

Análisis y Reducción de Pérdidas Eléctricas Mediante Regulador Electrónico de Potencia Reactiva

Luis C. Hubner ^{a*}, Julio A. Potschka ^a, Manuel A. Mazzoletti ^a

^a Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Energía Eléctrica (LIDEE), Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: luiscarloshubner.fio@gmail.com, potschka@fio.unam.edu.ar, armando.mazzoletti@fio.unam.edu.ar

Resumen

Este trabajo presenta el estudio y la implementación de sistema regulador de potencia reactiva a través de un banco de ensayo didáctico para la corrección automática del factor de potencia (FP). La metodología incluye la construcción de un sistema eléctrico capaz de conectar hasta seis bancos capacitivos discretos para compensar cargas resistivo-inductivas controlados por un relé varimétrico comercial. Se realizó un análisis exhaustivo del parámetro característico C/k, crucial para la gestión de los escalones de corrección capacitivos. Los ensayos, utilizando cargas RL de pasos discretos (0,071 kW, 0,06 kVAr inductivos, 0,044 kVAr capacitivos), demostraron que la compensación reduce significativamente la corriente de línea, siendo esta reducción del orden del 10% con un paso inductivo y 31,15% para dos pasos inductivos. Consecuentemente, las pérdidas técnicas disminuyen en un 20,6% y 52% respectivamente. Se verificó que el parámetro C/k se relaciona directamente con la sensibilidad del equipo, siendo este un parámetro clave en la configuración de estos tipos de sistemas de control.

Palabras Clave – Bancos Didáctico de Capacitores, Energía Reactiva, Eficiencia Energética, Factor de Potencia, Pérdidas técnicas, Relé Varimétrico.

1 Introducción

En marzo de 2025, la generación neta total de electricidad a nivel mundial alcanzó los 908,7 TWh, lo que representó un aumento del 3,1% en comparación con marzo de 2024, donde , 392,9 TWh (43,2%) se produjeron a partir de combustibles fósiles, 358,7 TWh (39,5%) de fuentes renovables y 153,2 TWh (16,9%) de energía nuclear. En términos acumulados, la producción neta total de electricidad mundial aumentó un 3,5% en el primer trimestre de 2025[1].

Por otro lado, las pérdidas eléctricas son una problemática ampliamente debatida a nivel mundial debido a la necesidad de reducirlas. A nivel global, estas pérdidas rondan el 6% de la producción total de energía generada en 2023, mientras que, en Argentina, este valor asciende al 21% de la producción total en 2022 [2], [3].

Dicho esto, la eficiencia energética es una temática que ha tomado gran relevancia en los últimos años, debido a la necesidad de generar ahorros energéticos mediante la reducción de la energía demandada, sin que se afecten los procesos de la instalación. Además, existe una presión ejercida por las distribuidoras eléctricas para mejorar el factor de potencia en las instalaciones, requiriendo que este sea mayor o igual a 0,95 [7], [8].

Para abordar esta problemática y mejorar la eficiencia, en una primera instancia, es fundamental realizar una caracterización y análisis detallado del consumo, como en el caso aplicado en [4]. Esto

implica entender cuándo, dónde y cómo se está utilizando la electricidad. Una vez comprendido el patrón de consumo, se pueden implementar "Buenas Prácticas" en el uso de la energía eléctrica, además de la utilización de equipos con indicadores de bajo consumo. Finalmente, en el ámbito industrial o en instalaciones con motores eléctricos de gran tamaño, la conexión de capacitores en paralelo a la red es una estrategia técnica efectiva para mejorar la eficiencia y el factor de potencia.

Dicho esto, en este trabajo se muestra la metodología de conexión de capacitores en paralelo a la red, a través de un banco de ensayo didáctico que es controlado por un relé varimétrico de uso comercial. Este controlará cargas discretas (resistivas, inductivas y capacitivas). Finalmente, se realizará su parametrización en función de las variables configurables en el relé.

