)$$

$$S_{k,n'} = \frac{2\rho}{\delta-\delta_1}[\sum_{j=1'}^{n'} I_{a_j}.L_{j,k}] = \frac{C}{\delta-\delta_1}$$

$$S_{k,L} = \frac{2\rho}{\delta-\delta_1}[\sum_{j=k+1}^{L-1} I_{a_j}.L_{j,k} + I''_{a_L}.L_{L,k}] = \frac{D}{\delta-\delta_1}$$

Siendo:

$$I_{a_j} = I_j.\cos\varphi_j$$

El razonamiento es el mismo que el realizado en el caso 26.2.1.2 respecto al 26.2.1.1. En consecuencia la expresión de $\boldsymbol{\delta_1}$, que hace mínimo el volumen de conductor empleado es:

$$\delta_1 = \frac{\delta}{1 + \sqrt{\frac{L_{k,n'}.C + L_{k,L}.D}{L_{A,B}.B}}} \qquad (26.56)$$

Permite calcular las secciones del distribuidor principal y de la ramificación.

Una vez calculadas las secciones teóricas se pasarían a las comerciales correspondientes. Las secciones comerciales tienen que cumplir por densidad de corriente, según se ha comentado en el apartado anterior.

26.2.2.3 CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA.

En este caso las secciones de los distintos tramos del distribuidor quedan definidas por las siguientes expresiones:

$$S_{A,L} = \frac{\sqrt{3}.\rho}{\delta}.[\sum_{j=1}^{L-1} I_{a_j}.L_{j,A} + I'_{a_L}.L_{L,A}] = \frac{A}{\delta}$$

$$S_{B,k} = \frac{\sqrt{3}.\rho}{\delta_1}[\sum_{j=k+1}^{n} I_{a_j}.L_{j,B} + L_{k,B}\sum_{j=1'}^{n'} I_{a_j}] = \frac{B}{\delta_1} \qquad (26.57)$$

$$S_{k,n'} = \frac{\sqrt{3}.\rho}{\delta-\delta_1}[\sum_{j=1'}^{n'} I_{a_j}.L_{j,k}] = \frac{C}{\delta-\delta_1}$$

$$S_{k,L} = \frac{2\rho}{\delta-\delta_1}[\sum_{j=k+1}^{L-1} I_{a_j}.L_{j,k} + I''_{a_L}.L_{L,k}] = \frac{D}{\delta-\delta_1}$$

Siendo:

$$I_{a_j} = I_j.\cos\varphi_j$$

Lo mismo que se comentó entre los casos 26.2.1.2 y 26.2.1.1, es de aplicación en este caso.

La expresión de δ_1, que hace mínimo el volumen de conductor empleado es:

$$\delta_1 = \frac{\delta}{1 + \sqrt{\frac{L_{k,n'}.C + L_{k,L}.D}{L_{A,B}.B}}} \qquad (26.58)$$

Este valor permite calcular las secciones teóricas de los tramos del distribuidor.

Los restantes pasos, para llegar a las secciones comerciales, son análogos que en el caso anterior.

26.3. DISTRIBUIDOR SOSTENIENDO "N" DERIVACIONES.

El problema se plantea cuando una línea de longitud **L** alimenta **n** derivaciones de longitudes $\boldsymbol{l_j}$ $_{(j = 1,2,....,n)}$, todas conectadas en el extremo del distribuidor.

En la Fig.26.11 se tiene representado este tipo de distribuciones.

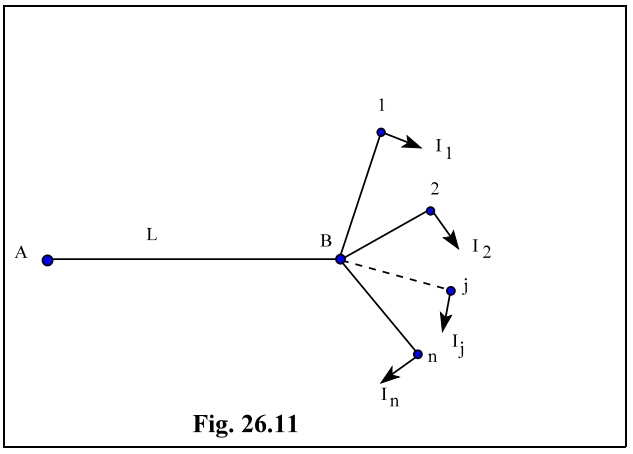


Fig. 26.11

Los casos que se van a tratar son:

① Corriente continua.

