

# Interfaz gráfica para el análisis de compensación reactiva para el mejoramiento del factor de potencia



## Colaboración

Oscar Leobardo Flores Juárez; Juan Diego Mena Larios; Julio Cesar Méndez Gutiérrez; Fernando Jurado Pérez; José Roberto Razo Hernández, Tecnológico Nacional de México / ITS Campus Irapuato

Fecha de recepción: 12 de abril del 2022

Fecha de aceptación: 05 de mayo del 2023

**RESUMEN:** En la presente investigación se muestra la implementación, diseño y elaboración de una interfaz gráfica para el monitoreo de variables eléctricas para soluciones y aplicaciones de bancos de capacitores mediante el cálculo del factor de potencia (FP) en sistemas eléctricos residenciales e industriales. La corrección del FP beneficia al cargo de demanda, así como los circuitos y las pérdidas de manera general en el sistema de energía de la mano de un correcto camino para favorecer la bonificación de tal modo no tener que pasar por una penalización ante un bajo FP de parte de la empresa suministradora de energía, La aportación, soporte y comunicación de la Interfaz es contundente. A su vez es factible verificar si la zona presenta o es propensa a un bajo FP (en caso de varios circuitos en derivación del principal o que esté conectada a circuito débil) y poder proveer con esta las herramientas y cálculos para analizar y corregir este bajo FP.

**PALABRAS CLAVE:** Factor de potencia, potencia reactiva, potencia reactiva, penalización por bajo FP, bancos de capacitores, interfaz gráfica.

**ABSTRACT:** This research shows the implementation, design and development of a graphical interface for monitoring electrical variables for solutions and applications of capacitor banks by calculating the power factor (PF) in residential and industrial electrical systems. The correction of the PF benefits demand charges, as well as the circuits and the losses in a general way in the energy system, together with the correct way to favor the discount and not fall into a penalty for low PF from the supply company. Of energy, the contribution, support and communication of the Interface is forceful as can be verified in the document. It is also convenient to check the zone if it presents or is prone to a low PF (in case of several circuits in derivation of the main one or that it is connected to a weak circuit) and to be able to provide with it the tools and calculations to analyze and correct this low PF.

**KEYWORDS:** Power factor, reactive power, capacitor banks, graphic interface.

## INTRODUCCIÓN

Los grandes motores con sistemas de refrigeración, hornos, soldadoras y otros equipos conectados a los sistemas eléctricos, consumen una potencia aparente que es la suma de la potencia activa y la potencia reactiva. De acuerdo a la normativa impuesta por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en base al problema de los altos costos por penalización que la empresa de distribución aplica, por un alto consumo en potencia reactiva, consumida generalmente por motores y grandes máquinas de embobinados internos.

De acuerdo con esto para evitar una penalización se debe de tener un factor de potencia FP por encima de 0.9 ya que si

este está por debajo del valor se aplicará una penalización máxima de hasta 120% el costo de consumo. [1]

Por lo cual es recomendable el uso de bancos de capacitores y que estos estén conectados a la entrada del sistema eléctrico lo cual favorece la compensación la potencia reactiva, dando como resultado un factor de potencia por arriba de 0.9, así es viable reducir el costo de energía por penalizaciones.

En la investigación se presenta una interfaz gráfica para calcular el valor de capacitancia necesario para corregir un FP, así como también los KVAR necesarios para corregirlo. Teniendo como referencia los valores de cargas inductivas, capacitivas y resistivas como se puede verificar en la Figura 1. Con esto el usuario puede generar una solución al FP al circuito eléctrico de manera rápida y de forma gráfica mediante el uso de un software [2]

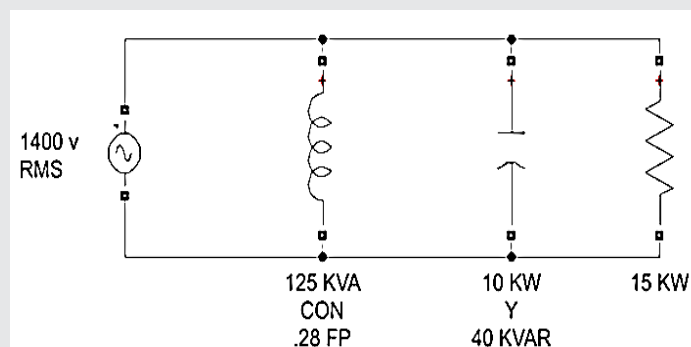


Figura 1. Circuito con 3 cargas en paralelo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La interfaz gráfica dentro de sus cualidades es capaz de automatizar tareas, cálculos, etc., la interfaz incluye controles tales como cuadros de texto, menús, barras de herramientas, botones y controles deslizantes.