2 **Objetivo General del Estudio**

- Construcción de un banco de ensayo experimental para la corrección del factor de potencia, compensación de energía reactiva y reducción de energía eléctrica.

3 **Objetivos específicos**

- Estudio del estado del arte.
- Análisis de normativas a nivel mundial, país y provincia.
- Análisis de métodos para la disminución de pérdidas técnicas.
- Verificación de los tipos de compensación utilizados.
- Uso de compensadores automáticos de factor de potencia.
- Implementación de un banco de ensayos experimental.
- Análisis de resultados obtenidos con el banco de ensayos.

4 **Desarrollo de Conceptos**

1. Racionalización de las Instalaciones, Eficiencia Energética y Pérdidas

Las industrias buscan constantemente la mejora de sus instalaciones, esto mediante la *racionalización* de estas, la cual se define como la gestión inteligente y consciente del consumo de energía en una instalación, con el objetivo de utilizar solo la cantidad justa y necesaria para satisfacer las demandas, sin comprometer el confort, la productividad o la calidad de los servicios.

Al implementar estos cambios, la *eficiencia energética* mejora, esto conlleva a una reducción de las potencias y energías demandadas al sistema eléctrico, pero sin que afecte a las actividades normales realizadas en edificios, industrias o cualquier proceso de transformación [5]. A su vez, la reducción de las potencias demandadas a la red, permiten una disminución en las *pérdidas técnicas*, las cuales constituyen una parte de la energía que no es aprovechada, y que el sistema/instalación eléctrica requiere para su operación. Un ejemplo de esto es la energía que se pierde en los conductores que transportan electricidad, debido al calentamiento de estos por efecto Joule, tal como se ve en (1).

$$P=I^2 \cdot R \quad (1)$$

Donde I es la corriente que circula por los conductores, R la resistencia de estos y P la potencia activa disipada.

2. Parámetros eléctricos: corriente y potencia

En las instalaciones eléctricas de corriente alterna (CA), generalmente la corriente absorbida por las cargas está desfasada un cierto ángulo φ con respecto a la tensión, por ende, dicha corriente la podemos representar mediante dos componentes:

Una *corriente activa*, la cual está en fase con la tensión, y que se relaciona directamente con el trabajo útil de dicha carga.

Y la *corriente reactiva*, la cual se halla en forma perpendicular respecto a la tensión, y representa la corriente utilizada para la generación del campo magnético necesario para la conversión de potencias, como ser el ejemplo más común, el de los motores (potencia eléctrica a potencia mecánica).

Por lo tanto, debido a este comportamiento de las cargas, existirá una componente de potencia activa (P), que se interpreta como potencia útil o absorbida medida en kilovatios [kW], y, además, una componente de potencia reactiva (Q), en donde esta última representa la potencia que es tomada de la red de la instalación en un semiciclo, y devuelta en el siguiente. Esta se mide en kilovoltio-amperio reactivo [kVAr], y ambas se pueden calcular mediante (2) y (3). Al sumar vectorialmente ambas componentes se obtiene la potencia aparente (S), con unidades en kilovoltio-amperio [kVA], tal como se ve en la Fig. 1b. Cabe mencionar que un 45% de la electricidad consumida en el planeta se usa para accionar motores industriales o en edificios [6], lo cual hace evidente que la energía reactiva es predominantemente inductiva.

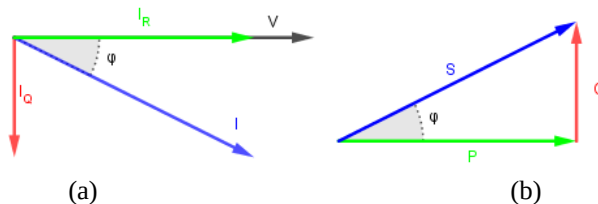


Fig. 1. Diagrama vectorial de: a) Corriente activa (I_R), reactiva (I_Q) y total; b) Potencia activa (P), reactiva (Q) y aparente (S).

