

**MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN  
SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, MEDIANTE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL  
ADAPTATIVO PARA FILTROS DE POTENCIA  
REACTIVA**





**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN  
SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, MEDIANTE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL  
ADAPTATIVO PARA FILTROS DE POTENCIA  
REACTIVA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: CHRISTOPHER ALEXANDER GAVILANEZ SOTO

TUTOR: MANUEL DARIO JARAMILLO MONGE

Quito -Ecuador

2022

Christopher Alexander Gavilanez Soto

**MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN,  
MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ADAPTATIVO PARA  
FILTROS DE POTENCIA REACTIVA**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2022

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



**Christopher Alexander Gavilanez Soto** (Y'1997). Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Técnico Sucre, de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la mejora del factor de potencia en un sistema de distribución, mediante la implementación de control adaptativo para filtros de potencia reactiva. [cgavilanezs@ups.edu.ec](mailto:cgavilanezs@ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Manuel Dario Jaramillo Monge** (Y'1990). Realizó sus estudios superiores en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE de Quito, donde se graduó de Ingeniero Electrónico en Automatización y Control en el 2014. Además, cursó estudios de posgrado en la Universidad de Newcastle, Reino Unido, donde obtuvo el título en Máster en Electrical Power. Actualmente es profesor ocasional a tiempo completo de la Universidad Politécnica Salesiana. [mjaramillo@ups.edu.ec](mailto:mjaramillo@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

©2022 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Christopher Alexander Gavilanez Soto con documento de identificación N° 1724869779 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



-----

Christopher Alexander Gavilanez Soto  
1724869779

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Christopher Alexander Gavilanez Soto con documento de identificación No. 1724869779, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Mejora del factor de potencia en un sistema de distribución, mediante la implementación de control adaptativo para filtros de potencia reactiva”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



---

Christopher Alexander Gavilanez Soto

1724869779

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Manuel Dario Jaramillo Monge con documento de identificación N° 1714298005, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ADAPTATIVO PARA FILTROS DE POTENCIA REACTIVA, realizado por Christopher Alexander Gavilanez Soto con documento de identificación N° 1724869779, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



-----  
Ing. Manuel Dario Jaramillo Monge, MSc  
1714298005

## ÍNDICE GENERAL

1	Introducción .....	2
2	Marco teórico.....	3
2.1	Sistema de Distribución.....	3
2.1.1	Niveles de Tensión .....	3
2.1.2	Estructuras Radiales .....	3
2.1.3	Red Radial .....	3
2.1.4	Red en Bucle abierto o Anillo .....	3
2.1.5	Red Mallada.....	4
2.2	Factor de potencia (fp) .....	4
2.2.1	Potencia Activa .....	4
2.2.2	Potencia Reactiva .....	4
2.2.3	Potencia Aparente .....	4
2.2.4	Mejora del factor de potencia .....	5
2.3	Distorsión Armónica .....	5
2.3.1	Índice de la distorsión armónica .....	5
2.3.2	Cargas lineales y no lineales .....	5
2.3.3	Perturbaciones causadas por los armónicos .....	6
2.4	Técnicas para el control de potencia reactiva. ....	6
2.4.1	Filtros activos .....	6
2.4.2	Control Adaptativo .....	6
2.4.3	Modelo de Referencia.....	6
2.4.4	Regulador autoajutable .....	7
2.5	Afectaciones al factor de potencia en sistemas de distribución .....	7
2.5.1	Incremento de las pérdidas por efecto Joule .....	8
2.5.2	Incremento de la caída de tensión .....	8
2.5.3	Incremento en la facturación eléctrica .....	8
3	Planteamiento del Problema.....	8
3.1	Inclusión de cargas no lineales.....	9
3.1.1	Controlador adaptativo. ....	9
3.2	Casos de Estudio.....	10
	Caso 1: compensación dinámica trifásica en la barra 846.....	10
	Caso 2: compensación dinámica trifásica en la barra 840.....	10
	Caso 3: implementación simultánea en las siguientes barras: 846, 844 y 840. ...	10
	Caso 4: perturbaciones externas en la barra 846.....	10



4	Análisis de resultados .....	11
4.1	Resultados de la compensación dinámica trifásica en la barra 846. ....	11
4.2	Resultados de la compensación dinámica trifásica en la barra 840. ....	13
4.3	Resultados de implementación simultánea en las siguientes barras: 846, 844 y 840. ....	15
4.4	Resultados de perturbaciones externas en la barra 846. ....	16
5	Conclusiones .....	16
6	Referencias .....	17
6.1	Matriz de Estado del Arte .....	20
6.2	Resumen de Indicadores .....	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Topología de una Red Radial.....	3
Figura 2. Topología de un Bucle abierto.....	3
Figura 3. Topología de una Red Mallada.....	4
Figura 4. Forma de onda con distorsión armónica.....	5
Figura 5. Esquema de un filtro activo.....	6
Figura 6. Configuración del control adaptativo.....	6
Figura 7. Modelo de referencia (MRAC).....	7
Figura 8. Modelo regulador autoajustable (STR).....	7
Figura 9. Sistema de 34 barras de la IEEE.....	8
Figura 10. Inserción de cargas no lineales al sistema.....	9
Figura 11. Esquema del filtro activo de potencia reactiva.....	9
Figura 12. Corrección del fp en la barra 846.....	11
Figura 13. Análisis entre el factor de potencia del sistema y el factor de potencia mejorado de la barra 846.....	11
Figura 14. Perfil de voltaje del sistema de 34 barras.....	12
Figura 15. Análisis del perfil de voltaje del sistema con respecto al perfil de tensión inyectada carga no lineal.....	12
Figura 16. Ancho de pulso para la activación de los tiristores para la barra 846.....	12
Figura 17. Corrección del fp en la barra 840.....	13
Figura 18. Análisis entre el factor de potencia del sistema y el factor de potencia mejorado de la barra 840.....	13
Figura 19. Perfil de voltaje en la barra 840.....	14
Figura 20. Análisis del perfil de voltaje del sistema con respecto al perfil de tensión de la barra 840 inyectada la carga no lineal.....	14
Figura 21. Ancho de pulso para la activación de los tiristores en la barra 840.....	14
Figura 22. Análisis del factor de potencia del sistema con respecto al factor de potencia de la barra 846.....	15
Figura 23. Análisis del factor de potencia del sistema con respecto al factor de potencia de la barra 844.....	15
Figura 24. Análisis del factor de potencia del sistema con respecto al factor de potencia de la barra 840.....	15
Figura 25. Factor de potencia con cargas externas.....	16
Figura 26. Resumen e indicadores de la temática – Estado de arte.....	23
Figura 27. Indicador de formulación de problema – Estado de arte.....	23
Figura 28. Indicador de solución – Estado de arte.....	24

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de tensión del sistema de la IEEE.....	8
Tabla 2. Datos de cargas del sistema.....	9
Tabla 3. Datos de las cargas RLC. ....	10
Tabla 4. Incremento de cargas externas de potencia activa. ....	10
Tabla 5. Incremento de cargas externas de potencia reactiva. ....	10
Tabla 6. Corrección del factor de potencia en la barra 846.....	11
Tabla 7. Perfil de voltaje. ....	11
Tabla 8. Corrección del factor de potencia en la barra 840.....	13
Tabla 9. Perfil de tensión en la barra 840.....	14
Tabla 10. Corrección del factor de potencia en las barras 846, 844 y 840.....	16
Tabla 11. Carga al 25% en la barra 846 .....	16
Tabla 12. Matriz de estado del arte. ....	20

# MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ADAPTATIVO PARA FILTROS DE POTENCIA REACTIVA

## Resumen

El presente artículo plantea determinar el mejoramiento del factor de potencia con la implementación de un controlador adaptativo - autoajustable (STR) en el sistema de distribución, por consiguiente, comparar los perfiles de tensión de las barras afectadas respecto a las barras mejoradas por la presencia de cargas no lineales. La implementación de un control adaptativo STR conlleva que el sistema de distribución se adapte a la inserción de varias cargas dinámicas al sistema llegando al mejoramiento de la calidad de energía en el sistema de distribución, para ello se plantea desarrollar en un modelo de distribución de la IEEE de 34 barras, donde se analiza en las barras trifásicas del sistema, planteando a si los respectivos escenarios que serán simulados a través del software MATLAB-SIMULINK.

Finalmente, luego de verificar las barras de menor factor de potencia y el respectivo funcionamiento del controlador adaptativo autoajustable STR en el sistema se da paso a la serie de resultados el cual conlleva al mejoramiento del factor de potencia antes y después, perfil de tensión antes y después, también se emplea la representación del mejoramiento del factor de potencia en tiempo real antes y después del sistema.

**Palabras Clave:** Sistema de distribución, Factor de Potencia, Distorsión Armónica, Técnicas para el control de potencia reactiva, Afectaciones al factor de potencia en sistema de distribución.

## Abstract

The present article proposes to determine the improvement of the power factor with the implementation of an adaptive self-adjusting controller (STR) in the distribution system, consequently, to compare the voltage profiles of the affected busbars with respect to the busbars improved by the presence of non-linear loads. The implementation of an adaptive control STR entails that the distribution system adapts to the insertion of several dynamic loads to the system arriving to the improvement of the quality of energy in the distribution system, for it is proposed to develop in a distribution model of the IEEE of 34 bars, where it is analyzed in the three-phase bars of the system, raising to if the respective scenarios that will be simulated through the software MATLAB-SIMULINK. Finally, after verifying the bars of lower power factor and the respective operation of the adaptive self-adjusting controller STR in the system, the series of results is given, which leads to the improvement of the power factor before and after, voltage profile before and after, also the representation of the improvement of the power factor in real time before and after the system is used.

**Keywords:** Distribution system, Power Factor, Harmonic Distortion, Techniques for the control of reactive power, Effects on the power factor in the distribution system.

# 1 Introducción

El objetivo principal del sistema de distribución es garantizar la calidad de energía hacia el usuario final. Con el aumento de la demanda en los sistemas de distribución no operan a su máxima capacidad esto se debe al incremento de la demanda de suministro eléctrico.

Esta disminución en la calidad de energía se ve afectado por el crecimiento de cargas no lineales y dispositivos electrónicos [1].

La implementación del controlador adaptativo – autoajustable (STR) que tiene como referencia filtros de potencia reactiva para mejorar el factor de potencia y mejorar el perfil de voltaje en los nodos del sistema. Estos filtros activos permiten aprovechar la energía almacenada dado que se comportan como un condensador o una bobina; el compensador entrega energía y la bobina almacena energía [2].

El control adaptativo - autoajustable tiene como propósito modificar el funcionamiento de las variables de control hacia nuevos lineamientos para respectiva implementación en sistemas dinámicos [3]. También permite crear convertidores tanto en serie como en paralelo; basando su metodología en la implementación de lazos de control cerrados para los sistemas de distribución [4].

