

## **Capítulo 2**

# **Corrección del Factor de Potencia**

En el siguiente capítulo se presenta el concepto del Factor de Potencia y las variables que lo relacionan, para poder entender los circuitos que compondrán al módulo de potencia. Se discutirán algunas causas del desfasamiento entre el voltaje y la corriente sinusoidal que provocan un bajo FP. Además se muestra la clasificación del CFP para mencionar las diferencias entre ambas.

## **2.1 Introducción**

En la industria electrónica el factor de potencia resulta ser el objeto de estudio en muchas investigaciones recientes. Como resultado de elevar la calidad de la energía eléctrica en los sistemas de potencia, se han creado estándares internacionales que regulan la presencia de armónicos en la corriente de línea (IEEE519) para el consumo de energía. Se deben estudiar las diferentes formas que existen entre la potencia eléctrica, así como algunas técnicas para la CFP.

## **2.2 CFP: Definición y Conceptos**

Debido a que en las instalaciones eléctricas se conecta cualquier cantidad de artefactos que demanden energía eléctrica, es necesario el uso de convertidores de corriente alterna a directa y viceversa. Esto hará que el ángulo entre el voltaje y la corriente se vea desfasado dando lugar a la primera forma de energía llamada potencia aparente, y se expresa con la letra S en unidades de VA. La potencia activa es aquella que consumen los

aparatos conectados a la red eléctrica, la cual se transforma en forma de calor o trabajo y se expresa con la letra P en unidades de W. Por otro lado la potencia reactiva es la que proporciona el flujo magnético necesario para el funcionamiento del equipo electrónico conectado a la misma; esta energía no es facturada y tampoco la aprovecha el usuario, se le asigna la letra Q. La relación que existe entre las tres se observa en el siguiente triángulo de potencia y está dada por  $S^2 = P^2 + Q^2$ :

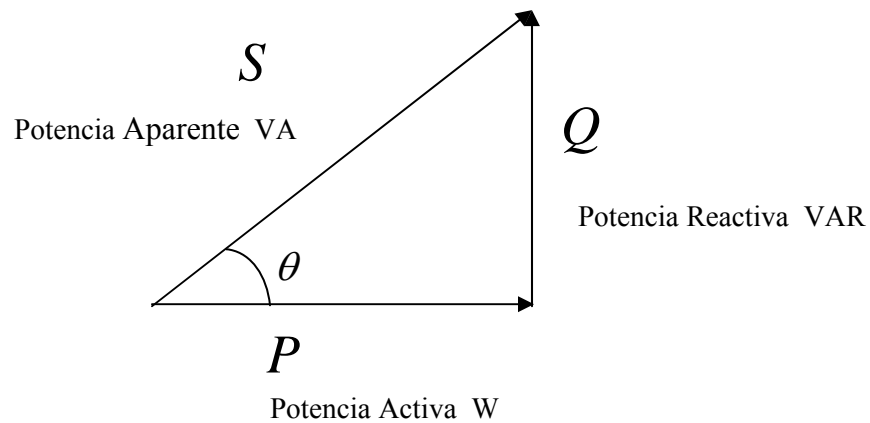


Fig. 2.1 Triángulo de Potencias

La potencia aparente es el producto del voltaje y corriente rms  $S = V_{rms} I_{rms}$  en tanto que la potencia activa es  $P = V_{rms} I_{rms} \cos \theta$ . El factor de potencia relaciona directamente a la potencia activa e inversamente a la potencia aparente. Dependiendo el valor del ángulo del FP de la red y que depende de las ondas sinusoidales del voltaje y la corriente, un factor de potencia igual a uno significa que no hay consumo de energía reactiva y la carga es puramente resistiva. El caso contrario es cuando el FP es inferior a

uno cuando existe energía reactiva. Si está más cerca de cero entonces será una carga altamente inductiva o capacitiva. La siguiente ecuación expresa al FP:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{V_{rms} I_{rms} \cos \theta}{V_{rms} I_{rms}} = \cos \theta \quad (2.1)$$

De la ecuación anterior se observa que el FP se afecta principalmente por dos cosas: el contenido armónico de la fundamental entre la suma del total de armónicos de corriente, y el ángulo de fase de la fundamental entre voltaje y corriente. Para los circuitos de corriente alterna el FP se define como  $fp = \cos \theta$  donde  $\theta$  es el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente y sólo se representa así cuando ambas señales son sinusoidales [12].

