TEMA 25

CÁLCULO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN I

25.1. DISTRIBUCIÓN. DEFINICIÓN.

Una distribución de energía eléctrica es una red que permite transportar dicha energía, desde el centro de generación, hasta los receptores.

En corriente continua, lo usual es que el sistema de generación sea en baja tensión, siendo la tensión en bornes la que se corresponde con los receptores.

En corriente alterna, el nombre de distribución lo vamos a utilizar para designar la red de baja tensión que va, desde el centro de transformación, hasta los receptores propiamente dichos.

25.2. TIPOS DE DISTRIBUCIONES.

Se pueden considerar dos grandes grupos:

① Intensidad constante.
② Tensión constante.

25.3. DISTRIBUCIONES EN SERIE, O CON INTENSIDAD CONSTANTE.

En este tipo de distribuciones los receptores se conectan en serie, por tanto, la intensidad es la misma para todos ellos.

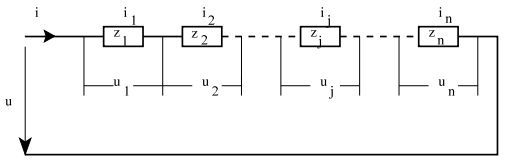


Fig. 25.1

Las ecuaciones correspondientes a este tipo de distribución, son:

$$i_1 = ... = i_j = ... = i_n \qquad (25.1)$$

$$u = u_1 + u_2 + ...+ u_j + ... + u_n = \sum_{j=1}^{n} u_j \qquad (25.2)$$

Una ventaja de este tipo de distribuciones es la poca sección que es necesario dar a la línea, ya que la intensidad es la misma para todos los receptores.

Un inconveniente es la dependencia que existe entre los receptores, ya que la desconexión de uno de ellos supone la de los demás. Debido a esta razón, este tipo de distribuciones están restringidas al alumbrado público. Al poder utilizar tensiones elevadas, se consiguen ahorros importantes en conductores. Hay que colocar en cada circuito de alimentación un regulador de tensión con objeto de que se mantenga constante la intensidad que alimenta cada lámpara, de esta forma se logra prolongar la vida media de las mismas. Para evitar, que por quedar fuera de servicio una lámpara, se interrumpa la alimentación de las restantes, se coloca un dispositivo de forma que cuando una deje de funcionar, se intercale en el circuito una resistencia eléctrica de igual valor que el filamento de la lámpara que ha quedado fuera de servicio por rotura.

Una forma de paliar el inconveniente que presentan las distribuciones en serie, es colocar lo receptores tal como se representan en la Fig.25.2, es decir, alimentados por transformadores, siendo los primarios de los mismos, los que constituyen la distribución en serie propiamente dicha.

