

Importancia de la corrección del factor de potencia (PFC)

M. Patricio Cohen

Introducción

Al conectar una carga a la red eléctrica, la potencia que podemos consumir va a depender de la impedancia del circuito de carga que hemos conectado. Cuando decimos "consumir" nos estamos refiriendo a la capacidad de generar trabajo, como por ejemplo calor o movimiento, lo cual se logra cuando la potencia media es mayor a cero. En otras palabras, para que el consumo sea posible, se requiere que la carga conectada tenga parte resistiva, o dicho de otra manera, que exista en el circuito de carga alguna rama donde la corriente a través de ella esté en fase con el voltaje. De esta manera podemos obtener una potencia media mayor a cero.

Por otro lado, si conectamos como carga una impedancia puramente capacitiva o puramente inductiva, obtendremos que la corriente está desfasada respecto al voltaje en -90° y $+90^\circ$ respectivamente, lo que implica que la potencia media es cero. Esto se puede apreciar en la Ec.1, donde el voltaje provisto de la red está dado por $v(t) = A\cos(\omega t)$, con $A=220\sqrt{2} = 311[V]$ y $\omega = 2\pi \cdot 50$. El signo de la constante B para el caso de la carga puramente capacitiva es negativo, mientras que para la carga puramente inductiva es positivo. Notar que $T=20[ms]$ es el periodo de un ciclo de $50[Hz]$.

$$P_{media} = \int_{t_0}^{t_0+T} v(t)i(t)dt = \int_{t_0}^{t_0+T} A\cos(\omega t)B\sin(\omega t)dt = 0 \quad (\text{Ec. 1})$$

Ec.1 Si el voltaje y la corriente están desfasados en $-90^\circ/+90^\circ$, la potencia media es cero

La potencia media siempre es cero si la corriente está desfasada tanto en -90° como $+90^\circ$, por lo tanto cargas cuya impedancias sean puramente reactivas no pueden consumir potencia.

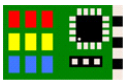
Es común en los ambientes industriales, que las compañías verifiquen la naturaleza de las cargas conectadas a su red, de tal forma de no generar corrientes excesivas que no puedan ser asociadas a un consumo. En la próxima sección estudiaremos lo que se denomina factor de potencia y en la subsiguiente el efecto de cargas reactivas para las compañías eléctricas.

Definición de la potencia como un número complejo y el factor de potencia (PF)

En la práctica las cargas tienen parte resistiva y reactiva, por lo que se define el concepto de potencia de la siguiente forma:

$$P_{aparente} = P_{activa} + j P_{reactiva} \quad (\text{Ec.2})$$

Ec.2 Definición de la potencia aparente como un número complejo



La **potencia aparente** es un número complejo que representa ambos tipos de potencia. Contiene la potencia activa que es aquella que puede ser consumida y la reactiva que no puede serlo. Su unidad es volt-ampere, denotado por [VA].

La **potencia activa**, parte real de la potencia aparente, es aquella que puede ser utilizada para generar trabajo ya que su valor medio es siempre mayor que cero. El voltaje siempre está en fase con la corriente. Ejemplos luz, movimiento, calor, sonido, etc. Su unidad es watts, denotado por [W].

La **potencia reactiva**, parte imaginaria de la potencia aparente, es aquella que no es posible utilizarla, ya que su valor medio es siempre cero. El voltaje está a $-90^\circ/+90^\circ$ de la corriente dependiendo si la parte reactiva es capacitiva o inductiva. Su unidad es volt-ampere-reactivo, denotado por [VAR].

En la Fig.1 se puede observar un diagrama ilustrativo en el plano complejo de la potencia aparente.