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos(\varphi) \quad (2)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sen(\varphi) \quad (3)$$

Donde U_L es la tensión de línea, I_L la corriente de línea y φ el ángulo de desfase entre ambas variables.

3. El Factor de Potencia y Armónicos:

A partir de la relación entre la potencia activa y aparente, tal como se expresa en (5), se obtiene el valor de *factor de potencia* (FP), el cual, en términos simples, mide la eficiencia del consumo eléctrico, a la hora de convertirlo en potencia útil, como luz, calor o movimiento mecánico. Puede variar entre 1 (toda la energía absorbida de la red se transforma en trabajo útil) y 0 (no se obtiene

ningún trabajo útil). En términos técnicos, es el ratio de potencia activa o útil respecto a la potencia aparente total (potencia activa y reactiva).

En Argentina podemos citar dos casos en los cuales se restringe el rango de valores en el cual puede hallarse, como ser el de la resolución N°85-2024 emitida por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) [7], que rige en las áreas de concesión de EDESUR S.A. y EDENOR S.A., además el de OBLIGACIONES DEL USUARIO, expedido por Energía de Misiones S.A. (EMSA) [8]. Ambos casos establecen que los usuarios deben mantener un FP mayor o igual a 0,95, caso contrario se les notifica a estos para que tomen medidas correctivas. En el caso de EMSA, de no corregir el FP en un plazo de 30 días luego de haber recibido la notificación, la distribuidora procede a aplicar un recargo, el cual se calcula multiplicando el monto de la energía en el mes por 0,95 y dividiendo por el FP promedio de dicho mes, y dada la situación de tener un FP menor a 0,5, se aplicará un 100% sobre el valor facturado.

Ahora bien, en el caso de que la señal de red este distorsionada, el FP disminuirá, esto se debe a la *Distorsión Armónica Total*, que representa una medida de la influencia de los armónicos de orden superior respecto a la fundamental, esto se puede calcular mediante (4).

La norma IEEE 519 [9] establece que instalaciones con tensiones de 69 kV o inferiores deben presentar un THD menor o igual al 5%, caso contrario se debe recurrir a la instalación de filtros de armónicos.

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n V_k^2}}{V_1} \quad (4)$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_V^2}} \cdot \cos(\varphi) \quad (5)$$

Donde V_1 Representa el armónico fundamental y V_k los armónicos sucesivos.

Entonces, para mejorar la eficiencia en la instalación, podemos realizar una corrección al factor de potencia, la cual se basa en proporcionar una compensación de la potencia reactiva en la red, para que, a través de esto, la componente de corriente reactiva disminuya en amplitud. Realizar esto trae beneficios para la instalación en general, ya que la disminución de la corriente reactiva provoca una disminución en las pérdidas por efecto Joule en los cables, además, favorece a un aumento de la disponibilidad de potencia aparente de los transformadores.

4. Obtención de parámetros eléctricos y cálculo de Potencia Reactiva Capacitiva:

Para realizar la corrección del factor de potencia, primeramente, se debe conocer la potencia reactiva presente en la instalación, para esto se debe efectuar las correspondientes mediciones en la instalación, estas pueden ser:

Mediciones directas: estas se hacen por medio de instrumentos especializados, los cuales arrojan directamente el valor de potencia reactiva del sistema, como ser el caso de analizadores de red.

Mediciones indirectas: estas se hacen por medio de la medición de las cantidades de tensión (Voltímetro), corriente (Amperímetro) y potencia (Watímetro) en el sistema, con esto, se puede calcular la potencia reactiva mediante las ecuaciones expresadas en (6) y (7).

