

**7.5%**

Fecha: 2021-04-01 08:43 ECT

\* Todas las fuentes 41 | Fuentes de internet 26 | Documentos propios 14

- ✓ [1] [library.e.abb.com/public/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/1TXA007107G0701\\_CT8.pdf](#)  
2.0% 23 resultados

---

- ✓ [2] [core.ac.uk/download/pdf/30045535.pdf](#)  
3.0% 23 resultados

---

- ✓ [3] [core.ac.uk/download/pdf/141540875.pdf](#)  
2.5% 23 resultados

---

- ✓ [4] [www.slideshare.net/SandraGonzalesaez/factor-de-potencia-79369285](#)  
1.0% 12 resultados

---

- ✓ [5] [1library.co/document/dy4eojkq-compensacion-de-potencia-reactiva.html](#)  
1.9% 18 resultados

---

- ✓ [6] [www.slideshare.net/EngelSort/correccin-del-factor-de-potencia-en-sistemas-trifsicos](#)  
1.0% 13 resultados

---

- ✓ [7] [www.ruelsa.com/notas/rt/rt126\\_factordepotencia.pdf](#)  
1.5% 17 resultados

---

- ✓ [8] [www.clubensayos.com/Temas-Variados/Calculo-De-Potencia-Reactiva/2457939.html](#)  
1.3% 8 resultados

---

- ✓ [9] [repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6857/1/UTC-PIM-000232.pdf](#)  
0.7% 8 resultados

---

- ✓ [10] [www.linguee.com/spanish-english/translation/factor-de-potencia.html](#)  
0.5% 8 resultados

---

- ✓ [11] [idoc.pub/documents/potencia-electrica-y-factor-de-potenciapdf-klzrodxxkelg](#)  
0.5% 7 resultados

---

- ✓ [12] [docplayer.es/98483742-Escuela-politecnica-nacional.html](#)  
0.4% 6 resultados

---

- ✓ [13] [unlp.edu.ar/frontend/media/87/27587/e874c1957ec82f81eb3499675337b55c.pdf](#)  
0.5% 6 resultados

---

- ✓ [14] [docplayer.es/204493070-Analisis-preliminares-de-casos-y-estudio-de-causas-de-fallas-en-fuentes-de-alimentacion-conmutadas.html](#)  
0.1% 4 resultados

---

- ✓ [15] [core.ac.uk/download/pdf/71394321.pdf](#)  
0.5% 6 resultados

---

- ✓ [16] [www.reinhausen.com/es/desktopdefault.aspx/tabid-1526/](#)  
0.5% 3 resultados

---

- ✓ [17] [issuu.com/edgar\\_iluminacion/docs/efectos-de-los-arm-nicos-en-los-cap](#)  
0.1% 3 resultados

---

- ✓ [18] [www.inti.gob.ar/assets/uploads/metrologialegal/pdf/247-2019.pdf](#)  
0.3% 5 resultados

---

- ✓ [19] ["45-Control Automático del Sistema de Iluminación Residencial y Comercial.docx" fechado del 2020-05-05](#)  
0.3% 3 resultados

---

- ✓ [20] [www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/6.-EXPANSION-Y-MEJORA-DE-LA-DISTRIBUCION.pdf](#)  
0.3% 4 resultados

---

- ✓ [21] [scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012017000100004#:~:text=La compensación de potencia reactiva constituye](#)  
0.4% 3 resultados

---

- ✓ [22] ["ANÁLISIS POR MEDICIÓN TÉCNICA DE UN CIRCUITO DE TIRISTOR RESPUESTA DE CARGA, BLOQUEO Y TRANSMISIÓN\(GRA"](#)  
0.3% 4 resultados  
1 documento con coincidencias exactas

---

- ✓ [24] [pandora.fime.uanl.mx/~omeza/pro/SE/7.pdf](#)  
0.2% 4 resultados

---

- ✓ [25] ["ARTICULO CIENTIFICO\\_Llunitaxi Santiago\\_Sosa Yovanni \\_ FINAL.docx" fechado del 2021-02-17](#)  
0.2% 3 resultados

---

- ["ARTICULO CIENTIFICO \(Ortiz - Tinea\).docx" fechado del 2020-11-09](#)

- [26]  "ARTICULO CIENTIFICO (CITE FIGURAS).docx" fechado del 2020-11-03  
0.2% 3 resultados

---

- [27]  1library.co/document/yd7go26y-estudio-comparativo-energetico-electricos-aplicado-procesos-refineria-petroleo.html  
0.2% 3 resultados

---

- [28]  "Articulo Cientifico - Análisis en el flujo de datos de los IGBT- Pinan y Valencia.docx" fechado del 2021-02-17  
0.3% 3 resultados

---

- [29]  "78-Texto del artículo-456-1-2-20201026.odt" fechado del 2020-11-19  
0.2% 2 resultados

---

- [30]  "TFM - BARZALLO DANIEL.pdf" fechado del 2020-09-30  
0.2% 2 resultados

---

- [31]  "SIMBAÑA SANGUCHO LEONARDO\_VISCAINO REGALADO DIEGO.docx" fechado del 2021-02-17  
0.2% 2 resultados

---

- [32]  "34- Revisión de los tipos de control para los sistemas bola y placa.docx" fechado del 2020-05-05  
0.2% 2 resultados

---

- [33]  www.editores-srl.com.ar/revistas/ac/7/miravalles\_factor\_de\_potencia  
0.1% 2 resultados

---

- [34]  www.researchgate.net/publication/277737305\_Compensacion\_de\_la\_potencia\_reactiva\_en\_sistemas\_de\_baja\_tension\_mediante\_be  
0.2% 2 resultados

---

- [35]  "JACOME JAMI NELSON\_ JURADO JAMA NANCY E.docx" fechado del 2021-02-17  
0.1% 1 resultados

---

- [36]  "ANÁLISIS DE LA LÁMPARA INCANDESCENTE DEL MÓDULO UNITRAIN-I FRENTE A CAMBIOS ELÉCTRICOS Y FÍSICOS(1).docx"  
0.1% 1 resultados  
 1 documento con coincidencias exactas

---

- [38]  "ARTICULO TOAQUIZA FRANKLIN 1.16.docx" fechado del 2021-02-17  
0.1% 1 resultados

---

- [39]  diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/143719/1/SSB\_TESIS.pdf  
0.1% 1 resultados

---

- [40]  "FLORES\_ QUINCHIMBLA\_ORTIZ.docx" fechado del 2021-02-17  
0.1% 1 resultados

---

- [41]  "GUAÑUNA CHAVEZ\_ PILATUÑA A. FRANKLIN.docx" fechado del 2021-02-17  
0.1% 1 resultados

---

- [42]  www.researchgate.net/publication/255667419\_Efectos\_de\_los\_armonicos\_en\_los\_motores\_de\_induccion\_una\_revision  
0.1% 1 resultados

**16 páginas, 5987 palabras**

**Nivel del plagio: 7.5% seleccionado / 85.3% en total**

301 resultados de 43 fuentes, de ellos 26 fuentes son en línea.