Los convertidores es necesario que correspondan a los indicadores de entrada y salida a través de señales reales quitando el error mediante el ajuste del controlador [3].

El funcionamiento del controlador adaptativo por modelo de referencia (MRAC) se enfoca en la obtención de un error a partir del tipo de referencia y la salida del sistema. Para el control adaptativo autoajustable (STR) hace referencia a una variable que se almacena entre el ingreso y la salida del sistema mediante un controlador con parámetros graduables, la cual se comporta de una manera flexible en el sistema sin afectar que se tenga perturbaciones [5].

Para el presente estudio se realiza en un sistema de distribución de la IEEE de 34 barras donde se tiene diferentes niveles de voltaje de 24.9 kV y 4.16 kV, con una topología radial a su vez también se encuentra dos reguladores de tensión, dos bancos de condensadores y un transformador [6].

En la red de distribución la máxima potencia es de 15.8 MW con un fp en atraso del 0.95 [7].

El objetivo principal de este estudio es el mejoramiento del factor de potencia mediante un controlador adaptativo autoajustable (STR). Para tal estudio se muestra de la siguiente manera:

El capítulo 2 se presenta la estructura del marco teórico que contiene los siguientes conceptos referidos a niveles de tensión, estructuras radiales, factor de potencia, distorsión armónica la cual se hace referencia hacia las cargas lineales y no lineales, técnicas para el control de potencia reactiva como: filtros de potencia, control adaptativo, modelo de referencia y regulador autoajustable, afectaciones al factor de potencia en sistemas de distribución.

El capítulo 3 se detallan tres aspectos importantes como: la formulación del problema seguido de la inclusión de cargas no lineales al sistema de distribución y la implementación del controlador adaptativo (STR), finalmente se presentan los casos de estudio donde se identifica las barras con menor factor de potencia y se implementa el controlador adaptativo para el mejoramiento respectivo.

El capítulo 4 se presenta los resultados obtenidos mediante la implementación del controlador adaptativo y de las cargas no lineales en el sistema, para ello se obtiene la mejora del fp, el perfil de tensión, el ancho de pulso y finalmente la representación gráfica del mejoramiento del factor de potencia en tiempo real con la presencia de cargas no lineales.

Finalmente, en el capítulo 5 se presenta las conclusiones del trabajo final.

## 2 Marco teórico

En la presente sección se pretende dar a conocer los aspectos fundamentales para la mejora del fp mediante la implementación del controlador adaptativo.

### 2.1 Sistema de Distribución

Los sistemas de distribución constituyen una parte esencial en los sistemas eléctricos de potencia debido a que toda la potencia que se crea tiene que ser comercializada a grandes distancias hacia el usuario final [8].

Así, la producción se realiza en grandes bloques, concentrada en centrales de generación de gran capacidad y distribución en amplios territorios con distintas cargas de diferente tamaño. Por esta razón, la generación distribuida es aún más compleja que el sistema de potencia [8].

La red de distribución implica implementar un proceso para posibilitar el abastecimiento de energía eléctrica hacia los futuros consumidores de electricidad, ya sea para nuevas construcciones de subestaciones y líneas de distribución [9].

En el sistema de distribución se presenta la composición de equipos electrónicos que permiten la apertura o cierre de energía eléctrica de forma segura a su vez la implementación de cargas en diferentes niveles de voltaje [10].

Básicamente, la distribución del suministro eléctrico consiste en líneas de distribución primarias, la implementación de transformadores y conexiones aguas abajo hacia los medidores [11].

La inversión en el sistema eléctrico es aproximadamente 2/3 partes para la parte de distribución [12].

#### 2.1.1 Niveles de Tensión

El sistema de distribución presenta distintos valores de tensión son los siguientes: 22.38 (kV) 13.38 (kV) 13.20 (kV) 7.62 (kV) y 6.30 (kV).

#### 2.1.2 Estructuras Radiales

La estructura radial es el sistema que más se utiliza en el sistema de distribución, lo que conlleva a que tiene una óptima operación, y sus pequeños costos la hacen muy rentable en muchos casos [13].

#### 2.1.3 Red Radial

El sistema radial es el más utilizado donde utiliza una sola línea de alimentación mediante nodos (ND), pero a su vez es uno de los sistemas con menor confiabilidad de servicio eléctrico [14].

También la estructura radial en muchos casos es sencilla de operar, a su vez es una que cuenta con costos pequeños para su implementación [13].

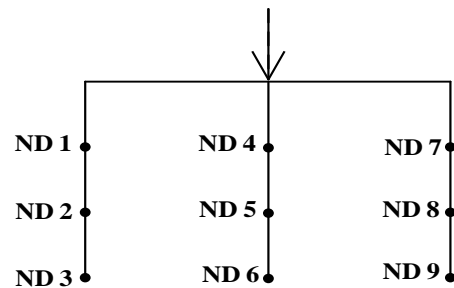


Figura 1. Topología de una Red Radial.

#### 2.1.4 Red en Bucle abierto o Anillo

La estructura en bucle abierto presenta dos caminos de suministro en la figura 2 se visualiza el bucle abierto, para ello una vez ocurrido una falla los alimentadores se conectan entre si a través de un dispositivo de desconexión llegando a estabilizar la carga para proporcionar un excelente servicio eléctrico [15].

La red en bucle abierto o anillo es una de las redes que garantizan la seguridad del servicio eléctrico y la facilidad de mantenimiento eléctrico.

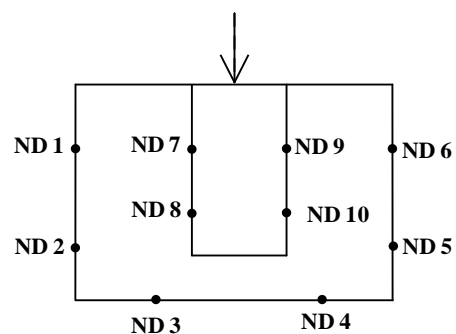


Figura 2. Topología de un Bucle abierto.

### 2.1.5 Red Mallada

En la figura 3, se observa la red mallada donde en muchas ocasiones es la combinación de sistema anillo y sistema radial; la utilización de este sistema es recomendable en zonas de rápida población.

Las principales ventajas es la seguridad de servicio, y se recomienda su instalación en zonas comerciales [13].

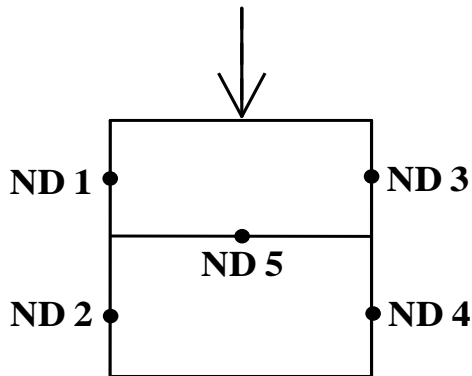


Figura 3. Topología de una Red Mallada.

## 2.2 Factor de potencia ( $f_p$ )

El  $f_p$  está relacionado con la potencia disponible y la potencia que hubiera sido disponible si el voltaje y la corriente estén ideales entre la fase, por consiguiente, el  $f_p$  es la potencia promedio a la potencia aparente, es decir [16]

$$f_p = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Donde:

$f_p$ : Factor de potencia

P: Potencia Activa expresado en (W)

S: Potencia aparente expresado en (VA)

Desde un punto de vista si existe bajos valores respecto al  $f_p$  compromete a cables, líneas de transmisión, fluctuaciones de tensión en el sistema de distribución conllevando a que daños en equipos electrónicos [17].

Los límites del factor de potencia se calcularán respecto a la demanda. El factor de potencia es determinado sin tener en

cuenta la inserción de una nueva red de distribución [18].

### 2.2.1 Potencia Activa

Es el procedente para el desarrollo de la conversión de electricidad para concebirlo como operación.

La potencia efectiva no debe ser negativa [19].

$$P = V \cdot I \cdot \cos\theta \quad (2)$$

Donde:

P: Potencia Activa (W)

V: Voltaje (V)

I: Intensidad de corriente eléctrica (A)

### 2.2.2 Potencia Reactiva

La presencia de motores, capacitores o componentes similares hace que esta energía utilizada durante el ciclo se almacene en los circuitos pasivos y luego se devuelve a la red eléctrica.

Debido al retorno de electricidad, esta tiende a ser negativa, por lo que la potencia involucrada en esta variación se llama potencia reactiva VAR [19].

$$Q = V \cdot I \cdot \sen\theta \quad (3)$$

Donde:

Q: Potencia reactiva expresado en VAR

V: Voltaje (V)

I: Intensidad de corriente eléctrica (A)

### 2.2.3 Potencia Aparente

La suma de las potencias activas y reactivas hace referencia a la potencia aparente [19], [20].

$$S = V \cdot I \quad (4)$$

Donde:

S: Potencia Aparente (VA)

V: Voltaje (V)

I: Intensidad de corriente eléctrica (A)

### 2.2.4 Mejora del factor de potencia

Las fuentes de alimentación para los consumidores industriales son trifásicas, a diferencia de la energía monofásica para los usuarios domésticos y las pequeñas empresas.

Si bien las formas de medición y pago varían según la empresa de servicios públicos, los grandes clientes siempre se beneficiarán de una reducción en el componente perpendicular de su triángulo de potencia; esto se designa corrección o mejora del fp.

Para el mejoramiento del fp, se conectan condensadores trifásicos a la fuente del transformador principal, de modo a la combinación de la carga de fábrica y el banco de condensadores sea una inserción para la mejora del fp igual a uno [19].

## 2.3 Distorsión Armónica

La distorsión armónica en los sistemas de potencia se debe principalmente a una combinación de cargas no lineales y dispositivos electrónicos hacia la red [21], en la figura 4 se observa la distorsión armónica originada por las variaciones repentinas de la forma de las fluctuaciones de onda de voltaje y las fluctuaciones de corriente en los sistemas eléctricos, causada por cargas no lineales [22], cuando el voltaje o la corriente de un sistema eléctrico se distorsiona en forma de onda senoidal, se manifiesta que la señal se encuentra distorsionada [23].

Normalmente la mayoría de las distorsiones armónicas son generadas por una carga no lineal conectada al sistema de distribución.

Los efectos armónicos más significativos ocurren en instalaciones eléctricas, y usuario final [24].

### 2.3.1 Índice de la distorsión armónica

Las medidas más utilizadas para medir los armónicos son: los armónicos de tensión relativa, los armónicos de corriente relativa, la distorsión armónica total y la distorsión de carga total [21].