Para cuantificar la propiedad no sinusoidal de esta forma de onda se utiliza el término de distorsión armónica total, el cual es la relación entre el valor eficaz de todos los términos diferentes a la frecuencia de la fundamental y el valor eficaz del término que corresponda a la fundamental. El DAT se puede definir como:

$$DAT = \frac{\sqrt{\sum_{n \neq 1} I_{n,rms}^2}}{I_{1,rms}} \quad (2.2)$$

Al sustituir la ecuación 2.2 en 2.1 el factor de potencia en términos de la distorsión armónica se escribe a continuación [18]:

$$FP = \frac{1}{\sqrt{1 + DAT^2}} \cos \theta \quad (2.3)$$

## **2.3 Causas y Consecuencias de un bajo Factor de Potencia**

En artefactos como estufas, planchas, cocinas y lámparas incandescentes, la totalidad de la energía requerida para el funcionamiento es transformada en calor o luz (energía activa). Sin embargo, existen otros artefactos como motores, equipos de iluminación fluorescente (tubos), equipos electromecánicos (lavarropas, heladera, aire acondicionado) en los cuales una parte de la energía se transforma en frío, luz, movimiento, etc. (energía activa), y la parte restante es requerida para su propio funcionamiento (energía reactiva) [3,4]. Cuanto mayor sea el consumo de energía reactiva, peor será el aprovechamiento de la energía recibida. Entre los equipos que más consumen energía reactiva se encuentran los motores eléctricos con baja carga, máquinas soldadoras, rectificadores de potencia. Los que menos consumen son las lámparas incandescentes.

Entre las características que sobresalen si se tiene un buen corrector de factor de potencia se mencionan algunas, que sirven para entender la importancia de este concepto en la realidad de los sistemas electrónicos:

- No pagar recargos por consumo de energía reactiva
- Reducción de las pérdidas de energía
- Reducción de la potencia aparente
- Aumento en el nivel de voltaje en la red de distribución

Operar con un bajo FP se traduce a problemas en la red de energía eléctrica como por ejemplo las pérdidas por efecto Joule, donde el calentamiento de los cables de alta y baja tensión se hace presente. Su modelo se basa a través de la resistencia de bobinas,

generadores y la corriente total; ésta se manifiesta en el calentamiento de los cables, embobinados y deterioro del aislamiento en los conductores.

En México, si se tiene un FP inferior a 0.9, se podría aplica un cargo por parte de la compañía que proporcione el suministro, y podría cobrar al usuario una penalización según la siguiente ecuación [3]:

$$\text{Penalización(\%)} = \frac{3}{5} \times \left[ \frac{0.9}{FP} - 1 \right] \times 100 \quad (2.4)$$

Si el FP es mayor a 0.9 entonces la compañía debería bonificar al usuario de acuerdo a la ecuación:

$$\text{Bonificación(\%)} = \frac{1}{4} \times \left[ 1 - \frac{0.9}{FP} \right] \times 100 \quad (2.5)$$

Estos valores se redondean a un solo decimal y no se aplicarán penalizaciones mayores al 120% ni bonificaciones menores a 2.5%. Tanto cargos como bonificaciones se aplican a usuarios domésticos, residenciales o industriales [3].

## 2.4 Clasificación del Corrector de Factor de Potencia

El corrector de factor de potencia puede ser clasificado en activo y pasivo. El pasivo se hace por medio de elementos inductivos y capacitivos que conforman al filtro, el cuál es usado para reducir los armónicos de la corriente de línea. Por lo regular este filtro es colocado en la etapa de CA o en el lado de CD del rectificador como se muestra en la figura 2.2. Por otra parte el CFP activo se realiza con el uso de convertidores conmutados. Es más

complicado que el pasivo pero permite una mayor estabilidad en el sistema, sobre todo en lugares en que la instalación eléctrica no es lo más pura posible. Debido a la calidad del CFP activo se estudia su topología en el proyecto.

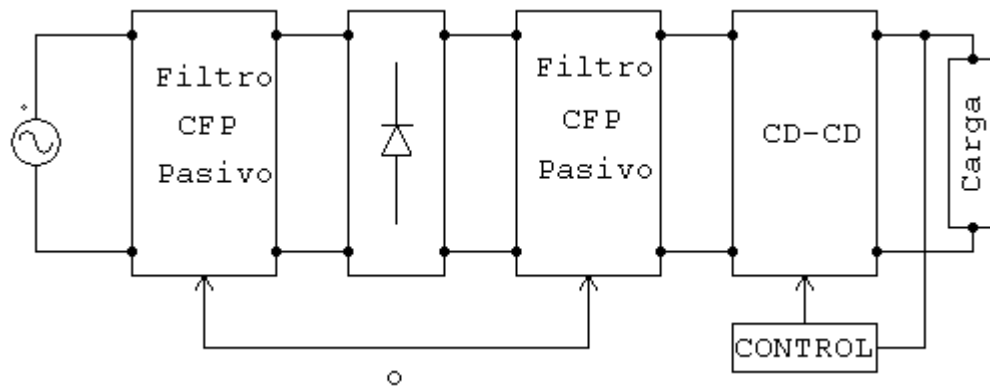


Fig. 2.2 Estructura General de un CFP Pasivo [16]