#### Configuración

Directiva de data: *Comparar con fuentes de internet, Comparar con documentos propios, Comparar con mis documentos en el repositorio de la organización, Comparar con el repositorio de la organización*

Sensibilidad: *Medía*

Bibliografía: *Considerar Texto*

Detección de citas: *Reducir PlagLevel*

Lista blanca: *3 - secure.plagscan.com; secure.plagscan.com/2/4959ddaa-0d88-438e-999e-61f27076eb36; www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion\_tecnologica*

## <sup>[5]</sup> RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en la descripción y análisis de la compensación automática del factor de potencia, que se realiza en el laboratorio de SMART GRIDS del IST Central Técnico, se busca corregir de forma automática el factor de potencia y ver el comportamiento de las variables eléctricas.

La investigación se realizó con una previa revisión bibliográfica del tema, y como siguiente paso se ejecutó la fase de experimentación con un motor trifásico de 1[kW]<sup>[2]</sup>, al cual se le aplica diferentes valores de torque que simularán una carga variable para obtener distintos escenarios de consumo de potencia reactiva y corriente, y a su vez permitir la conmutación de condensadores mediante el controlador de potencia reactiva (PQC) que nos permitirá alcanzar el factor de potencia deseado previamente configurado.<sup>[2]</sup>

La información obtenida después de la experimentación nos permitió establecer que al aumentar la carga en el motor trifásico la corriente aumenta y como consecuencia de esto el consumo de potencia reactiva es mayor, el controlador empezó a registrar valores de factor de potencia menores al deseado (configurado) por lo cual empieza la selección del paso o los pasos que nos permita aproximarnos al factor de potencia objetivo de 0.99<sup>[1]</sup> posterior a esto presenta una reducción de consumo de potencia reactiva y corriente.

Mediante gráficas presentadas en estado estable y transitorio se pudo diferenciar el comportamiento del voltaje y corriente.<sup>[5]</sup> Se concluyó que el uso del banco de capacitores permite mejorar el factor de potencia, además que el regulador de potencia ayuda a monitorear de forma constante el consumo de potencia reactiva en las instalaciones hasta

llegar al factor de potencia objetivo.

Palabras clave.

Compensación automática; Corriente eléctrica, Factor de potencia; Potencia reactiva; Tensión eléctrica.

## ABSTRACT

This research work consists in the description and analysis of the automatic compensation of the power factor that is carried out in the SMART GRIDS laboratory of the "Central Técnico" IST, it seeks to automatically correct the power factor and see the behavior of electrical variables.

The research was carried out with a previous bibliographic review of the subject, and as a next step the experimentation phase was executed with a 1 [kW] three-phase motor, to which different torque values are applied that will simulate a variable load to get different reactive power and current consumption scenarios, and at the same time, the reactive power controller will allow the capacitor switching through (PQC) that allows us to reach the previously established desired power actor.

The information obtained after the experimentation we will establish that as the load on the three-phase motor increases, the current increases and because this the reactive power consumption is greater, the controller began to register power factor values lower than the desired (configured) by which begins the selection of the step or steps that allow us to come up to the target power factor of 0.99 after this presents a reduction in current and reactive power consumption.

Through of graphs presented in steady and transient state, it was possible to differentiate the behavior of voltage and current. It was

concluded that the use of the capacitor bank allows to improve the power factor, also to the fact that the power regulator helps to constantly monitor the reactive power uptake in the facilities until reaching the target power factor.

Key Words–Automatic compensation; Electric current; Power factor; Reactive power; Electric tension

## 1. INTRODUCCIÓN

Un problema presente en redes eléctricas es el aumento de cargas inductivas como motores, transformadores, balastos entre otros (Farina, 2018).<sup>[5]</sup> Estos equipos mencionados necesitan de potencia reactiva para su funcionamiento, para generar un flujo de campo magnético en bobinas y realizar su trabajo.

<sup>[3]</sup> El consumo de carga inductiva atribuye a disminuir el factor de potencia debido a la suma geométrica entre la potencia activa, medida en vatios y la potencia aparente medida en voltio-amperio.<sup>[6]</sup>

Por esta razón es importante corregir el bajo factor de potencia ya que esto ocasiona sobre consumo de corriente, lo que demanda aumentar el calibre de conductores lo cual se ve reflejado en altos costos económicos, además de aumentar la potencia, lo que conlleva a elevar el consumo eléctrico y provocar caídas de voltajes, lo que produce afectaciones en conductores y equipos eléctricos.

<sup>[7]</sup> Por este motivo se ve la necesidad de realizar la compensación automática del factor de potencia con el módulo de experimentación Power Quality Controller-QPC, (control de calidad de energía) en las instalaciones de IST “Central Técnico”<sup>[11]</sup> con una carga inductiva, motor trifásico y un factor de potencia de 0.26 en vacío, además de inyectarle una carga progresiva hasta llegar a un torque máximo de 4.80 N-m de carga para el motor.

<sup>[5]</sup> Al compensar el factor de potencia se logra mejorar las variables de estudio que están presentes en la investigación como: <sup>[12]</sup> voltaje, corriente y potencia. <sup>[21]</sup> Por este motivo se realiza la compensación de potencia reactiva para observar y analizar las mejoras de optimización y eficiencia del consumo eléctrico.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Factor de potencia (fp)

En términos fáciles de comprender es aquel donde se mide la eficiencia del consumo eléctrico en una carga. “El valor ideal para un factor de potencia eficiente en una carga es 1, esto indica que toda la potencia consumida por la carga, se transforma en trabajo” (Chasi, 2018).

### 2.2. Triángulo de potencia

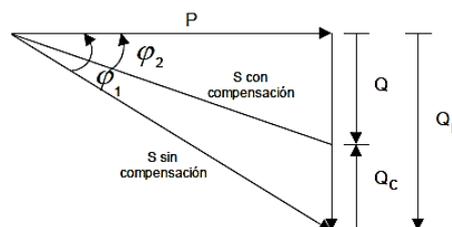


Figura 1. Triángulo de potencias.

Fuente: (ABB, 2017).

### 2.3. Tipos de potencia

- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Potencia aparente

#### 2.3.1. Potencia activa

Es aquella potencia absorbida y convertida en trabajo. Su unidad de medida es [KW], también se la conoce con la letra (P).

#### 2.3.2. Potencia reactiva

Es la encargada de generar campo magnético para: motores, transformadores, balastos y así generar su funcionamiento. Su unidad de medida es [KVAR], también se la conoce con la letra (Q) (Vicini, 2020).

#### 2.3.3. Potencia aparente

Es el resultado de la suma geométrica del triángulo de potencia entre la potencia activa, y reactiva. Su unidad de medida es [KVA], también se la conoce con la letra (S).

#### 2.4.<sup>[1]</sup> Causas de un bajo factor de potencia

<sup>[3]</sup>La presencia de motores, transformadores, lámparas fluorescentes, hacen que la carga de cualquier instalación eléctrica sea muy variable y afecte al factor de potencia de manera negativa”.