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (6)$$

$$S = V \cdot I \quad (7)$$

Una vez obtenido el valor de potencia reactiva del sistema, y conociendo el factor de potencia al cual se desea llegar, podemos calcular la potencia reactiva del banco de capacitores a utilizar, esto mediante las ecuaciones expresadas en (8), (9) y (10).

$$Q_C = P \cdot \{ \operatorname{tg}(\varphi_i) - \operatorname{tg}(\varphi_f) \} \quad (8)$$

$$\varphi_i = \cos^{-1} \left(\frac{P}{S} \right) \quad (9)$$

$$\varphi_f = \cos^{-1} (FP_{deseado}) \quad (10)$$

Conociendo el valor de potencia reactiva necesaria en el banco de capacitores, basta con ver en el mercado un banco de capacitor, o combinación de estos, el cual satisfaga las necesidades de nuestra instalación.

5. Métodos para la Reducción de Pérdidas Eléctricas

Tal como se mencionó anteriormente, las pérdidas técnicas no pueden eliminarse, pero si reducirse, y esto se ve claramente reflejado al momento de conectar bancos capacitivos, por ejemplo, si se supone que se posee un conductor de resistencia de 1Ω , y una carga que consume 2 A de corriente activa y 2 A de corriente reactiva, vectorialmente, esto se ve en la Fig. 2.a y 2.c, con esto, y utilizando (1), podemos estimar pérdidas de 8 W. Ahora bien, si se conecta un banco capacitivo, tal que corrija la corriente reactiva a 1 A, las pérdidas ahora serán de 5 W, lo cual representa una disminución del 37,5% de la energía perdida en los conductores.

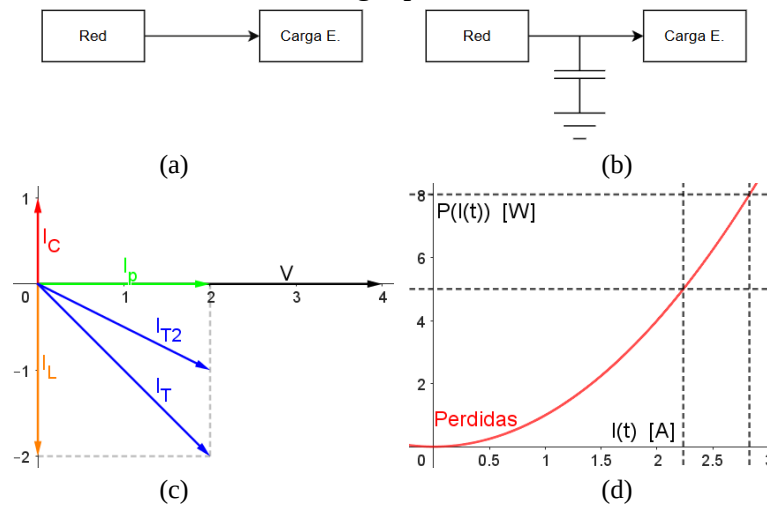


Fig. 2. Diagrama : a) en bloques, red y carga inductiva; b) en bloques, red, carga inductiva y banco capacitivo; c) vectorial de las corrientes en la red; d) pérdidas en función de la corriente.

6. Bancos de Capacitores y Contactores

Ahora bien, los bancos de capacitores son un conjunto de capacitores, normalmente con conexión en estrella para líneas trifásicas de baja tensión, que se usa para agregar una potencia reactiva capacitiva, con el fin de que esta compense la energía reactiva inductiva presente en las instalaciones.

Estos deben contar con resistencias de descarga, para que luego de desconectados, no almacenen energía, evitando así accidentes. La norma IEEE 18 [10] indica que, para niveles de tensión mayores a 600 V, el tiempo de descarga sea menor a un minuto, y, para tensiones menores, un tiempo de descarga menor a 5 minutos.

Por otro lado, los contactores son dispositivos electromagnéticos diseñados para funcionar como interruptores de gran potencia. Es necesario seleccionar adecuadamente estos dispositivos, debido a que los contactores que comandan bancos capacitivos deben soportar las corrientes que se generan al momento de conectarlos a la red.

