

CEDECO

ESTUDIOS PROFESIONALES



Curso virtual
Electricidad industrial

Módulo 3
Máquinas eléctricas

Tema 6

Aparatos de medida y control: Tipología y utilización



Tema 6

Aparatos de medida y control.

Tipología y utilización

Índice

1. Tacómetro. Tipología y utilización	1
2. Propiedades de la corriente alterna	3
3. Resistencia pura	3
4. Inductancia pura	5
5. Desfase de la intensidad de corriente	6
6. Intensidad de corriente	7
7. Reactancia	7
8. Capacidad pura	8
9. Desfase producido por la capacidad en las intensidad de corriente	8
10. Intensidad de corriente en el condensador	9
11. Capacitancia	10
12. Comparación de los efectos producidos por una inductancia y una capacitancia	11
13. Circuitos reales de corriente alterna: Inductancia con resistencia	12
14. Triángulo de resistencias. Impedancia	15
15. Potencia	15
16. Triángulo de potencias	16
17. Circuito con resistencia, autoinducción y capacidad	17
18. Tarifas de energía reactiva	19
19. Determinación del factor de potencia	20
20. Mejora del factor de potencia	21
21. Cálculos teóricos de una batería de condensadores	21
22. Condensadores que se utilizan para mejorar el factor de potencia	23
23. Forma comercial de la baterías de condensadores para corregir el factor de potencia	25

Tema 6

Aparatos de medida y control.

Tipología y utilización

En el módulo 1 ya se habló de aparatos de medida y se trataron ampliamente en los capítulos 4 y 5 y se describieron los aparatos esenciales básicos que se usa en electricidad de forma estable, también se ha descrito otros que se utilizan de forma portátil para las verificaciones y localización de averías. Los aparatos que se describen en este capítulo son los que se usa para medir **características que controlan el consumo en función del factor de potencia** y las mecánicas de las máquinas eléctricas.

1. TACÓMETRO TIPOLOGÍA Y UTILIZACIÓN

El tacómetro mide velocidad de rotación, en vueltas por minuto (r.p.m.), cuando el **tacómetro mecánico** (figura 1) se aplica al centro del eje, mediante presión de la mano, en la punta de tacómetro se coloca una punta de goma que evita que haya deslizamiento entre las revoluciones del eje del motor y el eje del medidor. La aguja indica directamente las revoluciones por minuto, sin necesidad de hacer operaciones.

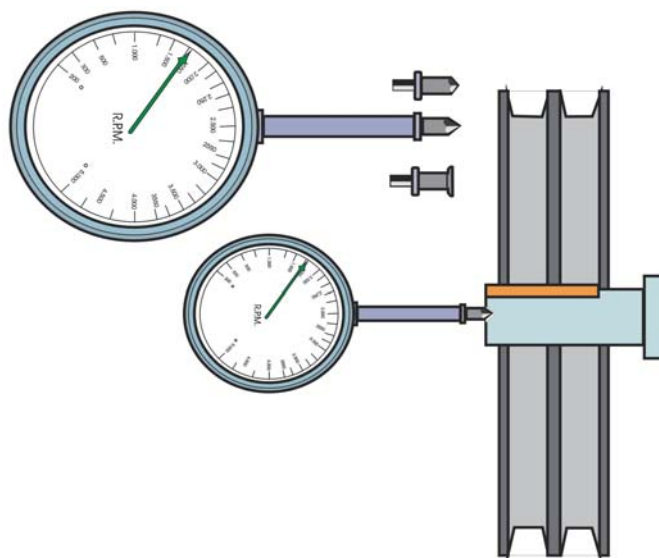


Figura 1 TACÓMETRO CON JUEGO DE PUNTAS DE RECAMBIO Y USO DEL MISMO

Los ejes de los motores tienen un punto en el centro del eje donde puede aplicarse la punta de tacómetro sin ninguna dificultad, de todas formas debe de hacerse esta operación con mucho cuidado, porque si no se presiona exactamente en el centro la fuerza centrífuga hace que se desplace al tacómetro a un lado, despidiéndolo con tanta violencia que al fallar el apoyo el cuerpo de la persona que hace la medición se abalanza sobre la polea pudiéndole ocasionar una lesión muy importante si sus ropas son atrapadas entre las correas y la polea.

Si no hay punto, el tacómetro dispone de cabeza con ventosa, que por las razones explicas más arriba se debe de aplicar con el doble de precaución que cuando hay donde aplicar, la dificultad aumenta con la velocidad a mayor velocidad más peligro.

Si la punta de goma no se aplica con la presión suficiente además de marcar menos velocidad, la punta de goma se gasta y se quema con tanta rapidez que la inutiliza en pocos segundos.

Con más seguridad para las personas se utilizan los **tacómetros eléctricos**, que utiliza una lámina de metal pegada en la pieza giratoria, frente a la cual se coloca un sensor que capta las veces que la lámina pasa ante el sensor midiendo la frecuencia del paso en revoluciones por minuto.



Figura 2 TACÓMETRO PARA BARCOS

En la figura 2 se muestra una aplicación de tacómetro para la velocidad en nudos con que avanza un barco según el número de revoluciones a que gira el eje de la hélice.

La forma de colocar el captador de un tacómetro eléctrico se representa en la figura 3 en que se aprecia que al eje se le ha añadido una pieza para que, por cada vuelta pasará, dos veces frente al sensor, por lo que el tacómetro marcará el doble de velocidad si no se hace un ajuste previo ante de ponerlo en funcionamiento.

El medidor de revoluciones de la figura 3, es una aplicación para el control de una cinta transportadora en el rodillo colocado al otro extremo de donde se coloca el motor. Donde puede haber una diferencia entre la velocidad del motor y la del rodillo.

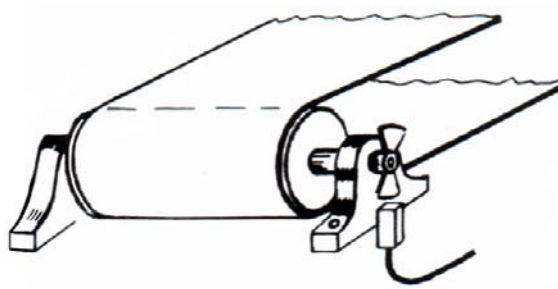


Figura 3 MEDIDOR DE R.P.M.