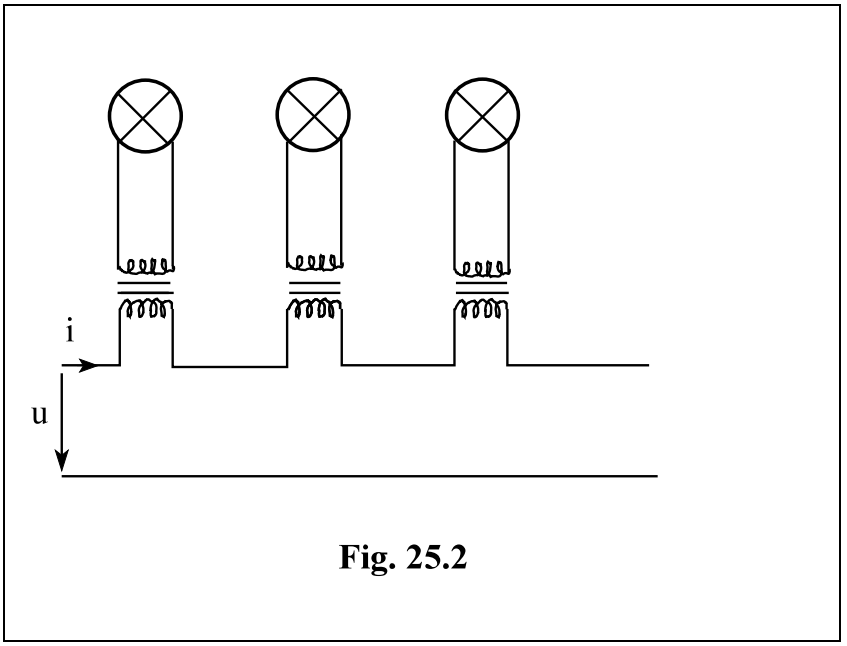


Fig. 25.2

25.4. DISTRIBUCIONES EN DERIVACIÓN O A TENSIÓN CONSTANTE.

En este tipo de distribuciones, todos lo receptores están conectados en paralelo, según se aprecia en la Fig. 25.3.

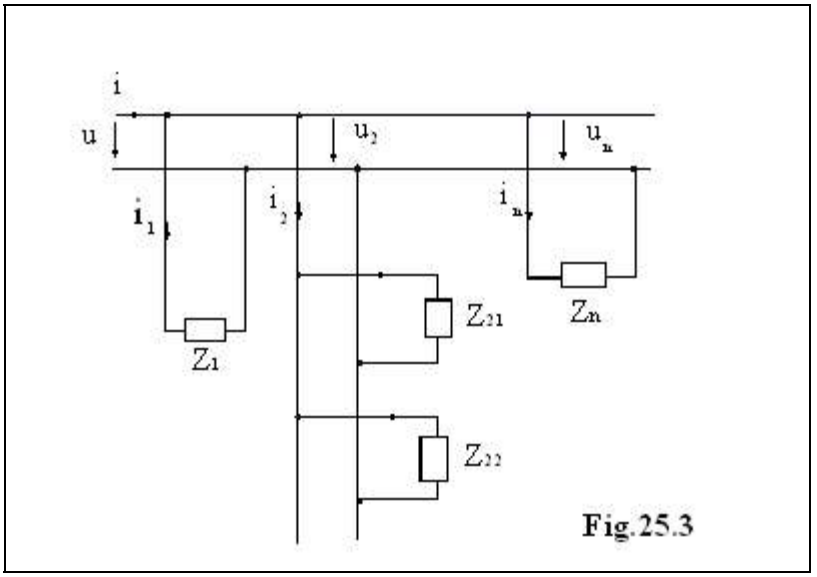


Fig.25.3

De la Fig. 25.3, se deduce:

$$u_1 = ... = u_j = ... = u_n \qquad i = i_1 + i_2 + ...+ i_j + ... + i_n = \sum_{j=1}^{n} i_j \qquad (25.3)$$

La principal ventaja de este tipo de distribuciones estriba en el hecho que todos los receptores están al mismo potencial[1], siendo el funcionamiento de cada uno de ellos independiente de los demás.

Por contra, la intensidad de la línea, al ser la suma de las que absorben todos los receptores, es mucho mayor que en el caso de las distribuciones en serie. Esto se traduce en mayor sección, y por tanto, en mayor coste. Sin embargo, este hecho no hace que estas distribuciones sean antieconómicas.

25.5. TIPOS DE DISTRIBUCIONES CON TENSIÓN CONSTANTE.

Dentro de las distribuciones con tensión constante podemos considerar dos grandes grupos:

① Distribuciones abiertas.
② Distribuciones cerradas.

En las primeras, la línea de alimentación o distribuidor se alimenta por un extremo, siendo el

[1]Esto no es rigurosamente cierto, ya que existe una caída de tensión que hace que los receptores estén conectados a tensiones diferentes.

último receptor el que cierra el distribuidor.

En las segundas, el distribuidor se alimenta por ambos extremos. Si las tensiones son las mismas en ambos extremos, se llaman *perfectamente cerradas*, y si no, *imperfectamente cerradas*.

25.6. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE UN DISTRIBUIDOR ABIERTO, CON TENSIÓN CONSTANTE.

Se trata de alimentar desde un extremo, llamado *acometida principal*, un conjunto de receptores que están separados entre sí.