“En este tipo de cargas la corriente se retrasa con respecto al voltaje, es decir tenemos un factor de potencia negativo debido a la carga inductiva que prevalece en cada uno de estos equipos”(Méndez Serrano, 2004).

#### 2.5.<sup>[5]</sup> Efectos de un bajo factor de potencia

Un bajo factor de potencia conlleva sobrecargar generadores, transformadores, entre otros. Además, “pérdidas de potencia, lo que ocasiona problemas en equipos sensibles a cambios bruscos de tensión, además de reducir la vida útil de equipos eléctricos”(Henry et al., 2017).

<sup>[9]</sup>Para los distintos tipos de consumidores que podemos encontrar conectados a las redes de distribución de la empresa eléctrica que presenten un valor medio de factor de potencia menor a 0.60, la empresa de distribución, previa notificación, podrá suspender el servicio público de energía eléctrica hasta que el consumidor reduzca el consumo de potencia reactiva con el fin de superar dicho valor límite (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2019), como se indica en (1, 2 ,3):

#### 2.6.<sup>[3]</sup> Cargos por bajo factor de potencia

$$FP_r = \begin{cases} P_{BFP} = 0 & \text{si, } FP_R \geq 0.92 \end{cases} \quad (1)$$

$$FP_r = \begin{cases} B_{FP} \times FSPEE_i & \text{si, } FP_r < 0.92 \end{cases} \quad (2)$$

$$\rightarrow B_{FP} = \frac{0.92}{FP_r} - 1 \quad (3)$$

$FP_r$  = Fp registrado

$P_{BFP}$  = Penalización por bajo fp

$B_{FP}$  = Factor de penalización

$FSPEE_i$  = Factura por servicio público de energía eléctrica inicial.<sup>[1]</sup>

Como se muestra en formula (1) si el factor de potencia registrado por los consumidores es mayor o igual a 0.92 no presenta ningún tipo de penalización, lo que nos indica que el consumo de potencia reactiva se encuentra dentro de los valores permitidos.

<sup>[7]</sup>“Por lo contrario, en la formula (2) muestra que si el valor del factor de potencia registrado es menor que 0.92 se debe calcular un factor de penalización mediante la ecuación (3) y posteriormente multiplicarlo por el valor de la factura de servicio público de energía eléctrica”. (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2019)

#### 2.7.<sup>[7]</sup> Beneficios de compensar el bajo factor de potencia

<sup>[3]</sup>“Los beneficios directamente relacionados son: aumentar el factor de potencia, disminuir el consumo de potencia reactiva” (J. Garcia, 2013) , reducción de caídas de tensión, eficiencia en el consumo eléctrico, reducción costos mensuales en el pago de planillas eléctricas(Peña et al., 2018).

#### 2.8. Tipo de compensación

##### 2.8.1. Compensación automática

<sup>[1]</sup>“En la mayor parte de instalaciones eléctricas industriales no se presenta un consumo de potencia reactiva constante por motivo de los distintos ciclos en los que se utilizan máquinas con diferentes características eléctricas” (Huang et al., 2014).

<sup>[1]</sup>“Se ha buscado implementar sistemas de

compensación de (fp) que puedan ir a la par con los ciclos de trabajo y el consumo de potencia reactiva, en dichas instalaciones se utilizan sistemas de corrección automático que por medio de un sistema de detección varimétrico y de un regulador de (fp) que permita la conmutación automática de las diferentes baterías de condensadores controlando de esta forma las variaciones de potencia reactiva absorbida y acercándose al  $\cos \varphi$  objetivo” (ABB group, 2001).

Dentro de un sistema de compensación automático podemos diferenciar las siguientes partes:

- Sensores que nos permiten la medición de tensión y corriente de las líneas.
- Unidad **inteligente que compara el (fp) deseado con el medido y da paso a la conmutación de los condensadores en función de la potencia reactiva** necesitaría.
- Batería de condensadores

Para alcanzar una potencia reactiva lo más cercana a la requerida, se realiza una conmutación de los condensadores de forma escalonada; la precisión del controlador será mayor cuando existan un mayor número de pasos (Riese, 2012).

## 2.9. Determinación del (fp)

### 2.9.1. Cálculo de $\cos \varphi$

Al tener los valores de potencia activa y reactiva absorbidas en distintos periodos de trabajo por la carga se puede calcular el  $\cos \varphi$ , como se indica en (4):

$$\cos \varphi = \cos \left( \tan^{-1} \left( \frac{E_{Qf} - E_{Qi}}{E_{Pf} - E_{Pi}} \right) \right)$$

(4)

Donde:

$E_{Pi}$  y  $E_{Qi}$  = Valores de potencia activa y reactiva leídos al comienzo del periodo de trabajo.

[1]▶

$E_{Pf}$  y  $E_{Qf}$  = Valores de potencia activa y reactiva leídos al término del periodo de trabajo.

### 2.10. Potencia reactiva necesaria

Una vez encontrado el fp del grupo de carga ( $\cos \varphi_1$ ), y el que se quiere obtener ( $\cos \varphi_2$ ), se realiza los cálculos necesarios para obtener la potencia reactiva del banco de condensadores. Y así alcanzar la compensación de grupo de carga, como se indica en (5):

$$Q_c = \tan \varphi_1 - \tan \varphi_2 * P = K * P \quad (5)$$

Donde:

P = La potencia activa.

$\varphi_1$  = El ángulo de desfase inicial.

$\varphi_2$  = El ángulo de desfase objetivo.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Tipos de investigación

#### 3.1.1. Investigación bibliográfica

Para obtener información relacionada con la compensación automática del (fp) se realizó una revisión de fuentes de información como artículos de investigación, tesis de grado, revistas y manuales técnicos de los instrumentos utilizados en el desarrollo de la investigación. Con el cual se pudo constatar que debido a la falta de métodos de diagnóstico para evaluar la efectividad de la compensación, y predecir la operación de los capacitores, en los cuales se producen averías que conllevan a la compensación del (fp) no realice de forma efectiva, se plantea una compensación automática mediante un sistema que permita realizar las operaciones de monitoreo y diagnóstico de los parámetros eléctricos fundamentales para examinar el nivel de contribución de potencia reactiva de cada paso (Peña M, 2018).

Las cargas inductivas como motores eléctricos son los principales causantes de un bajo (fp) y de cómo se busca reducir el consumo de potencia reactiva mediante una compensación automática.<sup>[2]</sup> Cuando los valores de potencia reactiva son inferiores a los permitidos se empieza a calcular el valor de la capacitancia a ser inyectada por controlador que busca el paso o los pasos que le permitan alcanzar el (fp) establecido. Se mide el  $\cos \varphi$  actual, ya que es de vital importancia conocer el estado de la variable que se quiere mejorar (biswas.J,2017).

