

**PÉRDIDAS DE POTENCIA ELÉCTRICA DEBIDO A LA PRESENCIA DE
ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE CONVERSIÓN AC/DC TRIFÁSICO DE 6
PULSOS EN LA INDUSTRIA APLICANDO EL ESTIMADOR DE
FRECUENCIA DE BUNEMAN**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
PÉRDIDAS DE POTENCIA ELÉCTRICA DEBIDO A LA PRESENCIA DE
ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE CONVERSIÓN AC/DC TRIFÁSICO DE 6
PULSOS EN LA INDUSTRIA APLICANDO EL ESTIMADOR DE
FRECUENCIA DE BUNEMAN**

**AUTOR:
MARIBEL ALEJANDRA MANOSALVAS TORRES**

**TUTOR:
CRISTIAN CRISTÓBAL CUJI CUJI**

Quito, septiembre 2020

Maribel Alejandra Manosalvas Torres

PÉRDIDAS DE POTENCIA ELÉCTRICA DEBIDO A LA PRESENCIA DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE CONVERSIÓN AC/DC TRIFÁSICO DE 6 PULSOS EN LA INDUSTRIA APLICANDO EL ESTIMADOR DE FRECUENCIA DE BUNEMAN

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2020
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Maribel Alejandra Manosalvas Torres (1994-07). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio “Nacional Mixto Pomasqui” de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en las pérdidas de potencia eléctrica debido a la presencia de armónicos en sistemas de conversión AC/DC trifásico de 6 pulsos en la industria aplicando el estimador de frecuencia de Buneman.
mmanosalvast@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Cristian Cristóbal Cuji Cuji (1986-03). Se graduó de Ingeniero Electrónico de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, en 2014. Máster en Energía, Facultad de Ciencias Físicas en la Universidad Complutense de Madrid –España en 2015. Actualmente es profesor e investigador en la Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.
ccuji@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

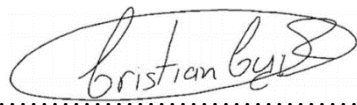
Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser 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
©2020 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Cristian Cristóbal Cuji Cuji declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*PÉRDIDAS DE POTENCIA ELÉCTRICA DEBIDO A LA PRESENCIA DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE CONVERSIÓN AC/DC TRIFÁSICO DE 6 PULSOS EN LA INDUSTRIA APLICANDO EL ESTIMADOR DE FRECUENCIA DE BUNEMAN*” realizado por Maribel Alejandra Manosalvas Torres, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito D.M., septiembre. de 2020

A handwritten signature in black ink, enclosed in a hand-drawn oval. The signature reads "Cristian Cuji" with a stylized flourish at the end. Below the signature is a horizontal dotted line.

Cristian Cristóbal Cuji

C.C.: 171800222-1

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Maribel Alejandra Manosalvas Torres, con documento de identificación N° 1716487051, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de grado/titulación intitulado: *“PÉRDIDAS DE POTENCIA ELÉCTRICA DEBIDO A LA PRESENCIA DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE CONVERSIÓN AC/DC EN LA INDUSTRIA APLICANDO EL ESTIMADOR DE FRECUENCIA DE BUNEMAN”*, mismo que 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 aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, D.M., septiembre, de 2020