El método más usado para calcular la distorsión armónica en un SEP es la distorsión armónica total (THD), para ello tanto la corriente y la tensión debe de ser calculado con un valor efectivo de las variables armónicas [25].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} 100\% \quad (5)$$

Donde:

k: Orden de armónicos

$I_k$ : Valor eficaz del armónico k

$I_1$ : Valor eficaz de la onda fundamentalmente de la corriente

THD se establece como la correlación entre el valor eficaz de la suma de n armónicos y el valor eficaz fundamental [26].

Aunque los armónicos de mayor frecuencia de corriente pueden ser pequeños debido a la reactancia de las líneas y de los transformadores [26].

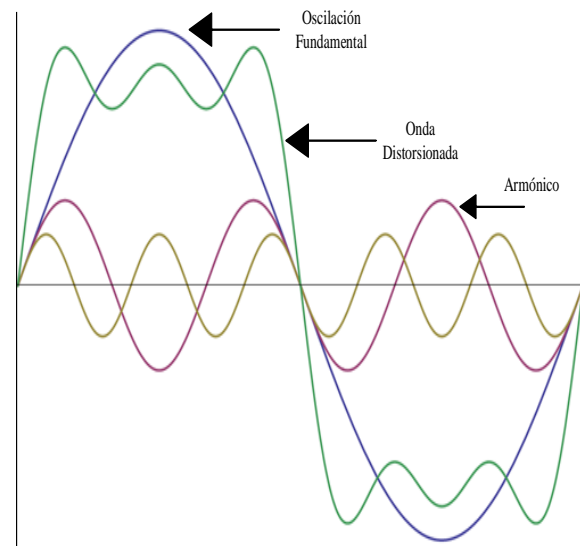


Figura 4. Forma de onda con distorsión armónica

### 2.3.2 Cargas lineales y no lineales

Cuando se emplea una tensión senoidal directamente a cargas como resistivas, inductivas, capacitivas, se origina una corriente equivalente que también es senoidal, por eso se les llama cargas lineales [27].



La curva de carga corriente - voltaje determina si su funcionamiento es lineal y no lineal se debe suponer que todos los dispositivos semiconductores son no lineales [27], las cargas no lineales por su funcionamiento generan perturbaciones en la red para ello se ve afectado la calidad de energía eléctrica en los sistemas de distribución y transmisión [26].

### 2.3.3 Perturbaciones causadas por los armónicos

Los armónicos de voltaje y corriente tienen afectaciones sobre los equipos y dispositivos electrónicos conectados a los sistemas de distribución [22].

Los voltajes no sinusoidales afectan a los equipos conectados a la red eléctrica, afectando su vida útil su funcionamiento y su rendimiento [22].

## 2.4 Técnicas para el control de potencia reactiva.

Las técnicas para el control de potencia activa son las siguientes: filtros activos, control adaptativo: modelo de referencia (MRAC) y regulador adaptativo autoajustable (STR).

### 2.4.1 Filtros activos

El filtro activo la principal función es para la mitigación de armónicos producidos por cargas no lineales en las redes eléctricas a su vez tiene una solución dinámica la cual se adapta a las exigencias de la compensación dinámica [28], [29].

La clasificación de los filtros se presentan según la conexión al sistema los cuales pueden ser: serie o paralelo además se puede encontrar la conexión de los dos filtros en los sistemas [29], en la figura 5 se representa el esquema del filtro activo.

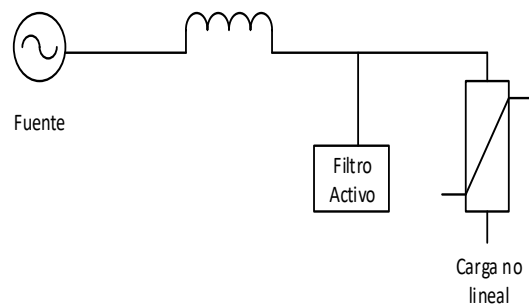


Figura 5. Esquema de un filtro activo.

### 2.4.2 Control Adaptativo

La configuración que se presenta en la figura 6 representa el controlador adaptativo el cual puede cambiar su regulación a cambios repentinos en la dinámica de la red, logrando que el sistema de lazo cerrado almacene las configuraciones del diseño [30], [31].

La presencia del controlador adaptativo hace que se pueda dividir en dos procesos de tiempo lento y rápido [30].

La relación del tiempo lento corresponde al cambio de controlador, la relación rápida estimula a la dinámica del lazo de retroalimentación [30].

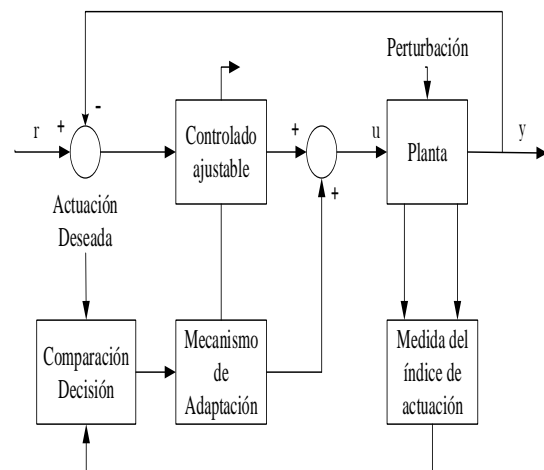


Figura 6. Configuración del control adaptativo.

### 2.4.3 Modelo de Referencia

El objetivo del modelo de referencia es que el bucle de control tenga el mismo proceso dinámico que otro modelo que simboliza el proceso dinámico deseado del sistema de bucle cerrado para la planta o sistema [30].

El modelo de referencia (MRAC) se utiliza para detallar los parámetros de control a través del dispositivo de adaptación llegando a un comportamiento en bucle cerrado como se presenta en la figura 7 dado por un modelo de referencia [32].

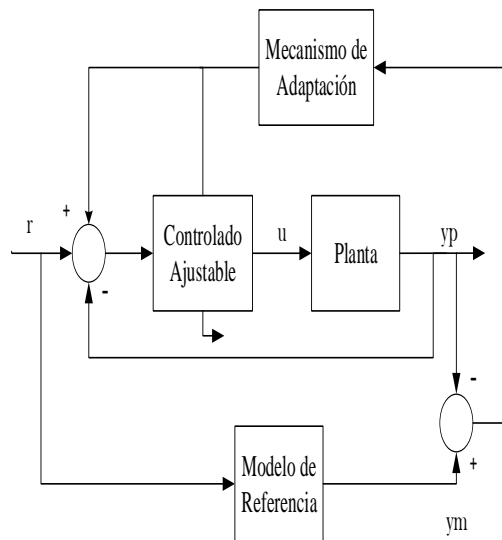


Figura 7. Modelo de referencia (MRAC).

#### 2.4.4 Regulador autoajustable

El regulador autoajustable se puede aplicar a muchos problemas de control que no se construye como un problema de control aleatorio, para este propósito se pueden generar varias clases de (STR) mediante el acoplamiento de diferentes métodos de diseño [30].

El STR se orienta en la realización de un proceso inmejorable sometido a una selectividad para el controlador por consiguiente tiene dos bucles de control: bucle interno y bucle externo [33].

En la figura 8 encontramos al controlador el cual se encarga en crea una base apropiada para establecer la clasificación de control y labores deterministas, para este propósito se realizan cálculos con parámetros conocidos y luego se reemplazan con sus estimaciones [30].

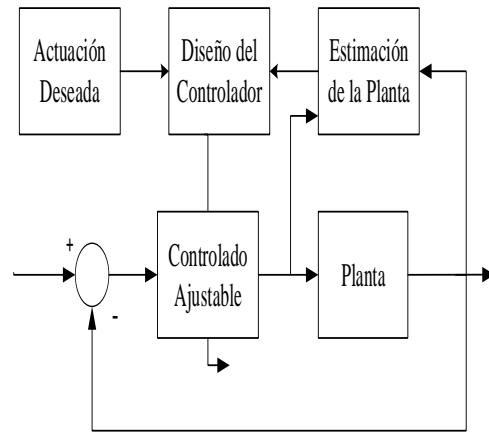


Figura 8. Modelo regulador autoajustable (STR).

### 2.5 Afectaciones al factor de potencia en sistemas de distribución

Una instalación industrial común tiene un factor de potencia normal que puede ser respectivamente bajo entre 0.6 y 0.8 esta disminución del fp ocurre principalmente por la presencia de cargas inductivas donde se encuentran operando en sobrecarga, utilización de convertidores electrónicos, equipos de inducción, utilización de lámparas fluorescentes en lugar de lámparas incandescentes [34].

El fp en una instalación domiciliar es la correspondencia entre la potencia activa (P) utilizada por las instalaciones eléctricas y la potencia aparente (S) provee a la instalación [34].

Para fines de valoración de la calidad del fp, si el valor del fp cae por debajo del límite en un 5% o más durante el período de tiempo estimado en el que el cliente no cumple con los criterios del fp el cliente está vulnerando el valor mínimo el cual es 0.92 [35].

Las instalaciones eléctricas que funcionan con fp inferior a 1 tienen afectaciones en los sistemas eléctricos afectando a componente electrónicos, disminución del perfil de voltaje y por consiguiente la reducción del fp, a continuación se detallan las afectaciones por un bajo factor de potencia [36].

### 2.5.1 Incremento de las pérdidas por efecto Joule

Uno de los principales problemas se presenta por la pérdida de energía debido al recalentamiento en los conductores, para ello se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$P = I^2R \quad (6)$$

Donde:

P: Pérdida de energía

I: Corriente total

R: Resistencia eléctrica

Las pérdidas de energía se producen por los siguientes efectos:

- Calentamiento en los cables de tensión.
- Calentamiento en las bobinas de los transformadores de distribución

El principal problema que se produce por el recalentamiento es la disminución del recubrimiento del conductor eléctrico [36].

### 2.5.2 Incremento de la caída de tensión

Uno de los principales problemas que se da por un incremento en la caída de tensión es en los conductores que se da por la disminución de intensidad de energía transmitida a través del cable

La caída de tensión conduce a una fuente de alimentación insuficiente para el usuario final lo que resulta en una disminución de la energía donde afectan a los siguientes elementos [36]:

- Transformadores de distribución
- Conductores
- Sistemas de protección
- Sistemas de control

### 2.5.3 Incremento en la facturación eléctrica

Debido al bajo fp y las consecuencias de las pérdidas de energía en el sistema eléctrico, el distribuidor de energía se ve en la necesidad de notificar al cliente que su planilla eléctrica esta elevada por las

consecuencias del bajo factor de potencia [36].

## 3 Planteamiento del Problema

Debido a los inconvenientes del factor de potencia (fp) en el sistema de distribución por la presencia de cargas no lineales, surge la necesidad de implementar un controlador adaptativo – autoajutable (STR) para filtros de potencia reactiva, el análisis se dará para determinar el factor de potencia y el perfil de voltaje en varios puntos de la red.