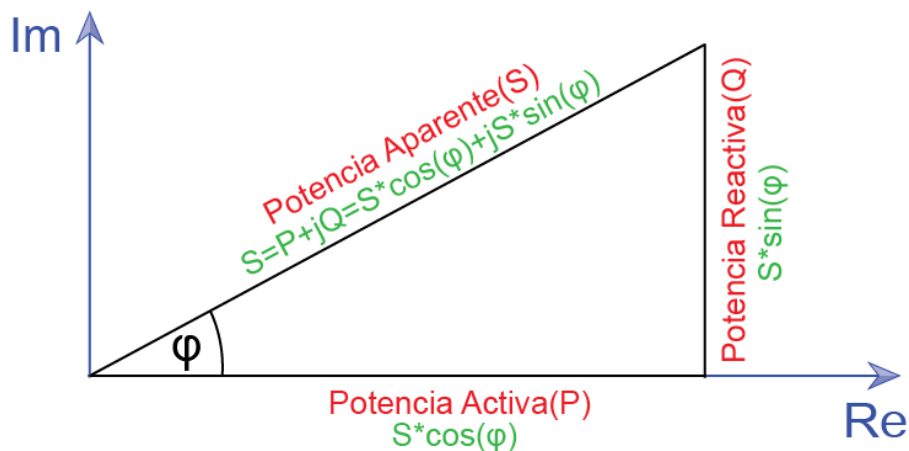


Fig.1 Potencia Aparente con sus componentes real(P) e imaginaria(Q)

La cantidad $\cos(\phi)$ es denominada **factor de potencia** o **PF** y su valor es un número decimal entre 0 y 1. Las compañías eléctricas velan para que el PF sea muy cercano a 1 ya que de esta manera se tiene una carga que es resistiva. Una carga resistiva pura, tal como se explicó en la introducción, tiene el voltaje y la corriente a través de ella en fase. Cuando la carga tiene un FP cercano a 1, ϕ tiende a cero, por lo que la componente de potencia reactiva Q tiende a cero, quedando así solo la potencia activa P. En la figura 2 hay un diagrama que muestra un PF cercano a 1.

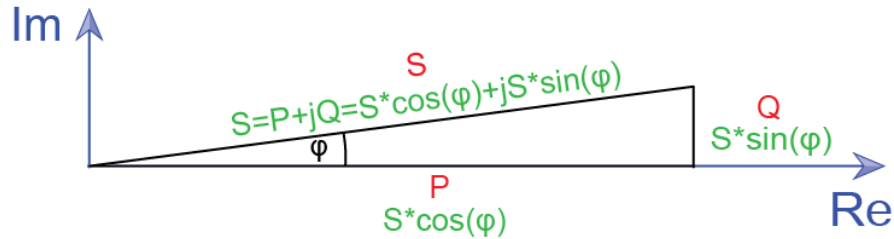
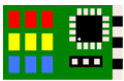


Fig.2 Carga con PF cercano a 1. Notar que Q es muy pequeño en comparación a P.
A medida que el PF se acerca a 1, $S=P$.

Las compañías eléctricas venden energía y no corriente

Las compañías de electricidad venden a sus clientes energía. La energía, tal como se muestra en la Ec.3, es potencia consumida multiplicada por el tiempo de consumo.

$$E=P*t \quad (\text{Ec.3})$$

Ec.3 Definición de la energía en función de la potencia activa y el tiempo

La unidad de energía es típicamente expresada en **kWh** que corresponde a la energía suministrada durante una hora cuando la carga consume 1000 Watts de potencia activa.

Las compañías en sus medidores contabilizan la energía consumida por sus clientes, que corresponde a la potencia activa multiplicada por el tiempo. La potencia reactiva que no se consume no puede ser cobrada, sin embargo produce circulación de corrientes a través de la red eléctrica de la compañía. Estas corrientes que no van a provocar un consumo real en el cliente, producen disipación de potencia en los cables de distribución de la compañía eléctrica, provocándole grandes pérdidas. Dicho de otra manera, la compañía eléctrica, no quiere que sus clientes conecten cargas a su red que generen corrientes que no puedan ser asociados a un consumo real de energía y por ende no pueden ser cobrados al cliente. El conectar cargas con un factor de potencia (PF) mucho menor a 1 puede causar que el cliente sea multado por la compañía eléctrica.

El rol de los correctores del factor de potencia (PFC) en equipos electrónicos

Los equipos electrónicos requieren en la gran mayoría de los casos voltajes continuos o DC para su operación. Las fuentes switching, inversores y demás equipos no son la excepción. Para poder llevar esto a cabo, utilizan un bridge para rectificar los 220/110 Vrms que provienen de la red y un condensador para mantener el voltaje peak, tal como se muestra en el circuito de la figura 3.