Maribel Alejandra Manosalvas Torres

C.C.: 1716487051

Fecha: 18 de septiembre, 2020

ÍNDICE GENERAL

Resumen	1
1. Introducción	2
2. Marco teórico	3
2.1 Sistemas trifásicos Industriales	3
2.1.1 Pérdidas de potencia eléctrica en sistemas trifásicos industriales.....	4
2.1.2 Clasificación de pérdidas de potencia eléctrica.	4
2.1.3 Sistemas trifásicos de conversión Industriales:.....	4
2.1.4 Sistema de conversión AC/DC trifásico de 6 pulsos.	5
2.2 Principales fuentes y efectos de los armónicos en el sistema eléctrico.....	7
2.3 Control de potencia y frecuencia en el sistema eléctrico.	9
2.4 Estimador de frecuencia de Bunaman.	10
3. Problema.	11
4. Resultados	11
4.1 Caso de estudio	11
4.1.1 Diagrama	12
4.1.2 Pseudocódigo	13
4.1.3 Gráficas	13
4.1.4 Análisis de Corriente.....	14
4.1.5 Análisis de Armónicos	14
4.1.6 Análisis de Frecuencia	15
4.2 Fundamentos del control de frecuencia y potencia.	16
4.3 Estimador de frecuencia.....	16
4.4 Análisis de las pérdidas de potencia estimadas del sistema.....	17
5. Conclusiones	17
6. Trabajos futuros	17
7. Referencias	18
8. Matriz de Estado del Arte	21
8.1 Resumen de Indicadores	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de conversión AC/DC trifásico en la Industria.	3
Figura 2. Estructura del sistema de conversión AC/DC [21].	5
Figura 3. Convertidor AC/DC trifásico tipo puente.	5
Figura 4. Circuito de conversión AC/DC trifásico.	11
Figura 5. Control de Frecuencia y Potencia.	12
Figura 6. Sistema de conversión de 6 pulsos.	12
Figura 7. Control de pulsos.	12
Figura 8. Control de voltaje.	13
Figura 9. Corriente de entrada del rectificador trifásico.	14
Figura 10. Voltaje de entrada del rectificador trifásico.	14
Figura 11. Afectación de la corriente en el tiempo.	14
Figura 12. Corriente con inductancia y filtro en la carga.	14
Figura 13. Armónicos de corriente en la red.	14
Figura 14. Armónicos de voltaje en la red del sistema.	15
Figura 15. Armónicos en la corriente.	15
Figura 16. Resumen de los armónicos de corriente.	15
Figura 17. Control de frecuencia.	15
Figura 18. Error del Estimador de frecuencia.	16
Figura 19. Estimador de frecuencia en las 3 fases.	16
Figura 20. Estimador de frecuencia en 1 fase.	17
Figura 21. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.	24
Figura 22. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.	25
Figura 23. Indicador de solución - Estado del arte.	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pseudocódigo análisis del sistema de conversión AC/DC.....	13
Tabla 2. Matriz de estado del arte.	21

PÉRDIDAS DE POTENCIA ELÉCTRICA DEBIDO A LA PRESENCIA DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS DE CONVERSIÓN AC/DC TRIFÁSICO DE 6 PULSOS EN LA INDUSTRIA APLICANDO EL ESTIMADOR DE FRECUENCIA DE BUNEMAN.

Resumen

El presente artículo inicia con el análisis de los sistemas trifásicos de potencia, en base a un modelo de conversión AC/DC de 6 pulsos, en el cual se evalúan los problemas que se producen por la presencia de distorsiones armónicas en la red eléctrica, para esto se utiliza el estimador de frecuencia de Buneman, como herramienta de análisis y su aplicación a nivel industrial, a través de simulaciones desarrolladas en el software Labview, acoplado con StarSim que es una librería de Matlab, para generar un sistema de adquisición de datos, que permite convertir y controlar la energía eléctrica de acuerdo a necesidades adquiridas, este trabajo adquiere importancia ya que al utilizar cualquier tipo de tecnología, se produce contaminación energética por presencia de armónicos en corriente y voltaje que afectan notoriamente la calidad de producción de potencia eléctrica en la industria. Los resultados obtenidos son la estimación de pérdidas de potencia dentro del sistema de conversión AC/DC trifásico de 6 pulsos, a través del estimador de frecuencia de Buneman, los tipos de ondas que se generan dentro de todo el sistema tanto en corriente como en voltaje y las consecuencias que producen a nivel industrial.

Palabras Clave: Convertidores de potencia AC-DC, armónicos de potencia, inversores de pulso, control de fase, energía eléctrica trifásica.