### 3.1.2. Investigación cuantitativa

Por medio de la investigación cuantitativa se busca recolectar y analizar datos numéricos, que nos serán proporcionados por el software LabSoft, las lecturas son tomadas por el voltímetro análogo digital el cual está permanentemente tomando mediciones de corriente potencias y voltajes del circuito.

Este método permite cuantificar las variables de la investigación para representar de forma gráfica y poder diferenciar las variaciones del  $\cos \varphi$  inicial y el objetivo.

Para el desarrollo de la práctica tenemos las siguientes condiciones y datos de trabajo. Una carga inductiva (motor trifásico de 1 [kW]) con un  $\cos \varphi$  inicial de 0.26, en vacío además de introducirle un torque máximo de 4.80 [N-m].

### 3.2. Métodos de investigación

#### 3.2.1. Método experimental

Con el uso del método experimental se realizó la práctica de compensación automática de factor de potencia para poder obtener datos de los amperímetros y voltímetros que tenemos en el laboratorio de SMART GRIDS.

Para este método se va a emplear los equipos del laboratorio del IST Central Técnico con lo cual podremos manipular el torque que se está ejerciendo al motor, esta vendrá a ser la

variable dependiente de la investigación y está dado por la siguiente expresión:

$$T = \frac{HP \times 5252}{rpm}$$

Donde:  
(6)

Hp= Potencia mecanica.

5252 = Constante para motores.

Rpm = Revoluciones por minuto.

T = Torque.

Esto nos permite someter al motor a diferentes cargas que nos ayudarán a obtener datos de las variables independientes como:

Potencia activa (7), Reactiva (8), Aparente trifásica (9), Corriente de línea (10) Voltaje de línea (11) y Factor de potencia (12).

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} * V_L * I_L \cos \Theta \quad (7)$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} * V_L * I_L \sen \Theta \quad (8)$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} * V_L * I_L \quad (9)$$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} * V_L * \cos \Theta} \quad (10)$$

$$V_L = \frac{P}{\sqrt{3} * I_L * \cos \Theta} \quad (11)$$

$$\cos \varphi = Fp = \frac{P [KW]}{S [KVA]} \quad (12)$$

Donde:

$P_{3\phi}$  =Potencia real [w].

$Q_{3\phi}$ =Potencia reactiva [VAR].

$S_{3\phi}$ =Potencia aparente [VA].

$V_L$ =Voltaje de línea [V].

$I_L$ =Corriente de línea [A].

La configuración del valor del  $\cos \varphi$  deseado es escogido en base a criterios de los investigadores, en donde tomando en cuenta las normas de (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2019) "menciona que un factor de potencia mayor o igual de 0.92 no tendrá

penalización”.

Con ese criterio se adopta un  $\cos \varphi$  de 0.99 para alcanzar valores aproximados a la unidad que es el (fp) ideal.

Por otra parte, la configuración del switching delay (retardo de conmutación) es el tiempo de una conmutación hacia la siguiente, el controlador de potencia reactiva espera que transcurra ese tiempo para activar o desactivar los capacitores.<sup>[26]</sup>

Para lo cual se elige el switching delay de 5 segundos, tiempo el cual viene predeterminado por el controlador, además de poder observar con mayor rapidez la conmutación de los capacitores al momento de realizar la compensación automática del factor de potencia.

### 3.2.2. Método analítico

Los datos obtenidos en los ensayos prácticos realizados con los equipos de experimentación, encontramos variables como: corriente. Voltaje y potencia que tienden a variar dependiendo de la carga que se inyecte al motor es decir el torque que se le aplique en Newton-metro. Con lo cual se analizó los cambios que presentaron las variables de investigación.

### 3.3.<sup>[9]</sup> Materiales

Se presentan todos los equipos y conexiones realizadas en la práctica de laboratorio, la cual permitirá llegar a los objetivos planteados en la investigación, como se muestra en la Figura 2.

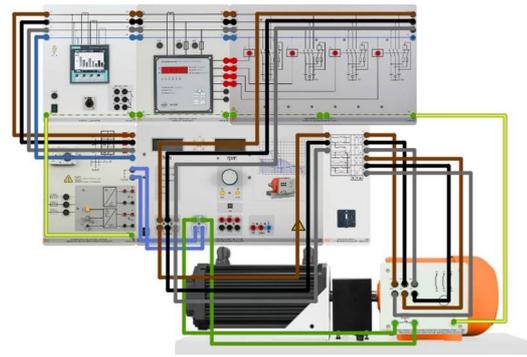


Figura 2. Diagrama conexión de compensación automática de factor de potencia.

Fuente: LabSoft

### 3.3.1. Controlador automático de potencia PQC (Power Quality Controller)



Figura 3. Hardware del Controlador automático de (fp)

Fuente:<sup>[8]</sup> Software LabSoft

La función del controlador varimétrico es medir el  $\cos \varphi$  inicial y enviar un señal a los contactores para que activen o desactiven los capacitores necesarios y así intentar aproximarse lo más posible al  $\cos \varphi$  deseado (Riese, 2012).

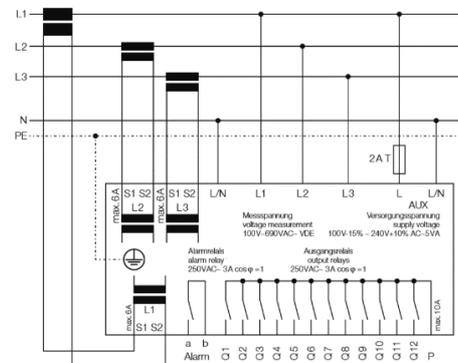


Figura 4. Diagrama De Conexiones Del Controlador De Factor De Potencia

Fuente: <sup>[15]</sup> Manual PQC

El controlador presenta las conexiones de alimentación de cada línea de un sistema trifásico, las protecciones para evitar daños en el dispositivo debido a una sobre corriente y en la parte inferior las salidas para conectar los bancos de capacitores (Riese, 2012), como se observa en la figura 4.

Principio de funcionamiento del controlador

<sup>[16]</sup> El funcionamiento del controlador se basa en el cálculo continuo de las componentes de potencia reactiva y activa de la red de suministro eléctrico (Borges, 2005). Utilizando los datos del transformador de corriente y de voltaje (Riese, 2012).

Funcionamiento del PQC con carga equilibrada Y desequilibrada.

“El controlador Power Quality Controller-QPC puede ser aplicado tanto en cargas equilibradas como en desequilibradas ya que la conmutación de los condensadores depende directamente de las mediciones de potencia activa y reactiva que se hacen de forma continua a la red” (Borges, 2005).

Parámetros del Power Quality Controller-QPC

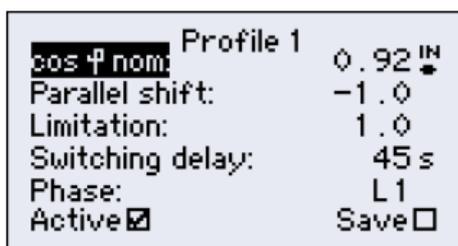


Figura 5. Parámetros de configuración del Controlador automático de factor de potencia

Fuente: <sup>[3]</sup> Software LabSoft

Para poder configurar tanto  $\cos \varphi$  deseado como tiempo de conmutación del banco de capacitores es necesario escoger un profile

(perfil) que se relacione con nuestro caso de estudio.