2. Propiedades de la corriente alterna

CLASES DE RECEPTORES

Al estudiar los circuitos de corriente continua, se consideraba, que los receptores, estaban formados solamente por resistencia óhmica; en cambio, **los circuitos de corriente alterna, contienen tres propiedades de distinta naturaleza física**, que son: **resistencia**, **inductancia** y **capacidad**.

Se llaman **receptores puros**, a **los que sólo poseen una de estas tres propiedades, excluyendo las otras dos**.

Realmente no existen receptores netamente puro, pues **toda bobina que tenga un conductor arrollado posee una resistencia óhmica y una inductancia**; también **dos conductores paralelos poseen una capacidad**; pero para el estudio, **es preciso imaginar que puede no existir las otras dos características del receptor**.

3. RESISTENCIA PURA

Se entiende por **resistencia pura** aquella que está totalmente desprovista de autoinducción y capacidad.

En la figura 4, aparece representada simbólicamente por línea quebrada **R**, en la cual, la corriente que recorre el circuito formado por la resistencia pura, es alterna senoidal, de igual frecuencia y de la misma fase que la tensión existente entre los hilos de la línea.

En efecto, cuando la tensión es de valor nulo, también se anula la intensidad de corriente, y cuando la tensión alcanza su valor máximo, también lo alcanza su valor máximo, también lo alcanza la intensidad de corriente.

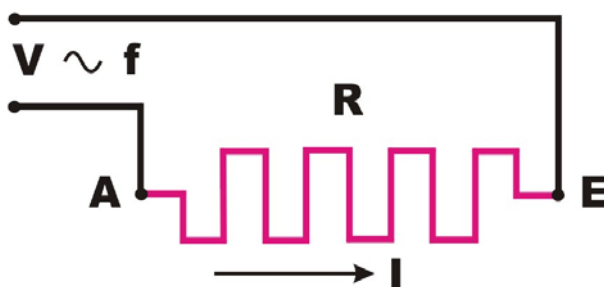


Figura 4 RESISTENCIA PURA

La representación gráfica de la intensidad de corriente viene dada por la solenoide I , de la figura 5, en la cual, la solenoide V , representa la tensión existente entre los dos hilos de la línea.

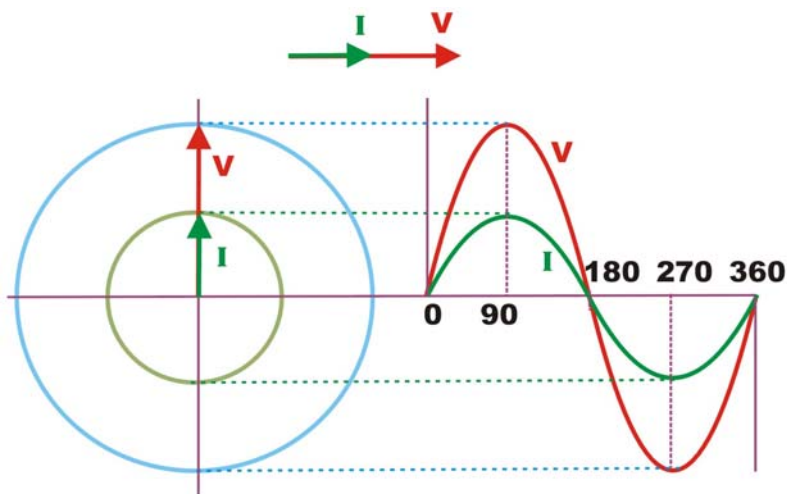


Figura 5 TENSIÓN E INTENSIDAD ESTÁN EN FASE CUANDO LA RESISTENCIA ES PURA

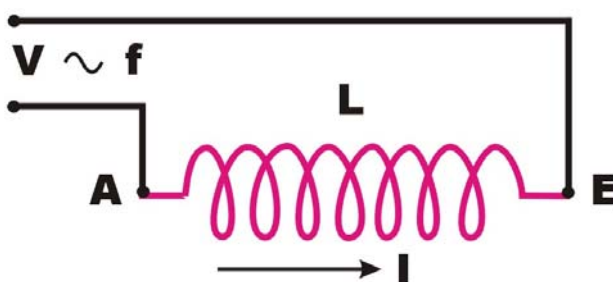
Puede comprobarse la coincidencia de los instantes en que se representan los valores nulos de la tensión e intensidad, así como la de los correspondientes a los valores máximos.

El valor eficaz de la intensidad de la corriente senoidal es igual al cociente que resulta de dividir el valor eficaz de la tensión **V** por el valor **R** de la resistencia del circuito; exactamente igual a lo que ocurriría cuando el circuito era de corriente continua.

$$I = \frac{V}{R}$$

4. INDUCTANCIA PURA

Se llama **inductancia pura**, cuando la **bobina está totalmente desprovista de resistencia y capacidad**. Se representa simbólicamente por la línea ondulada de la figura 6.



Figuras 6 INDUCTANCIA PURA

La bobina de **inductancia pura**, posee un coeficiente de autoinducción de **L** henrios, entre cuyos bornes, se aplica una tensión alterna senoidal, a una frecuencia **f** determinada. Por el circuito así formado, circula una corriente alterna senoidal, cuya frecuencia es exactamente la misma que la de la tensión.

La corriente alterna, al recorrer las espiras de la bobina, producirá un flujo alterno senoidal, de valor continuamente variable. Este flujo variable **origina una f.e.m. de autoinducción cuyo voltaje depende del flujo**, y también será alterno senoidal.

Por hipótesis, se ha admite que la **bobina está desprovista de resistencia, no se producirá en ella ninguna caída de tensión óhmica**. Por consiguiente, en todo instante, debe ser iguales la tensión existente entre los hilos de la línea, y la f.e.m., debida al fenómeno de autoinducción en la bobina.