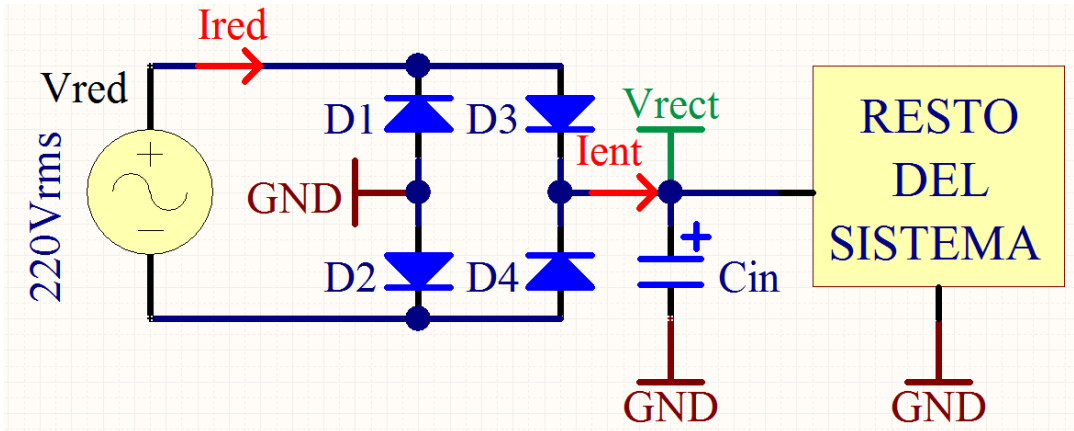
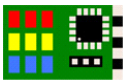


Fig.3 Circuito rectificador típico utilizado en la gran mayoría de equipos electrónicos.

El bloque denominado resto del sistema podría ser cualquier equipo electrónico como una fuente AC-DC, o cualquier tipo de fuente AC-AC (se transforma de AC a DC y luego a AC nuevamente)

En este circuito, tal como se muestra en la figura 4, la corriente I_{ent} fluye desde la red hacia el circuito solo cuando el voltaje en el nodo V_{rect} es máximo, mientras que en los otros momentos no fluye. Esto sucede porque el condensador está a un voltaje cercano al valor peak de V_{ent} (V_{red} rectificado en onda completa) y cuando se empieza a descargar producto del consumo del resto del sistema al poco tiempo se encuentra con el peak de V_{ent} nuevamente. Como generalmente el condensador C_{in} se elige para que haya un ripple pequeño, el voltaje en el condensador no baja mucho de $V_{ent}(\text{peak})$, esto significa que la corriente fluye solamente cuando V_{ent} está cerca de su peak.

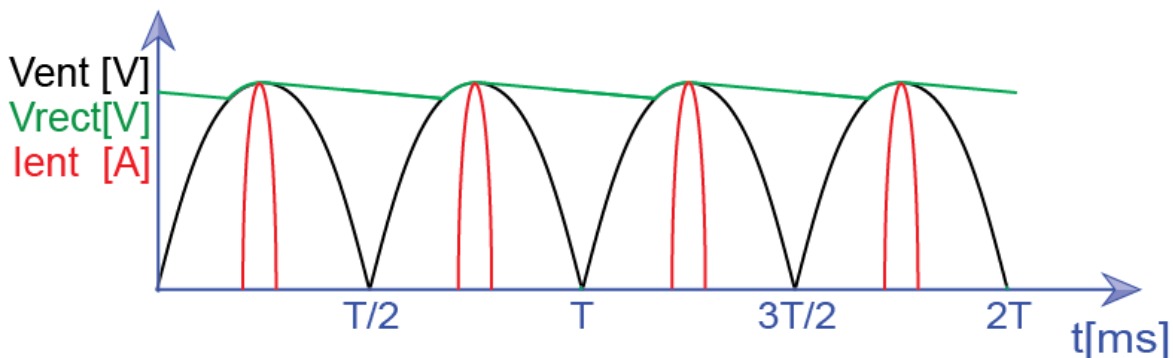
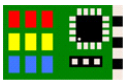


Fig.4 Formas de onda de V_{ent} , V_{rect} y I_{ent} del circuito de la figura 3

Como la corriente sólo fluye en una fracción reducida del ciclo de 50Hz esto significa que necesariamente ésta va a ser de mayor valor peak para una misma potencia que en el caso si la corriente estuviera repartida equitativamente en todo el periodo.

