

15-16

18 (imp)

7 49

7 50

7 57

7 58

30

## XIV

# CIRCUITOS DE UTILIZACIÓN EN CORRIENTE ALTERNA Y MEDICIÓN DE POTENCIA

### 1. CIRCUITOS DE UTILIZACIÓN

Recuérdese que para que haya corriente es necesario un circuito cerrado y por lo menos una fuerza electromotriz capaz de mover las cargas. En consecuencia (2) dos es el número mínimo de conductores que debe tener un circuito para su funcionamiento.

En la práctica como la energía de uso masivo por los motivos explicados en el capítulo 12, se produce con generadores trifásicos, los circuitos también lo son. Se pueden distinguir dos tipos de circuitos de distribución, los troncales y los circuitos derivados de éstos denominados ramales que pueden ser, dependiendo de las necesidades del usuario, también de diferentes tipos según se muestra en figura 14.1.

El circuito mostrado en figura 14.1 corresponde a un circuito troncal trifásico de cuatro conductores, con cuatro tipos de derivaciones ramales típicas, que dependen de la carga a alimentar. Dichas derivaciones cuyo uso pueden corresponder a la alimentación de instalaciones industriales, comerciales, residenciales o a cargas puntuales, como lo son los diferentes dispositivos eléctricos, se describen a continuación:

1) Circuito trifásico de 380/220 V, 3f-4h, 50 Hz

Incluye instalaciones de tipo industrial, comercial y residencial de consumo importante y/o que en las mismas haya la necesidad de alimentar dispositivos trifásicos y monofásicos simultáneamente.

2) Circuito trifásico de 380 V, 3f-3h, 50 Hz

En general, para alimentar cargas trifásicas perfectamente equilibradas, como por ejemplo los motores trifásicos

3) Circuito monofásico de tensión simple 220 V, 1f-2h, 50 Hz

Para alimentar instalaciones de bajo consumo, no mayor de 5 kW, de tipo residencial, comercial y también cargas monofásicas como pueden ser un sistema de iluminación, una heladera, un lavarropas, etc.

4) Circuito monofásico de tensión compuesta de 380 V, 1f-2h, 50 Hz

Son útiles para alimentar cargas monofásicas cuya tensión nominal sea acorde, por ejemplo luminarias cuyos balastos estén nominados para 380 V.

Circuito troncal (3f-4h)  
R S T N

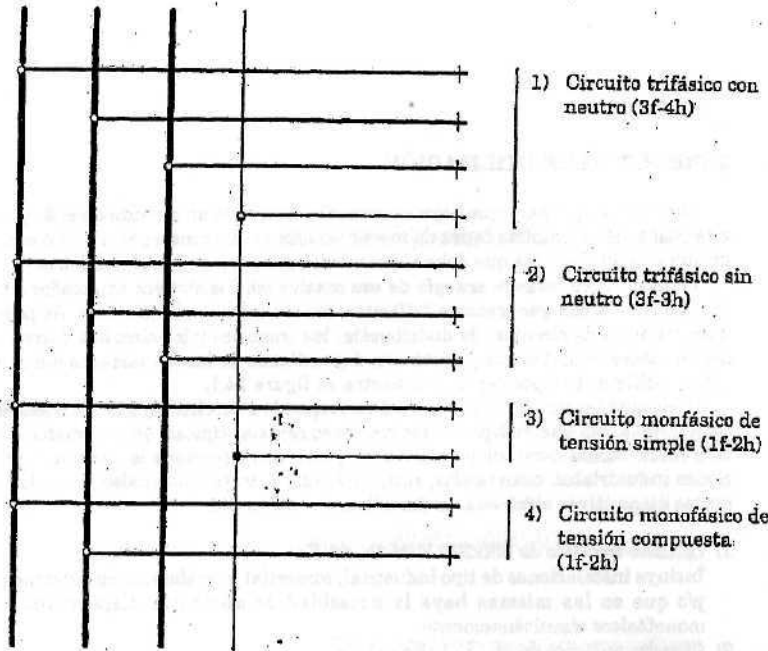


Figura 14.1

Dependiendo de la potencia a transmitir y con el objeto de economizar en las pérdidas que ocasionan las resistencias no deseadas en los conductores de los circuitos de interconexión, se suelen utilizar para transportar energía eléctrica, elevados niveles de tensión que van desde algunos miles de voltios hasta cientos de miles y que obviamente no son tensiones de utilización.

Estos niveles de tensión de transporte se logran con el uso de transformadores elevadores localizados en los puntos de generación y se rebajan con transformadores reductores en los puntos de utilización. Por ejemplo, una configuración de transformación típica utilizada para distribuir energía eléctrica y desde donde se originan los circuitos de distribución de baja tensión de 380/220 V clasificados según se muestra en la figura 14.1, se logra a partir de alimentadores troncales de media tensión y bancos de transformadores monofásicos conectados en triángulo sus arrollamientos primarios y en estrella los secundarios, tal como se muestra a continuación:

Circuito troncal de distribución en media tensión 13200 V

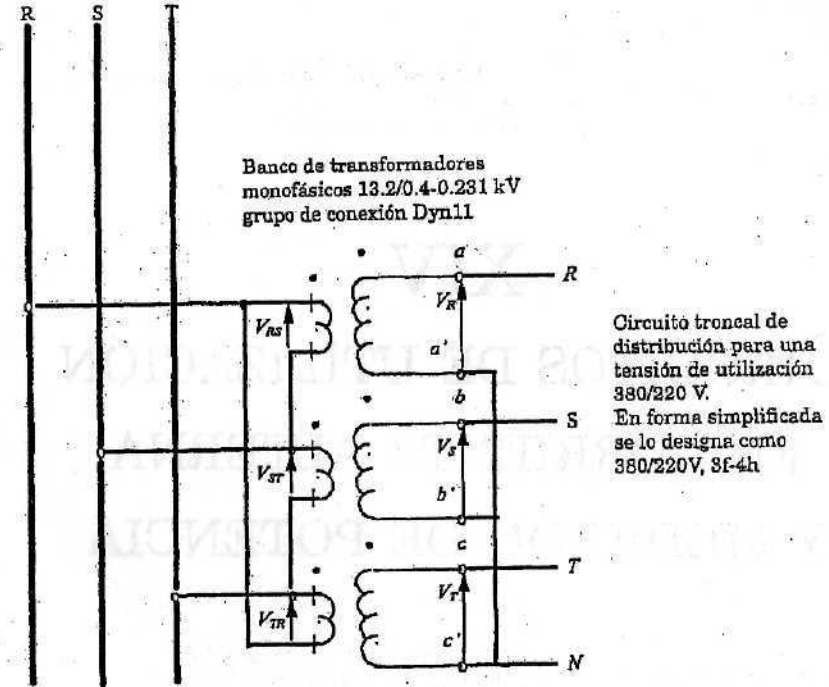


Figura 14.2

Cada transformador monofásico tiene una relación de espiras de 13200/231 V y las tensiones aplicadas a cada unidad monofásica son:

- 1) En primario, la tensión simple con relación a un nodo ficticio "o":  
 $V_{Rp} = (13200/\sqrt{3}) \cdot e^{j(\omega t)}$ ,  $V_{Sp} = (13200/\sqrt{3}) \cdot e^{j(\omega t + 120^\circ)}$ ,  $V_{Tp} = (13200/\sqrt{3}) \cdot e^{j(\omega t + 240^\circ)}$
- 2) En secundario la tensión simple con relación al nodo real "N":  
 $V_{Rs} = 231 \cdot e^{j(\omega t + 30^\circ)}$ ,  $V_{Ss} = 231 \cdot e^{j(\omega t + 30^\circ + 120^\circ)}$ ,  $V_{Ts} = 231 \cdot e^{j(\omega t + 30^\circ + 240^\circ)}$

Los fasores de tensión simple " $V_{Rp}$ ,  $V_{Sp}$  y  $V_{Tp}$ " de primario, no son mostrados en la figura 14.2 porque están referidos a un punto de potencial común "o" que no existe galvánicamente en el circuito. Como se ilustra en la figura 14.3 entre estos fasores de tensión simple primarios y sus homólogos secundarios, hay un desfase de  $+30^\circ$ . Esto es originado por la forma de conectar los arrollamientos de los transformadores constitutivos del banco trifásico.

Para el caso de la figura 14.2, dado que la conexión entre arrollamientos primarios es triángulo y entre arrollamientos secundarios es estrella, se dice que el transformador está conectado en triángulo ó en delta ó simplemente "D" su primario y en estrella ó simplemente

te "y" el secundario. Esto se conoce como grupo de conexión del transformador. El grupo de conexión se indica en forma abreviada como "Dyn11".

La letra mayúscula, en este caso "D", indica la forma de conexión del primario, la letra minúscula "y", la del secundario, la "n" al lado de la "y" indica que el secundario tiene neutro accesible y el número "11" es una manera, valiéndose de la información que proporciona el cuadrante de un reloj, de indicar el desfase de  $+30^\circ$  entre los fasores de tensión simple a ambos lados del transformador.