Para el estudio, se realiza en un sistema de distribución de la IEEE de 34 barras en el software Matlab-Simulink, con el fin de comprobar el mejoramiento del factor de potencia en el sistema.

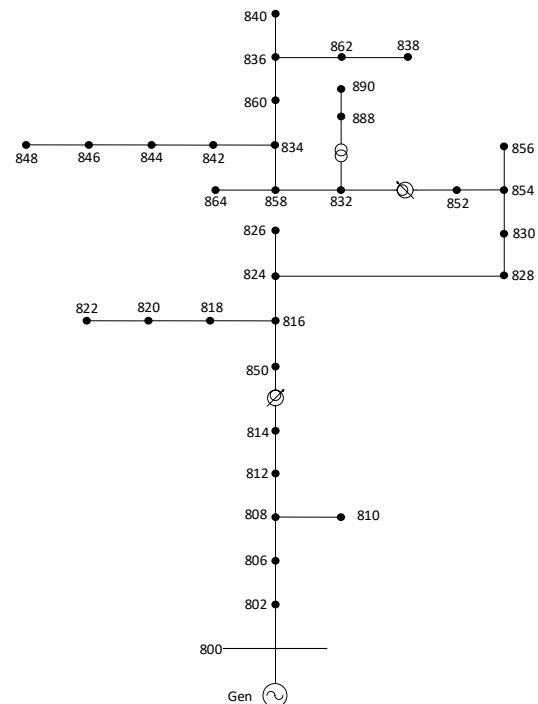


Figura 9. Sistema de 34 barras de la IEEE.

Tabla 1. Datos de tensión del sistema de la IEEE.

Barra	Tensión [kV]	Voltaje (p.u)	Factor de Potencia
800	24.9	1.050	0.986
802	24.9	1.048	0.986
806	24.9	1.047	0.988
808	24.9	1.029	0.987
812	24.9	1.008	0.987

814	24.9	0.991	0.987
850	24.9	0.998	0.987
816	24.9	0.997	0.987
824	24.9	0.989	0.992
828	24.9	0.988	0.993
830	24.9	0.972	0.994
854	24.9	0.972	0.994
852	24.9	0.944	0.993
832	24.9	0.950	0.993
858	24.9	0.948	0.996
834	24.9	0.945	0.994
842	24.9	0.945	0.861
844	24.9	0.945	0.386
846	24.9	0.945	0.251
848	24.9	0.945	0.789
860	24.9	0.945	0.881
836	24.9	0.944	0.871
862	24.9	0.944	0.899
840	24.9	0.944	0.710
888	4.16	0.913	0.888
890	4.16	0.831	0.895

**Tabla 2.** Datos de cargas del sistema.

Línea	Pc [kW]	Qc [kVAr]
802-806	56	28
816-824	5	2
824-828	4	2
828-830	7	3
832-858	15	7
858-834	32	17
834-860	146	73
860-836	82	43
836-840	40	20
840-844	9	5
844-846	45	23
846-848	23	11

### 3.1 Inclusión de cargas no lineales.

En el sistema de prueba se pretende realizar un análisis del fp y el perfil de voltaje en los nodos afectados del sistema, para ello se inyectará cargas no lineales para la compensación de las barras afectadas.

En cada uno de los escenarios tendrá una configuración diferente, que aporte potencia reactiva al sistema, mediante una señal de control que controle los pulsos generados para obtener un mejoramiento del factor de potencia y por consiguiente la mejora del perfil de voltaje en por unidad.

En la presente figura 10 detallaremos la inserción de las cargas no lineales al sistema.

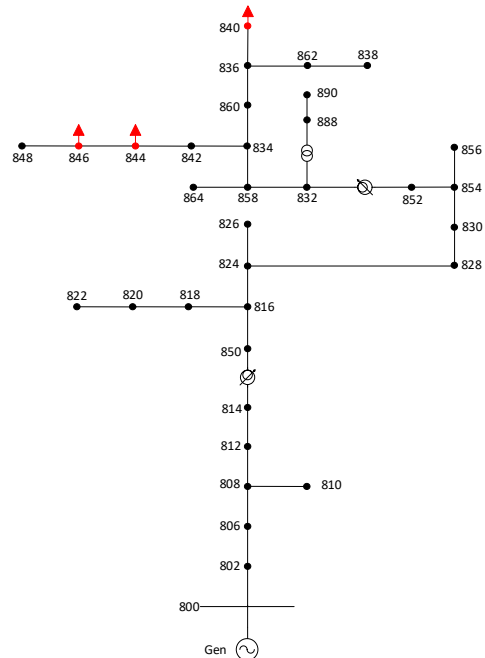


Figura 10. Inserción de cargas no lineales al sistema.

#### 3.1.1 Controlador adaptativo.

Para la realización del controlador adaptativo para filtro de potencia reactiva se toma en referencia la electrónica de potencia, para el diseño se coloca tiristores trifásico conectados al sistema y a una carga RLC controlada por una onda cuadrada.

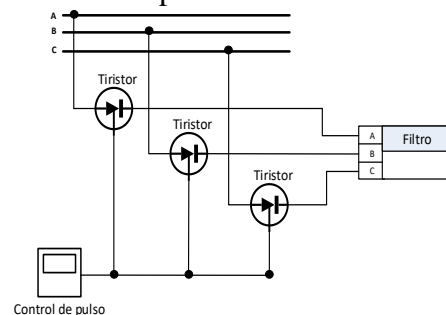


Figura 11. Esquema del filtro activo de potencia reactiva.

### 3.2 Casos de Estudio.

Para el desarrollo de los siguientes casos de estudio tienen como finalidad comprobar el funcionamiento del controlador adaptativo en varios puntos de la red.

El controlador adaptativo autoajutable es puesto en funcionamiento para los distintos casos de estudio, para ello la carga inyectada al sistema tiene un comportamiento aleatorio para la obtención de un mejor factor de potencia y perfiles de voltaje. Los casos seleccionados presentan el mejoramiento con la compensación dinámica trifásica para el fp y perfiles de voltaje en las barras 846, 844 y 840.

#### Caso 1: compensación dinámica trifásica en la barra 846

En este caso de estudio, se pretende mejorar el menor factor de potencia del sistema el cual se encuentra en la barra 846, para ello se pone en funcionamiento el control adaptativo para la barra con las diferentes cargas inyectadas al sistema.

#### Caso 2: compensación dinámica trifásica en la barra 840.

En este caso se pretende mejorar la barra 840, la misma que tiene la finalidad de poner en funcionamiento el control adaptativo en la presente barra para observar el mejoramiento del factor de potencia.

#### Caso 3: implementación simultánea en las siguientes barras: 846, 844 y 840.

Para el siguiente caso de estudio, se pone en funcionamiento los 3 controladores adaptativos en las distintas barras 846, 844 y 840, con sus respectivas cargas RLC, la cual tiene la capacidad de inyectar al sistema reactancia inductiva (QL), donde se mejora favorablemente el factor de potencia, en la siguiente tabla 3 se muestra los valores establecidos.

Tabla 3. Datos de las cargas RLC.

Barra	R [Ω]	L [MVar]	C [F]
846	0.01	20	0
844	0.01	250	0
840	0.01	200	0

Para la activación del filtro de potencia reactiva se realiza mediante un controlador de pulsos para cada barra del sistema, conllevando al mejoramiento del factor de potencia el cual no debe superar el 1% para el perfil de voltaje no debe superar el 1.05 por unidad.

#### Caso 4: perturbaciones externas en la barra 846.

Para el presente caso de estudio, se pone a prueba el filtro de potencia reactiva, frente a la inserción de cargas dinámicas en la barra 846 para analizar el comportamiento del fp frente a las cargas inducidas al sistema. Las cargas se conectarán en paralelo a un 25% respecto de la carga de la barra correspondiente, en la tabla 4 y 5 se observa los datos tanto de potencia activa como de potencia reactiva que serán insertadas en las distintas líneas de distribución.

Tabla 4. Incremento de cargas externas de potencia activa.

Barra	Incremento [%]	P [kW]		
		Fase a	Fase b	Fase c
846	100	0	8.33	6.67
	25	0	2.08	1.67

Tabla 5. Incremento de cargas externas de potencia reactiva.

Barra	Incremento [%]	Q [kVAr]		
		Fase a	Fase b	Fase c
846	100	0	4	3.67
	25	0	1	0.92

## 4 Análisis de resultados

Mediante la implementación del controlador adaptativo en las barras mas afectadas, se pretende mejorar el fp y el perfil de voltaje.

### 4.1 Resultados de la compensación dinámica trifásica en la barra 846.

Los resultados conseguidos mediante la implementación del controlador adaptativo – autoajutable (STR) para el mejoramiento del fp en la barra 846 se presentan en la siguiente tabla 6.

**Tabla 6.** Corrección del factor de potencia en la barra 846.

Barra	Factor de potencia del sistema	Factor de potencia mejorado
800	0.986	0.870
802	0.986	0.790
806	0.988	0.870
808	0.987	0.870
812	0.987	0.869
814	0.987	0.870
850	0.987	0.870
816	0.987	0.870
824	0.992	0.864
828	0.993	0.863
830	0.994	0.858
854	0.994	0.858
852	0.993	0.849
832	0.993	0.849
858	0.996	0.845
834	0.994	0.843
842	0.861	0.822
844	0.386	0.781
846	0.251	0.566
848	0.789	0.392
860	0.881	0.942
836	0.871	0.980
862	0.899	0.802
840	0.710	0.769
888	0.888	0.884
890	0.895	0.893

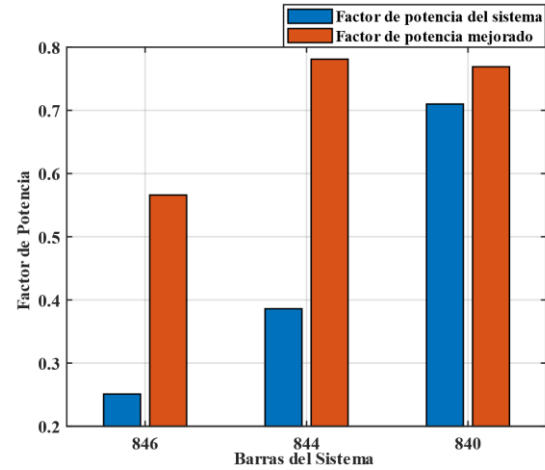


Figura 12. Corrección del fp en la barra 846.

Como se puede observar en la presente figura 12 el controlador adaptativo se pone en funcionamiento para la barra 846, el cual presenta un mejoramiento favorable en el factor de potencia.