Si el circuito mostrado en la figura 3 fuera una fuente DC, tendría un PF aproximado de 0.65 que requerirá 1.5 veces más corriente desde la red eléctrica que una fuente DC con un $PF=0.99$ para la



misma carga. Esta corriente extra producirá pérdidas de energía en las líneas de distribución. La única manera de lograr mejorar el PF es mediante una etapa PFC en la entrada del equipo. La figura 4 muestra el mismo circuito de la figura 3, pero con la etapa PFC agregada.

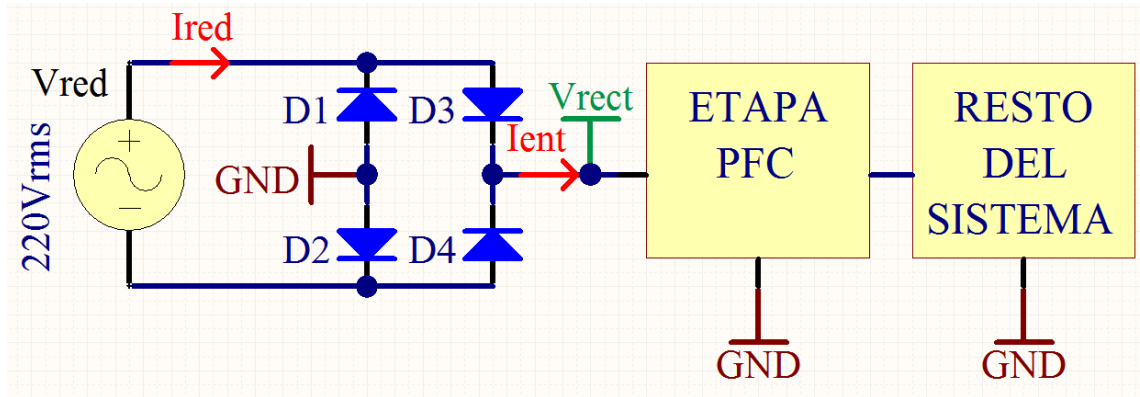


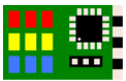
Fig.5 Circuito de la figura 3 con la incorporación de una etapa PFC

Dentro de los PFC existen 2 alternativas, el PFC Pasivo y el PFC Activo.

1. PFC Pasivo

El PFC Pasivo, tal como dice su nombre consiste en corregir el factor de potencia con componentes pasivas reactivas como condensadores y bobinas. Esta alternativa tiene 2 grandes desventajas con respecto a la solución activa. La primera, es que agregar componentes reactivos a una frecuencia tan baja como los 50Hz de la red, obligan a tener que utilizar condensadores y bobinas grandes en tamaño y peso. La segunda tiene que ver que con que está solución es estática, es decir no es adaptativa. Generalmente las impedancias de los circuitos cambian dependiendo de las condiciones de operación. Si la figura 3 por ejemplo correspondiera a una fuente de switching, sería muy difícil obtener una buena corrección PFC pasiva tomando en consideración los amplios rangos de voltaje de entrada y distintas cargas que se le puedan conectar a la fuente. Con esta técnica no se puede garantizar la corrección del factor de potencia para todas las condiciones de funcionamiento y por ende es limitada sólo para voltajes de entrada y cargas fijos. En algunas localidades la red presenta variaciones en la amplitud del voltaje importantes, por lo que la condición de voltaje de entrada fijo no siempre es aplicable.