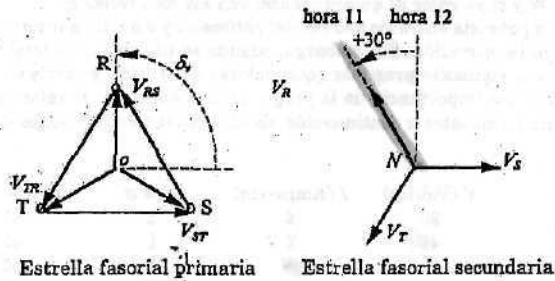


Figura 14.3

El número "11" asociado al grupo de conexión para el caso mostrado depende también de la polaridad de los arrollamientos primarios y secundarios de los transformadores. Por ejemplo, si en la figura 14.2 los puntos negros indicativos de la polaridad hubieran estado en los extremos opuestos de las bobinas secundarias, esto es en "a", "b" y "c" el grupo de conexión hubiera resultado "Dyn5" según se demuestra en figura siguiente:

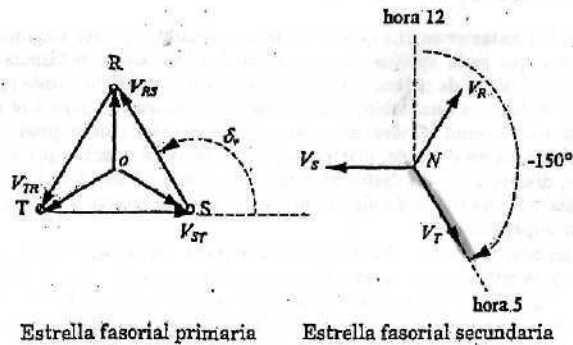


Figura 14.4

La combinación entre los circuitos trifásicos de media o alta tensión y los transformadores de rebaje (o de distribución), dan origen a una amplia gama de posibles circuitos de utilización para diferentes fines, dos de estos tipos de circuitos se muestran a continuación:

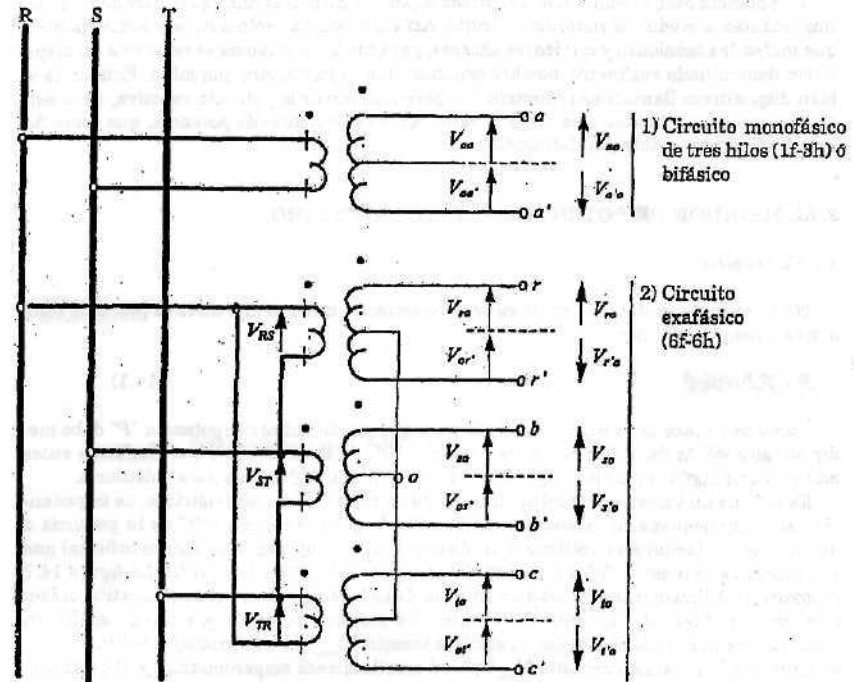


Figura 14.5

A continuación se muestran los diagramas fasoriales asociados a los circuitos de la figura 14.5:

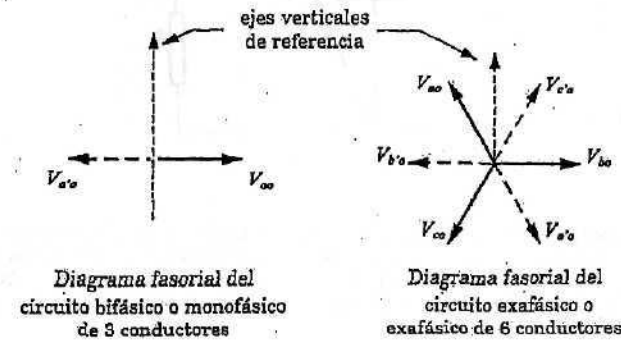


Figura 14.6

## 2. MEDICIÓN DE POTENCIA

La potencia real, media o activa (constante por definición) es uno de los parámetros más importantes a medir en cualquier circuito. Así como existen voltímetros y amperímetros que miden las tensiones y corrientes eficaces, para medir la potencia se recurre a un dispositivo denominado vatímetro, nombre originado por el parámetro que mide. Existen también dispositivos llamados varímetros que permiten medir la potencia reactiva, para este último caso el parámetro medido es el valor "Q" o valor ficticio de potencia, que como fue estudiado, es constante por definición.

## 3. EL MEDIDOR DE POTENCIA ACTIVA O VATÍMETRO

### 3.1 Vatímetro

No se entrará en detalles sobre su funcionamiento, como se dijo mide la potencia real, activa o media dada por

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (14.1)$$

Como se deduce de la expresión (14.1) para que pueda indicar la potencia "P" debe medir el valor eficaz de la diferencia de potencial "V", de la corriente "I", el desfase entre ambas y con algún mecanismo que no será visto aquí, arreglárselas para calcularla.

Es así que un vatímetro necesita de un par de terminales amperométricos, de impedancia real muy pequeña (idealmente nula) por donde pasa la corriente "I" de la potencia a medir y de dos terminales voltimétricos, de impedancia muy alta (idealmente infinita) que se conectan a la tensión "V" correspondiente también a la potencia a medir. La figura 14.7 muestra simbólicamente este instrumento donde se lo caracteriza, por una cuestión didáctica, como si fuera de tipo electromecánico. La máxima potencia que puede medir un vatímetro se da cuando se le aplica la máxima tensión " $V_{max}$ " en los terminales voltimétricos, lo atraviesa la máxima corriente " $I_{max}$ " por el arrollamiento amperométrico y el desfase " $\phi$ " entre ambos parámetros es nulo, o sea factor de potencia "1".

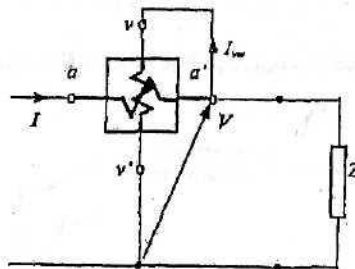


Figura 14.7

La bobina amperométrica del vatímetro cuyos terminales están señalados con "a" y "a'" tiene una capacidad de corriente máxima que no debe ser excedida para no dañar el instrumento. Igualmente la bobina voltimétrica podría ser dañada si se supera la máxima diferencia de potencial para la que el vatímetro fue diseñado. Esta aclaración que parecería

muy obvia, es importante debido a que lo que se mide en un vatímetro es proporcional (a través del coseno de " $\phi$ "), al producto de los valores de tensión y corriente a los que se conecta el instrumento y puede suceder que la potencia a medir sea inferior con relación a la de fondo de escala del aparato, mientras que se podría estar excediendo alguno de sus parámetros determinantes. Un ejercicio permitirá aclarar esta situación.

### Ejercicio 14.1 (de apoyo a teoría)

Supóngase que el vatímetro de la figura 14.1 permite medir una potencia máxima de " $P = 100 \text{ W}$ " y está diseñado para una ddp máxima " $V_{max} = 25 \text{ V}$ ", una corriente máxima de " $I_{max} = 5 \text{ A}$ " y " $\cos \phi = 0.8$ ". El vatímetro se conecta a una resistencia que consume aproximadamente  $80 \text{ W}$  y cuyo valor se quiere conocer con mayor precisión.

La relación de potencia entre los valores del vatímetro y a medir, a priori hacen suponer la factibilidad de la operación. Sin embargo, cuando se utiliza un vatímetro el operador debe formularse la siguiente pregunta ¿qué valores de tensión y corriente sustentan la potencia a medir? La importancia de la pregunta obedece a que el valor de  $80 \text{ W}$  puede resultar, tal como se muestra a continuación, de diferentes combinaciones de "V e I".

Caso	V (Voltios)	I (Amperios)	cos $\phi$	P (Wattios)
1	20	4	1	80
2	40	2	1	80
3	10	8	1	80
4	40	8	0.25	80

Como se observa de la tabla anterior, mientras en el caso 1 se puede medir la potencia consumida sin problemas, no resultaría lo mismo para los casos 2 y 3, ya que en el primero se viola la tensión máxima y en el segundo la corriente máxima. También puede existir el caso 4 que por ser una carga de bajo coseno de " $\phi$ ", la potencia total no es superada pero se exceden ambos parámetros, tensión y corriente.