Comúnmente la interfaz consta de dos archivos, el archivo en “.m” el cual contiene la programación y código de los botones y demás elementos de control de la interfaz, por otro lado, está el archivo en “.fig.” este contiene los elementos gráficos y es aquí donde el usuario puede interactuar de manera más proactiva y viable.

Interactuar con la interfaz gráfica es muy intuitivo ya que muestra barras de texto y casillas donde se ingresan los datos de entrada y muestran los resultados a través de cuadros de texto donde se especifica de manera clara lo obtenido.

Para iniciar el programa se debe ejecutar Matlab y abrir el archivo del programa .m para así correr el .fig. Una vez que se muestra la interfaz gráfica como se

puede verificar en la Figura 2 la cual estará disponible para el ingreso de información pertinente (datos) y obtener resultados. [3]

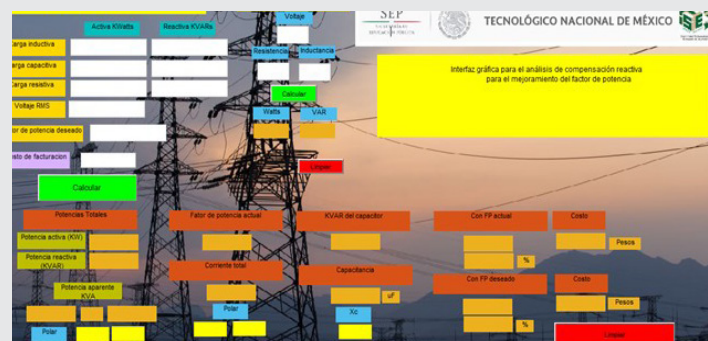


Figura 2. Pantalla principal de la interfaz gráfica.

Los datos de entrada son el valor de cargas en kWatts y kVars, para esto están las casillas donde el usuario puede especificar e introducir cada valor a donde corresponde según sea carga inductiva, capacitiva o resistiva como se indica a continuación en la Figura 3 [4]

|                            | Activa KWatts | Reactiva KVARs |
|----------------------------|---------------|----------------|
| Carga inductiva            | 35            | 120            |
| Carga capacitiva           | 10            | -40            |
| Carga resistiva            | 15            | 0              |
| Voltaje RMS                | 1400          |                |
| Factor de potencia deseado | 0.6           |                |

Figura 3. Ingreso de datos.

Justamente el usuario puede ingresar la información referente a potencia total aparente y a su vez ingresarla en cualquiera de las tres casillas y llenar las casillas restantes con 0.

Esta interfaz cuenta con un apartado en el cual mediante el uso de una calculadora que realiza la conversión de impedancia compuesta por resistencia e inductancia a valores de potencia compleja en Watts y VAR tal como se verifica en la Figura 4.

Una vez realizada la conversión estos datos de potencia compleja se pasan manualmente a las casillas anteriormente mencionadas para de tal modo continuar con los cálculos.

**Conversion impedancias a potencias**

Voltaje: 200

Resistencia: 10      Inductancia: 20

**Calcular**

Watts: 800      VAR: 1600

Figura 4. Conversión de impedancias a potencias.

Otros datos que deben ser ingresados son el voltaje RMS, el factor de potencia deseado y un costo de facturación si se requiere calcular el costo por penalización o bonificación antes y después de la corrección observe la Figura 5, este último dato es opcional y se puede marcar como 0 en caso de que el usuario no lo requiera. Es importante introducir datos numéricos o bien un 0 en caso de omitir el dato a cada una de las casillas para que el programa realice los cálculos.

Voltaje RMS

Factor de potencia deseado

Costo de facturación

Figura 5. Datos de voltaje, FP deseado y costos de facturación.

Una vez de introducir los datos en el programa se selecciona el botón “Calcular” este mostrará todos los resultados mediante un click.

Primeramente se visualizan las potencias activa, reactiva conjuntamente con la compleja en su forma cartesiana y polar. Continuando con la etapa de demostración se considera un ejemplo con un FP bajo de 0.6 con esto se calcula

la magnitud de corriente total, así siguiendo con la etapa de desarrollo.

Calculando la magnitud de la corriente total para un caso práctico de FP deseado para este caso se introdujo de sería de  $FP = 0.8$ , entonces se muestran los KVAR necesarios para compensar el sistema lo cual arroja lo siguiente 35 KVAR y el valor en microfaradios de la capacitancia que es  $47.3 \mu F$ , juntamente se puede ver la reactancia capacitiva  $X_c$  en la siguiente Figura 6.