Con el PFC pasivo se puede lograr una eficiencia de potencia del orden de 98% y un factor de potencia(PF) de 0.8 en el mejor de los casos. Al obtener un factor de potencia bajo no sólo es posible exponerse a una multa, sino que también es posible disminuir la vida útil de varias componentes como cables, fusibles, supresores de transientes, etc., en comparación con la solución activa.



2. PFC Activo

El PFC Activo, utiliza técnicas avanzadas de switching para lograr corregir el factor de potencia. Al utilizar frecuencias altas del orden de cientos de kHz, las componentes reactivas utilizadas son de un tamaño y peso muy menor en comparación a las que se utilizarían en la solución pasiva.

Una de las características más importantes del PFC activo es su capacidad de adaptarse a las condiciones operación del circuito, ya que va sensando y moldeando la forma de la corriente en tiempo real. Si bien esta técnica es más cara para potencias bajas que la solución pasiva, para potencias altas arriba de 1KW es más efectiva tanto en costo como performance. Con las técnicas actuales se pueden lograr eficiencias de potencia máximas del orden de 94% y factores de potencia (PF) máximos de 0.99.

Si bien la solución Activa disipa algo de más potencia que la Pasiva debido a la incorporación de transistores y diodos, la corrección del PF que alcanza el PFC activo es casi 1, por lo que es la solución más apropiada para los equipos de hoy en día.

Al utilizar la etapa PFC, las formas de onda de **Vent** e **lent** serían las mostradas en la figura 6.

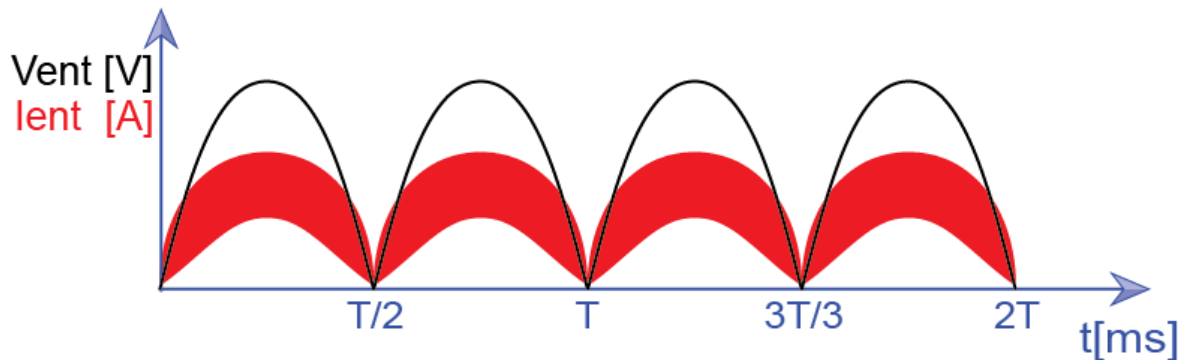


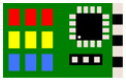
Fig.6 Formas de onda de **Vent**, e **lent** del circuito de la figura 5

La corriente se puede apreciar como una banda roja, eso es porque la corriente tiene componentes a la frecuencia de switching, o sea, cientos de **kHz**. Para filtrar estas frecuencias altas y no introducirlas a la red se utiliza un filtro antes del bridge que elimina los ruidos de modo diferencial como los de modo común.

Conclusión

Para evitar multas es necesario modificar la impedancia de la carga de tal forma que presente PF cercano a 1, por ejemplo arriba de 0.95. Para ello es necesario un circuito PFC.

Los activos son mucho más efectivos en la corrección del factor de potencia que los pasivos, ya que tiene la capacidad de adaptarse la impedancia del circuito de carga, además de su tamaño y pesos reducidos en comparación a otras soluciones.



El tener un factor de potencia bajo, implica tener una distorsión armónica alta, lo cual necesariamente producirá calentamiento y una merma en la vida útil de maquina rotacionales (generadores), cables, transformadores, condensadores, fusibles, contactos de conmutación y supresores de transientes.

Nuestra empresa, Electrosoft Ingeniería, pone a su disposición la etapa PFC activa como opción para nuestros conversores AC-DC (fuentes switching off-line), conversores AC-AC , variadores de frecuencia, variacs, etc .