Si los receptores estuviesen juntos, a efectos del cálculo del distribuidor, se considerarán como sí de un solo receptor se tratase.

El problema consiste en definir la sección del distribuidor, con la condición de que el receptor más alejado de la acometida principal, no tenga una tensión inferior a un valor prefijado, o bien, que la diferencia de tensiones entre dicho receptor y la acometida principal, no difieran en más de un valor prefijado. Esta diferencia se da en función de la tensión que existe en la acometida principal, según:

$$\delta = \frac{p_\delta . U}{100} \qquad (25.5)$$

donde:

δ = Máxima diferencia de tensiones permitida en el distribuidor.
U = Tensión de la acometida principal.
p_δ = Porcentaje prefijado.

Con objeto de simplificar la representación de la distribución, se utilizará en lo sucesivo el esquema unifilar.

Debido a la resistencia e inductancia, en su caso, del conductor que forma el distribuidor, se producen diferencias de tensiones entre las diversas acometidas, por lo que las tensiones a las que quedan conectados los receptores serán siempre menores que la que existe en la acometida principal.

Los casos que vamos a considerar, dentro de este tipo de distribuciones, son:

a) Corriente continua.

b) Corriente alterna monofásica.

c) Corriente alterna trifásica.

a) CORRIENTE CONTINUA.

La Fig.25.4 representa un distribuidor que alimenta desde **A** a **n** acometidas.

La diferencia de tensiones entre las acometidas **j-1** y **j** está definida por la expresión:

$$\delta_{j-1,j} = 2.R_{j-1,j}.I_{j-1,j} \qquad (25.6)$$

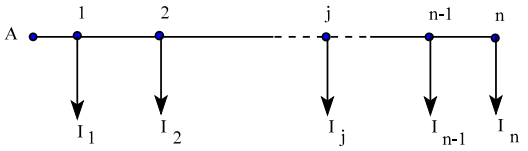


Fig. 25.4

La diferencia de tensiones entre **A** y **n** (máxima que se presenta en el distribuidor), está dada por la expresión:

$$\delta = \delta_{A,1} + ... + \delta_{j-1,j} + ... + \delta_{n-1,n} \qquad (25.7)$$

Sustituyendo (25.6) en (25.7), resulta:

$$\delta = 2.R_{A,1}.I_{A,1} + ...+ 2.R_{j-1,j}.I_{j-1,j} + ... + 2.R_{n-1,n}.I_{n-1,n} \qquad (25.8)$$

Pero:

$$R_{j-1,j} = \rho.\frac{l_{j-1,j}}{s} \qquad (25.9)$$

Suponiendo que se dote al distribuidor de sección uniforme, sustituyendo (25.9) en (25.8), resulta:

$$\delta = 2.\frac{\rho}{s}.(l_{A,1}.I_{A,1} + ... + l_{j-1,j}.I_{j-1,j} + ... + l_{n-1,n}.I_{n-1,n}) \qquad (25.10)$$

Pero:

$$\begin{aligned} &I_{A,1} = I_1 + I_2 + ... + I_j + ... + I_n \\ &..... \\ &I_{j-1,j} = I_j + ... + I_n \\ &..... \\ &I_{n-1,n} = I_n \end{aligned} \qquad (25.11)$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones (25.10), la expresión (25.10) queda de la forma:

$$\delta = 2.\frac{\rho}{s}.[l_{A,1}.(I_1 + ... + I_j + .. + I_n)+.....+l_{j-1,j}.(I_j +..+ I_n)+.....+ l_{n-1,n}.I_n] \qquad (25.12)$$

Sacando factor común $\mathbf{I_1, I_2, I_3,..., I_j,..., I_n}$ en (25.12), resulta:

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

Ahora bien, haciendo:

$$\begin{aligned} & l_{A,1} = l_1 \\ & ..... \\ & l_{A,1} + l_{1,2} +..+ l_{j-1,j} = l_j \\ & ..... \\ & l_{A,1} + l_{1,2} +...+ l_{j-1,j} +...+ l_{n-1,n} = l_n \end{aligned} \qquad (25.14)$$

(25.13) se puede expresar de la forma:

$$\delta = \frac{2.\rho}{s}.(I_1.l_1 +..+ I_j.l_j +.....+ I_n.l_n) \qquad (25.15)$$

En forma de sumatorio, la ecuación (25.15) se expresa como:

$$\delta = \frac{2.\rho}{s} \sum_{j=1}^{n} I_j.l_j \qquad (25.16)$$

El sumatorio de (25.16) se asocia a la suma de los momentos de las intensidades con respecto a la acometida principal **A**.