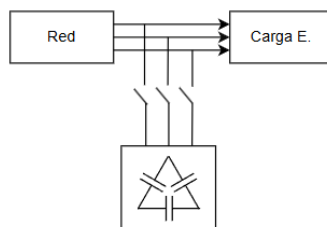


Fig. 3. Diagrama eléctrico de conexión para un banco de capacitores.

7. Tipos de Compensación

La conexión de estos bancos, se puede dar de dos maneras:

Compensación Individual: Este tipo de compensación consta de la conexión del banco directamente a bornes de la carga. El beneficio de esta compensación es una buena reducción de la corriente reactiva en los conductores de la instalación. La desventaja se halla en que si se tiene muchas cargas, se eleva el costo de este tipo de implementación.

Compensación Grupal: Esta compensación se utiliza para compensar la corriente inductiva de un grupo de cargas de características similares. La ventaja que se tiene con esta implementación es la reducción del costo a la hora de implementar. Como desventaja se presenta que se reduce la corriente reactiva solamente aguas arriba de donde este situado el banco capacitivo.

Compensación Mixta: Esta se basa en la combinación de la compensación individual y grupal. Se utiliza cuando se presentan cargas de gran potencia, a las cuales se les aplica compensación individual, y a las cargas de baja potencia se las compensa grupalmente.

Estos tipos de conexión [11] se pueden observar en el esquemático de la figura 4.

8. Implementación del Banco de Ensayos

Dado que las cargas presentan variaciones tanto en el consumo de potencia activa y reactiva, es difícil mantener un valor fijo de FP, por esto existen dichos controladores, los cuales se encargan de conectar y desconectar automáticamente los bancos de capacitores.

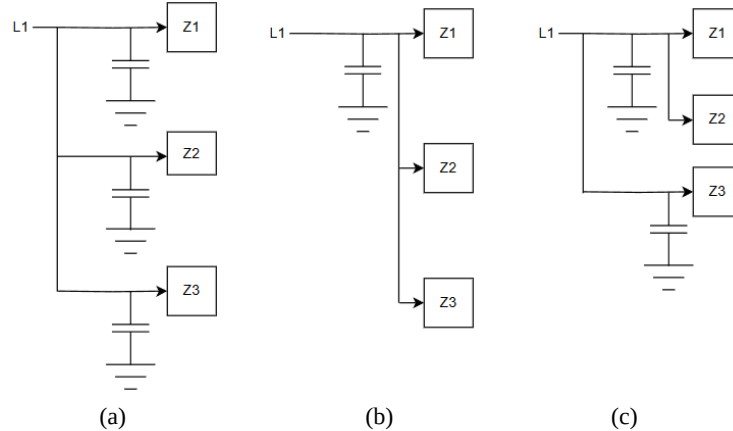


Fig. 4. Diagrama en bloques representativo de la compensación: a) Individual; b) Grupal; c) Mixta.

El relé varimétrico usado en el banco didáctico es el Varlogic RT6 [12], el cual tiene 6 salidas a relé, permitiendo así un buen control del FP. Para realizar dicha corrección, se debe realizar un análisis de la carga a controlar, con el fin de obtener una buena implementación del equipo. En este caso, realizaremos el análisis para realizar dicha implementación en forma real en el laboratorio.

El dispositivo cuenta fundamentalmente con 2 entradas y 6 salidas, la primera entrada toma la señal de referencia a tensión de la red, y la segunda toma la señal de referencia de corriente mediante un Transformador de intensidad (TI). Las 6 salidas son utilizadas para el control de otros dispositivos como contactores de comando de cada banco de capacitores, en las cuales, cada salida se activa en forma secuencial con un cierto intervalo de tiempo.