### 3.2 Vatímetro de bajo factor de potencia

En el punto 3.1 anterior se dijo que un vatímetro común logra su máxima deflexión de la aguja siempre que se le aplique en sus terminales los valores máximos de tensión y corriente cuando el factor de potencia del elemento medido es "1". Sin embargo, hay dispositivos como es el caso de una bobina o un capacitor (construidos para que sólo manejen potencia reactiva) que como fue visto en el capítulo 10, al no ser ideales producen un consumo de potencia activa no deseado, originado por pérdidas de energía que se traducen en calentamiento, disminución del factor de mérito, etc. Esta potencia de muy bajo " $\cos \phi$ ", debe ser medida y forma parte, de alguna manera, de los datos que da el fabricante y que no deberán ser superados.

Si se toma en cuenta la definición de máxima deflexión dada para un vatímetro en punto 3.1 anterior y se aplica a una carga con valores máximos de tensión y corriente pero de bajo factor de potencia, la desviación de la aguja será mucho menor, estabilizándose en la primer parte de la escala donde el error relativo es mayor. Debido a esto es que para medir potencia en dispositivos de bajo factor de potencia se construyen vatímetros de bajo " $\cos \phi$ ". Este bajo factor de potencia se logra reduciendo la constante elástica de los resortes, de manera que la máxima desviación de la aguja se logre para un factor de potencia muy bajo, por ejemplo "0.2".

Estos vatímetros de bajo factor de potencia, por la modificación señalada necesaria a ser efectuada sobre los resortes recuperadores que producen el par antagónico, los convierte en dispositivos más delicados que los vatímetros comunes y cuando se utilizan hay que estar muy atentos de no sobrepasar la máxima deflexión que se debe dar para:

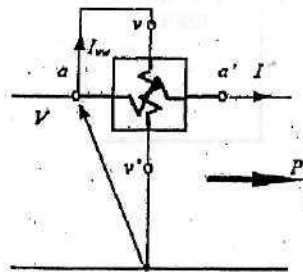
$$P = V_{max} \cdot I_{max} \cdot \cos \varphi \quad (14.2)$$

También es importante señalar que todo vatímetro tiene un consumo propio de algunos vatios, por ejemplo 5W. Esto quiere decir que sólo puede ser usado con cierta precisión para medir potencia bastante mayor que su propio consumo.

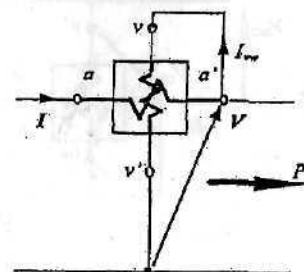
4. USO DEL VATÍMETRO

El sentido de desviación de la aguja de un vatímetro, depende de la manera como han sido dispuestas las bobinas voltimétricas y amperométricas y del sentido relativo de las corrientes que las recorren. Supóngase primero que el vatímetro se encuentra conectado a una carga simple de dos terminales y que la potencia fluye en el sentido señalado en las figuras 14.8 y 14.9. Desde un punto de vista didáctico se supondrá que si las corrientes interiores fluyen como se indica en las figuras 14.8 y 14.9, el vatímetro ve la tensión y la corriente con signos positivos y la deflexión será la correcta. Ahora bien, si se permutara la conexión de cualquiera de los dos arrollamientos la deflexión se dará en sentido contrario y por lo tanto la conexión será incorrecta.

También ambas figuras 14.8 y 14.9 muestran que existen dos formas correctas de conectar el vatímetro denominadas conexión larga y corta respectivamente y consecuentemente ambas deflexionan en sentido positivo. Sin embargo la consideración del error que se comete en la medición será diferente según se use una u otra forma de conectarlos.



Conexión larga o "I" bien medida  
Figura 14.8



Conexión corta o "V" bien medida  
Figura 14.9

Por los motivos indicados los vatímetros tienen por lo general señalados con una marca los bornes por los que debe entrar (o salir) la corriente, para que la deflexión sea correcta. Todo vatímetro tiene cuatro bornes, dos grandes correspondientes al circuito amperométrico y dos pequeños que pertenecen a los extremos del arrollamiento voltimétrico. En algunos casos el vatímetro cuenta con una llave inversora que permite invertir la conexión sin desconectarlo, en caso de deflexión incorrecta.

Los vatímetros en general suelen ser diseñados para valores normalizados de corriente (1A y 5A) y también para valores normalizados de tensión, pero en una gama más amplia. Cuando la corriente y tensión a medir superan los valores nominales del vatímetro utilizado es necesario recurrir a transformadores de corriente y transformadores de tensión.

Supóngase que para la medición que se está efectuando ha sido necesario recurrir a un transformador de corriente y que luego de conectado el vatímetro deflexiona al revés y no cuenta con llave inversora, se podría pensar en invertir el sentido de la corriente o el de la tensión. Como para modificar la conexión amperométrica es necesario interrumpir momentáneamente el circuito (recuerde que nunca un circuito de corriente debe quedar abierto) hace obligatorio invertir las conexiones del arrollamiento voltimétrico o desconectar totalmente el circuito antes de efectuar la modificación sobre el amperométrico. Esto último (desconectar el circuito) es siempre lo recomendable.

5. MEDICIÓN DE POTENCIA EN CIRCUITOS POLIFÁSICOS

5.1 Generalidades

De lo expuesto en punto 1 inicio del capítulo, se ve que pueden existir circuitos de corriente alterada sinusoidal formados por 2, 3, 4, 6, ... y en general por "n" conductores. La cantidad de conductores y de fases de cada circuito depende únicamente de la carga a alimentar.

Como se dijo al comenzar este capítulo, uno de los parámetros más importantes a medir en todo circuito es la potencia, en consecuencia es necesario encontrar un método que permita medir la potencia consumida por circuitos formados por "n" conductores.

5.2 Teorema de Blondel

Según Blondel, para medir la potencia total de un circuito alimentado a través de "n" conductores, es necesario contar con "n" vatímetros simples.

Como lo indica la figura 14.10, los "n" vatímetros deben estar conectados de manera tal que sus bobinas amperométricas se encuentren cada una asociada a un conductor distinto y los arrollamientos voltimétricos entre el respectivo conductor y un nodo común a todos. La potencia total resultará entonces de la suma de la leída en los "n" vatímetros tal como se muestra a continuación:

$$P = P_{1c} + P_{2c} + \dots + P_{nc} \quad (14.3)$$

La potencia de cada vatímetro en particular no tiene significado en si misma, sólo su suma da la potencia total consumida por el circuito.

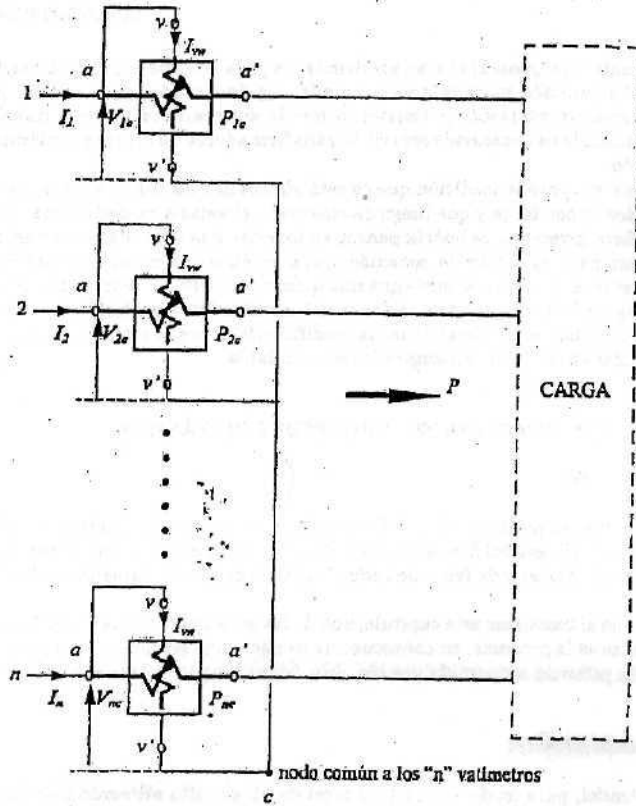


Figura 14.10

Cada vatímetro se distingue por el uso de tres subíndices tal como se muestra a continuación:

Vatímetro  $P_{kmi}$ :

- 1) el primer subíndice "k" significa el conductor intersectado con la bobina amperométrica
- 2) los subíndices "n" y "m" indican respectivamente los conductores del circuito entre los que se conecta el arrollamiento voltimétrico, el primero es el borne desde donde debe fluir la corriente voltimétrica si la corriente del conductor "k" está entrando por el borne amperométrico correcto o viceversa.

Como por lo general los conductores "n" y "k" suelen corresponder "al mismo", en tal caso se utiliza la notación simbólica simplificada  $P_{km}$ . Si además como punto común a los "n" vatímetros se utiliza un punto localizado sobre uno de los "n" conductores del circuito,

por ejemplo el conductor "k", el vatímetro asociado a este conductor quedaría designado como  $P_{kk}$  lo que indica que el arrollamiento voltimétrico está a ddp "0" y por lo tanto la potencia medida por este vatímetro resultará nula, con lo que la potencia total podrá ser determinada entonces con "n-1" vatímetros. Esto da origen a un corolario del teorema de Blondel, que posibilita la medición de la potencia total de un circuito alimentado con "n" conductores, utilizando sólo "n-1" vatímetros.

