

motor tico

El Factor de Potencia

El *factor de potencia* es un concepto que causa confusión, por lo que representa y las convenciones que se toman para su definición. Por tal motivo se revisa la teoría completa, la cual es aplicable a sistemas en general, incluyendo aquellos con motores eléctricos.

En general, hay tres tipos de cargas, las cuales se pueden definir por medio de su factor de potencia. La Figura 1 muestra las cargas, que en la realidad son combinaciones de estas.

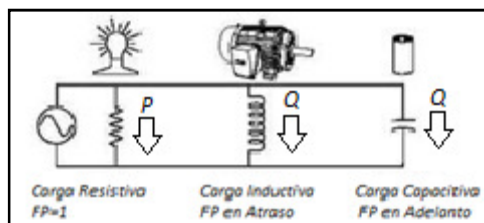


Figura 1 Tipos de cargas industriales

A. Potencia y Dirección

La potencia mide la capacidad de hacer trabajo por unidad de tiempo, esto es, en electricidad se relaciona con la capacidad de transformación de la electricidad en trabajo. En este sentido, se existen dos tipos de potencia:

- **Potencia Activa:** relacionada con la producción de trabajo útil, en forma de calor y potencia mecánica. Ejemplo: producción de calor en un horno, y movimiento rotacional en un motor eléctrico.
- **Potencia Aparente:** relacionada con la producción de campos magnéticos y eléctricos durante los procesos de transformación electromagnéticos. Ejemplo: en los motores eléctricos los bobinados absorben potencia reactiva para crear el campo magnético.

Volviendo a la Figura 1, se muestra la relación entre los tipos de carga y el consumo de potencia. En el caso de cargas resistivas sólo consumen potencia activa. Las cargas inductivas consumen potencia activa para producir los campos magnéticos, y las capacitivas para crear campos eléctricos, ambas son opuestas en

su naturaleza, por eso se colocan en paralelo para anular su efecto, esto se discutirá más adelante.

En el análisis de la potencia es necesario definir una convención de dirección y signos, lo que establece si la potencia es generada o absorbida. Este problema es más simple de abordar en corriente directa (CD). La Figura 2 muestra un análisis en CD en a), y en b) la conexión de un Wattmetro (Medidor de potencia activa) en una fuente de corriente alterna (CA).

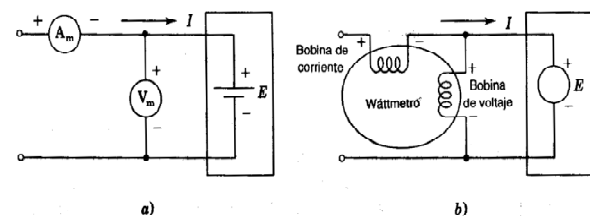


Figura 2 a) Amperímetro y Voltímetro para medir potencia en una Batería.

b) Wattmetro para medir potencia en una fuente de CA.

Considere la corriente y el voltaje en la Figura 2 a), en donde la corriente I fluye hacia la batería. Si el voltímetro V_m y el amperímetro A_m tienen lecturas positivas, significa que la batería se está cargando (Absorbe potencia) a razón dada por el producto $P = E * I$, con unidades en Watts (W). Por otro lado, si las conexiones del amperímetro se tienen que invertir para obtener un valor positivo de corriente en la escala, entonces $I = -I$, y el producto sería $P = -E * I$, lo que significa que la batería entrega potencia. Estas mismas consideraciones se pueden aplicar a circuitos en CA.

Para un sistema en CA, se muestra la Figura 2 b) una fuente E . La polaridad indica la terminal que es POSITIVA en el medio ciclo positivo de la tensión. Y la dirección de la corriente indica que ENTRA en el medio ciclo de corriente positiva. El Wattmetro tiene una bobina de corriente y de voltaje, las cuales deben estar correctamente conectadas para obtener una lectura positiva de potencia activa.

Por definición, las potencias absorbidas dentro de la caja que contiene E son:

$P = V * I * \cos\theta$: Potencia activa (1).

$Q = V * I * \sen\theta$: Potencia reactiva (2).

Donde θ es el ángulo de desfase entre V e I . Este ángulo se puede expresar en forma de tiempo de retraso o adelanto. Para hacer la conversión aplicar la siguiente expresión:

$$t = \frac{\theta}{2\pi f} \quad (3).$$

Donde: t es el desfase entre las ondas de V e I en segundos, θ el desfase expresado en radianes, y la frecuencia de la red es f en Hz.

Por ejemplo: La corriente en 60Hz tiene un periodo de la onda de $16.67ms$. Si se tiene un desfase en retraso con el voltaje de $\theta=30^\circ$, es decir: $\theta=\pi/6$ radianes. En ms sería aplicando (3) de:

$$t = \frac{\pi/6}{2*\pi*60} = 1.39ms.$$

Esto se interpreta, por ejemplo, que la señal de voltaje llega al máximo positivo en un instante de tiempo, y $1.39ms$ después llega la señal de corriente.