Factor de potencia actual: 0.6

KVAR del capacitor: 35

Corriente total: 71.4286

Capacitancia: 47.3675  $\mu F$

Polar: 71.4286      53.1301

$X_c$ : 56

Figura 6. Sección de datos FP actual, corriente, KVAR a inyectar y capacitancia.

Por último se muestra si se tiene penalización o bonificación el cual muestra un mensaje según sea el caso antes y después de la corrección del factor de potencia, además se muestra el porcentaje que se aplicará. En la Figura 7 se puede apreciar el caso mencionado.

Con FP actual: penalización 30 %      Costo 130 Pesos

Con FP deseado: penalización 7.5 %      Costo 107.5 Pesos

Figura 7. Sección de resultados en costos de penalizaciones, bonificaciones.

A continuación se presenta el análisis de capacitancia en un sistema con cargas en paralelo.

### Cálculo de capacitancia de un sistema con 3 cargas conectadas en paralelo

Para el correcto funcionamiento de la interfaz y del programa se tomó el siguiente caso de estudio, el cual se presentó previamente mediante la GUIDE.

### Con valores dados en potencias

En un sistema eléctrico están tres cargas conectadas en paralelo a través de 1400 VRMS, 60 Hz en suministro monofásico, a continuación, se muestran las cargas. [5]

- Carga inductiva 125 KVA con un factor de potencia de 0.28
- Carga capacitiva 10 KW, 40 KVAR
- Carga resistiva 15 KW

Para estos valores se encuentran las potencias totales Activa (KW), Reactiva (KVAR), Aparente (KVA) y el factor de potencia de suministro. [5]

Para la carga 1

$$\theta_1 = \cos^{-1}(0.28) = 73.74^\circ \quad \text{Ec. (1)}$$

Las potencias complejas de carga son:

$$S_1 = 125 \angle 73.74 \text{ KVA} = 35 \text{ KW} + 120j \text{ KVAR} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$S_2 = 10 \text{ KW} - 40j \text{ KVAR} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$S_3 = 15 \text{ KW} - 0j \text{ KVAR} \quad \text{Ec. (4)}$$

La potencia total aparente es:

$$S = P + jQ = S_1 + S_2 + S_3 \quad \text{Ec. (5)}$$

Entonces:

$$(35 + 120j) + (10 - 40j) + (15 + 0j) \quad \text{Ec. (6)}$$

$$60 \text{ KW} + 80j \text{ KVAR} = 100 \angle 53.13 \text{ KVA} \quad \text{Ec. (7)}$$

La corriente total es:

$$I = \frac{S}{V} = \frac{100,000 \angle -53.13^\circ}{1400 \angle 0^\circ} = 71.43 \angle -53.13^\circ \quad \text{Ec. (8)}$$

El factor de potencia de suministro es:

$$FP = \cos(53.13) = 0.6 \text{ atraso} \quad \text{Ec. (9)}$$

Ahora se requiere mejorar el factor de potencia obtenido de 0.6 a 0.8, para esto se tiene que encontrar los KVAR necesarios para compensar y el valor de capacitancia en microfaradios.

La potencia real total es 60 KW obtenido de la Ecuación (6), entonces al nuevo factor de 0.8 la potencia reactiva es:

$$Q' = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^\circ \quad \text{Ec. (10)}$$

$$Q' = 60 \tan(36.87^\circ) = 45 \text{ KVAR} \quad \text{Ec. (11)}$$

Por lo tanto, los KVAR requeridos para compensar son:

$$Q_C = 80 - 45 = 35 \text{ KVAR} \quad \text{Ec. (12)}$$

El valor de capacitor es:

$$X_C = \frac{|V|^2}{S_C} = \frac{1400^2}{35,000j} = -56j \Omega \quad \text{Ec. (13)}$$

$$C = \frac{10^6}{2\pi(60)(56)} = 47.37 \mu F \quad \text{Ec. (14)}$$

Con el circuito en Simulink de la Figura 8, se conectó el capacitor con valor de 47.37  $\mu F$  obtenido de la ecuación (14)

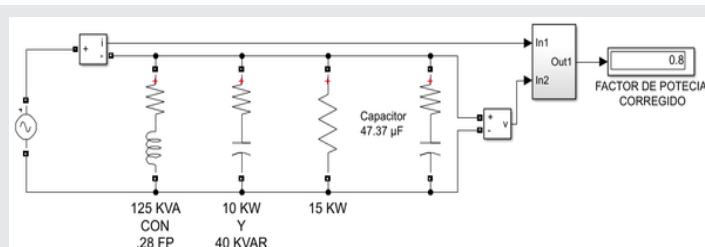


Figura 8. Circuito con 3 cargas en paralelo y con capacitor conectado.