El valor de la f.e.m., generada en una bobina, cuando es recorrida por una corriente alterna senoidal, es igual a 2π veces, el producto de la frecuencia, por el coeficiente de autoinducción, y por la intensidad eficaz de la corriente.

$$E_x = 2 \pi f L I$$

5. DESFASE DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE

La f.e.m. de autoinducción, creada en un circuito, determina el **retraso de la corriente respecto de la tensión existente en los extremos del mismo**; debido a que esta autoinducción, se opone a las variaciones de la corriente, de tal forma que, cuando se cierra un circuito, ha de transcurrir un cierto tiempo antes de que se manifiesten los efectos físicos de magnetismo propio de toda bobina. De igual modo, **cuando se interrumpe el paso de la corriente, se mantiene estos efectos un tiempo después de anularse. Por esta causa, se afirma que la f.e.m. de autoinducción retrasa la corriente respecto a la tensión.**

No es fácil establecer un símil hidráulico de la autoinducción; sin embargo, se comprende mejor si se compara con los efectos mecánicos de un volante. Al ponerlo en marcha es preciso consumir un trabajo inicial para vencer la inercia del volante. En cambio, **al cesar la fuerza, el volante sigue girando durante cierto tiempo debido a la energía acumulada en el volante.**

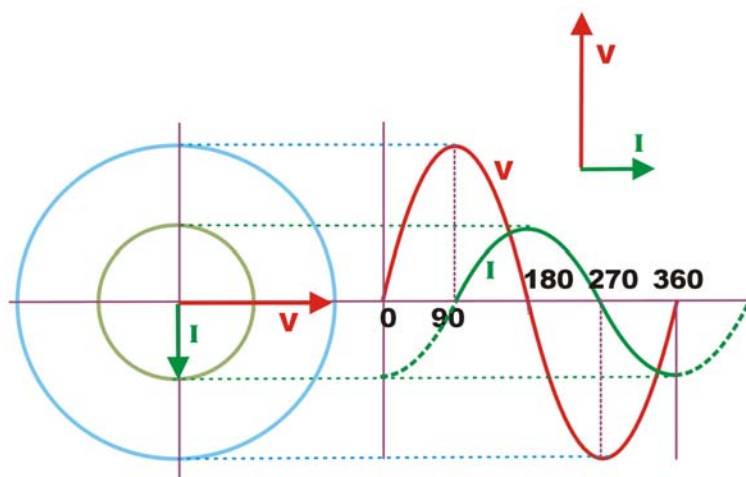


Figura 7 DESFASE ENTRE LA TENSIÓN V e I EN UNA INDUCTANCIA PURA

Entre la corriente que recorre un circuito, formado por una inductancia pura, y la tensión aplicada en sus extremos, existe un **desfase de 90° eléctricos**, estando retrasada la corriente.

En la figura 7 han sido representadas, las senoides de la tensión **V** de la línea, y de la intensidad **I**, que recorre el circuito, y en ángulo superior derecho, se representan los vectores de la tensión **V**, y de la intensidad **I**, formando un ángulo de 90°

6. INTENSIDAD DE CORRIENTE

Si en la fórmula, $E_x = 2 \pi f L I$, se despeja la intensidad de corriente, se obtiene:

$$I = \frac{E_x}{2 \pi f L}$$

Cuando la inductancia pura, está sometida a una tensión, alterna senoidal de valor eficaz **V** voltios, la f.e.m. de autoinducción **E_x**, generada en la misma. Es igual al valor de la tensión **V**; por tanto, al ser **E_x = V** resulta.

$$I = \frac{E_x}{2 \pi f L}$$

La intensidad de corriente, que recorre una inductancia, es directamente proporcional a la tensión aplicada a sus extremos, e inversamente proporcional a 2π , por el valor de la frecuencia, por la autoinducción de la bobina.

A mayor frecuencia menor intensidad de corriente; a frecuencias bajas, mayor cantidad de corriente.

7. REACTANCIA

En la fórmula, vista anteriormente, la cantidad **$2 \pi f L$** representa **el mismo papel que una resistencia**, y, por tanto, **se medirá en ohmios**. Esta cantidad recibe el nombre de **reactancia de autoinducción** y se representa por la letra **X**, es decir:

$$X = 2 \pi f L$$

Fórmula que dice: *La reactancia de autoinducción de una inductancia es igual a 2π veces el producto del coeficiente de autoinducción, en henrios, por el valor de la frecuencia, en hertzios, de la corriente alterna que recorre la bobina.*

8. CAPACIDAD PURA

Se da el nombre de **capacidad pura** a un condensador totalmente desprovisto de resistencia.

El valor eficaz de la tensión existente en los bornes de un condensador se obtiene aplicando la fórmula:

$$V = \frac{I}{2\pi f C}$$

9. DESFASE PRODUCIDO POR LA CAPACIDAD EN LA INTENSIDAD DE CORRIENTE

Al estudiar el efecto de **una inductancia pura, sobre la corriente, se vio que se retrasaba la corriente 90° respecto a la tensión.** Por el contrario, **una capacidad pura, adelanta la corriente 90° respecto a la tensión.**

En efecto; en todo instante, la f.e.m. del condensador debe ser igual y contraria a la tensión de alimentación. Así, cuando la f.e.m. tiene un valor máximo, la intensidad de corriente es nula.

Después, cuando la tensión de la red, va bajando, el condensador cede la corriente de carga. Esto indica que la corriente va adelantada respecto a la tensión.

En la figura 8, están representadas la senoide de la tensión **V**, existente entre los hilos de la línea, y la senoide de la intensidad de la corriente alterna **I**, que recorre el circuito.

Asimismo, en la parte superior de esta figura, aparecen representados los vectores de **V** e **I**, formando un ángulo de 90°, en la que la intensidad **I**, está adelantada con respecto a la tensión **V**.

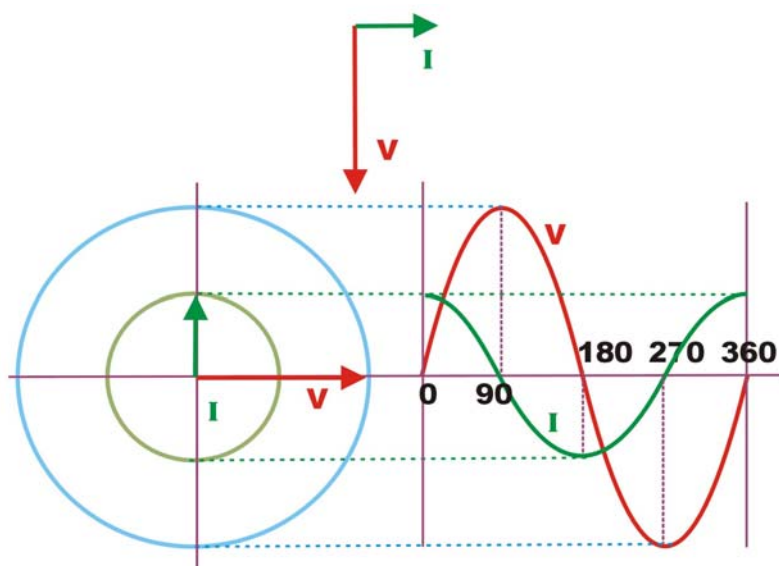


Figura 8 SENOIDE DE **V** e **I** EN EL CONDENSADOR

10. INTENSIDAD DE CORRIENTE EN EL CONDENSADOR

Si en la fórmula, anteriormente expuesta, se despeja el valor de la intensidad de la corriente, se tiene que:

$$I = 2 \pi V f C$$

Fórmula que dice: *La intensidad de corriente, que recorre un circuito, formado por un condensador puro, es igual, al producto que resulta de multiplicar, el valor de la tensión, en voltios, por 2π , por la frecuencia, en henrios, y la capacidad, en faradios.*

La frecuencia, es directamente proporcional a la intensidad de corriente, **a mayor frecuencia mayor cantidad de electricidad**, a bajas frecuencias, bajos valores de la corriente.