② Corriente alterna monofásica.

③ Corriente alterna trifásica.

26.3.1. CORRIENTE CONTINUA.

Se parte del supuesto de considerar que la diferencia de tensiones entre **A** y **B** sea δ_1. En este supuesto, para que todos los receptores difieran de la tensión en **A** en **δ** voltios, la diferencia entre **B** y $\mathbf{j}$ $_{(j =1,..,k,..n)}$ deberá ser δ-δ_1 voltios.

La sección correspondiente del distribuidor **A-B**, se calcula por medio de la expresión:

$$S_{A,B} = \frac{2.\rho}{\delta_1}.L \sum_{j=1}^{n} I_j \qquad (26.59)$$

Para las diferentes derivaciones es:

$$S_j = \frac{2.\rho}{\delta-\delta_1}.L_j.I_j \quad (j=1,2,...,k,...,n) \qquad (26.60)$$

El volumen total de conductor empleado es:

$$V = 2.L.S_{A,B} + 2\sum_{j=1}^{n} S_j.L_j \qquad (26.61)$$

Sustituyendo (26.59) y (26.60) en (26.61) resulta:

$$V = 2.L.\frac{2.\rho}{\delta_1}.L\sum I_j + 2\sum_{j=1}^{n} \frac{2.\rho}{\delta-\delta_1}.I_j.L_j^2 \qquad (26.62)$$

$$V = 4.\rho.[\frac{L^2}{\delta_1}.\sum_{j=1}^{n} I_j + \frac{1}{\delta-\delta_1}\sum_{j=1}^{n} L_j^2.I_j] \qquad (26.63)$$

Para determinar el volumen mínimo de conductor, se deriva la anterior expresión con respecto a $\boldsymbol{\delta_1}$ y se iguala a cero la expresión resultante.

$$\frac{\partial V}{\partial \delta_1} = 4.\rho.[-\frac{L^2}{\delta_1^2}\sum_{j=1}^{n} I_j + \frac{1}{(\delta_1-\delta)^2}\sum_{j=1}^{n} L_j^2.I_j] = 0 \qquad (26.64)$$

Operando :

$$\delta_1 = \frac{\delta}{1 + \sqrt{\dfrac{\sum_{j=1}^{n} L_j^2.I_j}{L^2\sum_{j=1}^{n} I_j}}} \qquad (26.65)$$

Este valor, sustituido en (26.59) permite calcular la sección teórica de **A-B**. Una vez calculada la sección **A-B**, se define la sección comercial inmediatamente superior, $\mathbf{S^*_{A,B}}$, que deberá cumplir por densidad de corriente. A partir de dicha sección se determina la diferencia de potencial en el tramo **A-B**, **δ***.

El valor **δ***, permite determinar la diferencia de tensiones **δ - δ*** necesaria para calcular las secciones de cada uno de los tramos $\mathbf{S_j}$. A su vez las secciones de dichos tramos permiten definir las correspondientes secciones comerciales $\mathbf{S^*_j}$.

Todas las secciones definidas anteriormente, $\mathbf{S^*_j}$ deben cumplir por *densidad de corriente*, con lo que queda calculada la distribución.

26.3.2 CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA.

Como en modelos anteriores hay que hacer dos consideraciones previas:

1ª.- Las intensidades que absorben los receptores serán las nominales.
2ª.- Las tensiones en las acometidas se considerarán en fase.

De esta forma las componentes activas de las intensidades se podrán sumar de forma algebraica.

Las expresiones que definen las secciones del distribuidor **A-B**, y de las **n** derivaciones son:

$$S_{A,B} = \frac{2.\rho}{\delta_1} L \sum_{j=1}^{n} I_j.\cos\varphi_j \qquad (26.66)$$

$$S_j = \frac{2.\rho}{\delta - \delta_1} L_j I_j.\cos\varphi_j \quad (j=1,2,.....,n) \qquad (26.67)$$

Donde **cos** φ_j es el factor de potencia del receptor **j**.