Para el estudio y análisis de la investigación se escoge el perfil dos que nos indica ser el adecuado para redes de consumidores donde  $\cos \varphi$  es cercano a 1 y se desea evitar la sobre compensación.

La configuración del  $\cos \varphi$  deseado es manipulado directamente por los investigadores en donde se configura el valor del (fp) objetivo de 0.99

La configuración del switching delay (retardo de conmutación) Es de 5 segundos, este retardo es el tiempo de conmutación de una etapa de condensadores hacia otra.

### 3.3.2. Módulo de variación de torque <sup>[2]</sup>

El módulo genera un par de giro constante, recomendado para registro de características de máquinas sincrónicas, como se observa en la Figura 6.

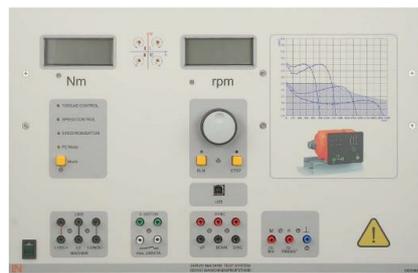


Figura 6. Módulo de control de torque

Fuente: software LabSoft

El valor del torque es ajustado de acuerdo a la necesidad de los investigadores para observar la variación del factor de potencia. Los torques utilizados para la investigación son: 0.60; 1.20; 1.80; 2.40; 3.00; 3.60; 4.20; 4.80 [N-m].

### 3.3.3 Capacitores de potencia trifásicos

Cada capacitor tiene una resistencia de descarga incluida para reducir el voltaje después de que se ha desconectado el capacitor del sistema eléctrico.

<sup>[14]</sup> Los capacitores están limitados por su vida útil que es un dato del fabricante dado en horas, si se varían las condiciones de funcionamiento dadas por el mismo se puede generar condiciones que acortan la vida útil de los capacitores” (Henry et al., 2017).

#### Capacitores conexión estrella

Esta configuración se encuentra en los equipos del laboratorio SMART GRID, figura 7. Los bancos de capacitores forman grupos de tres cada uno. Una de las ventajas de tener esta conexión es que evitan la presencia de transitorios de tensión además de permitir una protección de sobre corriente (GUASCH S.A., 2005).

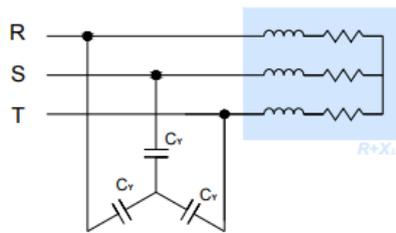


Figura 7. Banco de capacitores en estrella

Fuente: (ABB, 2017).

#### <sup>[17]</sup> Efectos de los armónicos en los capacitores

<sup>[17]</sup> “En un sistema de energía eléctrica con un alto nivel de distorsión armónica, los bancos de capacitores son vulnerables a las fallas” (Alberto et al., 2019).<sup>[3]</sup>

La reactancia de un banco de capacitores se describe con la siguiente fórmula (13):

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * C} \quad (13)$$

Dónde:

$X_c$  = Reactancia capacitiva.

$C$  = Capacitancia.

$f$  = Frecuencia.

Como resultado de esta relación <sup>[17]</sup> el banco de capacitores se comporta como un sumidero,

atrayendo corrientes armónicas no filtradas”.

Este efecto aumenta las tensiones térmicas y dieléctricas acortando la vida útil del condensador (Henry et al., 2017).

Cálculo de potencia reactiva por cada banco de capacitores del módulo.

Primer banco (3 x 4 uf) conexión en estrella

$$Q_{FY} = 2\pi * f * C * V^2 \quad (14)$$

$$Q_{FY} = 2 * \pi * 60 * \left(4 * 10^{-6}\right) * \left(\frac{220}{\sqrt{3}}\right)^2$$

$$Q_{FY} = 24.32 \text{ [VAr]}$$

$$Q_{TY} = 24.32 * 3 = 72.96 \text{ [VAr]}$$

Potencia reactiva: 72.96[VAr]

Tabla 1.

Valor de potencia reactiva de cada banco de capacitores del módulo SMART GRID.

	1 <sup>er</sup> banco	2 <sup>do</sup> banco	3 <sup>er</sup> banco	4 <sup>to</sup> banco
[uf]	3 x 4	3 x 8	3 x 16	3 x 32
Potencia Reactiva [Var]	72.96	145.95	291.93	583.88

Fuente: propia

Corriente nominal de banco de capacitores

Es la corriente nominal del condensador, cuando el controlador activa los pasos de conmutación, es decir la corriente que cada uno de ellos consume, como se indica en (15):

$$I_n = \frac{[KVar]}{\sqrt{3} * x [KV]} \quad (15)$$

Dónde:

$I_n$  = Corriente nominal de capacitor.

VAr = Voltio Amperio Reactivo.

KV = Voltaje de capacitor.

$$I_n = \frac{0.072 [KVar]}{\sqrt{3} * 0.22 [KV]}$$

$$I_n = 0.19 \text{ [A]}$$

Tabla 2.

Corrientes calculadas del grupo de capacitores.

	1 <sup>er</sup> banco	2 <sup>do</sup> banco	3 <sup>er</sup> banco	4 <sup>to</sup> banco
Corriente nominal [A]	0.19	0.38	0.76	1.53

Fuente: propia

Posibles combinaciones de banco de capacitores

En la siguiente tabla se observa todas las posibles combinaciones del módulo de capacitores del laboratorio en la cual el cruce de filas y columnas dan el valor de potencia reactiva que entrega cada grupo de ellos, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3.

Valores de capacitancia por cada combinación de banco de capacitores.

Q [Var]	1 <sup>er</sup> 3x4[uf]	2 <sup>do</sup> 3x8[uf]	3 <sup>er</sup> 3x16[uf]	4 <sup>to</sup> 3x32[uf]
1 <sup>er</sup> 3x4 [uf]	72.96	218.91	364.89	656.84
2 <sup>do</sup> 3x8 [uf]	218.91	145.95	437.88	729.83
3 <sup>er</sup> 3x16[uf]	364.89	437.88	291.93	875.81
4 <sup>to</sup> 3x32[uf]	656.84	729.83	875.81	583.88
1+2+3 [uf]	510.84	—	—	—
1+3+4 [uf]	948.77	—	—	—

2+3+4 [uf]	1021.7	—	—	—
1+2+4 [uf]	802.79	—	—	—
1+2+3+4 [uf]	1094.7	—	—	—

Fuente: propia

Máxima compensación de potencia reactiva del módulo de capacitores.