En punto 3.1 se dijo que no se entraría en detalle acerca del mecanismo de funcionamiento de los vatímetros, en consecuencia se asumirá como mecanismo con que un vatímetro obtiene el valor a indicar el señalado en la expresión (14.1) o también por la utilización de la siguiente expresión:

$$P = \Re(V \cdot I^*) \tag{14.4}$$

Donde

V: Fazor tensión de la potencia a medir tomado arbitrariamente con sentido tal que la corriente " $I_{av}$ " entre por el lado correcto para deflexión positiva.

$I^*$ : Conjugado del fazor corriente correspondiente a la potencia a medir tomado con el mismo sentido que se utilizó en la resolución del circuito.

### 5.3 Conexión Aarón

La conexión Aarón es una consecuencia del corolario visto para el teorema de Blondel, aplicado a circuitos trifásicos trifilares, tal como se muestra en figura 14.11.

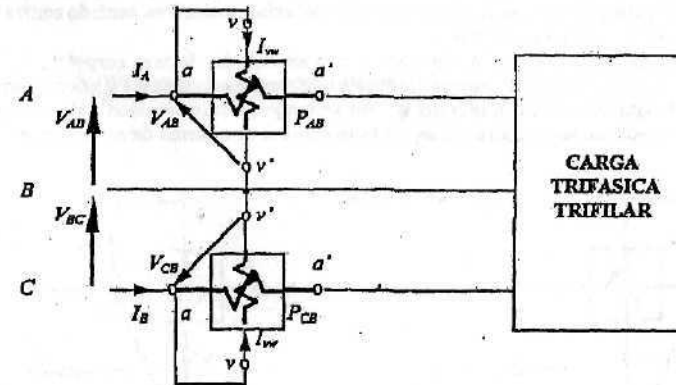


Figura 14.11

#### A.- Carga trifásica inaccesible y equilibrada

Supóngase primero que la carga fuera perfectamente equilibrada, entonces aún cuando no se tiene acceso a las caídas de potencial de cada fase, se puede asumir como se vió en punto 3.1 expresión (13.12), desde el punto de vista de la potencia que la caja designada como "CARGA TRIFÁSICA TRIFILAR", está formada por tres impedancias simples conectadas en estrella cuya diferencia de potencial de fase es:

$$V_A = V_B = V_C = V/\sqrt{3} \text{ y desfasadas } 120^\circ \text{ entre sí.} \quad (14.5)$$

De acuerdo con el teorema de Blondel la potencia total será:

$$P = P_{AB} + P_{CB} \quad (14.6)$$

Si se adopta para los vatímetros, como mecanismo de detección de la potencia, la indicada con la expresión (14.4) resultará:

$$P = \Re(V_{AB} \cdot I_A^*) + \Re(V_{CB} \cdot I_C^*) \quad (14.7)$$

$$V_{AB} = V_A - V_B \quad (14.8)$$

$$V_{CB} = -V_{BC} = V_C - V_B \quad (14.9)$$

Reemplazando en (14.7)

$$P = \Re[(V_A - V_B) \cdot I_A^*] + \Re[(V_C - V_B) \cdot I_C^*] \quad (14.10)$$

$$P = \Re(V_A \cdot I_A^* - V_B \cdot I_A^*) + \Re(V_C \cdot I_C^* - V_B \cdot I_C^*) \quad (14.11)$$

$$P = \Re(V_A \cdot I_A^* - V_B \cdot I_A^* + V_C \cdot I_C^* - V_B \cdot I_C^*) \quad (14.12)$$

$$P = \Re[V_A \cdot I_A^* + V_C \cdot I_C^* + V_B \cdot (-I_A^* - I_C^*)] \quad (14.13)$$

Como por primera ley de Kirchoff " $I_B^* = -I_A^* - I_C^*$ " entonces

$$P = \Re(V_A \cdot I_A^* + V_C \cdot I_C^* + V_B \cdot I_B^*) \quad (14.14)$$

Como " $V_A, V_B$  y  $V_C$ " son las caídas de potencial asumidas, según fue señalado en (14.5) y como " $I_A^*, I_B^*$  e  $I_C^*$ " son las corrientes asociadas a cada fase entonces la (4.14) corresponde a la potencia total absorbida y por lo tanto queda demostrado el método Aarón para medir potencia consumida por carga equilibrada.

**B.- Carga trifásica inaccesible y desequilibrada**

Supóngase ahora una carga asimétrica (desequilibrada) trifilar tal como se muestra en figura 14.12 siguiente:

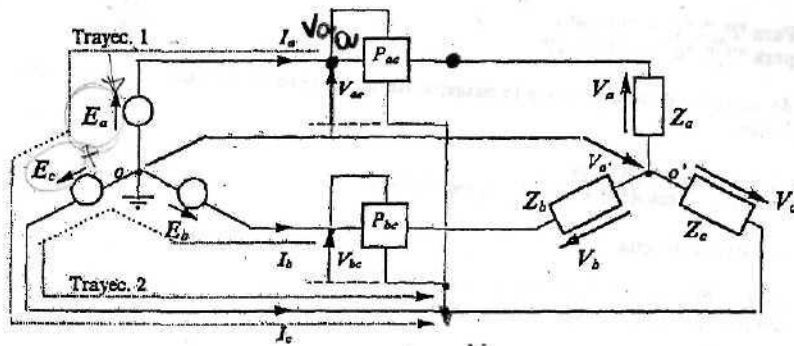


Figura 14.12

Se desea comprobar que con carga desequilibrada sigue valiendo el método Aarón. Se aclara que aún cuando aquí se dibujaron las impedancias de carga tiene que suponerse que éstas son inaccesibles y sólo se muestran para la verificación de la validez del método.

La figura 14.13 es la representación fasorial de las tensiones tanto en el generador como en la carga, correspondientes al circuito de la figura 14.12.

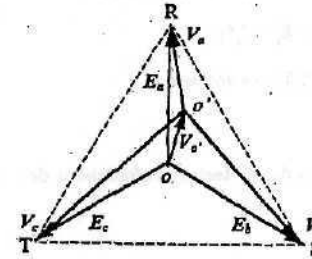


Figura 14.13

Si hubiera acceso al centro estrella "o" de la carga, con un único vatímetro se podría determinar la potencia consumida por cada fase para luego sumarlas, quedaría entonces:

$$P = P_{ao} + P_{bo} + P_{co} = \Re(V_{ao} \cdot I_a^* + V_{bo} \cdot I_b^* + V_{co} \cdot I_c^*) \quad (14.15)$$

Ahora

$$\begin{aligned} E_a &= V_a + V_{ao} & V_{ao} &= E_a - V_{ao} \\ E_b &= V_b + V_{bo} & V_{bo} &= E_b - V_{bo} \\ E_c &= V_c + V_{co} & V_{co} &= E_c - V_{co} \end{aligned} \quad (14.16)$$

Reemplazando (14.16) en (14.15)

$$P = \Re[(E_a - V_{ao}) \cdot I_a^* + (E_b - V_{bo}) \cdot I_b^* + (E_c - V_{co}) \cdot I_c^*] \quad (14.17)$$

Operando

$$P = \Re[E_a \cdot I_a^* + E_b \cdot I_b^* + E_c \cdot I_c^* - V_{ao} \cdot (I_a^* + I_b^* + I_c^*)] \quad (14.18)$$

Como por primera ley de Kirchoff " $I_a^* + I_b^* + I_c^* = 0$ " implica que la potencia total resulta de:

$$P = \Re[E_a \cdot I_a^* + E_b \cdot I_b^* + E_c \cdot I_c^*] \quad (14.19)$$

que es la potencia total entregada por el generador y que por ley de conservación de la energía debe ser igual a la total consumida, con lo que queda demostrada la validez del método incluso para carga desequilibrada.

Ahora bien si se escriben las siguientes ecuaciones de trayectoria asociadas a la determinación de la ddp que deben ver los vatímetros se tiene:

$$\text{Trayectoria 1) } V_a - E_a + E_c = V_c \therefore V_c - V_a = E_a - E_c = V_{ac} \quad (14.20)$$

$$\text{Trayectoria 2) } V_b - E_b + E_c = V_c \therefore V_c - V_b = E_b - E_c = V_{bc} \quad (14.21)$$

$$\text{Como por primera ley de Kirchoff } I_c^* = -I_a^* - I_b^* \quad (14.22)$$

Sustituyendo (14.22) en (14.19) y agrupando según se indica:

$$P = \Re[(E_a - E_c) \cdot I_a^* + (E_b - E_c) \cdot I_b^*] \quad (14.23)$$

considerando (14.20) y (14.21) se obtiene

$$P = \Re[V_{ac} \cdot I_a^* + V_{bc} \cdot I_b^*] \quad (14.24)$$

que corresponde a la suma de las lecturas efectuadas desde los vatímetros conectados según Aarón.