En forma general, para realizar la configuración del equipo, se debe saber el valor de FP que se desea llegar, la relación del TI, y la potencia reactiva de los bancos capacitivos a instalar. Ahora bien, para que el equipo logre cumplir su función, el FP que se configurara debe de ser un valor tal que cuando la carga este funcionando alrededor de sus condiciones nominales, y se conecten bancos capacitivos, el FP final sea el configurado, debido a que, si se halla muy distante de dicho valor, el equipo nunca dejara de realizar las maniobras de conmutación. Lo anterior sucede debido a que el equipo posee un rango de tolerancia alrededor del primer banco de capacitores, en función del parámetro C/K del equipo, el cual se calcula tal como se expresa en (11).

$$C/k = \frac{Q_{C1}}{k} [kVAr] \quad (11)$$

Este parámetro en si actúa como regulador que permite la entrada o salida de los distintos escalones de capacitores.

Para visualizar lo anterior, se realizó el ensayo de una carga RL de pasos discretos, la cual, posee por cada paso de P, Ql y Qc una potencia de 0,071 kW, 0,06 kVAr, y 0,044 kVAr respectivamente.

Tab. 1. Resultados obtenidos para el ensayo de sensibilidad C/k.

C/k	R	L	C	FP_equipo	FP_deseado	¿Estable?	I_corregida [A]	I_no_corregida [A]
0,04	1	1	1	0,97	0,97	si	0,36	0,40
0,04	1	2	2	0,95	0,97	no	0,42	0,61
0,04	2	2	2	0,98	0,97	no	0,7	0,81
0,05	1	1	1	0,97	0,97	si	0,36	0,40
0,05	1	2	2	0,95	0,97	si	0,42	0,61
0,05	2	2	2	0,98	0,97	no	0,7	0,81
0,06	1	2	2	0,95	0,97	si	0,42	0,61
0,06	2	2	2	0,98	0,97	no	0,7	0,81
0,07	2	2	2	0,98	0,97	sobre el limite	0,7	0,81
0,07	2	3	3	0,96	0,97	si	0,77	1,00
0,08	1	0	0	1	0,97	si	0,31	0,31
0,08	1	1	1	0,97	0,97	si	0,36	0,40
0,08	1	2	2	0,95	0,97	si	0,42	0,61
0,08	2	2	2	0,98	0,97	si	0,7	0,81
0,08	2	3	3	0,96	0,97	si	0,77	1,00



Fig. 5. Ensayo de sensibilidad sobre el relé varimétrico.

Con esto, el primer paso de C/k elegido será 0,04 kVAr, y el FP que se configuró, en el caso de conectar un paso de cada componente, es de 0,97. Con lo que se obtuvo la tabla 1. Donde de dicha tabla “R”, “L” y “C” indican la cantidad de pasos conectados en paralelo al momento de la lectura, FP_equipo y FP_deseado indica el FP que sensa el equipo y el que se desea obtener. Además, se registró la corriente corregida y la corriente sin corrección en las últimas dos columnas respectivamente.

Se observa que a medida que aumenta el parámetro C/k, aumenta la tolerancia a las variaciones del verdadero FP de la carga. Se pudo corroborar que en caso de que la configuración de dicho parámetro sea de valor bajo, el rango de tolerancia sera bajo, lo que indica que el equipo podría realizar muchas maniobras de conmutación, y en casos extremos no lograr permanecer estable en alguna configuración de pasos capacitivos. Así también, si se aumenta demasiado el parámetro, podríamos no corregir correctamente el FP en la instalación, por lo que es importante una buena selección del parámetro C/k y el valor final de FP. Por otro lado, observando las corrientes previas y posteriores a la conexión de los bancos de capacitores, queda claro que la compensación disminuye la corriente demandada de la red, específicamente, para 1 paso inductivo, la adición de un banco de

capacitores disminuye aproximadamente un 10% la corriente de la carga, y para 2 pasos inductivos, la adición de escalones capacitivos disminuyo en un 31,15% la corriente de la carga, lo que indica una mejora en la eficiencia de esta, aumento de la potencia aparente disponible y disminución de las pérdidas. Al calcular las pérdidas mediante la expresión 1, obtenemos que para una disminución de corriente del 10%, las pérdidas disminuyen alrededor de un 20,6%, y para una disminución en la corriente de 31,15%, las pérdidas se reducen un 52%.