Con la tabla 2 presentada, se puede observar el valor de potencia reactiva [Var] en todas las posibles combinaciones. Y se puede evidenciar la máxima compensación de potencia reactiva que ofrece el banco de capacitores del laboratorio la cual es 1.09 [KVAR].

Resistencia De Descarga del capacitor

Las resistencias de descarga aseguran que el condensador esté totalmente descargado cuando la carga ingrese a trabajar y se descargue rápidamente cuando deje de hacerlo, pero en algunos casos esta resistencia no es necesaria debido a que el banco de condensadores se descarga directamente de la propia resistencia óhmica de los bobinados del motor.

En el caso que se necesite colocar una resistencia externa se debe a que, el valor de resistencia de los bobinados no logra descargar completamente al banco de capacitores y se puede calcular con la formula (10).

Cabe mencionar que las resistencias de descarga que se encuentran conectadas internamente en el banco de los capacitores (no accesible para visualizar y medir) no contienen datos del valor de las mismas, por lo que realizando cálculos se llega a determinar un estimado de valor de dichas resistencias mediante la siguiente expresión.

$$R \leq \frac{t}{K * c * \log_e \left( \frac{U_N \sqrt{2}}{U_R} \right)}$$

Dónde:  
(16)

T = Tiempo de descarga desde  $U_N$  hasta  $U_R$  en segundos. (180 [s] en CEI 831)

R = Valor de la resistencia de descarga [ $M\Omega$ ]

C = Capacidad por fase [ $\mu\text{f}$ ]

$U_N$  = Tensión nominal del condensador [V]

$U_R$  = Tensión residual permisible

K = Coeficiente según modo de conexión

Resistencia de descarga banco (3 x 4 [ $\mu\text{f}$ ])

$$10.2 [M\Omega]$$

Tabla 4.

Resistencia de descarga calculada

Ohmio	1 <sup>er</sup> banco	2 <sup>do</sup> banco	3 <sup>er</sup> banco	4 <sup>to</sup> banco
[ $M\Omega$ ]	10.2	5.1	2.5	1.2

Fuente: propia

Instrumentos directos de medición

Todas las variables como son: Voltaje, corriente de línea, potencia activa, reactiva y aparente trifásica se la obtiene del multímetro analógico digital del laboratorio de SMART GRID y el multimedidor SENTRON PAC 4200.

### 3.3.4 Multímetro analógico digital

Es diseñado para los ambientes donde se utilizan máquinas eléctricas, motores entre otros. Este instrumento de medición Contiene un amperímetro, un voltímetro, un vatímetro y un fasímetro en un solo aparato. También sirve para adquirir todas las variables de interés, e importar los datos obtenidos en tiempo real, como muestra en la Figura 8.



Figura 8. Multímetro analógico digital

Fuente: LabSoft

Tiempo de muestreo

Los datos obtenidos con el instrumento de medición son tomados cada 200 milisegundos de trabajo.

Estos instrumentos dan un grado de precisión de 1, es decir toma los datos de los valores medidos sin que exista una dispersión de entre un grupo de mediciones.

### 3.3.5. SENTRON PAC 4200

“Los multimedidores SENTRON PAC 4200 se pueden configurar a través de redes LAN, y con esto se puede transmitir datos confiables para un análisis requerido. Además, estos equipos se pueden conectar directamente a redes, como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Medidor de energía SENTRON PAC 4200

Fuente: Propia

“Una de las cualidades importantes de SENTRON PAC 4200 es que permite medir de forma directa datos como: tensiones,

corrientes, potencias, THD y  $\cos \varphi$ .”

Selección de muestra (Datos)

Muestreo intencional:

Se elige puntos de torque cada 0.60 [N-m] en donde las variaciones de corriente y voltaje son más notables y con esto poder analizar el comportamiento del motor sometido a diferentes cargas.

La selección de datos fue en estado transitorio de la carga, es decir cumpliendo con los parámetros de voltaje y corriente nominales de la placa del motor. Es así que de manera progresiva el instrumento de medición va realizando la toma de datos, de esta manera se pretende mostrar las variaciones de corriente y voltaje.

0.60	0.52	2.03	218.77
1.20	0.67	2.07	217.22
1.80	0.77	2.78	218.73
2.40	0.82	3.36	218.14
3.0	0.87	3.91	218.26
3.60	0.89	4.12	217.75
4.20	0.91	5.43	215.80
4.80	0.93	6.24	211.01

Fuente: <sup>[3]</sup> Propia

En la tabla 11 se presentan los valores calculados de corriente y voltaje mediante las fórmulas (14), (15) y con diferentes casos de torque, en los cuales se observa la variación del (fp), corrientes y voltajes.

#### 4.2. Potencia reactiva compensada

A continuación, se muestra los cálculos con un torque de 2.40 [N-m],  $\cos \varphi$  un inicial de 0.82 y un  $\cos \varphi$  objetivo de <sup>[2]</sup> 0.99 para obtener los valores de potencia reactiva a necesitar con cada variación de (fp).

Entonces calculamos  $\cos^{-1}$  del  $\cos \varphi$  existente y el  $\cos \varphi$  configurado (deseado).

$$\cos^{-1}(0.82) = 34.90 \rightarrow \cos \varphi \text{ existente}$$

$$\cos^{-1}(0.99) = 8.10 \rightarrow \cos \varphi \text{ configurado}$$

Calculamos la potencia reactiva individual por el  $\cos \varphi$  requerido y existente.

$$Q_1 = P(W) \times (\tan 34.90) = 726.2 \text{ [VAr]}$$

$$Q_2 = P(W) \times (\tan 8.10) = 148.1 \text{ [VAr]}$$

Calculamos potencia reactiva total necesaria para compensar de 0.83 a 0.99.

$$Q_C = (Q_1 - Q_2)$$

$$Q_C = 726.2 \text{ [Var]} - 148.1 \text{ [VAr]}$$

$$Q_{Com} = 578.3 \text{ [VAr]}$$

(17)

Donde:

## 4. PRESENTACIÓN DE DATOS

### <sup>[22]</sup> 4.1 Cálculo de corriente y voltaje.

Para los cálculos mostrados se escoge un punto de referencia, con un torque de 2.40 [N-m] y un  $\cos \varphi$  0.82 para la obtención de valores, como se observa en:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos \varphi} = \frac{1043 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 218 \text{ V} \times 0.82} = 3.36 \text{ [A]}$$

$$V_L = \frac{P}{\sqrt{3} \times I_L \times \cos \varphi} = \frac{1043}{\sqrt{3} \times 3.36 \times 0.82} = 218.55 \text{ [V]}$$

Tabla 5.

Datos calculados de corriente y voltaje

Torque [N-m]	Factor de potencia	Corriente [A]	Voltaje [V]
0	0.25	1.85	218.45

Q1 = Potencia reactiva de fp inicial [VAr].

Q2 = Potencia reactiva de fp objetivo [VAr].

Q com = Potencia reactiva total [VAr].