### 2.4.1 Configuración del CFP en dos Etapas

Esta configuración implica una topología con dos convertidores para así obtener un corrector de factor de potencia y una salida regulada. El control es independiente por cada convertidor en esta configuración, por lo que se vuelve más complicada figura 2.3. Los convertidores como reductor, elevador, reductor-elevador, flyback, SEPIC y Cuk, usan esta topología junto con una técnica de control para aumentar el factor de potencia [16]. El convertidor de CD-CD se conecta al capacitor de almacenamiento para proveer la ligera regulación de voltaje y la ganancia apropiada siendo muchas veces una arquitectura aislada

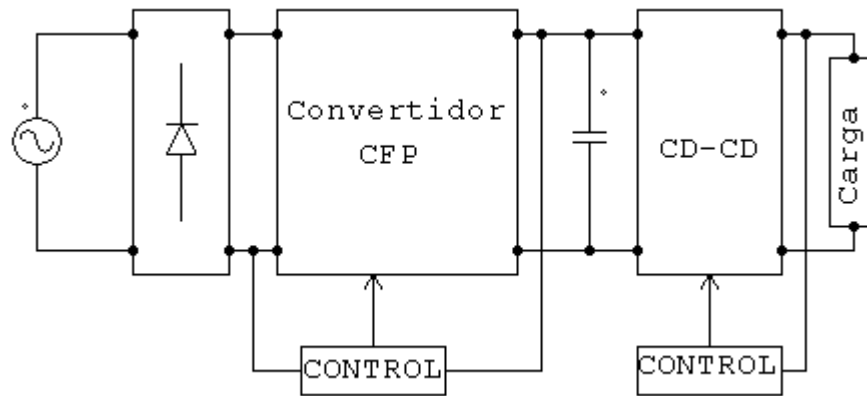


Fig. 2.3 Estructura General de un CFP con 2 etapas [16]

## 2.4.2 Configuración del CFP en una Etapa

La reducción de los componentes en un sistema reduce el costo y la complejidad de la topología [7]. Por ello se presenta una modificación del control de la topología con 2 etapas y sólo presentar uno solo. En una sola etapa se comparte el CFP y la célula de conmutación del convertidor CD-CD. El voltaje regulado dependerá del control que se encuentra entre la célula del CFP y la carga. La figura 2.4 muestra un CFP con una sola etapa de control:

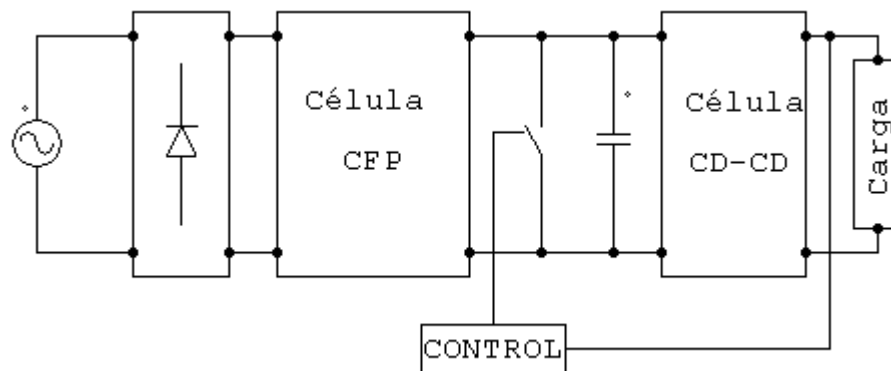


Fig. 2.4 Estructura del CFP en una sola etapa [16]

## **2.5 Conclusiones**

En el capítulo se encontró la relación de cómo se representa la energía en una red eléctrica y como se usa a nivel industrial y residencial. Se presentó la clasificación de un CFP, así como los recargos y bonificaciones por el uso del FP. También se mencionan el CFP activo y el pasivo junto con sus topologías, explorando el CFP activo para la configuración de la topología que se propone. La adición de 2 etapas se muestra más compleja pero con mayor precisión [16], cada una con un control independiente. Esto se arregla al tener una sola etapa ya que se podrá implementar para nuestra aplicación.