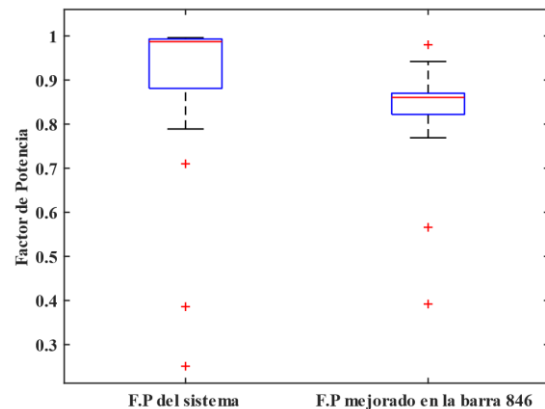


Figura 13. Análisis entre el factor de potencia del sistema y el factor de potencia mejorado de la barra 846.

La implementación del controlador adaptativo efectuó una mejoría para el factor de potencia en el sistema de distribución, llegando a obtener como máximo un factor de potencia del 0.98 y como mínimo un 0.39, respecto al factor de potencia del sistema.

Los resultados obtenidos para el perfil de voltaje se presentan a continuación en la tabla 7.

**Tabla 7.** Perfil de voltaje.

Barra	Voltaje del sistema (p.u)	Voltaje (p.u)
800	1.050	1.050
802	1.048	1.046

806	1.047	1.044
808	1.029	1.003
812	1.008	0.961
814	0.991	0.931
850	0.998	0.937
816	0.997	0.936
824	0.989	0.923
828	0.988	0.922
830	0.972	0.897
854	0.972	0.897
852	0.944	0.861
832	0.950	0.866
858	0.948	0.864
834	0.945	0.861
842	0.945	0.861
844	0.945	0.861
846	0.945	0.856
848	0.945	0.855
860	0.945	0.861
836	0.944	0.861
862	0.944	0.861
840	0.944	0.861
888	0.913	0.840
890	0.831	0.773

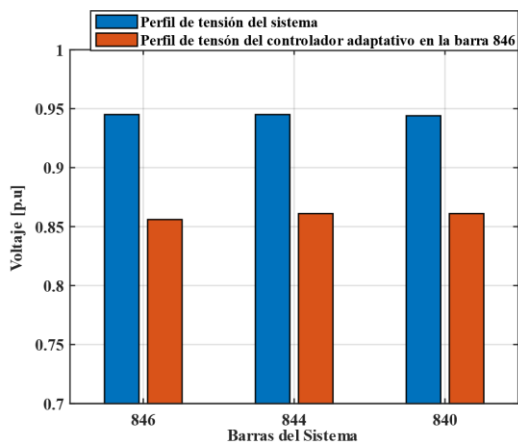


Figura 14. Perfil de voltaje del sistema de 34 barras.

Como se puede observar en la presente figura 14 el perfil de voltaje, una vez puesta controlador adaptativo en funcionamiento en la barra 846 vemos que la tensión tiende a reducir con respecto al perfil de voltaje del sistema esto se debe por la presencia de cargas no lineales en el sistema de distribución.

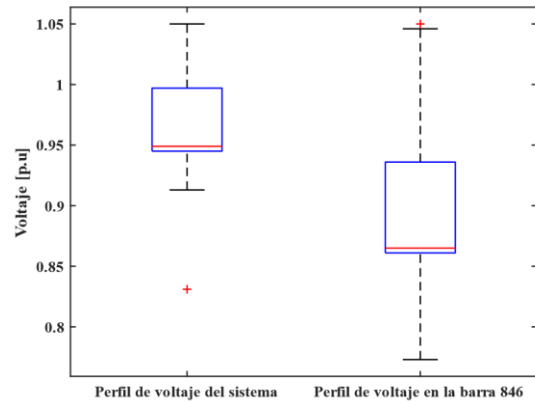


Figura 15. Análisis del perfil de voltaje del sistema con respecto al perfil de tensión inyectada carga no lineal.

El resultado obtenido dentro de los parámetros de voltaje en la barra 846 se debe por la presencia de cargas no lineales en el sistema de distribución donde se observa una pequeña disminución de tensión, para ello se obtiene como voltaje máximo 1.05 (p.u) y como voltaje mínimo 0.773 (p.u), respecto al perfil de tensión del sistema.

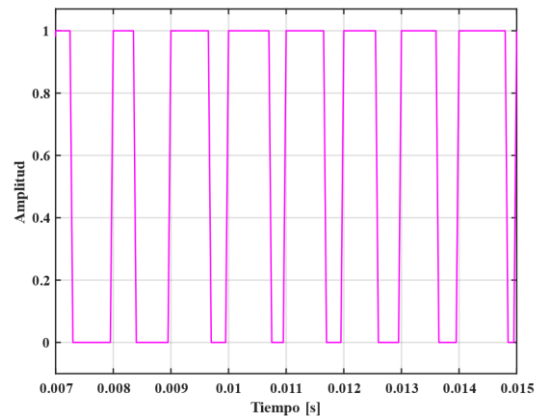


Figura 16. Ancho de pulso para la activación de los tiristores para la barra 846.

En la figura 16 el ancho de pulso da la apertura para la activación de los tiristores trifásicos conectados a la red, el comportamiento se da en un lapso de tiempo de 0.015(s), para lo cual se observa la presencia de cargas no lineales donde el control efectuado hace que el ancho de pulso fluctúe para el factor de potencia de esta manera la señal se adapte para el mejoramiento del factor de potencia.

## 4.2 Resultados de la compensación dinámica trifásica en la barra 840.

Los resultados conseguidos mediante la inserción de cargas dinámicas para la mejora del fp en la barra 840 se presenta en la siguiente tabla 8.

**Tabla 8.** Corrección del factor de potencia en la barra 840.

Barra	Factor de potencia del sistema	Factor de potencia mejorado
800	0.986	0.951
802	0.986	0.951
806	0.988	0.952
808	0.987	0.958
812	0.987	0.966
814	0.987	0.973
850	0.987	0.973
816	0.987	0.973
824	0.992	0.977
828	0.993	0.976
830	0.994	0.981
854	0.994	0.982
852	0.993	0.989
832	0.993	0.989
858	0.996	0.995
834	0.994	0.996
842	0.861	0.999
844	0.386	0.720
846	0.251	0.576
848	0.789	0.756
860	0.881	0.987
836	0.871	0.994
862	0.899	0.811
840	0.710	0.728
888	0.888	0.877
890	0.895	0.888

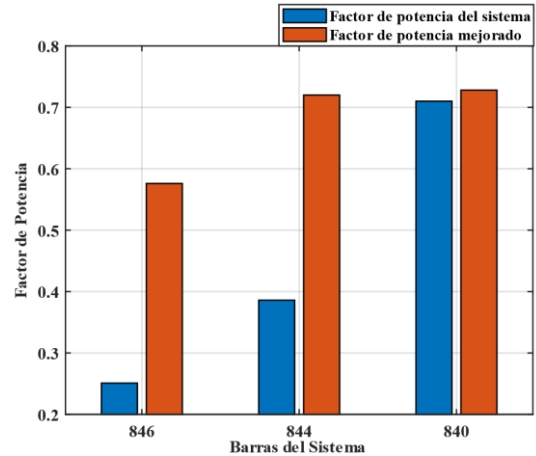


Figura 17. Corrección del fp en la barra 840.

Se puede observar en la figura 17 como el controlador adaptativo se pone en funcionamiento para la barra 840, de esta manera se observa una mejora del factor de potencia en las barras más críticas (846, 844 y 840) llegando a una compensación ideal mediante la inserción de cargas dinámicas en el sistema de distribución.

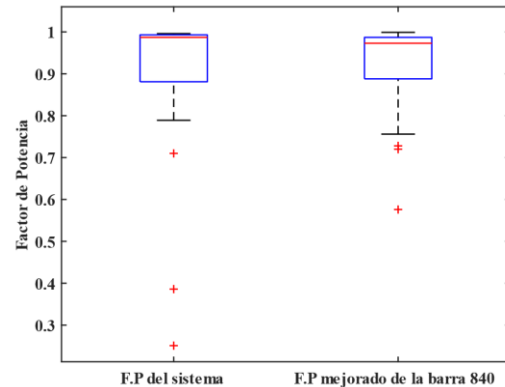


Figura 18. Análisis entre el factor de potencia del sistema y el factor de potencia mejorado de la barra 840.

La implementación del controlador adaptativo efectuó una mejoría para el fp en el sistema de distribución, llegando a obtener como máximo un factor de potencia del 0.999 y como mínimo un 0.576, respecto al factor de potencia del sistema.

Los resultados obtenidos para el perfil de voltaje de la barra 840 se presentan a continuación en la tabla 9.



**Tabla 9.** Perfil de tensión en la barra 840

Barra	Voltaje del sistema (p.u)	Voltaje (p.u)
800	1.050	1.050
802	1.048	1.045
806	1.047	1.041
808	1.029	0.978
812	1.008	0.905
814	0.991	0.849
850	0.998	0.854
816	0.997	0.853
824	0.989	0.821
828	0.988	0.819
830	0.972	0.757
854	0.972	0.755
852	0.944	0.649
832	0.950	0.653
858	0.948	0.638
834	0.945	0.621
842	0.945	0.620
844	0.945	0.617
846	0.945	0.609
848	0.945	0.608
860	0.945	0.620
836	0.944	0.620
862	0.944	0.620
840	0.944	0.620
888	0.913	0.764
890	0.831	0.882

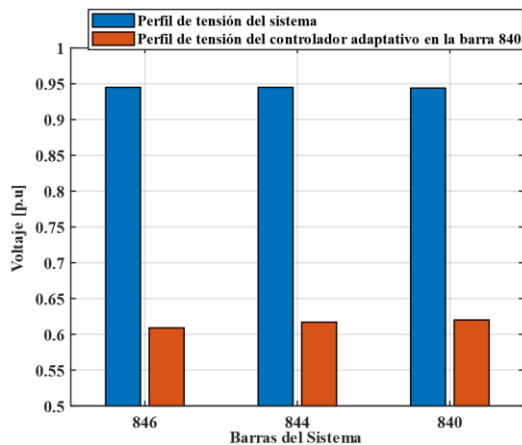


Figura 19. Perfil de voltaje en la barra 840.

Como se puede observar en la presente figura 19 el perfil de tensión, una vez puesta

en funcionamiento el controlador adaptativo en la barra 840 se observa como la tensión en por unidad tiende a disminuir, se debe por la presencia de cargas no lineales al sistema de distribución.