Razonando de forma análoga a como se hacía en el apartado anterior, se llega a la expresión:

$$\delta_1 = \frac{\delta}{1 + \sqrt{\dfrac{\sum_{j=1}^{n} L_j^2 I_j.\cos\varphi_j}{L^2 \sum_{j=1}^{n} I_j.\cos\varphi_j}}} \qquad (26.68)$$

Sustituyendo (26.68) en (26.66) se obtiene el valor teórico de la sección del tramo **A-B**. A partir de este valor se define la sección comercial $\mathbf{S^*_{A,B}}$. Esta sección debe ser comprobada por *densidad de corriente*. Para ello es preciso conocer la intensidad aparente que circula por el tramo **A-B**. El valor de esta intensidad se obtiene mediante la expresión:

$$I_{A,B} = \sqrt{[\sum_{j=1}^{n} I_j.\cos\varphi_j]^2 + [\sum_{j=1}^{n} I_j.sen\varphi_j]^2}$$

para los **n** receptores.

Una vez comprobado que la sección $\mathbf{S^*_{A,B}}$ cumple por *densidad de corriente*, se calcula la diferencia de tensiones $\mathbf{\delta^*_{A,B}}$, a partir de la expresión:

$$\delta^*_{A,B} = \frac{2.\rho}{S^*_{A,B}} L \sum_{j=1}^{n} I_j$$

Este valor sirve para determinar las diferencias de tensiones $\mathbf{\delta - \delta^*_{A,B}}$ en cada una de las derivaciones.

Las secciones de cada derivación, se calculan a partir de la expresión:

$$S_j = \frac{2.\rho}{\delta - \delta^*_{A,B}} L_j.I_j \quad (j=1,2,.....,n)$$

Estas secciones se tienen, a su vez, que comprobar por densidad de corriente, para definir las secciones comerciales definitivas $\mathbf{S^*_j}$.

26.3.3 CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA.

Se razona de forma análoga a como se hacía en el caso de la alterna monofásica, teniendo en cuenta que las secciones se calculan a partir de las expresiones:

$$S_{A,B} = \frac{\sqrt{3}.\rho}{\delta_1} L \sum_{j=1}^{n} I_j.\cos\varphi_j \qquad (26.69)$$

$$S_j = \frac{\sqrt{3}.\rho}{\delta - \delta_1} L_j.I_j.\cos\varphi_j \quad (j=1,2,.....,n) \qquad (26.70)$$

La expresión que define $\mathbf{\delta_1}$ es la misma que (26.68)

También en este caso se sigue la misma metodología en cuanto a la definición de las secciones comerciales; por diferencia de tensiones y densidad de corriente.

26.4 MÉTODO DE LA DISTANCIA VIRTUAL PARA EL CÁLCULO DE DISTRIBUCIONES ABIERTAS.

Para el cálculo de distribuciones abiertas con ramificaciones múltiples, es útil el método de la *distancia virtual.*

Consiste el método en considerar un punto en el distribuidor a una distancia λ de la acometida principal tal que, si todas las intensidades partiesen de él, la diferencia de tensiones entre la acometida y dicho punto sería la máxima permitida en toda la distribución.

Dentro de este supuesto vamos a considerar los siguientes casos:

① Corriente continua.
② Corriente alterna monofásica.
③ Corriente alterna trifásica.

26.4.1 CORRIENTE CONTINUA.

En la Fig.26.12, se ha representado una distribución abierta ramificada.

La sección del tramo **A-B**, correspondiente a la distribución de la Fig.26.12 , está definida por la expresión:

$$S_{A,B} = \frac{2.\rho}{\delta} \sum_{j=1}^{t} I_j.L_j \qquad (26.71)$$

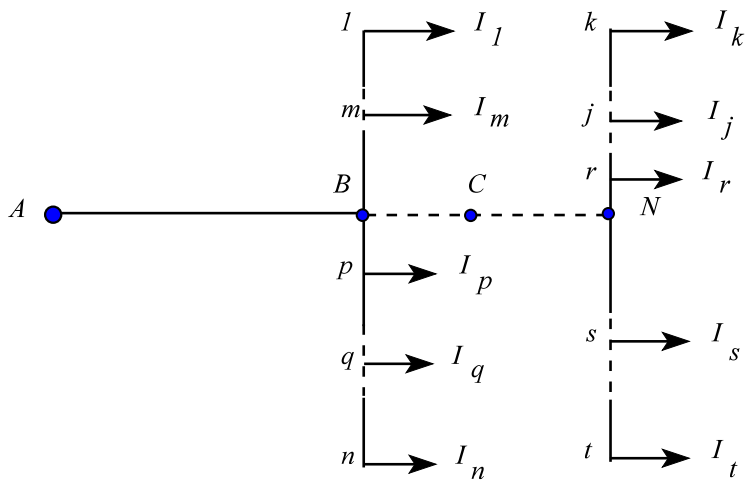


Fig. 26.12

Pero según se acaba de exponer, si todas las cargas estuviesen situadas a una distancia **λ**, la sección del tramo **A-B** sería:

$$S_{A,B} = \frac{2.\rho}{\delta}.\lambda\sum_{j=1}^{t} I_j \qquad (26.72)$$

Igualando (26.71) con (26.72), resulta:

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^{t} L_j.I_j}{\sum_{j=1}^{t} I_j} \qquad (26.73)$$

El valor de la distancia virtual, **λ**, calculado mediante la expresión (26.73), sustituido en (26.72) permite calcular la sección teórica del tramo **A-B**. A partir de esta sección definimos la comercial inmediatamente próxima $\mathbf{S^*_{A\text{-}B}}$. Esta sección se comprueba que cumple por densidad de corriente, y una vez definida se calcula a partir de ella la diferencia de tensiones real entre **A** y **B**, mediante la expresión:

$$\delta^*_{A,B} = \frac{2.\rho}{S^*_{A,B}} \sum_{j=1}^{t} I_j.L_j \qquad (26.74)$$

Una vez calculada esta diferencia de tensiones, se procede de forma análoga a partir de **B**, teniendo en cuenta que ahora la diferencia máxima permitida es $\mathbf{\delta - \delta^*_{A,B}}$. Se calcula la sección del siguiente tramo **B-C**, y así sucesivamente hasta calcular todos los tramos del distribuidor.

Las ramificaciones se calculan como distribuciones abiertas alimentadas a partir de las acometidas **A, B, C, ...**, con las diferencias de tensiones máximas para que los receptores de los extremos queden conectados a una tensión que difiera de la de **A**, en **δ** voltios.

Todas las secciones calculadas deben cumplir por densidad de corriente.

26.4.2 CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA.

Antes de nada, hay que considerar las mismas aproximaciones que en los casos anteriores, en relación con los valores nominales de las intensidades que absorben los receptores, y el desfase nulo de las tensiones en las acometidas para poder sumar de forma algebraica las componentes activas de las intensidades.

Las secciones en este caso son:

$$S_{A,B} = \frac{2.\rho}{\delta} \sum_{j=1}^{t} L_j.I_j.\cos\varphi_j \qquad (26.75)$$

$$S_{A,B} = \frac{2.\rho}{\delta}.\lambda \sum_{j=1}^{t} I_j.\cos\varphi_j \qquad (26.76)$$

Igualando, en este caso (26.75) y (26.76), resulta:

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^{t} L_j.I_j.\cos\varphi_j}{\sum_{j=1}^{t} I_j.\cos\varphi_j} \qquad (26.77)$$

Que es la distancia virtual correspondiente al tramo **A-B**.

El razonamiento es análogo al caso anterior, pero para el cálculo de la intensidad aparente, que permite la comprobación por densidad de corriente, hay que calcular la red reactiva.

26.4.3 CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA.

Como en el caso anterior, hay que considerar que las intensidades se calculan a partir de los valores nominales de la tensión, y las tensiones en las acometidas están en fase a efecto de sumar las componentes activas de las intensidades. También se considerará que todos los receptores son equilibrados.

Las secciones en este caso son:

$$S_{A,B} = \sqrt{3}.\frac{\rho}{\delta}.\sum_{j=1}^{t} L_j.I_j.\cos\varphi_j \qquad (26.78)$$

$$S_{A,B} = \sqrt{3}.\frac{\rho}{\delta}.\lambda \sum_{j=1}^{t} I_j.\cos\varphi_j \qquad (26.79)$$

Igualando, en este caso (26.78) y (26.79), resulta:

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^{t} L_j.I_j.\cos\varphi_j}{\sum_{j=1}^{t} I_j.\cos\varphi_j} \qquad (26.80)$$

Que es la distancia virtual correspondiente al tramo **A-B**.

El razonamiento para la definición de las secciones de los tramos sucesivos del distribuidor, es análogo al caso anterior.