#### 5.4 Conexión Aarón y factor de potencia

Si la carga es equilibrada la potencia leída en los vatímetros de la conexión Aarón permite determinar, como será demostrado a continuación, el factor de potencia de la carga. Sea por ejemplo el circuito de la figura 14.14 en el que las impedancias de carga son:

$$Z_a = Z_b = Z_c = Z \cdot e^{j\varphi} \quad (14.25)$$

y las tensiones

$$\begin{aligned} E_a &= E_f \cdot e^{j90^\circ} = 100 \cdot e^{j90^\circ} \text{ V} \\ E_b &= E_f \cdot e^{-j30^\circ} = 100 \cdot e^{-j30^\circ} \text{ V} \\ E_c &= E_f \cdot e^{-j150^\circ} = 100 \cdot e^{-j150^\circ} \text{ V} \end{aligned} \quad (14.26)$$

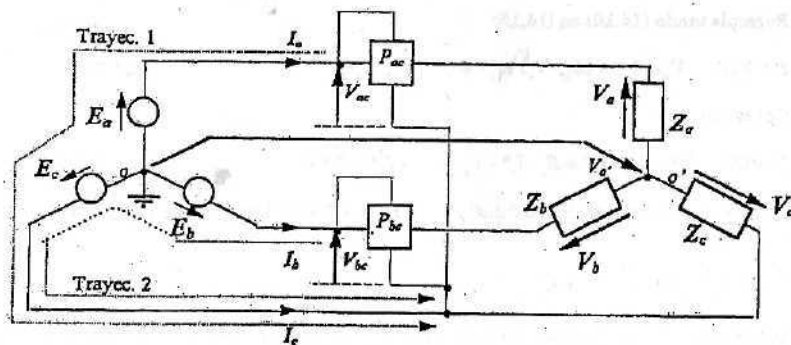


Figura 14.14

Las corrientes tendrán en consecuencia un desfase "φ", con relación a la tensión de la fase correspondiente, tal como se muestra en el diagrama fasorial de la figura 14.15. La caída de tensión en cada fase por la simetría del problema será igual que la tensión de la fase correspondiente del generador, o sea:

$$\begin{aligned} V_a &= E_a \\ V_b &= E_b \\ V_c &= E_c \end{aligned} \quad (14.27)$$

Las tensiones y corrientes vistas por los vatímetros "P<sub>ac</sub>" y "P<sub>bc</sub>", son las indicadas en el diagrama fasorial de la figura 14.15, con los subíndices homólogos:

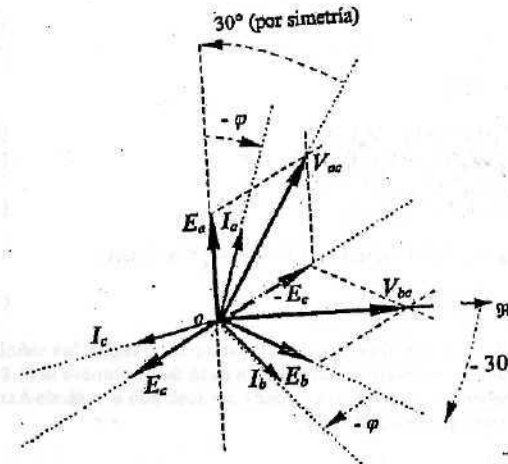


Figura 14.15

Los desfases vistos por los vatímetros son:

$$\text{Para "P}_{ac}\text{" : } \varphi_{ac} = 30^\circ - \varphi \quad \text{y} \quad (14.28)$$

$$\text{para "P}_{bc}\text{" : } \varphi_{bc} = -(30^\circ + \varphi) \quad (14.29)$$

de acuerdo con lo expuesto y la conexión Aarón la potencia de cada vatímetro vendrá dada por:

$$P_{ac} = V_{ac} \cdot I_a \cos(30^\circ - \varphi) \quad (14.30)$$

$$P_{bc} = V_{bc} \cdot I_b \cos(-30^\circ + \varphi) = V_{bc} \cdot I_b \cos(30^\circ + \varphi) \quad (14.31)$$

Considerando que:

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta + \text{sen } \alpha \cdot \text{sen } \beta \quad (14.32)$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta - \text{sen } \alpha \cdot \text{sen } \beta \quad (14.33)$$

los cosenos de las (14.30) y (14.31) quedan

$$\cos(30^\circ - \varphi) = \cos 30^\circ \cdot \cos \varphi + \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi \quad (14.34)$$

$$\cos(30^\circ + \varphi) = \cos 30^\circ \cdot \cos \varphi - \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi \quad (14.35)$$

Como " $\cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$ " y " $\sin 30^\circ = 1/2$ ", las (14.34) y (14.35) quedan:

$$P_{ac} = V_{ac} \cdot I_a \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi + \frac{1}{2} \sin \varphi \right) \quad (14.36)$$

$$P_{bc} = V_{bc} \cdot I_b \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi - \frac{1}{2} \sin \varphi \right) \quad (14.37)$$

Si ahora se toma en cuenta que " $V_{ac} = V_{bc} = V$ " es el módulo de la tensión de línea o compuesta e " $I_a = I_b = I$ " es el módulo de la corriente de línea, entonces sumando y restando (14.36) y (14.37) se tiene:

$$P_{ac} + P_{bc} = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \quad (14.38)$$

$$P_{ac} - P_{bc} = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (14.39)$$

Dividiendo (14.39) por (14.38) y despejando el ángulo " $\varphi$ "

$$\varphi = \arctg \sqrt{3} \frac{P_{ac} - P_{bc}}{P_{ac} + P_{bc}} \quad (14.40)$$

Como se observa la (14.40) permite obtener el ángulo de desfase entre la tensión y corriente y en consecuencia el factor de potencia. Es importante señalar que esta expresión tiene sentido sólo para carga equilibrada, obviamente conectada a un sistema trifásico de tensiones.

## PROBLEMAS PROPUESTOS CAPITULO 14

### OBJETIVO PRINCIPAL:

Aprender a reconocer los distintos tipos de circuitos de alimentación utilizados en la realidad, cómo diseñarlos, protegerlos y maniobrarlos. Cómo medir eficientemente la potencia consumida o suministrada por cualquier carga y/o circuito. Cómo utilizar vatímetros sin someterlos a valores excesivos de tensión y/o corriente. Cálculo de la demanda eléctrica de una instalación y factores asociados. Integración de conceptos aplicados a usos prácticos de la vida real. Toda vez que se pueda se deberán hacer diagramas fasoriales, triángulos de impedancias y de potencias necesarios.

### PROBLEMA 14.1

#### Complemento teórico para la resolución del problema

Hay países que por razones de seguridad usan para aquellos dispositivos de manipulación frecuente como luminarias (para recambio de lámparas) y enchufes convencionales, una tensión máxima de 120 V y por razones económicas tensiones de 208 V ó 240 V para aquellos dispositivos de gran consumo, cuyos puntos de alimentación no son frecuentemente manipulados, tales como: heladeras, cocinas eléctricas, hornos microondas, calefones eléctricos, lavarropas, secarropas, acondicionadores de aire, trituradoras de residuos, etc, todos de tipo monofásicos. También existen otros dispositivos, como por ejemplo bombas de agua, ascensores, equipos centralizados de acondicionamiento de aire, etc. que por sus requerimientos de potencia, además de tener una tensión nominal importante, son de tipo trifásico.

Considerando los aspectos antes dichos se debe determinar la configuración de:

1) Los diferentes tipos de circuitos para una instalación de tipo residencial que tiene como cargas los siguientes dispositivos:

a) Cocina eléctrica $P_n = 4000W$ , $V_n = 208 V$	cant.: 1 Unidad
b) Heladera $P_n = 400W$ , $V_n = 208 V$	cant.: 1 Unidad
c) Freezer $P_n = 400W$ , $V_n = 208 V$	cant.: 1 Unidad
d) Lavarropa $P_n = 400W$ , $V_n = 208 V$	cant.: 1 Unidad
e) Secadora $P_n = 1500W$ , $V_n = 208 V$	cant.: 1 Unidad
f) Ac. Aire (1/2 HP) $P_n = 500W$ , $V_n = 208 V$	cant.: 3 Unidades
g) Televisores $P_n = 250W$ , $V_n = 120 V$	cant.: 3 Unidades
h) Bocas de iluminación: $P_n = 100W$ , $V_n = 120 V$	cant.: 30 Unidades

- 2) La distribución de la carga de manera que resulte lo más equilibrada posible.
- 3) Diseñar un sistema de alimentación: acometida, tablero principal, seccionales, alimentadores, elementos de maniobra y protección, para la operación segura y adecuada de tal instalación.
- 4) Asumiendo que el sistema ha quedado perfectamente equilibrado con potencia por fase para cada tramo de circuito, igual a la fase que sea más desfavorable para ese tramo, representar el circuito equivalente por fase del sistema de alimentación.
- 5) Si en el punto de alimentación se cuenta con un sistema trifásico estrella de 208 V, 3f-4w, 60 Hz, determine las corrientes y tensiones.
- 6) Calcule las corrientes que serían cortocircuitos (no simultáneos) en barras de tableros producirán en los respectivos alimentadores y acometida.
- 7) Elija los componentes del sistema de alimentación.