Además, se puede denotar que el rango de tolerancia es lineal para el caso de la potencia reactiva Q_c , pero si se observa los valores de FP obtenidos en la tabla, por ejemplo, para $C/k=0,05$ kVAr, con un FP igual a 0,95 el equipo está fuera de la zona de conmutación, pero con un FP igual a 0,98, éste conmuta, esto ocurre debido a que a medida que se requiere mejorar el FP, la potencia reactiva necesaria aumenta en una relación no lineal. Por ende, si se configura a C/k con un valor elevado, y el FP seteado esta cerca de la unidad, el rango resultante tendrá gran tolerancia para un FP menor, que para un FP mayor.

Podemos calcular la tolerancia ($\pm \alpha$) que posee el equipo en base a un punto hallado en el ensayo, en el cual se utilizo un C/k igual a 0,07 kVAr y con un $FP=0,98$ el equipo a veces indicaba la intención de ingresar a la zona de conmutación, por lo cual:

$$FP = \cos(\varphi) = \cos\left(\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{Q_L - Q_C - \alpha \cdot Q_{C1}}{P}\right)\right) \wedge Q_{C1} = C/k \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{P \cdot \operatorname{tg}(\cos^{-1}(FP)) + Q_C - Q_L}{C/k} = \pm 4,52\% \quad (13)$$

Al trazar graficas del rango del FP en función de Q_c , para distintos valores de C/k , se obtiene la figura 6.

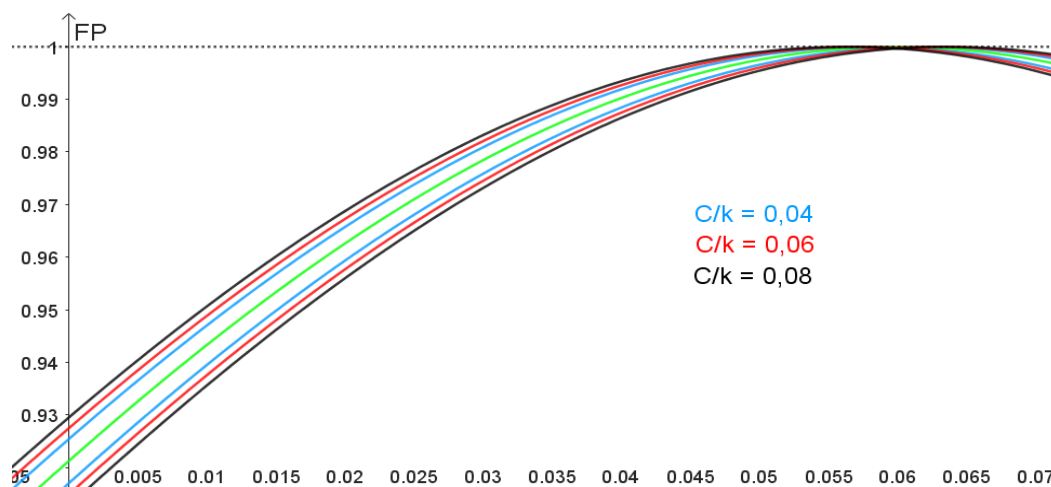


Fig. 6. Grafica de rangos de FP en función de Q_c y C/k .

Mediante la Figura 6, podemos corroborar que al ir aumentando Q_c el FP aumenta en menor medida. Así también que un mayor C/k implica un mayor rango o menor sensibilidad.

5 Conclusiones

En el presente artículo se afirma la importancia de la compensación del factor de potencia en las industrias, debido a los requerimientos actualmente vigentes por la empresa EMSA de un factor de potencia mayor o igual a 0,95, el cual debe de cumplimentarse o caso contrario derivan a recargos monetarios sobre la facturación eléctrica.