Comparando las fórmulas, de **la autoinducción**, y de **la capacitancia**, se observa que la **frecuencia de la corriente alterna, actúa exactamente al contrario**, en el caso, de la autoinducción de como lo hace en el circuito capacitativo.

11. CAPACITANCIA

En fórmula que se repite aquí

$$V = \frac{I}{2\pi fC}$$

la cantidad

$$\frac{1}{2\pi fC}$$

Representa el valor de lo que se opone al paso de la corriente, **ejerciendo igual papel que el de una resistencia, y en consecuencia; se puede designar en ohmios**. Esta cantidad recibe el nombre de **reactancia de capacidad o Capacitancia y se representa por la letra Y**, es decir:

$$Y = \frac{1}{2\pi fC}$$

Fórmula que dice: *La capacitancia de un condensador, recorrido por una corriente alterna senoidal, es igual, al valor inverso del producto que resulta de multiplicar, 2π por la frecuencia de la corriente, en hertzios, y por la capacidad del condensador, en faradios.*

A mayor capacidad del condensador, menor será la resistencia que se opone al paso de la corriente alterna; dicho de otro modo, **cuanto mayor sea la capacidad del condensador, menor es la capacitancia del circuito**; puesto que, es inversamente proporcional.

12. COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS POR UNA INDUCTANCIA Y UNA CAPACITANCIA

- 1º Tanto la **inductancia**, como la **capacidad**, producen una resistencia en ohmios al paso de la corriente alterna. Ahora bien; **cuando aumenta el coeficiente de autoinducción de la inductancia, también aumenta la reactancia**, mientras que **cuando aumenta la capacidad del condensador, disminuye su capacitancia**, según las fórmulas correspondiente.

$$X = 2 \pi f L$$

$$Y = \frac{1}{2\pi f C}$$

- 2º La **inductancia**, lo mismo que la **capacitancia**, determina un desfase de 90° entre la corriente que recorre el circuito, y la tensión aplicada en sus extremos.

Este desfase vale 90° en ambos casos; pero, mientras que **en la inductancia queda retrasada la corriente respecto a la tensión**, en **el condensador queda adelantada la corriente en relación con la tensión**.

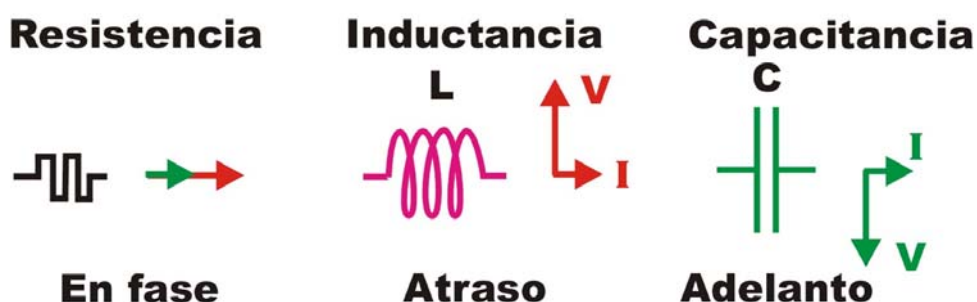


Figura 9 DESFASE EN LA INDUCTANCIA Y EN LA CAPACITANCIA

- 3º El valor de la reactancia, **tanto de autoinducción, como de capacidad, depende del valor de la frecuencia** de la corriente de alimentación; pero, mientras **en la inductancia de una bobina, aumenta en proporción directa con la frecuencia**, la capacidad de un condensador, por el contrario, **varía en proporción inversa con la frecuencia**, como quedó demostrado en las fórmulas expuestas:

$$X = 2 \pi f L$$

$$Y = \frac{1}{2\pi f C}$$

Resumiendo, se puede afirmar que, **en corriente alterna, el condensador se manifiesta exactamente al contrario que como lo hace una inductancia.**

13. CIRCUITOS REALES DE CORRIENTE ALTERNA: INDUCTANCIA CON RESISTENCIA

En el supuesto del caso representado en la figura 10, en el que existe, conectado a la red de corriente alterna, un circuito formado por una bobina de resistencia **R**, en ohmios, con un coeficiente de auto inducción **L**, en henrios.

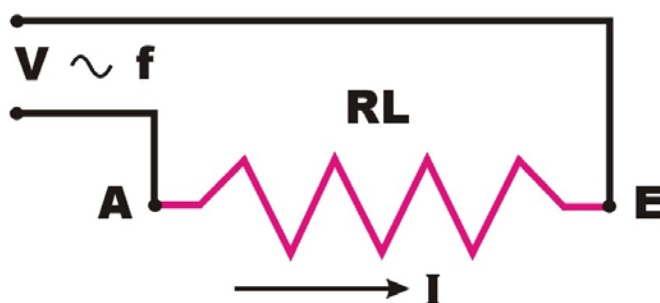


Figura 10 INDUCTANCIA CON RESISTENCIA

Para resolver este caso se hace por partes, **primero se hallará el valor de la resistencia óhmica**, y **después, el de la autoinducción; como si fuesen dos circuitos puros, puestos en serie.**

El valor de la resistencia óhmica, será, en cada instante, igual al producto de la resistencia de la bobina en ohmios, por el valor de la intensidad que recorre el circuito. Es decir:

$$E_r = R I$$

Como se dijo anteriormente, esta caída de tensión está en fase con el voltaje, representado en vectores en la figura 13 sería:

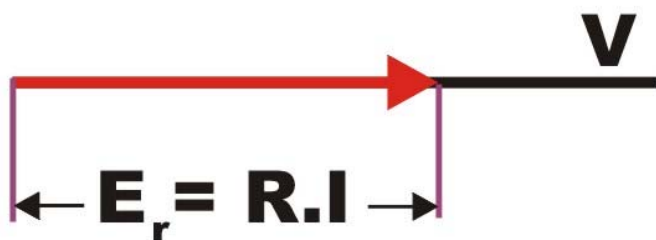


Figura 11 VECTORES DE LA CAÍDA DE TENSIÓN ÓHMICA

La otra caída de tensión de la red, a la que está conectada la bobina, es la inductiva; que quedó definido que tiene el valor:

$$E_x = 2 \pi f L I$$

También se dijo que, está desfasada en retraso 90° eléctricos; como se representa en la figura 11.