#### 4.3 Cálculo de banco de capacitores a conmutar

Con un factor inicial de 0.83 y un objetivo de 0.99 se realiza la suma de potencia reactiva para alcanzar el valor de  $\cos \varphi$  objetivo.

$$1^{er} \text{ banco} = 72.76 \text{ [VAr]}$$

$$2^{do} \text{ banco} = 145.95 \text{ [VAr]}$$

$$3^{er} \text{ banco} = 291.93 \text{ [VAr]}$$

$$1^{er} \text{ banco} + 2^{do} \text{ banco} + 3^{er} \text{ banco} = 510.84 \text{ [VAr]}$$

[1] ▶

La conmutación mostrada no llega a la potencia reactiva necesaria de 578.3 [VAr], con lo cual el banco de capacitores que ofrece esta potencia reactiva es el número 4.

Tabla 6.

Valores calculados de posibles conmutaciones del banco de capacitores para inyectar potencia reactiva.

Torque [N-m]	Fp	Q [VAr]	Conmutación De pasos
0	0.25	652.75	1 + 4
0.60	0.52	599.93	1 + 4
1.20	0.67	582.24	4
1.80	0.77	556.45	1+2+3
2.40	0.82	578.33	1+2+3
3.00	0.87	545.74	1+2+3
3.60	0.89	631.6	1 + 4
4.20	0.91	725.29	2 + 4

Fuente: propia

#### 4.4 Valores obtenidos

Tabla 7.

Recolección de datos valores medidos (sin compensar)

Torque [N-m]	Fp	I [A]	V [v]	P [w]	Q [Var]	S [VA]
0	0.25	1.75	212	175	664	693
0.60	0.52	1.88	212	399	647	678
1.20	0.67	2.21	213	603	661	899
1.80	0.77	2.62	213	811	658	1048
2.40	0.82	3.18	213	1041	722	1270
3.0	0.87	3.81	214	1286	740	1486
3.60	0.89	4.10	214	1520	773	1624
4.20	0.91	5.45	214	1847	915	2063
4.80	0.93	6.31	215	2121	1023	2358

Fuente: propia

Tabla 8.

Recolección de datos valores medidos (compensado)

Torque [N-m]	Fp	I [A]	V [V]	P [W]	Q [Var]	S (VA)
0	0.99	0.28	218	181	42	220
0.60	0.99	0.74	217	402	26	417
1.20	0.99	1.31	218	600	44	612
1.80	0.98	1.88	218	816	1	824
2.40	0.99	2.47	217	1043	46	1050
3.00	0.99	3.22	217	1293	31	1299
3.60	0.99	3.93	218	1559	32	1564
4.20	0.99	4.78	218	1846	11	1851
4.80	0.99	5.54	218	2155	48	2161

Fuente: propia

En las tablas 13 y 14 son valores presentados con una variación de torque, un  $\cos \varphi$  0.25 y un  $\cos \varphi$  objetivo de 0.99, en donde se observa mejoras en corriente, voltaje, potencia activa, reactiva y aparente en todos los casos de estudio.

La siguiente imagen de datos es presentada con un torque de 2.40 [N-m] sin compensar y un  $\cos \varphi$  0.82, en la cual se muestran los datos obtenidos en el punto de estudio específico.

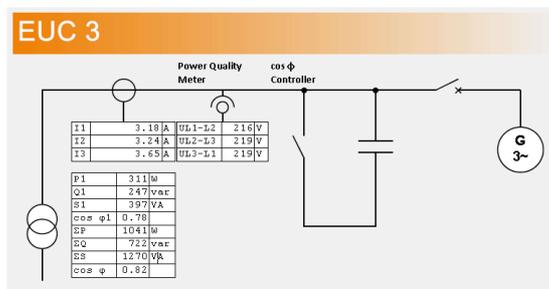


Figura 10. Datos con un factor de potencia de 0.82

Fuente: LabSoft

La siguiente imagen de datos es presentada con un torque de 2.40 [N-m] compensada y un factor de potencia objetivo de 0.99, en la cual se evidencia las mejores de las variables de estudio.

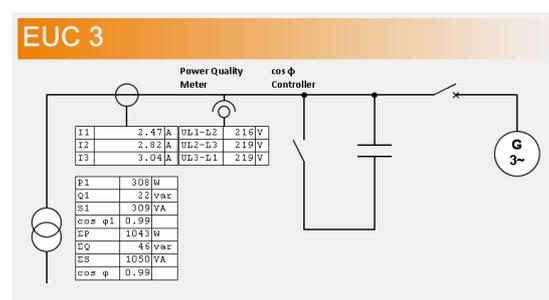


Figura 11. Datos con un factor de potencia de 0.99

Fuente: LabSoft

## 5. Discusiones

Se realizó la conexión de un circuito de compensación de potencia reactiva y se obtuvo una tabla de datos, con los cuales se realizó comparaciones de valores calculados y experimentales, además con estos valores importados se realizó graficas en MATLAB con lo cual se realiza la discusión de las variables a investigar.

Tabla 9.

Comparación de datos calculados y medidos

Torque [N-m]	Fp	Calc.	Med.	Calc.	Med.
		[A]	[A]	[V]	[V]
0	0.25	1.75	1.85	218.45	212
0.60	0.52	1.88	2.03	218.77	212
1.20	0.67	2.21	2.07	217.22	213
1.80	0.77	2.62	2.78	218.73	213
2.40	0.82	3.18	3.36	218.14	213
3.00	0.87	3.81	3.91	218.26	214
3.60	0.89	4.10	4.12	217.75	214
4.20	0.91	5.45	5.43	215.80	214
4.80	0.93	6.31	6.24	211.01	215

Fuente: Propio

Tomando un punto de la tabla 14 con un torque de 0.60 [N-m] y un factor de potencia de 0.52 se realizó la comparación de datos calculados e importados donde la corriente calculada es 2.03 amperios y la importada es 1.88 amperios, como se muestra en (18)

$$e\% = \frac{2.03 - 1.88}{2.03} \times 100\%$$

$$e\% = 7.3\%$$

(18)

De esta manera se analiza que los valores de corriente en este punto tienen un margen de error de 7.3%.

De igual manera con las mismas condiciones de torque y (fp) mencionado se calculó el margen de error del voltaje. Donde el valor calculado es 218.45 voltios y el medido es 212 voltios.

$$e\% = \frac{218.45 - 212}{218.45} \times 100\%$$

$$e\% = 2.95\%$$

De esta manera se comprueba que los valores de voltaje en este punto tienen un margen de error de 7.3%.

5.1 Variación de tensión con un torque de 2.40 [N-m], un factor de potencia 0.82 y configurado a 0.99

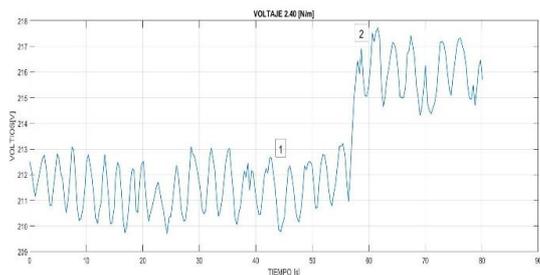


Figura 12. Variación de voltaje

Fuente: Software MATLAB.