**Complemento teórico para la resolución del problema**

Para desarrollar el requerimiento del punto 3, es necesario introducir algunos conceptos relacionados con la demanda eléctrica de un equipo, instalación o sistema.

**Demanda**

Se entiende por tal a la potencia instantánea absorbida por una carga, instalación o sistema, durante un período de tiempo determinado. Generalmente viene representada gráficamente por una función multiforme, conocida como curva de demanda, tal como se muestra para un intervalo de tiempo de 24 hs, en figura P14.1. Cabe aclarar que este ejemplo está hecho con tramos rectos, sólo por razones de dibujo.

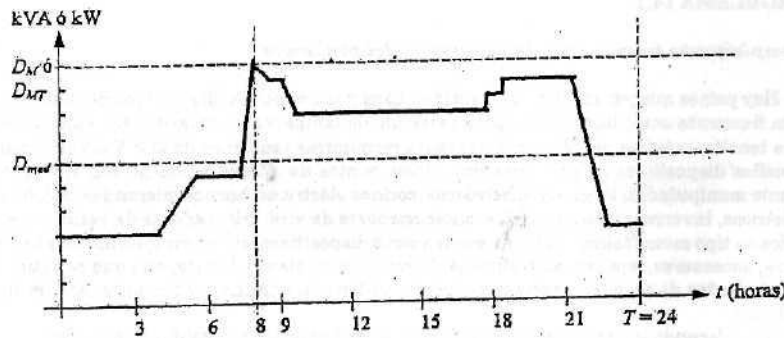


Figura P14.1

**Demanda máxima "D\_M"**

Como se indica en la curva de demanda, es la máxima potencia absorbida por una instalación o sistema.

**Demanda media o promedio "D\_med"**

Es un valor constante para el período considerado de manera que se cumpla que:

$$D_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) \cdot dt \quad [\text{kW}] \quad \text{o} \quad D_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T S(t) \cdot dt \quad [\text{kVA}]$$

O también que el producto de la demanda media "D\_med" por el período de tiempo "T" considerado para la curva de demanda, dé como resultado la energía total absorbida por el sistema o instalación.

**Potencia instalada "S\_i"**

Se entiende por tal a la suma de los kVA nominales de todos los equipos y dispositivos de una instalación o sistema, estén o no funcionando. Suele referirse a ésta como carga conectada.

**Factor de demanda "F\_D"**

Es la relación entre la demanda máxima de un equipo, instalación o sistema y la potencia instalada. Para el caso de un equipo la potencia instalada corresponde a la nominal de placa. Por ejemplo en un sistema de bombeo se selecciona una bomba cuyo motor es de 100 HP, pero su carga mecánica será de 80 HP, esto implica un  $F_D = 0.8$ .

**Factor de diversidad de carga "F\_d"**

Dado un conjunto de cargas individuales conectadas a una red, no necesariamente coincidirán en sus períodos de funcionamiento. En el caso de un conjunto de instalaciones individuales, tampoco van a coincidir las máximas demandas "D\_M" individuales.

En tal sentido la demanda máxima total "D\_MT" del conjunto es aleatoriamente inferior a la suma de las demandas máximas de cada carga o instalación individual. Se define entonces como:

$$F_d = \frac{\sum_{i=1}^n D_{Mi}}{D_{MT}} \geq 1$$

Numerosas mediciones pueden probar la alta probabilidad de que lo anteriormente dicho se cumple.

Este fenómeno aleatorio permite afectar la demanda máxima "D\_M", ya calculada a través del factor de demanda, con un coeficiente denominado factor de diversidad "F\_d", para obtener la demanda total a considerar:

$$D_{MT} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{Mi}}{F_d}$$

Por ejemplo si se consideran como carga individual los tableros seccionales de una instalación de tipo hospitalaria, entonces para el cálculo del alimentador principal se podrán utilizar los siguientes factores de diversidad:

Número de tableros seccionales	Factor de diversidad $F_d$
5	1.2
10	1.4
20	1.7
30	1.8
40	2.0
50	2.1
≥ 60	2.2

Tabla obtenida del Manual de Normas y Criterios para Proyectos de Instalaciones Eléctricas publicado por la Dirección de Edificios del Ministerio de Obras Públicas de la República de Venezuela.

**Factor de simultaneidad "F<sub>s</sub>"**

En nuestro país para la determinación de la demanda máxima se utiliza una combinación del factor de carga y de diversidad, directamente aplicada a la potencia instalada. Esta combinación, denominada factor de simultaneidad, puede entenderse de la siguiente manera:

$$D_{MT} = \frac{F_D}{F_d} \cdot P_i = F_s \cdot P_i$$

**Factor de carga "F<sub>c</sub>"**

Es la relación entre la demanda media o promedio "D<sub>med</sub>" y la demanda máxima total "D<sub>M</sub>" o "D<sub>MT</sub>".

$$F_c = \frac{D_M}{D_{med}} \quad \text{o} \quad F_c = \frac{D_{MT}}{D_{med}}$$

**PROBLEMA 14.2**

Según el punto 3.1 del capítulo 14, un vatímetro monofásico tiene como mínimo 4 terminales de conexión (dos para el circuito amperométrico y dos para el voltimétrico). Si el circuito en el que será insertado el vatímetro, estuviera formado por dos conductores:

- a) ¿cuántas alternativas de conexión tiene?
- b) dibujar todas las alternativas con la dirección de los parámetros "V", "I" y "P" de la potencia medida, manteniendo en todos los casos el mismo sentido y
- c) ¿cuáles de las conexiones mostradas son correctas y cuáles no?

**PROBLEMA 14.3**

Una carga trifásica es alimentada por un circuito trifásico trifilar, o sea 3f-3h. Con independencia que la lectura resulte correcta o no:

- a) Demostrar que hay 36 maneras distintas en las que se podría conectar un vatímetro monofásico.
- b) Demostrar que hay sólo 9 maneras correctas de conectarlo.
- c) ¿Cuántos vatímetros serán necesarios y de que manera deberán estar conectados para medir la potencia total de acuerdo con el teorema de Blondel?
- d) ¿Cuántos serán necesarios de acuerdo con el corolario del teorema de Blondel?
- e) ¿Que cantidad de vatímetros y conectados de que manera se conce como conexión Aarón?

**PROBLEMA 14.4**

Suponiendo que un vatímetro de bajo factor de potencia (cos φ = 0.2), utilizado en la experiencia con el aparato de Epstein tiene las siguientes características:

- 1) dos arrollamientos voltimétricos: uno de 130 V y el otro de 260 V (tres terminales, uno común),
- 2) dos arrollamientos amperométricos: uno de 1 A y el otro de 5 A (tres terminales, uno común)

y suponiendo además que los máximos valores que se prevén medir durante la experiencia son: (120 V, 2.8 A y aprox. 40 W).

- a) ¿En que terminales se deberá conectar el vatímetro para no dañarlo?
- b) Hacer un diagrama circuitual de la conexión.

**PROBLEMA 14.5**

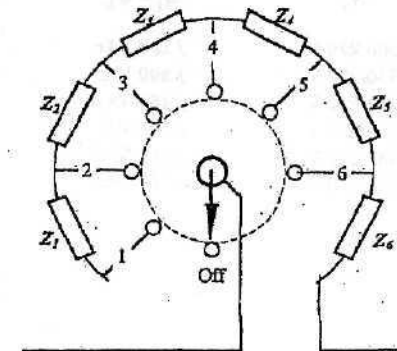


Figura P14.2

Complemento teórico para la resolución del problema

En el laboratorio se dispone de cajas tripolares de resistencias, inductancias y capacitancias con la posibilidad de seleccionar en saltos discretos, 6 valores de resistencias y/o reactancias que se detallan a continuación. La figura P14.2 muestra el arreglo circuital simplificado de las resistencias o reactancias que se pueden seleccionar por cada polo de las mencionadas cajas.

Caja de resistencias

Características nominales: 1200 W para 380/220 V o 400 W/fase para 220 V/fase.

Posición de selección "i"	Sistema de tensión "V <sub>i</sub> "	Potencia absorbida "S <sub>i</sub> = P <sub>i</sub> "	Impedancia equivalente "Z <sub>i</sub> = R <sub>i</sub> "
1	380/220 V	200 W	2,42
2	380/220 V	400 W	1,21
3	380/220 V	600 W	80,64
4	380/220 V	800 W	60,5
5	380/220 V	1000 W	48,4
6	380/220 V	1200 W	40,3

$$P = \frac{V^2}{R} \quad R = \frac{V^2}{P}$$

Caja de reactancias inductivas

Características nominales: 900 VAR para 380/220 V o 300 VAR/fase para 220 V/fase.