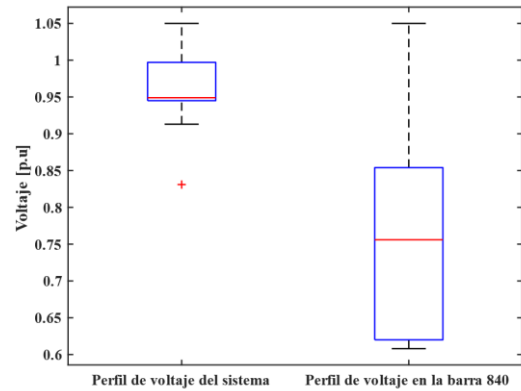


Figura 20. Análisis del perfil de voltaje del sistema con respecto al perfil de tensión de la barra 840 inyectada la carga no lineal.

El resultado obtenido dentro de los parámetros de voltaje por la presencia de cargas no lineales presenta como voltaje máximo 1.05 (p.u) y como voltaje mínimo 0.608 (p.u), respecto al perfil de tensión del sistema.

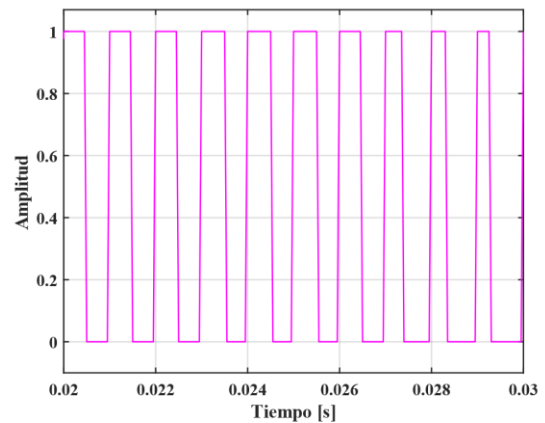


Figura 21. Ancho de pulso para la activación de los tiristores en la barra 840.

En la figura 21 el ancho de pulso da la apertura para la activación de los tiristores trifásicos conectados a la red, el comportamiento se da en un lapso de tiempo de 0.03(s), para ello se observa la presencia de cargas no lineales donde el control efectuado hace que el ancho de pulso fluctuó para el factor de potencia y de

esta manera la señal se adapte para el mejoramiento del factor de potencia.

### 4.3 Resultados de implementación simultánea en las siguientes barras: 846, 844 y 840.

Los resultados obtenidos mediante la inclusión simultánea del controlador adaptativo trifásico en cada una de las barras afectadas del sistema de distribución, presentan la mejoría del factor de potencia (fp) en las barras 846, 844 y 840, respecto al fp de la red, para cada una de las barras el mejoramiento se representa en las siguientes graficas.

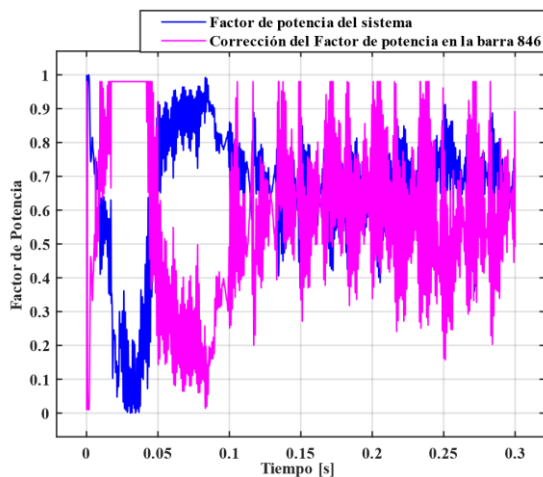


Figura 22. Análisis del factor de potencia del sistema con respecto al factor de potencia de la barra 846.

La presente figura 22 se aprecia el incremento del factor de potencia en la barra 846 en el sistema de distribución con respecto al fp del sistema, como se aprecia el fp se mejora en el tiempo de 0.11 [s] llegando a tener 0.656 [fp] respecto del sistema.

En los primeros instantes de tiempo se observa un desbalance se produce por el incremento de carga en el sistema.

El resultado del controlador adaptativo frente al incremento de carga no lineal es favorable al sistema teniendo un mejor fp en el instante de tiempo dado.

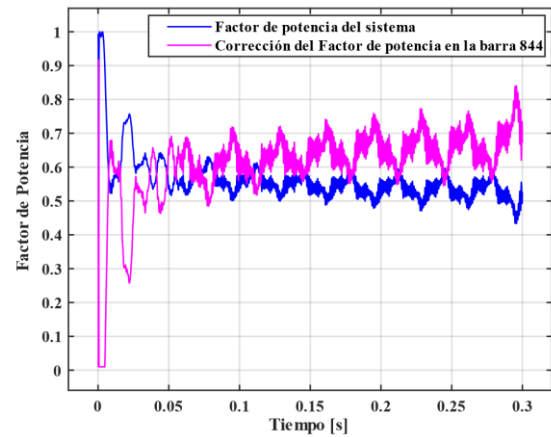


Figura 23. Análisis del factor de potencia del sistema con respecto al factor de potencia de la barra 844.

En la presente figura 23 se puede apreciar el incremento del factor de potencia en la barra 844 en la red de distribución con respecto al fp del sistema, como se aprecia el factor de potencia se mejora en el tiempo de 0.125 [s] llegando a tener 0.512 [fp] respecto al factor de potencia del sistema.

Respecto al anterior caso en esta barra se observa la estabilización inmediata del factor de potencia con poca presencia de perturbaciones a la red obteniendo una mejor señal.

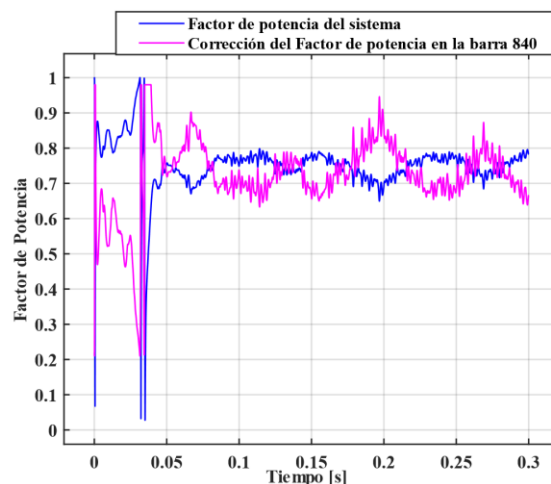


Figura 24. Análisis del factor de potencia del sistema con respecto al factor de potencia de la barra 840.

La presente figura 24 se aprecia el incremento del factor de potencia en la barra 840 en el sistema de distribución con respecto al fp del sistema, como se aprecia el fp se mejora en el tiempo de 0.1 [s]

llegando a tener 0.783 [fp] respecto del sistema.

Se aprecia en los primeros instantes de tiempo una perturbación por la presencia de la carga no lineal en la barra 840 llegando a tener un pequeño desbalance, mediante el control hace que la señal se mejore por el ancho de pulso, llegando a obtener un mejor fp.

En la siguiente tabla se observa los resultados del mejoramiento del factor de potencia en las barras 846, 844 y 840.

**Tabla 10.** Corrección del factor de potencia en las barras 846, 844 y 840.

Barra	Factor de potencia mejorado 846	Factor de potencia mejorado 844	Factor de potencia mejorado 840
800	0.856	0.867	0.965
802	0.856	0.876	0.966
806	0.855	0.876	0.967
808	0.855	0.184	0.972
812	0.854	0.891	0.978
814	0.854	0.203	0.984
850	0.854	0.901	0.984
816	0.854	0.901	0.984
824	0.849	0.901	0.987
828	0.849	0.901	0.987
830	0.843	0.900	0.991
854	0.843	0.900	0.991
852	0.832	0.900	0.996
832	0.832	0.900	0.996
858	0.840	0.903	0.999
834	0.839	0.903	1.00
842	0.836	0.904	1.00
844	0.727	0.512	0.643
846	0.656	0.980	0.495
848	0.427	0.938	0.643
860	0.864	0.916	0.907
836	0.915	0.957	0.898
862	0.967	0.993	0.917
840	0.708	0.797	0.783
888	0.778	0.903	0.905
890	0.774	0.929	0.917

#### 4.4 Resultados de perturbaciones externas en la barra 846.

El resultado obtenido mediante la inclusión de cargas externas del 25% en la barra 846 se puede ver que existe un desbalance en el sistema de distribución por la presencia de cargas dinámicas.

**Tabla 11.** Carga al 25% en la barra 846

Barra	Pc [kW]	Qc [kVAr]
846	3.75	1.92

En este caso debido a la presencia de cargas dinámicas en la barra 846 de distribución se observa que se tiene picos y desbalances que no tiene mucha durabilidad en el sistema, para aquello el controlador adaptativo – autoajustable (STR) logra la estabilización del factor de potencia luego de haber inyectado una carga al sistema.

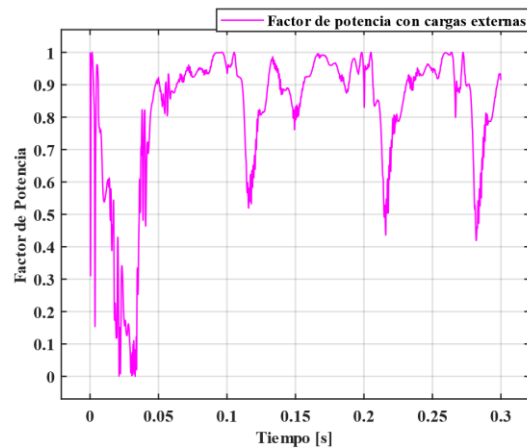


Figura 25. Factor de potencia con cargas externas.

## 5 Conclusiones

Los resultados conseguidos luego de la implementación del controlador adaptativo se concluyen lo siguiente:

Al evaluar el controlador adaptativo en el sistema de distribución, se verifica su funcionalidad con el regulador autoajustable (STR), donde se ajusta favorablemente al sistema llegando a obtener un mejoramiento del factor de

potencia y la estabilidad en los perfiles de voltaje.

La implementación del controlador adaptativo autoajustable (STR) en las barras afectadas, se presenta un mejoramiento considerable del fp llegando a obtener para las barras 846 un fp del 0.656, para la barra 844 un fp del 0.783 y para la barra 840 un fp del 0.512.

Mediante las gráficas 22, 23, y 24, se puede evaluar el incremento de las cargas dinámicas en las barras del sistema, no obstante, se debe considerar unos pequeños desbalances por la presencia de cargas no lineales, donde su estabilización es relativamente rápida y se da en el lapso de (0.05 – 0.1 segundos).

Para los casos de estudio propuesto nos indica como la inserción de potencia reactiva en las barras afectadas provoca el mejoramiento del factor de potencia en el sistema de distribución.

Los resultados obtenidos se aseguran que las barras con un índice menor al 0.4 de factor de potencia, se obtiene un mejoramiento en el fp y una estabilidad en los perfiles de voltaje, lo que conlleva a una mejora en la calidad de energía en los sistemas de distribución.