Por lo que se observa que el nuevo factor de potencia mejoró al valor deseado de 0.8 con el valor de capacitancia que se conectó.

## RESULTADOS

El presente documento se centra en los resultados de FP, en los KVAR necesarios para compensar el sistema y la capacidad en microfaradios del banco de capacitores, además de otras variables como corriente total, bonificación o penalización y costos.

Los resultados del circuito se comparan mediante 3 métodos que son analíticamente, por simulación by Simulink y mediante la interfaz desarrollada, en los tres casos con las mismas cargas, con un FP de 0.6 y su corrección a un valor de 0.8, de esta manera los resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de resultados

| Circuito 1                                          |               |          |                 |
|-----------------------------------------------------|---------------|----------|-----------------|
|                                                     | Manual        | Simulink | Interfaz        |
| <b>Factor de potencia actual</b>                    | 0.6           | 0.6      | 0.6             |
| <b>Factor de potencia corregido</b>                 | 0.8           | 0.8      | 0.8             |
| <b>KVAR necesario para compensar</b>                | 35 KVAR       | x        | 35 KVAR         |
| <b>Capacitancia requerida en <math>\mu F</math></b> | 47.37 $\mu F$ | 47.37    | 47.3675 $\mu F$ |

Se determinó que para compensar el sistema se necesitan 35 KVAR los cuales dan exactamente el mismo resultado por el método analítico y por la interfaz realizada, por otro lado la capacitancia requerida para el banco de capacitores es 47.37  $\mu F$  el cual se obtuvo un resultado equivalente en los 3 métodos. [7]

Con esta información se establece el correcto funcionamiento de la interfaz gráfica para dar solución a posibles problemas de FP en la industria.

## CONCLUSIONES

En la presente investigación se desarrolló una interfaz gráfica mediante el software Matlab, para el cálculo de KVAR y capacitancia necesaria para corregir un bajo FP a un FP propuesto. Este programa se desarrolló basado y considerando los ejemplos 2.3 y 2.4 del libro Power System Analysis (Hadi Saadat) página 23-26, esto con el fin de obtener resultados de forma práctica en base a la literatura del área eléctrica.

Como resultado del presente trabajo se desarrolló el programa computacional capaz de obtener resultados rápidos y precisos, se comprobaron los resultados mediante diferentes técnicas de solución, llegando a un resultado equivalente.

Con este trabajo se dio un enfoque al tema de factor de potencia el cual se puede percibir en las industrias como un problema de costos ante la empresa suministradora de electricidad. Como se describió en el documento se tiene que mejorar el factor de potencia para bajar los costos por penalizaciones.

Resumiendo, la solución para este problema es inyectar KVAR a la red mediante capacitores. Por lo tanto, el programa desarrollado es una herramienta capaz de calcular factor de potencia, corriente, KVAR y capacitancia para dar solución y resultados que permitan analizar y tomar acciones para resolver este tipo de problemas de FP bajo.

Al realizar el programa se observó que es muy importante percibir los porcentajes de penalización o bonificación, en este apartado entran los resultados de costos, para mantener una noción de cómo afecta económicamente el problema. De la mano de la corrección del FP benéfica en varios sentidos al sistema eléctrico, al evitar penalizaciones, cargos de demanda reducidos, así como mayor capacidad de transporte en circuitos existentes, contribuyendo a un voltaje mejorado y además de reducir las pérdidas del sistema eléctrico.

## AGRADECIMIENTOS

A la Institución, al Tecnológico y sin duda al profesorado que son excelentes guías, apoyos, soporte, y sobre todo excelentes formadores de ingenieros sin más preámbulos a todos ellos. Gracias.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] E. Harper, *El ABC de la calidad de la energía, Mexico Df.: Limusa, 2002.*

[2] C. K. A. a. M. N. O. Sadiku, *fundamentos de circuitos electricos, Mexico: Mc Graw Hill, 2007.*

[3] L. L. G, «El diseño de interfaz grafica de usauario,» *revista Digital Universitaria* , vol. 5, n° 7, p. 12, 2004.

[4] S. G. R. a. J. A. O. H, «Interfaces graficas de usauario en MATLAB,» *Revista Universitaria*, vol. 5, n° 3, p. 24, 2014.

[5] H. Saadat, *Power System, Mexico: McGraw Hill, 2002.*

[6] J. J. G. a. W. D. Stevenson, *Analisis de sistemas de potencia, Mexico: Mc Graw Hill, 1996.*

[7] S. J. Chapman, *Maquinas Electricas, Mexico: McGraw Hill, 2012.*