Finalmente, despejando **s** de (25.16) resulta:

$$s = \frac{2.\rho}{\delta} \sum_{j=1}^{n} I_j.l_j \qquad (25.16)$$

La expresión (25.16) permite calcular la sección uniforme del distribuidor, para una diferencia de tensiones **δ,** prefijada.

De la ecuación (25.16) se deduce que la sección uniforme de un distribuidor abierto, en corriente continua, es directamente proporcional a la *suma de los momentos de las intensidades con respecto a la acometida principal, e inversamente proporcional a la diferencia de tensiones máxima permitida.*

b) CORRIENTE ALTERNA MONOFÁSICA.

La Fig.25.5 representa un distribuidor que alimenta desde **A** a **n** acometidas.

En este caso, cada receptor tendrá un factor de potencia determinado (**cos** φ_j)

La diferencia de tensiones entre las acometidas **j-1** y **j**, de acuerdo con la expresión aproximada definida en (23.18), es:

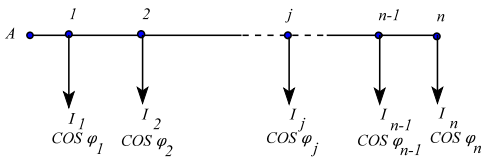


Fig. 25.5

$$\delta_{j-1,j} = 2.R_{j-1,j}.I_{j-1,j}.\cos\varphi_{j-1,j} \qquad (25.17)$$

El modelo lo vamos a definir partiendo de dos aproximaciones:

1ª.- Considerar, a efecto del cálculo de las intensidades que absorben los receptores, que están conectados a sus tensiones las nominales.

2ª.- Las tensiones, en todas las acometidas, están en fase.

La diferencia de tensiones entre **A** y **n**, máxima que se presenta en el distribuidor, está definida por la expresión:

$$\delta = \delta_{A,1} + ... + \delta_{j-1,j} + ... + \delta_{n-1,n} \qquad (25.18)$$

Sustituyendo (25.17) en (25.18), resulta:

$$\delta = 2.R_{A,1}.I_{A,1}.\cos\varphi_{A,1} + ... + 2.R_{j-1,j}.I_{j-1,j}.\cos\varphi_{j-1,j} + ... + 2.R_{n-1,n}.I_{n-1,n}.\cos\varphi_{n-1,n} \qquad (25.19)$$

De acuerdo con las aproximaciones anteriormente citadas, se puede definir[2]:

$$\begin{aligned} &I_{A,1}.\cos\varphi_{A,1} = I_1.\cos\varphi_1 + ... + I_j.\cos\varphi_j + ... + I_n.\cos\varphi_n \\ &..... \\ &I_{j-1,j}.\cos\varphi_{j-1,j} = I_j.\cos\varphi_j + ... + I_n.\cos\varphi_n \\ &..... \\ &I_{n-1,n}.\cos\varphi_{n-1,n} = I_n.\cos\varphi_n \end{aligned} \qquad (25.20)$$

[2]Las componentes activas de las intensidades se pueden sumar de forma algebraica, ya que se considera que todas las tensiones en las acometidas están en fase.