Posición de selección "i"	Sistema de tensión "V <sub>i</sub> "	Potencia absorbida "S <sub>i</sub> = Q <sub>Li</sub> "	Impedancia equivalente "Z <sub>i</sub> = X <sub>Li</sub> "
1	380/220 V	j 150 VAR	822,6
2	380/220 V	j 300 VAR	161,33
3	380/220 V	j 450 VAR	107,55
4	380/220 V	j 600 VAR	80,66
5	380/220 V	j 750 VAR	64,53
6	380/220 V	j 900 VAR	53,77

$$P = \frac{V^2}{R} \quad R = \frac{V^2}{P}$$

$$Q = \frac{V^2}{X}$$

Caja de reactancias capacitivas

Características nominales: 900 VAR para 380/220 V o 300 VAR/fase para 220 V/fase.

Posición de selección "i"	Sistema de tensión "V <sub>i</sub> "	Potencia absorbida "S <sub>i</sub> = Q <sub>ci</sub> "	Impedancia equivalente "Z <sub>i</sub> = X <sub>ci</sub> "
1	380/220 V	-j 150 VAR	322,6
2	380/220 V	-j 300 VAR	161,33
3	380/220 V	-j 450 VAR	107,55
4	380/220 V	-j 600 VAR	80,66
5	380/220 V	-j 750 VAR	64,53
6	380/220 V	-j 900 VAR	53,77

En el laboratorio se dispone también de un dispositivo que emula el comportamiento de un generador trifásico de 50 Hz, secuencia directa y conectado en estrella. El mismo cuenta con una llave selectora que permite su funcionamiento con la posibilidad de seleccionar la tensión en terminales, según se detalla a continuación:

- 1) en la posición "a" se tienen 380/220 V fijos.
- 2) en la posición "b" se tiene la posibilidad de ajustar la tensión compuesta o de línea, en forma continua, entre 0 y 440 V.

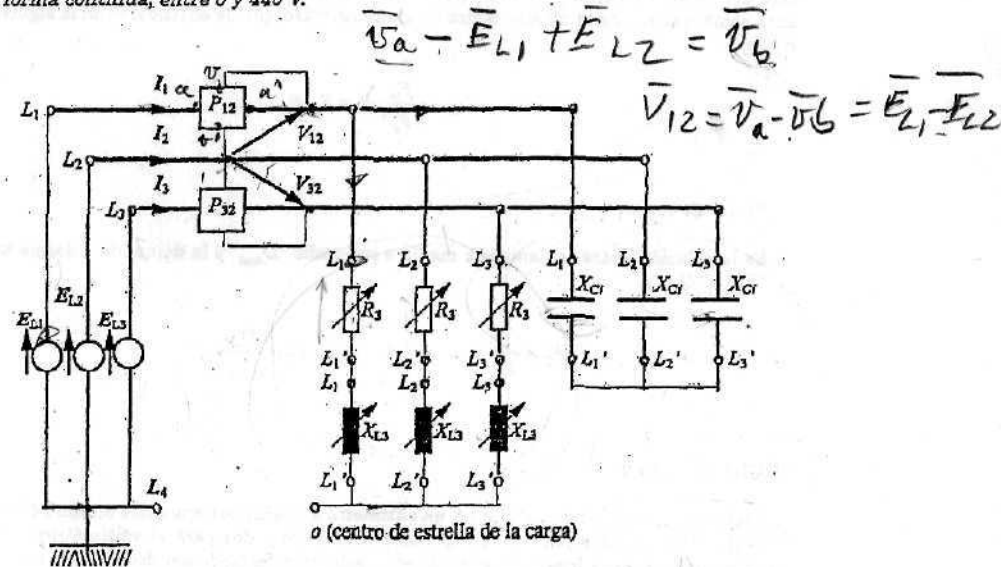


Figura P14.3

Con los dispositivos introducidos se puede ahora enunciar el problema 14.5. El mismo consiste en determinar por cálculo la potencia trifásica y el factor de potencia que se obtendría por medición con el método Aarón, en el circuito de la Figura P14.3.

#### Datos

$$|E_{L1}| = |E_{L2}| = |E_{L3}| = E_f = 220 \text{ V}$$

La posición de llaves selectoras para la caja de resistencias " $i = 3$ "

La posición de llaves selectoras para la caja de inductancias " $i = 3$ "

También se quiere determinar en que posición habrá que ajustar las llaves selectoras de la caja de capacitancias para corregir el factor de potencia a 0.85.

### PROBLEMA 14.6

#### Complemento teórico para la resolución del problema

Como fue esbozado anteriormente los sistemas eléctricos a pesar de tener una determinada potencia instalada, son diseñados para la demanda máxima " $D_M$ " o " $D_{MT}$ ", potencia que resulta generalmente menor que la instalada. Esto puede llegar a causar eventualmente congestión de potencia en los elementos diseñados.

Para evitar estos probables congestiones se establece un mayor costo para el transporte de la energía en las horas de demanda máxima, conocidas para el intervalo de tiempo correspondiente, como "Energía en el Pico o Punta (EP)". De aquí se desprende lo que se conoce como factor de utilización de una instalación o simplemente factor de utilización " $F_U$ ".

#### Factor de utilización " $F_U$ "

Viene dado por la relación entre la demanda máxima " $D_M$ " o " $D_{MT}$ " y la capacidad nominal del equipo individual o sistema.

En general a nivel de las empresas generadoras, transportistas y distribuidoras de energía eléctrica las horas de pico (demanda máxima) son función de las características particulares del sistema al que alimentan, o sea: el tipo de actividad industrial que se desarrolle, si son o no influenciadas por las estaciones climáticas o demandas de tipo estacionales, el horario en que anochece y amanece, etc. Es obvio que a la hora del crepúsculo en general habrá un importante aumento de demanda debido al encendido de luces, lo que en caso de una demanda de tipo residencial puede originar una congestión de potencia para los circuitos de distribución, transporte y generación, cuando es probable que durante el día hubieren estado subutilizados.

Para evitar congestiones de potencia en circuitos y/o equipos, se ha establecido especialmente para la demanda de grandes usuarios, un precio diferenciado, según el horario en que haya sido medida la energía eléctrica consumida.

En tal sentido la curva de demanda es dividida en tres intervalos de tiempo conocidos como: pico, valle y resto. Para estos intervalos se establece mayor precio para la energía consumida durante las horas de pico o punta y menor para la consumida en las horas correspondientes al valle. El "resto" que tiene un precio comprendido entre el de pico y el de valle, es el intervalo de tiempo que sumado a los intervalos de pico y valle, completa el período de tiempo " $T$ " definido para la curva de demanda del sistema en cuestión y que generalmente es de 24 horas.

Con los conceptos introducidos, se enuncia a continuación el problema 14.5.

En vista de su crecimiento futuro, una industria frigorífica proyecta ampliar su sistema de alimentación. Para determinar la demanda máxima futura se cuenta con los siguientes datos:

- El consumo actual desde la red, fue obtenido de una factura típica, con un intervalo de facturación de 32 días y de cuya lectura se extrajeron los siguientes datos de interés:
 

• Energía Activa Pico (EAP): 129460 kWh	(0.00251 \$/kWh)
• Energía Reactiva Pico (ERP): 56780 kVArh	
• Energía Activa Resto (EAR): 334640 kWh	(0.00216 \$/kWh)
• Energía Reactiva Resto (ERR): 153090 kVArh	
• Energía Activa Valle (EAV): 151980 kWh	(0.00184 \$/kWh)
• Energía Reactiva Valle (ERV): 64760 kVArh	
• Demanda máxima en el pico: 1107 kW	(3.181 \$/kW)
• Demanda máxima fuera del pico: 1130 kW	(3.297 \$/kW)
- En la actualidad por deficiencia en la capacidad del sistema de alimentación de red, hay 500 kVA que son autogenerados y alimentados a través de circuitos independientes de la red.
- Se sabe también que será necesario agregar dos compresores: uno de 250 HP y otro de 400 HP.
- Como criterio de diseño se prevé una potencia para reserva futura igual al 25% de la total que resulte del cálculo de la demanda.

Se quiere diseñar el sistema de alimentación siguiendo los pasos que a continuación se detallan:

- A partir de la energía consumida, extraída de la factura, determinar la demanda promedio " $D_{med}$ ".
- Con la demanda máxima maximorum, también extraída de la factura, determinar el factor de carga de la instalación.
- Conocido el factor de carga " $F_C$ ", determinar la máxima demanda que representarán, incluidos en el sistema, los dos compresores previstos (de 250 HP y de 400 HP).
- Sumando al valor obtenido en el paso (3) anterior, la demanda máxima " $D_M$ " obtenida de la facturación y los 500 kVA autogenerados, se obtiene la demanda máxima que incrementada en un 25% de su valor, resultará ser la demanda total de diseño " $D_{MT}$ ".
- Diseñar el sistema de alimentación considerando acometida única de 13.2 kV y 130 m de longitud que suministrará a las instalaciones del frigorífico a través de tres transformadores de rebaje de 13.2/0.380-0.220 kV, 3f-4h. Cada uno de los transformadores alimentarán a sendas barras de distribución principal o Tablero de Distribución Principal (TDP), los que estarán localizados a 30 m de los mencionados transformadores.