En el punto (1) de la gráfica se observa como aumentan las caídas de voltaje que pueden estar presentes en el circuito eléctrico cuando no existe una atenuación de potencia reactiva en la carga. (2) el controlador de potencia realiza la compensación automática por medio de la conmutación de capacitores. Con esto se observa el incremento que tiene el voltaje una vez que el factor de potencia configurado de 0.99 es alcanzado.

5.2 Análisis de corriente con un torque de 1.80 [N-m],  $\cos \varphi$  inicial 0.77 y un objetivo de 0.99

Se analiza en los ensayos de compensación que al mejorar el  $\cos \varphi$  la corriente tiende a disminuir.

La siguiente gráfica muestra la variación de corriente que existía antes de realizar la compensación automática de factor de potencia muestra en la Figura 13.

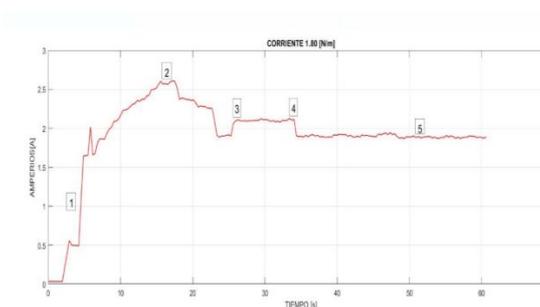


Figura 13. Variación de corriente

Fuente: Software MATLAB

En el punto (1) Se puede notar en la gráfica que existe un incremento de corriente lo cual es

causado por la inyección de torque ejercido por los investigadores. (2) es el punto donde el controlador de potencia reactiva empieza a conmutar los condensadores necesarios para disminuir la sobre corriente existente (3) se debe al ingreso del segundo banco de capacitores que tiene una corriente de 0.38 A (4) la corriente decrece por la compensación del controlador, (5) es el punto donde el factor de potencia deseado de 0.99 es alcanzado y la corriente se estabiliza.

### [ 3 ] ▶ 6. CONCLUSIONES

La implementación de dispositivos que nos permitan un control autónomo de los bancos de capacitores mejoran el  $\cos \varphi$  en los sistemas eléctricos que presentan un consumo excesivo de potencia reactiva, se evidencio que el controlador de potencia reactiva tiene un constante monitoreo del  $\cos \varphi$  de la instalación y mediante un valor de factor de potencia objetivo, el dispositivo compara los dos valores para poder determinar el paso o los pasos que permitan aproximarse al  $\cos \varphi$  deseado, en comparación con sistemas en donde presenta bancos de condensadores estáticos se mejora su uso porque el controlador de potencia reactiva hace un seguimiento constante al  $\cos \varphi$  instalado y se conmutara solo los pasos necesarios que permitan alcanzar el  $\cos \varphi$  objetivo esto tiene un fuerte impacto en sector industrial, ya que los motores eléctricos presentan distintos periodos de trabajo y el consumo de potencia reactiva será variable y un compensación fija no sería eficiente.

Con la compensación automática de (fp), se concluye que al utilizar un controlador de potencia reactiva esta necesita de una configuración objetivo la cual será el  $\cos \varphi$  deseado, para lo cual el controlador conmutará un banco de capacitores para inyectar potencia

inductiva y con esto atenuar los valores de reactivos presentes en la carga.

Cuando el banco de capacitores ingresa a trabajar en una compensación de potencia reactiva ocasiona un aumento de corriente instantánea la cual dependerá exclusivamente del valor en [KVA], que el capacitor muestre, además con esto se analiza que mientras más alto sea el valor de dicho capacitor mayor será la corriente registrada.

El controlador PQC se adapta a cualquier tipo de carga que se encuentre, con esto se garantiza que la potencia reactiva se elimine o se atenué para llegar al  $\cos \varphi$  objetivo de la instalación.

Al encontrarnos con un bajo (fp) se puede apreciar que la intensidad de corriente aumenta, esto se debe al tener un  $\cos \varphi$  alejado de la unidad el circuito consume más potencia reactiva, lo que conlleva a que la potencia aparente aumente debido a la suma geométrica entre potencia activa y reactiva del circuito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB group. (2001). Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas. Cuaderno N, 56.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2019). Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución. Resolución Nro. ARCONEL - 002/19, 18.
- Alberto, J., Dionisio, O., Luis, J., & Vanessa, L. (2019). Estudio de Fallas en Fuentes de Alimentación Conmutadas Debido al Estrés de los Capacitores Electrolíticos. 1, 1–15.
- Borges, D. (2005). Evolución y desarrollo de los dispositivos compensadores de potencia reactiva. Ingeniería Energética, XXVI(2), 48–52.
- Chasi, A. D. S. (2018). Análisis De Estrategias De Control De Bancos De Capacitores Para El Mejoramiento Del Factor De Potencia (Vol. 1).
- Farina, A. (2018). Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento. Ingeniería Eléctrica, 68–72. [https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie330\\_farina\\_motores\\_electricos.pdf](https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie330_farina_motores_electricos.pdf)
- GUASCH S.A. (2005). Conexión de condensadores para compensación reactiva. 1–8. [http://www.e-guasch.com/es/%0Ahttp://www.e-guasch.com/onlinedocs/catalogue/appnotes/AN110627\\_c.pdf](http://www.e-guasch.com/es/%0Ahttp://www.e-guasch.com/onlinedocs/catalogue/appnotes/AN110627_c.pdf)
- Henry, I., Espinoza, V., Aldo, I., & Cuya, R. (2017). Implementación de un banco de condensadores para aumentar el factor de potencia en la empresa Fibraforte año 2015. 99. [http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12626/Ivan\\_Henry\\_Vargas\\_Espinoza.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12626/Ivan_Henry_Vargas_Espinoza.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Huang, X. M., Zhang, Y. J., & Huang, H. C. (2014). Automatic reactive power control in distribution network based on Feeder Power Factor Assessment. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC, 2015-March(March), 2–5. <https://doi.org/10.1109/APPEEC.2014.7066071>
- J. Garcia. (2013). Cómo Reducir la Factura de Energía Eléctrica Corrigiendo el Factor de Potencia. Universidad Rafael Landívar, 01, 1–7.
- Méndez Serrano, J. (2004). Corrector de factor de potencia reductor-elevador monofásico. 1, 1–27.
- Peña, W. Y., Rodríguez, L. R., Ramírez Bient, J., & García León, P. (2018). Monitoreo, control y diagnóstico en bancos de capacitores automáticos en baja tensión.

Ingeniare, 26(1), 28–42.

[https://doi.org/10.4067/S0718-](https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000100028)

33052018000100028

Riese, P. (2012). Manual of Power Factor Correction. FRAKO Kondensatoren- Und Anlagenbau GmbH.

Vicini, H. (2020). Reactive compensation in solar photovoltaic systems affected by low power factor. 3(2), 39–63.