Si el Wattmetro da lecturas negativas, indica que P es negativa, y la dirección de la corriente es opuesta, es decir E suministra potencia. Si se sustituye el Wattmetro por un Varmetro se aplican consideraciones similares. Es decir, para interpretar los signos de la potencia, se sigue con la siguiente convención, para la Figura 2:

- Si $P > 0$, el circuito absorbe potencia real.
- Si $P < 0$, el circuito suministra potencia real.
- Si $Q > 0$, el circuito absorbe potencia reactiva (I atrasa a V).
- Si $Q < 0$, el circuito suministra potencia reactiva (I adelanta a V).

B. Factor de Potencia

El factor de potencia mide el desfase temporal que existe entre el voltaje V y la corriente I . Por definición, siempre el voltaje se toma como referencia, y se coloca en el origen ($t=0$). En este sentido, hay tres posibilidades:

- Que NO exista desfase entre V e I , es decir ambas señales se comportan igual, y: cruzan por cero en el mismo instante, llegan al máximo positivo y máximo negativo en el mismo momento. Este es el caso de las resistencias, que tiene un factor de potencia de uno ($FP=1$).
- Que I ADELANTA a V , es decir alcanza los máximos positivos y negativos antes que el voltaje. Este es el caso de las cargas capacitivas, porque lo primero que aparece en un capacitor es la corriente, el voltaje se retrasa en establecerse, por ser creado en forma de campo eléctrico. El factor de potencia es menor a uno, en adelanto ($FP < 1$, en adelanto).
- Que I RETRASE a V , esto es que el voltaje sea el que llegue a los máximos positivos y negativos antes que la corriente. Este es el caso de las cargas inductivas, ya que el voltaje se establece más rápido, porque la corriente no puede cambiar tan rápido en un inductor, al ser relacionado con el campo magnético. El factor de potencia es menor a uno, en atraso ($FP < 1$, en atraso).

Si siguiendo este análisis, en circuitos de CD el concepto del factor de potencia no tiene sentido aplicarlo, no es posible definirlo.

La Figura 3 muestra el caso de cargas capacitivas primero, y abajo cargas inductivas.

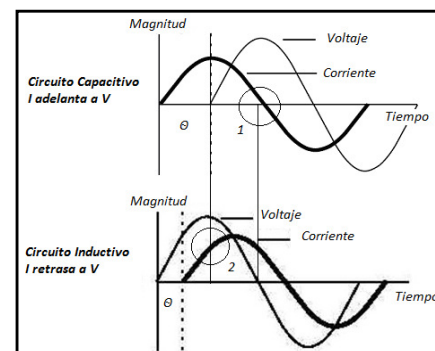


Figura 3 Adelanto y atraso de I respecto a V

En la fórmula (1) de la Sección A indica que la potencia activa se calcula como:

$$P = V * I * \cos\theta$$

El término $\cos\theta$ se define como **Factor de Potencia**, y por ser una función *Coseno*, puede alcanzar valores entre 0 y 1. Para diferenciar entre cargas Inductivas y Capacitivas se agrega la palabra: Adelanto o Atraso, como se explicó antes. Sin embargo, el IEEE también usa el signo como definición de adelanto o atraso. Para el caso de motores la convención es la siguiente:

1. Cargas Resistivas: $FP = 1$.
2. Cargas Inductivas: $FP < 1$ Negativo. Ejemplo: $FP = -0.8$, equivale a 0.8 en atraso.
3. Cargas Capacitivas $FP < 1$ Positivo. Ejemplo: $FP = 0.8$, equivale a 0.8 en adelanto.

La Figura 4 muestra un medidor de factor de potencia, donde se aplican estas consideraciones. Se aclara: LAG es en inglés Retrasado; y LEAD Adelantado.



Figura 4 Medidor analógico de factor de potencia

C. Analogías de la potencia activa, reactiva y factor de potencia

Por la línea de alimentación eléctrica viajan dos tipos de potencia, como se mencionó en la sección anterior, una será convertida en trabajo útil (Potencia Activa), y otra es convertida en campos eléctricos y magnéticos (Potencia Reactiva). Para entender estos conceptos presentamos dos analogías.

La primera figura es de un atleta que corre en dos superficies distintas, la de la izquierda es plana y recorre la distancia de A hasta B. La energía requerida depende de la carga (Peso de la persona) y la distancia. En el caso de la derecha, hay una pendiente que implica mayor consumo de energía. Si la pendiente es de 30° , y la energía consumida en el caso plano es 100, entonces se necesita $\frac{100}{\cos 30^\circ} = 115$, esto es 15% más que el caso plano, aunque se desplazó linealmente la misma distancia de A hasta B.

La figura de abajo, muestra otra analogía, donde se trata de un carrito sobre rieles, que es jalado por una cuerda. La cuerda tiene una inclinación. Si se separa la fuerza que ejerce la cuerda sobre el carrito en dos componentes, hay una parte (Potencia Activa) que lo mueve linealmente. Y la otra componente, que es perpendicular, se encarga de dirigir el carrito sobre los rieles, lo que es necesario para lograr el movimiento. Ver Figura 5.