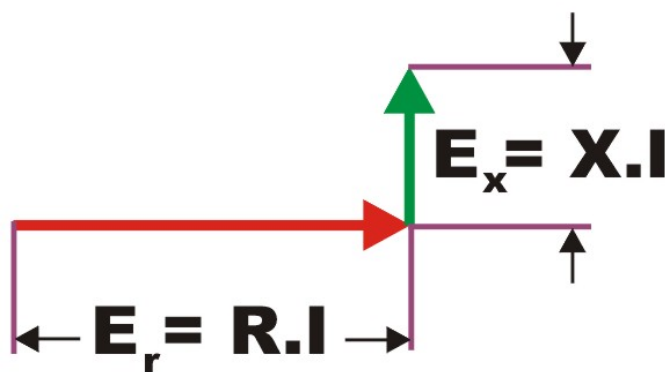


Figura 11 VECTORES DE LA CAÍDA DE TENSIÓN INDUCTIVA

Al estar desfasadas 90° las dos caídas de tensión, no es posible efectuar la suma aritmética, para averiguar la caída de tensión total; por lo que, es preciso recurrir a la suma geométrica, de los valores eficaces.

Para efectuar la suma, se adopta el eje horizontal como fase o dirección de la corriente. En la figura 12, **AB** es el valor eficaz de la caída de tensión óhmica E_r , y en la perpendicular **BC** está representado el valor eficaz de la caída de tensión inductiva E_x . Entonces la hipotenusa de este triángulo que se forma trazando al recta **AC** representa la suma de la caída de tensión óhmica más la inductiva.

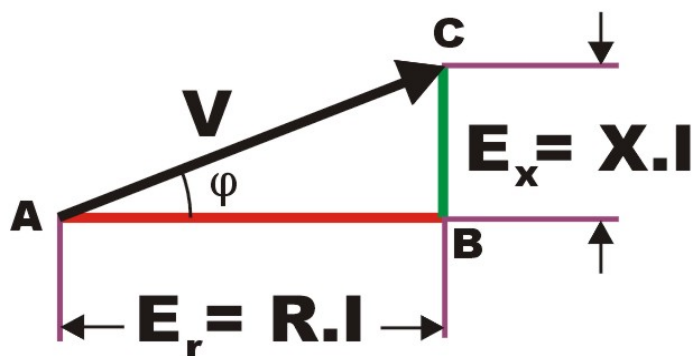


Figura 12 TRIANGULO DE TENSIONES DE UNA RESISTENCIA CON AUTOINDUCCIÓN

El triángulo **ABC**, formado por los vectores que representan caídas de tensión recibe el nombre de **triángulo de tensiones**.

El **ángulo n**, **señala el desfase** existente entre la corriente **I** que recorre el circuito, y la tensión **V**, de la red de alimentación.

Por el **teorema de Pitágoras** se establece la relación existente entre la hipotenusa del triángulo con los catetos del triángulo.

$$V = \sqrt{E_r^2 + E_x^2}$$

Por trigonometría se obtiene que

$$E_r = V \cos n$$

$$E_x = V \sen n$$

14. TRIANGULO DE RESISTENCIAS: IMPEDANCIA

Si se dividen los tres lados del triángulo de la figura 12, por el valor eficaz de la intensidad de corriente; se obtiene otro triángulo, semejante al anterior, o sea, el triángulo **EFG** de la figura 13; en el cual, el cateto horizontal **EF**, representa el valor de la resistencia **R**, el cateto vertical **FG**, representa la reactancia **X** de autoinducción; y, finalmente, la hipotenusa **EG**, representa la **resistencia total del circuito**. **Esta resistencia, recibe el nombre de impedancia**, y se la designa con la letra **Z**.

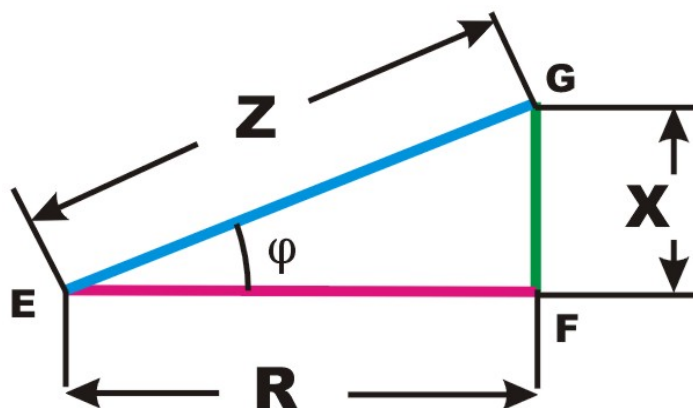


Figura 13 TRIANGULO DE RESISTENCIAS DE UNA INDUCCIÓN CON RESISTENCIA

Las resistencias están relacionadas entre sí por las fórmulas

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$R = Z \cos n$$

$$X = Z \sin n$$

15. POTENCIA

La **potencia real o activa** en corriente alterna, es igual al producto del valor eficaz de la tensión de la red, por la intensidad eficaz de corriente que recorre el circuito, por el coseno del ángulo de desfase entre la tensión y la corriente.

$$P = V I \cos n$$

El valor que tenga el **coseno de n**, recibe el nombre de **factor de potencia**.

16. TRIANGULO DE POTENCIAS

Multiplicando las longitudes de los tres lados, del triángulo de tensiones de la figura 16, por el valor eficaz de la intensidad de corriente que recorre el circuito; se obtiene un nuevo triángulo semejante a los anteriores, que se denomina **triángulo de potencias**. Sea el triángulo **JKL** de la figura 14.