Y teniendo en cuenta que las resistencias de los tramos del distribuidor se definen por[3]:

$$R_{j-1,j} = \rho.\frac{l_{j-1,j}}{s} \qquad (25.21)$$

La ecuación (25.19) se puede expresar de la forma:

$$\delta = \frac{2.\rho}{s}.[l_{A,1}.(I_1.\cos\varphi_1 + ... + I_j.\cos\varphi_j + ... + I_n.\cos\varphi_n) + ... +$$

$$+ l_{j-1,j}.(I_j.\cos\varphi_j + ... + I_n.\cos\varphi_n) + ... + l_{n-1,n}.I_n.\cos\varphi_n] \qquad (25.22)$$

Sacando factor común $\mathbf{I_1.\cos\varphi_1, ...,I_j.\cos\varphi_j, ..., I_n.\cos\varphi_n,}$ en (25.22), resulta:

$$\delta = \frac{2.\rho}{s}.[I_1.\cos\varphi_1.(l_{A,1}) + ... + I_j.\cos\varphi_j.(l_{A,1} + ... + l_{j-1,j}) + ... +$$

$$... + I_n.\cos\varphi_n(l_{A,1} + ... + l_{j-1,j} + ... + l_{n-1,n})] \qquad (25.23)$$

Y llamando:

$$\begin{aligned} &l_{A,1} = l_1 \\ &..... \\ &l_{A,1} + l_{1,2} + .. + l_{j-1,j} = l_j \\ &..... \\ &l_{A,1} + l_{1,2} + ... + l_{j-1,j} + ... + l_{n-1,n} = l_n \end{aligned} \qquad (25.24)$$

se puede expresar (25.23) de la forma:

$$\delta = \frac{2.\rho}{s}.[I_1.\cos\varphi_1.l_1 + .. + I_j.\cos\varphi_j.l_j + ... + I_n.\cos\varphi_n.l_n] \qquad (25.25)$$

En forma de sumatorio, la ecuación (25.25) se expresa como:

$$\delta = \frac{2.\rho}{s}\sum_{j=1}^{n} I_j.\cos\varphi_j.l_j \qquad (25.26)$$

El sumatorio de (25.26) se asocia a la suma de momentos de las componentes activas de las intensidades que absorben los receptores, con respecto a la acometida principal **A**.

[3] Se considera que todos los tramos del distribuidor tienen la misma sección.

Finalmente, despejando **s** de (25.26) resulta:

$$s = \frac{2.\rho}{\delta} \sum_{j=1}^{n} I_j.\cos\varphi_j.l_j \qquad (25.27)$$

La expresión (25.26) permite calcular la sección uniforme del distribuidor, para una diferencia de tensiones, **δ** prefijada.

De la expresión (25.27) se deduce que, l*a sección uniforme de un distribuidor abierto en corriente alterna monofásica, es directamente proporcional a la suma de los momentos de las componentes activas de las intensidades con respecto a la acometida principal, e inversamente proporcional a la diferencia de tensiones máxima permitida.*

c) CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA.

La Fig.25.6 representa un distribuidor abierto que alimenta desde **A** a **n** acometidas.

En este caso, cada receptor tendrá un factor de potencia determinado (**cos** φ_j)

La diferencia de tensiones entre las acometidas **j-1** y **j**, de acuerdo con la expresión aproximada definida en (23.56), es:

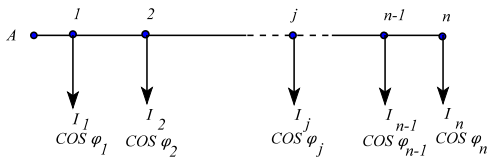


Fig. 25.6

$$\delta_{j-1,j} = \sqrt{3}.R_{j-1,}.I_{j-1,j}.\cos\varphi_{j-1,j} \qquad (25.28)$$

En este caso el modelo se define, lo mismo que en monofásica, con dos aproximaciones:

1ª.- Considerar, a efecto del cálculo de las intensidades que absorben los receptores, que están conectados a sus tensiones las nominales.

2ª.- Las tensiones en todas las acometidas están en fase.

3ª.- Los receptores se consideran equilibrados en intensidades.