Se logró el diseño del banco de ensayo didáctico controlado por relé varimétrico, y su correcta configuración, mediante el uso de equipos provistos por la facultad de Ingeniería UNaM.

Se corrobora que el controlador Varlogic RT6 consta de un rango de $\alpha = \pm 4,52\%$ en torno al valor de C/k , y que, al aumentar este valor, aumentamos el rango de tolerancia al valor de factor de potencia objetivo. Así también, que un valor de C/k excesivo, provocara que tengamos una banda de tolerancia muy ancha, y por ende, podríamos no llegar al valor de factor de potencia deseado. Además, un C/k bajo, provocara que el equipo este mayormente en zona de conmutación, generando un desgaste innecesario a los contactares y una mala corrección del factor de potencia.

Se demuestra la disminución de la corriente demandada a la red luego de la conexión de los capacitores en paralelo a la red, siendo uno de los casos, el emulado de una carga altamente inductiva, el cual presentaba un paso de potencia activa, y dos de potencia reactiva inductiva, disminuyendo en un 31,15% la corriente que demandaba la carga en cuestión, lo que implico una disminución en la pérdidas del 52%. Asimismo, se verifico que la disminución de la corriente produce un descenso cuadrático de las pérdidas.

Finalmente, es de interés futuro la corrección del factor de potencia a motores y cargas altamente inductivas, como así también el estudio de filtros activos, entre otros.

6 Referencias

- [1] IEA, “Monthly Electricity Statistics,” IEA, Paris, France, 2025. [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics?hl=es-ES>
- [2] World Bank, “EG.ELC.LOSS.ZS: Electric power transmission and distribution losses (% of output),” World Development Indicators, The World Bank, Washington, DC, USA, 2023. [Online]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.LOSS.ZS?end=2023&start=1990&view=chart>
- [3] Secretaría de Energía de la Nación, “Balance Energético Provincial,” Gob. de Argentina, Misiones, Argentina, 2018. [Online]. Available: https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/energia_en_gral/balances_provinciales/Documento_Balance_Misiones_2018.pdf
- [4] I. A. Potschka, M. O. Oliveira, M. A. Mazzoletti and R. C. Brazzola, “Energy Efficiency in Technological Education Buildings: A study case at UNaM,” 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON), Resistencia, Argentina, 2020, pp. 1-6.
- [5] Circutor, “Eficiencia energética eléctrica,” Circutor, Viladecavalls, Barcelona, España, 2024. [Online]. Available: <https://circutor.com/soporte/formacion/notebooks/eficiencia-energetica-electrica/>
- [6] ABB. (2021, 09, 24). El uso de motores altamente eficientes en la industria reduciría el consumo global de electricidad en un 10%. [Online]. Available: <https://new.abb.com/news/es/detail/82715/el-uso-de-motores-altamente-eficientes-en-la-industria-reduciria-el-consumo-global-de-electricidad-en-un-10>
- [7] ENRE. (2024, 02, 02). Resolución N.º85, PROGRAMA PARA LA MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA. [Online]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-85-2024-396410>
- [8] EMSA. (2018, 12, 07). 3.11.07, OBLIGACIONES DEL USUARIO. [Online]. Available: <https://www.energiademisiones.com.ar/3-obligaciones-del-usuario/>
- [9] IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems, IEEE 519, 2022.
- [10] IEEE Standard for Shunt Power Capacitors, IEEE 18, 2012.
- [11] J. S. Arias Pérez, “Diseño de un banco de capacitores en el módulo A para la empresa Compañía de Empaques,” B.S. thesis, Dept. of Electrical Engineering, Univ. de Antioquia, Medellín, Colombia, 2021. [Online]. Available: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/b5c7907d-983f-46e1-b146-086dfa080b80>
- [12] Schneider Electric. “EasyLogic™ RT Series Power Factor Correction Controller,” Schneider Electric. Telford, United Kingdom. Rep. no. EAV7889102-02, 2022.