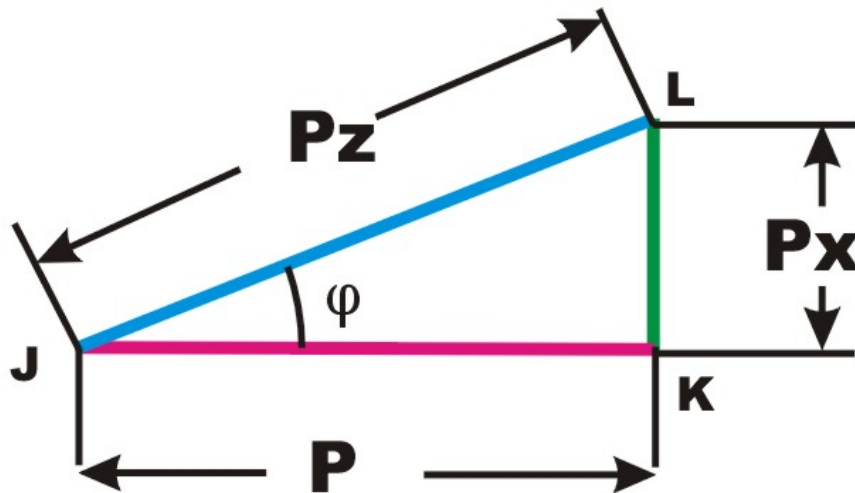


Figura 14 TRIANGULO DE POTENCIAS DE UNA RESISTENCIA CON AUTOINDUCCIÓN

En este triángulo, la hipotenusa **JL** representa el valor de la potencia aparente

$$P_z = V I$$

el cateto horizontal **JK** representa la potencia activa

$$P = V I \cos n$$

y finalmente el cateto **KL** representa la potencia reactiva

$$P_x = V I \sen n$$

La **potencia aparente** se expresa en **VA voltamperios**

La **potencia activa** en **W vatios**

La **potencia reactiva** en **VA-r voltamperios reactivos o Var**

Los múltiplos de estas potencias son:

El **Kilo-voltamperio** o **ka-ve-a**

El **kilo-vatio**

El **Kilo-voltamperio reactivo** o **Kilo-var**

17. CIRCUITO CON RESISTENCIA, AUTOINDUCCIÓN Y CAPACIDAD

Considerese el circuito representado en la figura 15, que contiene: una bobina, de resistencia **R**, en ohmios; conectada a un circuito de corriente alterna, con una autoinducción **L**, en henrios; y, un condensador de capacidad **C**, en faradios.

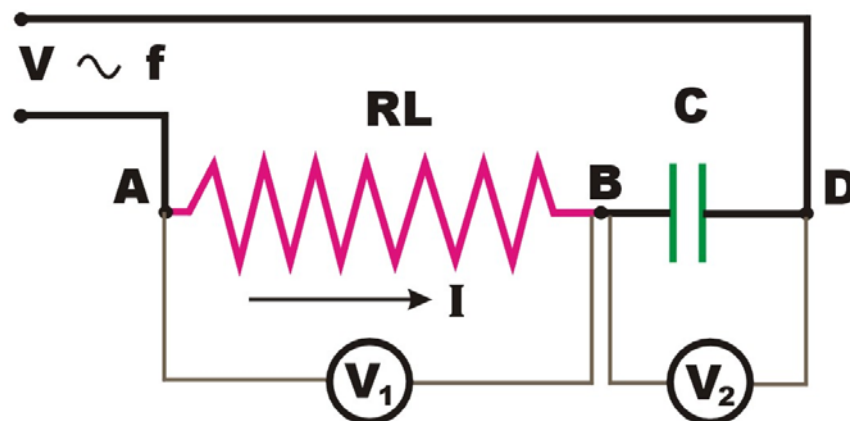


Figura 15 CIRCUITO R L C

Siendo **V**, la tensión eficaz, en voltios, de frecuencia **f**, en hertzios; que es recorrido por una corriente, cuya intensidad será alterna senoidal, de igual frecuencia que la de la tensión de alimentación; esta corriente dará lugar a tres caídas de tensión diferentes en el circuito: Una de ellas **óhmica**, cuyo valor será en cada instante, igual al producto del valor constante de la resistencia **R**, por el valor instantáneo de la intensidad de corriente que recorre el circuito. Así, pues, **la caída de tensión óhmica** valdrá.

$$E_r = R I$$

La segunda caída de tensión, es la inductiva o reactiva, de valor instantáneo

$$E_x = 2 \pi f L I$$

Finalmente, **la tercera caída de tensión es capacitativa** y de valor:

$$E_y = \frac{I}{2\pi fC}$$

Como, no es posible efectuar la suma aritmética de las caídas de tensión, por el desfase que existe entre una tensión y otra; para obtener el valor eficaz de la tensión de la red, es preciso recurrir a la **suma geométrica**; así en la figura 16, se toma en **AB** el valor eficaz de la caída de **tensión óhmica E_r** (en fase con la intensidad de la corriente); y en la perpendicular **BC**, el **valor eficaz de la caída de tensión inductiva E_x** (adelantada un ángulo de 90° respecto a la corriente).

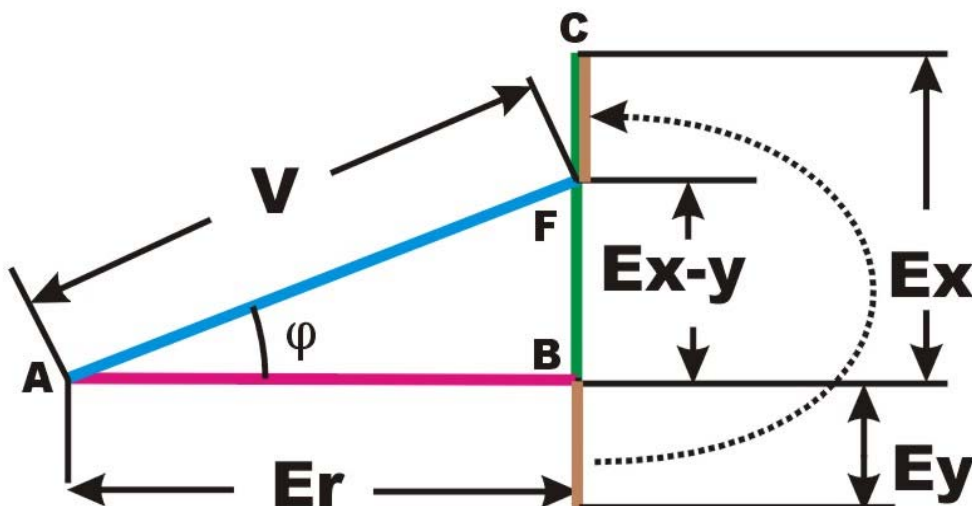


Figura 16 TRIANGULO DE TENSIONES DE UN CIRCUITO R L C

Y sobre **BC** se resta **CF**, que es la **caída de tensión reactiva de capacidad E_y** (retrasada un ángulo de 90° respecto a la corriente).