La diferencia de tensiones entre **A** y **n** (máxima que se presenta en el distribuidor), está dada por la expresión:

$$\delta = \delta_{A,1} + ... + \delta_{j-1,j} + ... + \delta_{n-1,n} \qquad (25.29)$$

Sustituyendo (25.28) en (25.29), resulta:

$$\delta = \sqrt{3}.R_{A,1}.I_{A,1}.\cos\varphi_{A,1} + ... + \sqrt{3}.R_{j-1,j}.I_{j-1,j}.\cos\varphi_{j-1,j} + ... + \sqrt{3}.R_{n-1,n}.I_{n-1,n}.\cos\varphi_{n-1,n}$$

De acuerdo con las aproximaciones anteriormente citadas, se puede definir[4]:

$$I_{A,1}.\cos\varphi_{A,1} = I_1.\cos\varphi_1 + ... + I_j.\cos\varphi_j + ... + I_n.\cos\varphi_n$$

.....

$$I_{j-1,j}.\cos\varphi_{j-1,j} = I_j.\cos\varphi_j + ... + I_n.\cos\varphi_n \qquad (25.31)$$

.....

$$I_{n-1,n}.\cos\varphi_{n-1,n} = I_n.\cos\varphi_n$$

Teniendo en cuenta que las resistencias de los tramos del distribuidor se definen por:

$$R_{j-1,j} = \rho.\frac{l_{j-1,j}}{s} \qquad (25.32)$$

La ecuación (25.30) se puede expresar de la forma:

$$\delta = \frac{\sqrt{3}.\rho}{s}.[l_A,1.(I_1.\cos\varphi_1 + ... + I_j.\cos\varphi_j + ... + I_n.\cos\varphi_n) + ... +$$

$$+ l_j-1,j.(I_j.\cos\varphi_j + ... + I_n.\cos\varphi_n) + ... + l_n-1,_n.I_n.\cos\varphi_n] \qquad (25.33)$$

Sacando factor común $\mathbf{I_1.\cos\varphi_1, ...,I_j.\cos\varphi_j, ..., I_n.\cos\varphi_n,}$ en (25.33), resulta:

$$\delta = \frac{\sqrt{3}.\rho}{s}.[I_1.\cos\varphi_1.(l_{A,1}) + ... + I_j.\cos\varphi_j.(l_{A,1} + ... + l_{j-1,j}) + ... +$$

$$... + I_n.\cos\varphi_n(l_{A,1} + ... + l_{j-1,j} + ... + l_{n-1,n})] \qquad (25.34)$$

[4] Igual que en monofásica, se considera que todas las tensiones en las acometidas están en fase.

Llamando:

$$\begin{aligned} & l_{A,1} = l_1 \\ & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ & l_{A,1} + l_{1,2} + \ldots + l_{j-1,j} = l_j \\ & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ & l_{A,1} + l_{1,2} + \ldots + l_{j-1,j} + \ldots + l_{n-1,n} = l_n \end{aligned} \qquad (25.35)$$

Se puede expresar (25.34) de la forma:

$$\delta = \frac{\sqrt{3}.\rho}{s}.I_1.\cos\varphi_1.l_1 + \ldots + I_j.\cos\varphi_j.l_j + \ldots + I_n.\cos\varphi_n.l_n \qquad (25.36)$$

En forma de sumatorio, la ecuación (25.36) se expresa como:

$$\delta = \frac{\sqrt{3}.\rho}{s} \sum_{j=1}^{n} I_j.\cos\varphi_j.l_j \qquad (25.37)$$

El sumatorio de (25.37) se asocia a la suma de momentos de las componentes activas de las intensidades que absorben los receptores, con respecto a la acometida principal **A**.

Finalmente, despejando **s** de (25.37) resulta:

$$s = \frac{\sqrt{3}.\rho}{\delta} \sum_{j=1}^{n} I_j.\cos\varphi_j.l_j \qquad (25.38)$$

La expresión (25.38) permite calcular la sección uniforme del distribuidor, para una diferencia de tensiones **δ**, prefijada.

De la expresión (25.38) se deduce que, *la sección uniforme de un distribuidor abierto en corriente alterna trifásica, es directamente proporcional a la suma de los momentos de las componentes activas de las intensidades, con respecto a la acometida principal, e inversamente proporcional a la diferencia de tensiones máxima permitida.*