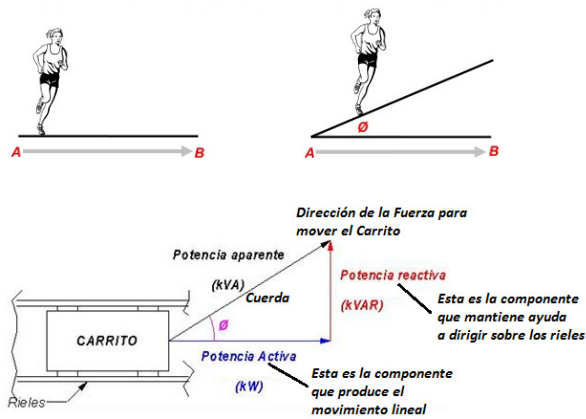


Figura 5 Analogías del factor de potencia

D. Corrección del factor de potencia en motores

La primera analogía presentada puede ayudar a entender lo conveniente que es corregir el factor de potencia en caso de cargas inductivas. Nótese que para hacer el mismo desplazamiento lineal (Entre A y B) se necesita más energía, un 15% más, que el caso plano. En el ámbito eléctrico, corregir el factor de potencia presenta muchos beneficios, entre los cuales están:

- Se reduce el consumo de potencia.
- Se reduce la corriente que circula por transformadores, conductores y equipos. Por lo que trabajan en un menor punto de operación. Mayor vida útil.
- Mejora la regulación de voltaje.
- Evitar multas de la compañía eléctrica por bajo factor de potencia (Revisar los reglamentos particulares).

Para revisar el efecto de un banco de condensadores en motores eléctricos de inducción se debe aclarar un punto importante: *el factor de potencia del motor es función de la carga mecánica, por lo que la carga es la única variable que lo puede cambiar.* Es decir, con la colocación en paralelo de bancos de condensadores lo que se hace es cambiar el factor de potencia que se mide antes del motor, pero el del motor sigue igual, siempre que la carga mecánica no cambie.

La Figura 5 muestra el caso del banco desconectado, donde las potencias P y Q provienen de la alimentación. El FP es 0.8 Atraso en motor y alimentación.

El banco de condensadores es un concepto similar al un banco de dinero, que usa el recurso según se necesite.

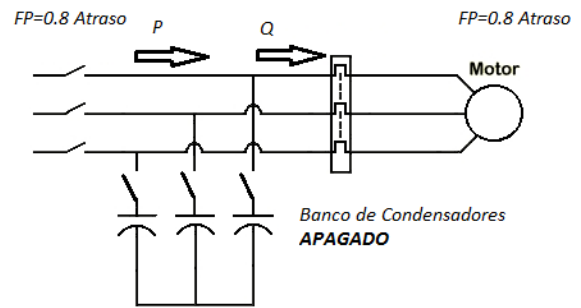


Figura 5 Factor de potencia con banco apagado

La Figura 6 muestra el caso de la conexión del banco, y ahora la potencia Q oscila entre el banco de condensadores y el motor, por ser de naturaleza opuesta. Esto significa que la potencia Q va en un momento del banco al motor, cuando el motor así lo requiera, y el banco tiene energía almacenada; en el otro momento, la potencia Q es devuelta al banco, ya que el condensador la requiere, y el motor tiene energía almacenada. Este efecto se puede ver en la Figura 3 (Sección B), en los puntos marcados 1 y 2, esto es:

- En el punto 1, el voltaje en el motor es cero, y la bobina requiere corriente, la cual es tomada desde el condensador que tiene corriente disponible.
- En el punto 2, se invierte la situación, ahora el voltaje en el condensador es cero, y se necesita corriente, la cual es tomada desde el motor que tiene corriente disponible.

La figura muestra la situación, donde el factor de potencia del motor se mantiene igual, ya que no ha cambiado la carga. Pero el medido en la alimentación subió a 0.95 Atraso, lo que es muy conveniente.

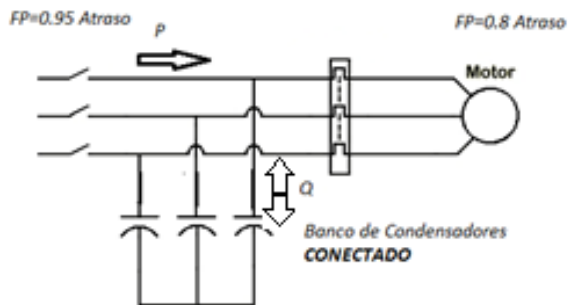


Figura 6 Factor de potencia con banco conectado

Para el caso de motores eléctricos de inducción, se recomienda:

1. Colocar corrección individual de factor de potencia en motores que tengan cargas constantes.
2. En motores con carga variable, se recomienda hacerlo por grupo de motores con un banco automático.
3. El condensador colocado se debe dimensionar para ajustar el factor de potencia a cercanos a 1 cuando el motor está en vacío.
4. No sobredimensionar el banco de condensadores porque se pueden provocar voltajes dañinos en la instalación eléctrica.