Aún cuando los tres tableros TDP en condición de operación normal no funcionarán con sus barras vinculadas, éstas deberán tener la posibilidad de ser acopladas longitudinalmente, por medio de interruptores de enlaces normalmente abiertos (NA) y que serán cerrados toda vez que sea necesario sacar alguno de los transformadores fuera de servicio. Para poder atender este requerimiento, cada transformador contará con ventilación forzada para extender su capacidad en un 33%, de tal manera que con esta ampliación de potencia más los 500 kVA que se obtienen de la autogeneración existente, se deberá poder, dentro de lo posible, atender el 100% de la demanda del frigorífico.

- 6) Hacer un diagrama unifilar simplificado del sistema, dimensionando los circuitos de acometida, de alimentación y los correspondientes equipos de maniobra y protección.
- 7) Asumiendo que la carga es perfectamente equilibrada hacer la representación por fase del sistema de alimentación diseñado.
- 8) Mediante cortocircuitos en las barras de los tableros TDP calcular las corrientes de cortocircuito que deberán soportar los circuitos y equipos involucrados.

### Complemento teórico para la resolución del problema

Los elementos de maniobra y protección se pueden clasificar simplificada en:

- a) Seccionadores de operación en vacío.
- b) Seccionadores de operación bajo carga.
- c) Llaves o interruptores de maniobra.
- d) Interruptores
  - 1) No automáticos  
No incluyen elementos de detección de corrientes de cortocircuito. Su apertura bajo corrientes de fallas se logra por medio de un dispositivo de protección externo, a través de una bobina de disparo o apertura.
  - 2) Automáticos  
Incluyen elementos de detección de corrientes de cortocircuito y dispositivos que producen la apertura bajo corrientes de fallas. Se mencionan dos tipos muy conocidos y utilizados:
    - Interruptor termomagnético (ITM).
    - Interruptor diferencial (disyuntor).
- e) Fusibles.
  - comunes.
  - de alta capacidad de ruptura (o limitadores de corriente de cortocircuito).

### Seccionadores

Se entiende por tal a un dispositivo destinado a interrumpir un circuito y que permita por inspección visual verificar que el circuito está efectivamente abierto. Estos dispositivos deben garantizar, cuando están abiertos, el aislamiento del sistema, instalación o elemento en cuestión. Se los especifica básicamente con:

- a) Tensión nominal: igual a la máxima tensión permanente del sistema en el que serán instalados.
- b) Corriente nominal permanente: igual a la máxima corriente permanente esperada.
- c) Corrientes de fallas: deben poder soportar, sin abrir, la máxima corriente originada por diferentes cortocircuitos en distintos puntos de la instalación.

Cuando el seccionador se especifica como bajo carga, deberá además poder cerrar o abrir circuitos por los que circule como máximo su corriente nominal permanente.

### Llaves o interruptores de maniobra

Es un elemento para maniobrar circuitos por los que circula corriente, en consecuencia deben poder interrumpir como mínimo, las corrientes de funcionamiento normal de los circuitos. Se los especifica básicamente con:

- a) Tensión nominal: igual a la máxima tensión permanente del sistema en el que serán instalados.
- b) Corriente nominal permanente: igual a la máxima corriente permanente que deban poder interrumpir.
- c) Corrientes de fallas: deben poder soportar, sin abrir, la máxima corriente originada por diferentes cortocircuitos en distintos puntos de la instalación.

### Interruptores

Además de las habilidades mencionadas para las llaves o interruptores de maniobras, con el objeto de proteger circuitos, deben poder interrumpir sin que sufran daño alguno, las corrientes de cortocircuitos esperadas en la instalación protegida. Por tal motivo además de las características requeridas para las llaves, es necesario especificar su capacidad de interrupción, o sea:

- a) Tensión nominal: igual a la máxima tensión permanente del sistema en el que serán instalados.
- b) Corriente nominal permanente: igual a la máxima corriente permanente que deban poder interrumpir.
- c) Corrientes de fallas: deben poder soportar, sin abrir, la máxima corriente originada por diferentes cortocircuitos en distintos puntos de la instalación.
- d) Capacidad de interrupción: como mínimo igual a la máxima corriente de falla esperada en el sector del circuito en el que se encontrarán instalados.

Cuando los interruptores son automáticos del tipo (ITM) o sólo con disparo magnético, el fabricante debe entregar también la curva de disparo o apertura por falla de sobrecorriente conocida también como curva corriente-tiempo o curva "I-t". Esta curva muestra las características del dispositivo como elemento de protección de sobrecorrientes. Estas curvas, según se trate, tienen aproximadamente las formas mostradas en la figura P14.4, simplificadas por razones de dibujo.

Como se puede apreciar la curva de la izquierda corresponde a un interruptor termomagnético cuya corriente nominal es de 30 A. Entre este valor de 30 A y los 3000 A, para la curva propuesta, el dispositivo manifiesta una característica de disparo o de apertura automática, tal que el tiempo resulta ser una función inversa de la corriente, admitiendo de esta forma sobrecargas temporales cuya duración dependen del nivel de sobrecorriente en el circuito protegido. A este intervalo de corriente que para el ejemplo es de (30 A a 3000 A), se lo designa como zona de protección contra sobrecorrientes debidas a sobrecarga térmica.

Superado un determinado valor que para el ejemplo propuesto son los 3000 A, valor de corriente que se consideraría destructiva para el circuito en el que se encuentre instalado el interruptor, se debe producir también en forma automática y en el menor tiempo posible la apertura del mismo que para el ejemplo resultan ser 35 ms.

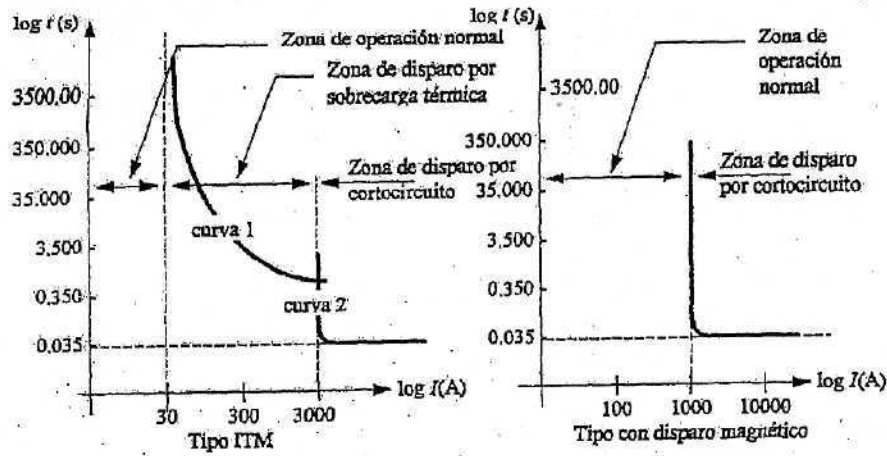


Figura P14.4

El interruptor con sólo disparo magnético (curva de la derecha), en forma individual suele ser usado cuando el circuito no admite sobrecarga térmica y por lo tanto debe abrir en forma inmediata para cualquier corriente que supere la nominal permanente permitida por el elemento protegido. Muchas veces este dispositivo se usa en combinación con fusible.

**Fusibles**

No es un elemento de maniobra, sólo actúa como dispositivo de protección y se caracteriza por tener la capacidad de interrumpir corrientes de falla a costa de su propia destrucción que se produce por la fusión del elemento fusible, que le da origen a su nombre.

Por su naturaleza las características de disparo, o sea el tiempo de apertura, es inversamente proporcional a la corriente. En general por la elevada pendiente de las curvas que los caracterizan estas se designan como "curvas de tiempo muy inverso".

**PROBLEMA 14.7**

La fuerza motriz esencial de una fábrica absorbe por fase  $S_1 = 187,5 e^{j 36,8699^\circ}$  kVA. Esta, en condición de emergencia, es suministrada a través de un circuito, con pérdidas despreciables, por un generador trifásico conectado en triángulo cuyas características nominales son:

- a) 380 V Line-Line (conectado para secuencia positiva),
- b) 50 Hz,
- c) 990 kVA y
- d)  $\cos \varphi = 1$ .

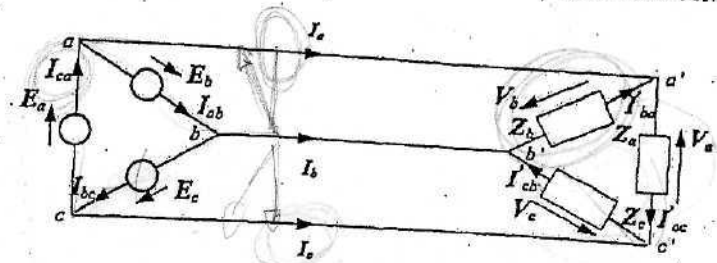


Figura P14.5

En este problema cuyos datos son los mismos del Problema 13.16 y que por simplicidad se han repetido, se quiere establecer vía cálculo la potencia que se mediría con la "conexión Aarrón" para ambos casos:

- a) Cuando el generador aporta con las tres fases.
- b) Cuando ha sido desconectada la fase c del generador.