Observando los vectores representativos de las caídas de tensión reactiva, formado por la de autoinducción y la de capacidad; se ve que están en la misma dirección pero de sentido contrario. Por consiguiente, la caída de tensión reactiva total será igual a la diferencia de ambas.

$$E_{xy} = E_x - E_y$$

En este caso, la hipotenusa **AF**, es la que cierra el triángulo **ABF** y representa la suma geométrica; por lo que, la tensión **V** de alimentación al circuito valdrá.

$$V = \sqrt{E_r^2 + (E_x - E_y)^2}$$

Por otra parte, **las leyes trigonométricas permiten establecer nuevas fórmulas en función del ángulo de desfase.**

$$E_r = V \cos n$$

$$E_{xy} = V \sen n$$

Por razones de conveniencia, y para evitar efectos no deseados, difíciles de combatir, **la tensión de reactancia inductiva, siempre será mayor, que la reactancia capacitativa,**

En el caso, no deseado, de que **la reactancia capacitativa, llegue a ser del mismo valor de la reactancia de autoinducción, la resta entre una y la otra daría un valor cero,** produciendo igualmente unos efectos que pueden originar el deterioro del generador, **en este caso se dice que el circuito está en resonancia.**

La experiencia enseña que el factor de potencia en viviendas prácticamente es **1**; En circuitos de talleres donde proliferan los motores el **cos n** suele estar entre **0,87** y **0,70** y finalmente en alumbrado que necesitan reactancias para el encendido, suele estar en torno al **0,5** sino está corregido, y en torno al **0,9** si está corregido con un condensador por cada reactancia.

18. TARIFAS DE ENERGÍA REACTIVA

Con el fin de que los usuarios de instalaciones eléctricas receptoras, eviten los factores bajo de potencia; las compañías suministradoras de energía, están autorizadas para recargar en el importe de las facturas de energía eléctrica, un recargo que puede llegar hasta el **47%**, sobre total de lo consumido; dependiendo del valor que tenga **el factor de potencia.**

En compensación a esto, aquellas instalaciones eléctricas, que tienen corregido este factor, **pueden recibir una bonificación en la facturación; cuyo valor igualmente depende del grado de compensación que se logre en la red, y que igualmente puede llegar hasta un descuento del 4 % sobre el total consumido** (ver tabla I).

Cos ϕ	Recargo	Bonificación
1	-	4
0,95	-	2,2
0,9	0	0
0,85	2,5	-
0,8	5,6	-
0,75	9,2	-
0,7	13,7	-
0,65	19,2	-
0,6	26,2	-
0,55	35,2	-
0,5	47	-

TABLA I RECARGOS BONIFICACIONES POR FACTOR DE POTENCIA

En ningún caso, se aplicarán recargos superiores al 47 %, ni bonificaciones superiores al 4 por 100. Pero; cuando el factor de potencia, sea inferior a 0'55, en más de tres mediciones, se podrá ordenar al usuario, la mejora del factor de potencia. Si cumplido el plazo, y no es, atendida la orden, se impondrán sanciones, que pueden llegar a la interrupción del suministro.

19. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

El consumo de energía reactiva se hace en los **contadores de energía reactiva, y la energía activa en los contadores normales de la instalación.** Por la fórmula.

$$\cos \phi = \frac{P_{\text{activa}}}{\sqrt{(P_{\text{activa}})^2 + (P_{\text{reactiva}})^2}}$$

Se determina el valor del factor, con dos cifras decimales con redondeo, según el valor de la tercera cifra.

Aunque existen aparatos de medida que mide en todo momento el factor de potencia denominado **fasímetro**, **estos aparatos no se utilizan en la facturación**; al carecer de registro y ser constantemente variables.

20. MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA

Tanto a la compañía suministradora, como a los abonados; les interesa mejorar el factor de potencia. A las compañías, porque así se consigue reducir la caída de tensión y las pérdidas de potencia en las líneas; a los abonados, porque experimentan un descuento en el consumo de electricidad.

Los **medios empleados para reducir el factor de potencia** pueden ser:

En primer lugar **no dejar funcionar los motores en vacío**, o con pequeñas cargas. Si ello es posible, proceder a sustituir los motores que trabajen con holgura por otros menores, que se ajusten al consumo real de la máquina.

En segundo lugar, **compensar por cada máquina individual el factor de potencia**, colocando condensadores en paralelo con ella, de tal manera que al ponerse en marcha, automáticamente se compense la energía reactiva de autoinducción, con la energía reactiva de capacidad.

En tercer lugar, se puede **compensar toda la instalación eléctrica empleando baterías de acumuladores**, con dispositivo automático que constantemente "vigila" el factor de potencia; cuando este, es bajo, automáticamente entra en funcionamiento un contactor, que conecta uno o más condensadores; tantos como sean necesarios para elevar el factor de potencia; si por el contrario, el factor de potencia es demasiado alto, automáticamente se desconectan los condensadores y todo ello sin la intervención del hombre.

21. CALCULO TEÓRICO DE UNA BATERÍA DE CONDENSADORES

Si una instalación receptora de corriente alterna consume una potencia activa **P**, en KW, bajo un factor de potencia **cos n**. **equivalente a tag n**. La potencia reactiva **P_x**, en KVar, consumida valdrá:

$$P_x = P \cdot \tan n$$

La composición de potencias de esta instalación viene representada por el triángulo **ABC** de la figura 17.