## 6 Referencias

- [1] J. Arizpe Islas, S. Neira Rosales, and A. López Escamilla, *Calidad de energía y sistemas eléctricos de potencia*, vol. 1, no. 1. 2013.
- [2] A. Á. G and J. J. Marulanda, “CONTROL DE CORRIENTE DEAD-BEAT PARA FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA,” *Sci. Tech.*, no. 0122–1701, p. 8, 2012, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84923910002>.
- [3] P. Romero and S. Felipe, “Implementación de un controlador adaptativo para filtros activos de potencia,” 2015.
- [4] J. C. Neves, S. A. O. da Silva, and R. D. Silveira, “Estudo Comparativo entre Estratégias de Controle Clássico PI e uma Proposta de Controle Adaptativo Aplicadas a um Sistema PV-UPQC Monofásico,” *2021 14th IEEE Int. Conf. Ind. Appl. INDUSCON 2021 - Proc.*, pp. 559–566, 2021, doi: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529475.
- [5] G. M. J. Gómez, “APLICACIÓN DEL CONTROL ADAPTATIVO A PROCESOS INDUSTRIALES TIPO SISO,” Universidad Pontificia Bolivariana, 2009.
- [6] H. B. F. James A. Silva, “Impact of Distributed Generation on the IEEE 34 Node Radial Test Feeder with Overcurrent Protection,” *IEEE Trans. Power Syst.*, p. 49, 2007, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/4298531\\_Impact\\_of\\_Distributed\\_Generation\\_on\\_the\\_IEEE\\_34\\_Node\\_Radial\\_Test\\_Feeder\\_with\\_Overcurrent\\_Protection](https://www.researchgate.net/publication/4298531_Impact_of_Distributed_Generation_on_the_IEEE_34_Node_Radial_Test_Feeder_with_Overcurrent_Protection).
- [7] J. M. López-Lezama, F. Villada, and N. Muñoz, “Metaheurísticas aplicadas a la ubicación y dimensionamiento óptimo de generación distribuida en sistemas de distribución de energía eléctrica,” *Inf. Tecnol.*, vol. 26, no. 4, p. 150, 2015, doi: 10.4067/S0718-07642015000400018.
- [8] J. D. Juárez Cervantes, *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*, Primera Ed., vol. 52, no. 1. México, 1995.
- [9] H. Salazar García, R. Hincapié Isaza, and R. Gallego Rendón, “Metodología para el planeamiento de sistemas de distribución considerando incertidumbre en la demanda,” *Sci. Tech.*, vol. 19, no. 1, p. 19, 2014, doi: 10.22517/23447214.8889.

- [10] S. De Distribución, *Planificación de un sistema de distribución eléctrico*. 2009, p. 34.
- [11] J. A. Yebra Morón, *Sistemas Eléctricos de Distribución*, Primera Ed. México, 2009.
- [12] S. R. Castaño, *Redes de Distribución de Energía*, Tercera Ed. Colombia, 2004.
- [13] Roberto Espinosa y Lara, *Sistemas de Distribución*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [14] R. T. Bhimarasetti and A. Kumar, "A new contribution to distribution load flow analysis for radial and mesh distribution systems," *Proc. - 2014 6th Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Networks, CICN 2014*, p. 1229, 2014, doi: 10.1109/CICN.2014.255.
- [15] A. Pansini, *Electrical Distribution Engineering*, Third Edit. United States of America: The Fairmont Press, 2007.
- [16] D. G. F. Martínez, "Corrección activa del factor de potencia en cargas no lineales," vol. 9, p. 42, 2004, doi: 10.14483/22487638.6184.
- [17] E. A. Oliveira, L. M. F. Morais, S. I. Seleme, P. F. Donoso-Garcia, P. C. Cortizo, and B. Cougo, "Power factor correction via passivity-based adaptive controller using buck converter operating in continuous mode," *11th IEEE Work. Control Model. Power Electron. COMPEL 2008*, no. 1, 2008, doi: 10.1109/COMPEL.2008.4634681.
- [18] MERNNR, *Plan Maestro de Electricidad 2019-2027*. 2019.
- [19] J. A. (Profesor E. de ingeniería E. de la universidad de A. Ediménister, *Circuitos eléctricos*, Tercera Ed. España, Madrid, 1999.
- [20] F. S. Llumiquinga Loya, "DISEÑO DE UN BANCO DE CONDENSADORES PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE LA EMPRESA BANCHISFOOD S.A.," 2012.
- [21] J. Egas and M. Fabricio, "Estudio y análisis de perturbaciones armónicas en la red de la empresa eléctrica Quito debido a la incorporación del sistema metro de Quito," Universidad Politécnica Nacional, 2017.
- [22] N. F. Proaño Perez and V. A. V. Zharate, "Estudio de efectos y métodos de minimización de distorsiones armónicas en equipos de distribución eléctrica, comercial e industrial," Universidad Politécnica Salesiana, 2010.
- [23] E. Téllez, "Distorsión Armónica," *Revista Programa de ahorro de energia*, 2012. <https://agnigroup.net/papers/DistorsionArmonica.pdf>.
- [24] D. F. G. Molano, "Corrección activa del factor de potencia en cargas no lineales," vol. 2, p. 3, 2015, [Online]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tekhne/article/view/8864>.
- [25] E. González, M. Salvador, M. Guerrero, J. Alejandro, C. Ramos, and L. Antonio, "Las cargas no Lineales, su Repercusión en las Instalaciones Eléctricas y sus Soluciones," *Concienc. Tecnológica*, no. 32, pp. 1–2, 2006, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/944/94403211.pdf>.
- [26] J. A. Suárez, G. F. Di Mauro, and D. A. C. Agüero, "Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales," vol. 3, no. 5, p. 429, 2005, [Online]. Available: <https://1library.co/document/nzw1kxvq-análisis-de-la-distorsión-armónica-y-los-efectos.html>.
- [27] B. Ruggero Ríos and M. Sánchez Quintana, "Incidencias de Cargas No Lineales en Transformadores de

- Distribución,” *Rev. Científica la UCSA*, vol. 1, no. 1, p. 35, 2014, [Online]. Available: <http://scielo.iics.una.py/pdf/ucsa/v1n1/v1n1a05.pdf>.
- [28] D. Murillo-Yarce, J. J. Marulanda-Durango, and A. Escobar-Mejía, “Estudio comparativo de técnicas PWM de banda de histéresis para el control de corriente en filtros activos de potencia paralelos,” *TecnoLógicas*, vol. 21, no. 43, p. 93, 2018, doi: 10.22430/22565337.1058.
- [29] J. C. C. Caballero, L. Cortez, G. Muñoz, “Filtro activo de potencia para compensar la distorsión armónica de un sistema fotovoltaico autónomo,” *Artic. Rev. Tecnol. e Innovación Diciembre*, vol. 3, no. 9, pp. 76–84, 2016, [Online]. Available: [www.ecorfan.org/bolivia](http://www.ecorfan.org/bolivia).
- [30] M. J. Francisco Rodríguez, *Control Adaptativo y Robusto*. España, Sevilla, 1996.
- [31] J. C. Godoy Ortega, “Control Adaptivo en Tiempo Real,” 2011.
- [32] C. H. Esparza and R. A. Núñez, “Controlador adaptativo PD por modelo de referencia para una mesa vibratoria biaxial basada en el mecanismo biela-manivela,” *Inf. Tecnol.*, vol. 25, no. 2, p. 193, 2014, doi: 10.4067/S0718-07642014000200021.
- [33] W. Mendoza, “Diseño e implementación de un controlador adaptativo autosintonizado para el control de un péndulo triple,” Universidad Nacional Del Altiplano - Puno, 2017.
- [34] J. G. C. Gallardo, R. Herrera, “Propuesta para el mejoramiento del factor de potencia en la Universidad Central ‘Marta Abreu’ de las Villas,” Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, 2017.
- [35] CONELEC, “Regulación 004/01-Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución.” p. 9, 2016, [Online]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Regulacion-No.-CONELEC-004-01.pdf>.
- [36] J. Méndez, “Corrección del factor de potencia,” vol. 1, 2004, pp. 10-11–12.

## 6.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 12. Matriz de estado del arte.

MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ADAPTATIVO PARA FILTROS DE POTENCIA REACTIVA																					
DATOS				TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA				
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Sistemas de distribución	Afectación del factor de potencia (fp) en sistemas de distribución	Control adaptativo	Control adaptativo autoajustable (STR)	Mejora del fp	Implementación del control adaptativo	Técnicas de implementación para la mejora del fp	Análisis del fp en sistemas de distribución	Incremento de la caída de tensión	Inclusión de cargas no lineales	Pérdidas por efecto Joule	Mejora del fp con la implementación de un control adaptativo	Equilibrio de cargas no lineales en sistemas de distribución	Estrategias de control	Solución a partir del control adaptativo	Incorporación de cargas no lineales	Análisis del fp	Mejorar la calidad de energía en los sistemas de distribución
1	2009	Calidad de energía y sistemas eléctricos de potencia	8	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
2	2014	Control de corriente DEAD-BEAT para filtros activos de potencia	7	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☒
3	2015	Implementación de un controlador adaptativo para filtros de potencia	11	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐
4	2021	Estudo Comparativo entre Estratégias de Controle Clássico PI e uma Proposta de Controle Adaptativo Aplicadas a um Sistema PV-UPQC Monofásico	23	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐
5	2009	Aplicación del control adaptativo a procesos industriales tipo SISO	7	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐
6	2007	Impact of Distributed Generation on the IEEE 34 Node Radial Test Feeder with Overcurrent Protection	23	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
7	2015	Metaheurística Aplicadas a la Ubicación y Dimensionamiento Óptimo de Generación Distribuida en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica	22	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
8	1995	Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica	12	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒
9	2014	Metodología para el planeamiento de sistemas de distribución considerando incertidumbre en la demanda	23	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
10	2009	Planificación de un sistema de distribución eléctrico	29	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
11	2009	Sistemas Eléctricos de Distribución	6	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐
12	2004	Redes de Distribución de Energía	25	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒
13	2013	Sistemas de Distribución	11	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒

**MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ADAPTATIVO PARA FILTROS DE POTENCIA REACTIVA**

ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA			
				Sistemas de distribución	Afectación del factor de potencia (fp) en sistemas de distribución	Control adaptativo	Control adaptativo autoajustable (STR)	Mejora del fp	Implementación del control adaptativo	Técnicas de implementación para la mejora del fp	Análisis del fp en sistemas de distribución	Incremento de la caída de tensión	Inclusión de cargas no lineales	Pérdidas por efecto Joule	Mejora del fp con la implementación de un control adaptativo	Equilibrio de cargas no lineales en sistemas de distribución	Estrategias de control	Solución a partir del control adaptativo	Incorporación de cargas no lineales	Análisis del fp
14	2014	A New Contribution to Distribution Load Flow Analysis for Radial and Mesh Distribution Systems	19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	2007	Electrical Distribution Engineering	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	2004	Corrección activa del factor de potencia en cargas no lineales	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	2008	Power factor correction via passivity-based adaptive controller using buck converter operating in continuous mode	14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	2019	Plan Maestro de Electricidad	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	1999	Circuitos Eléctricos	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	2012	Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la Empresa Banchisfood S. A	28	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	2017	Estudio y análisis de perturbaciones armónicas en la red de la empresa eléctrica Quito debido a la incorporación del sistema metro de Quito	23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	2010	Estudio de efectos y métodos de minimización de distorsiones armónicas en equipos de distribución eléctrica, comercial e industrial	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	2012	Distorsión Armónica	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	2015	Corrección activa del factor de potencia en cargas no lineales	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	2006	Las cargas no Lineales, su Repercusión en las Instalaciones Eléctricas y sus Soluciones	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	2005	Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales	10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	2014	Incidencias de Cargas No Lineales en Transformadores de Distribución	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	2018	Estudio comparativo de técnicas PWM de banda de histéresis para el control de corriente en filtros activos de potencia paralelos	24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	2016	Filtro activo de potencia para compensar la distorsión armónica de un sistema fotovoltaico autónomo	9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



**MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL ADAPTATIVO PARA FILTROS DE POTENCIA REACTIVA**

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Sistemas de distribución	Afectación del factor de potencia (fp) en sistemas de distribución	Control adaptativo	Control adaptativo autoajustable (STR)	Mejora del fp	Implementación del control adaptativo	Técnicas de implementación para la mejora del fp	Análisis del fp en sistemas de distribución	Incremento de la caída de tensión	Inclusión de cargas no lineales	Pérdidas por efecto Joule	Mejora del fp con la implementación de un control adaptativo	Equilibrio de cargas no lineales en sistemas de distribución	Estrategias de control	Solución a partir del control adaptativo	Incorporación de cargas no lineales	Análisis del fp	Mejorar la calidad de energía en los sistemas de distribución
30	1996	Control Adaptativo y Robusto	191	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	2011	Control Adaptivo en Tiempo Real		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	2014	Control adaptativo por modelo de referencia con predictor Smith a partir de la regla MIT para una mesa vibratoria de dos grados de libertad	14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	2017	Diseño e implementación de un controlador adaptativo autosintonizado para el control de un péndulo triple	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	2017	Propuesta para el mejoramiento del factor de potencia en la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
35	2016	Regulación 004/01-Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
36	2004	Corrección del factor de potencia	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>CANTIDAD:</b>				15	2	8	6	13	7	8	6	13	17	6	2	7	23	7	3	11	14

## 6.2 Resumen de Indicadores

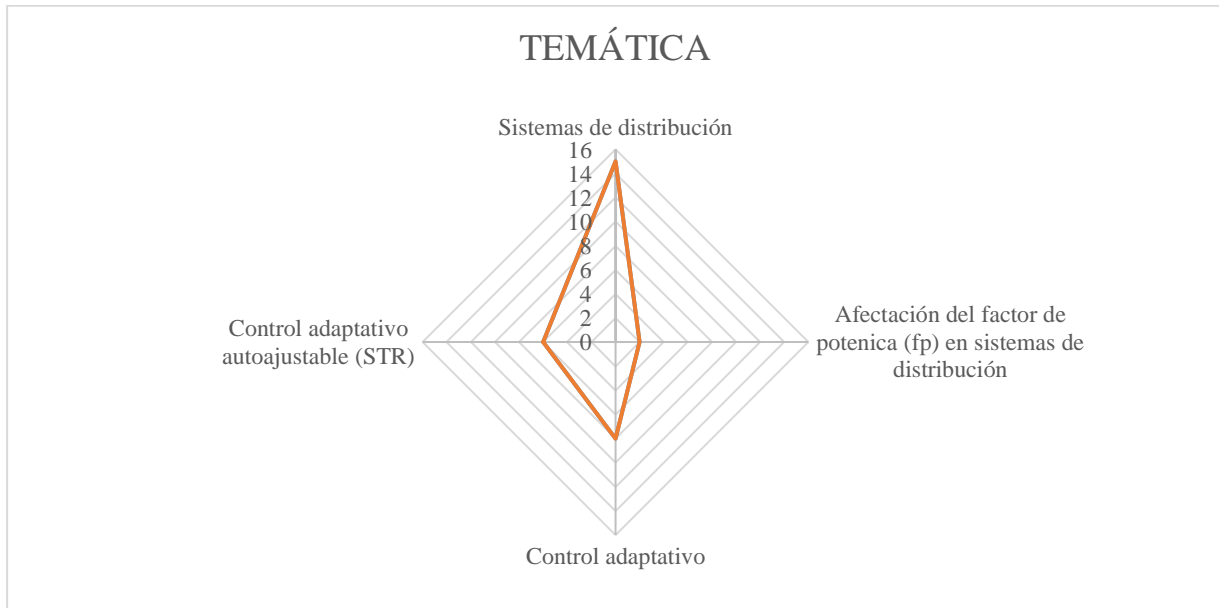


Figura 26. Resumen e indicadores de la temática – Estado de arte

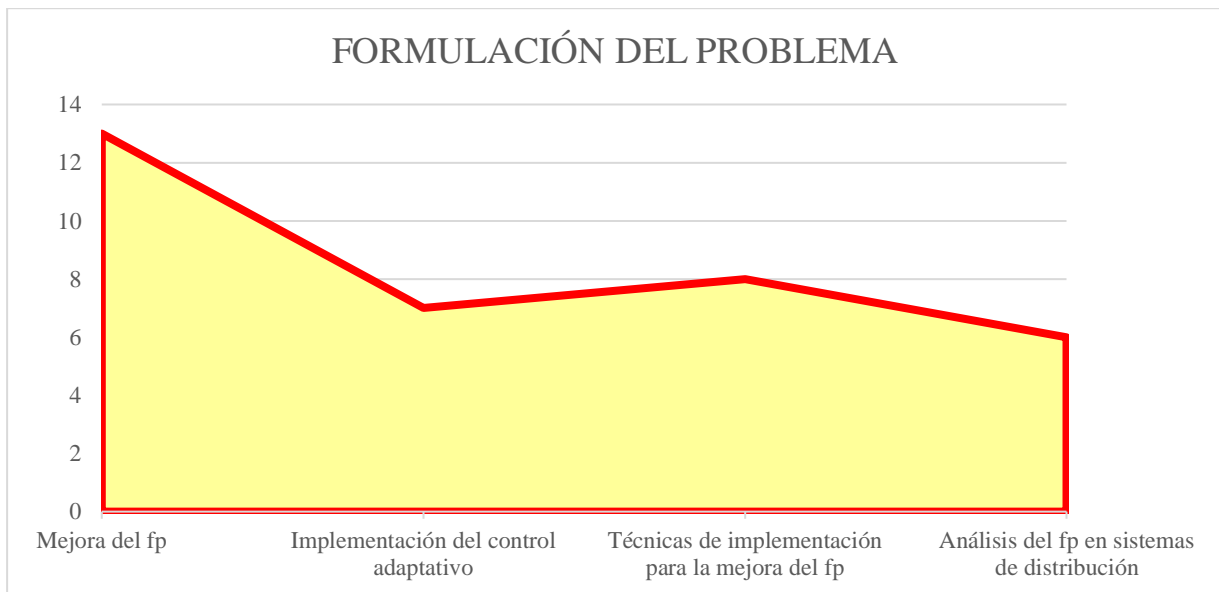


Figura 27. Indicador de formulación de problema – Estado de arte

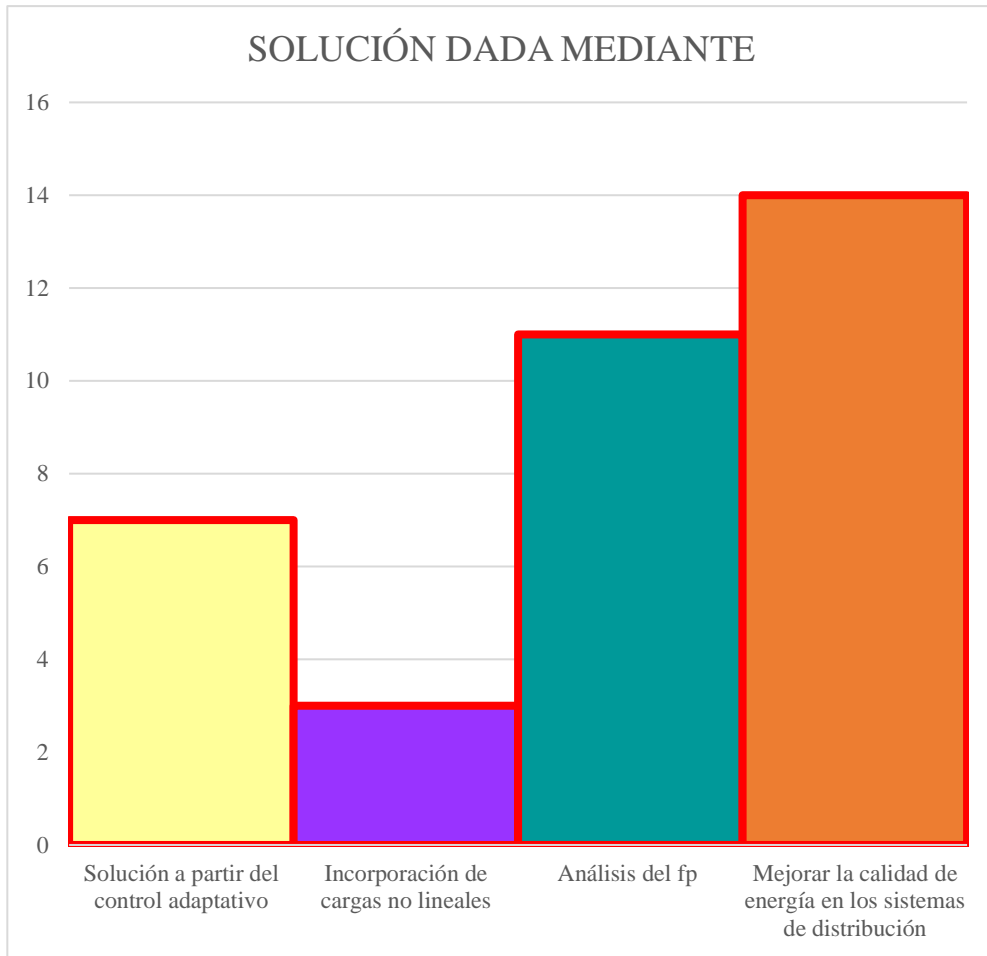


Figura 28. Indicador de solución – Estado de arte