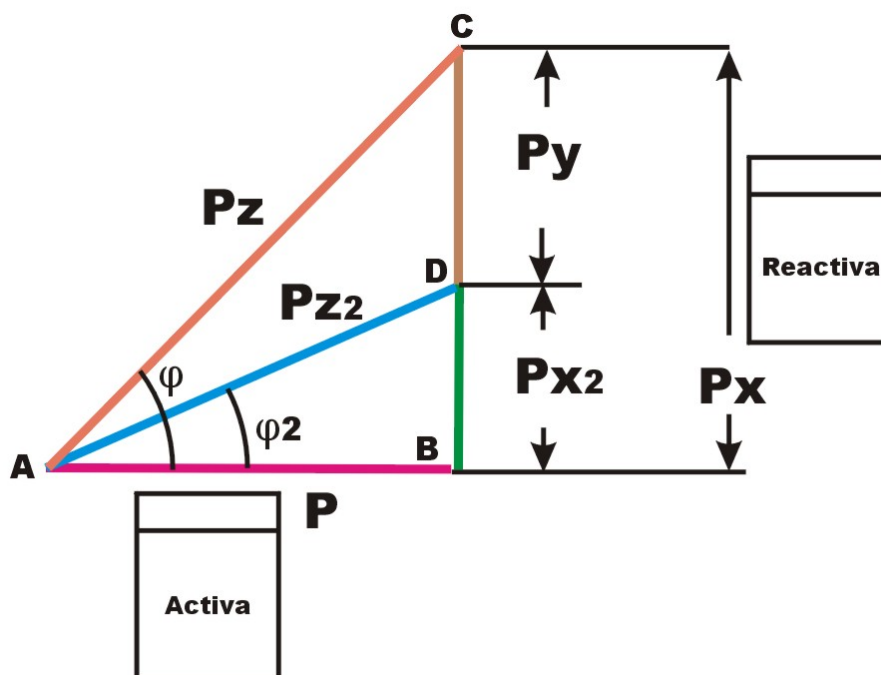


Figura 17 TRIANGULO DE CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Si se instala una batería de condensadores, el factor de potencia de la instalación quedará mejorado, tomando un valor **cos n₂**, equivalente a **tag n₂**. Dado que la potencia activa consumida sigue siendo **P**, la potencia reactiva **P_{x2}** absorbida en estas condiciones será.

$$P_{x2} = P \tan n_2$$

siendo ahora la composición de potencias la representada por el triángulo **ABD** de la misma figura 17.

Para conseguir la mejora deseada será preciso disponer una batería de condensadores que suministre una potencia reactiva **P_y** de valor igual a la diferencia de la potencia reactiva **P_x**, absorbida inicialmente por la instalación y la **P_{x2}** absorbida por la misma una vez efectuada la mejora del factor de potencia. Así pues, se debe verificar.

$$P_y = P_x - P_{x2}$$

sustituyendo en la expresión anterior **P_x** y **P_{x2}** por los valores dados anteriormente resulta

$$P_y = P \tan n - P \tan n_2$$

Sacando factor común **P**, resulta finalmente:

$$P_y = P (\tan n - \tan n_2)$$

Fórmula que dice: La potencia reactiva en KVA_r, que debe producir una batería de condensadores, es igual al producto que resulta de multiplicar el valor de la potencia activa de la instalación, en Kilovatios, por la diferencia de los valores de la tangente de antes y después de efectuada la corrección del factor de potencia.

Como se ve en la fórmula no interviene el valor del voltaje de la red por lo que esta corrección es independiente de la tensión nominal a que se distribuya la energía.

22. CONDENSADORES QUE SE UTILIZAN PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA

El aspecto físico que presenta una batería de condensadores se asemeja al de la figura 18, totalmente cerrado, para evitar todo contacto directo; esta precaución debe de mantenerse aún estando la red sin servicio; los condensadores presentan un aspecto compacto y tienen un cuadro frontal, con luces len que indican en cada momento, cuantos condensadores están funcionando. El valor del factor de potencia puede ser modificado actuando sobre los mandos de la batería.



Figura 18 CONDENSADOR (UN ELEMENTO DE LA BATERÍA DE CONDENSADORES)



Figura 19 ACOPLAMIENTO PARA FORMAR UN BATERÍA DE CONDENSADORES



Figura 20 LA FORMA MÁS COMÚN DE LOS CONDENSADORES ES LA CILÍNDRICA



Figura 21 CONDENSADORES COMERCIALES PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA

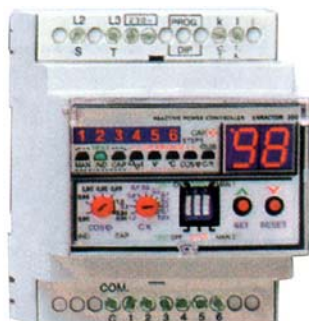


Figura 22 FASÍMETRO DIGITAL Y PROGRAMADOR AUTOMÁTICO PARA MANTENER EL FACTOR DE POTENCIA DENTRO DE LÍMITES MARCADOS



Figura 23 FASÍMETRO DIGITAL Y PROGRAMADOR AUTOMÁTICO DENOMINADO POR LA CASA CONSTRUCTORA VARACTOR

23. FORMA COMERCIAL DE LAS BATERÍAS DE CONDENSADORES PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA

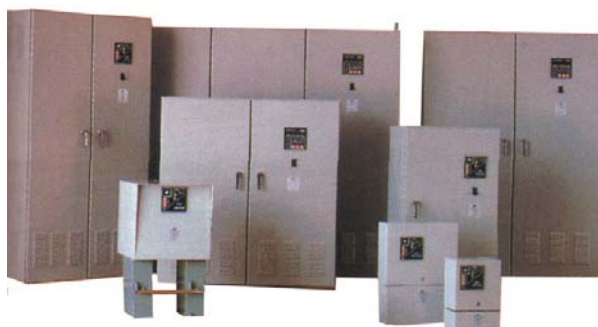


Figura 24 DIVERSOS ARMARIOS PARA CONTENER LA BATERÍA DE CONDENSADORES



Figura 25 BATERÍA DE CONDENSADORES NO AUTOMÁTICA DE 2,5 A 12,5 KVAR



Figura 25 BATERÍA DE CONDENSADORES AUTOMÁTICA DE 75 A 200 KVAR

El cálculo de una batería de condensadores, normalmente lo hace la empresa que lo fabrica, basándose en los datos de facturación de consumo de todo un año. Cuando se trata de una industria nueva, la dificultad radica en que no se sabe exactamente el tiempo que va a estar funcionando cada máquina y que factor de potencia se va a producir en el conjunto de la fábrica, por lo que se suele optar por compensar el factor de potencia por cada máquina, opción más cara; por lo que algunos prefieren esperar un años de funcionamiento y optar por la batería de condensadores con datos contrastados.