Abstract

This paper begins with the analysis of three-phase power systems based on a 6-pulse AC/DC conversion model, in which the problems produced by the presence of harmonic distortions in the electrical network are evaluated in order to This uses the Buneman frequency estimator as an analysis tool and its application at an industrial level, through simulations developed in the Labview software coupled with StarSim, which is a Matlab library to generate a data acquisition system, that allows to convert and control electrical energy according to acquired needs this work acquires importance since when using any type of technology energy pollution occurs due to the presence of harmonics in current and voltage that significantly affect the quality of electrical power production in the industry. The results obtained are the estimation of power losses within the 6-pulse three-phase AC/DC conversion system through the Buneman frequency estimator the types of waves that are generated within the entire system in both current and voltage and the consequences they produce at an industrial level.

Key Words: AC-DC Power converters, power conversion harmonics, pulse inverters, phase control, three-phase electric power.

1. Introducción

Hoy en día la electrónica de potencia se considera como un avance a nivel tecnológico, con la implementación de sistemas electrónicos como las fuentes de alimentación, variadores de velocidad de motores, reactancias de arranque, fuentes de alimentación, convertidores de potencia [1], se generan sistemas para implementar la industria, tener un desarrollo energético productivo y viviendas creadas con sistemas inteligentes, su utilidad es innegable, ayudando a que cualquier actividad basada en tecnología ahorre tiempo y en ocasiones dinero [2].

Sin embargo, las adaptaciones que se han implementado a nivel energético y a medida que la industria se va modernizando han provocado un mal funcionamiento en la distribución y consumo de electricidad, en ingeniería eléctrica uno de los grandes problemas que necesitan de un análisis profundo son las pérdidas de potencia eléctrica producidas por cualquier alteración energética [3]. Varios estudios han permitido conocer las circunstancias por las que se generan malformaciones en la corriente eléctrica que llega a nuestros hogares e industrias y provocan daños en los equipos electrónicos que consumen este tipo de energía [4], esta forma de mal uso energético provoca la malformación de la señal en la corriente eléctrica, hace que la calidad de energía sea baja y se vea notoriamente contaminada, se espera obtener un circuito ideal [5], el mismo que aproveche toda la energía que produce la fuente, algo que genere un circuito sin pérdidas de potencia, pero en la práctica esto no es posible ya que parte de la energía se pierde en los mismos conductores de la fuente, dando origen a cargas no lineales las mismas que son asociadas a la presencia de distorsiones

armónicas en las redes de suministro eléctrico, con el aumento de estas cargas aumenta la contaminación energética, es decir que la calidad de energía se ve afectada y representa una amenaza para sistemas de energía [6].

El contenido de armónicos dentro de un sistema tiene un impacto negativo tanto en el rendimiento como en la vida de cualquier equipo eléctrico, para lograr una forma de onda casi perfecta se debe desarrollar un monitoreo amplio de comportamiento del sistema y de esta manera poder identificar claramente algún evento perjudicial para el mismo [7]. Dentro de las cargas no lineales debe considerarse cuidadosamente el nivel de pérdida de potencia en la distribución ya que en la actualidad existe la presencia de armónicos tanto en voltaje como en corriente [8].

Al tener una idea clara de las causas y efectos mediante conceptos y problemas, de forma independiente se puede establecer una idea de solución y reducir los armónicos dentro de la red eléctrica, los armónicos son considerados como perturbaciones que producen pérdidas de potencia eléctrica y causan falencias en la industria energética, esto trae un problema tanto en generación como en consumo eléctrico [9].

El presente trabajo hace un análisis enfático a todas las distorsiones armónicas que se producen en los sistemas de conversión AC/DC trifásico de 6 pulsos en la Industria, como se aprecia en la Figura 1, donde se produce una señal trifásica en AC en la entrada del convertidor de 6 pulsos el cual mediante un circuito de disparo realiza una conversión que permite obtener en la salida una señal en DC, la misma que es estimada a través del estimador de frecuencia de Bunaman el cual permite evaluar las pérdidas que se producen en la potencia eléctrica y el comportamiento de la frecuencia a nivel industrial, se toma en cuenta el control de

frecuencia y potencia para evaluar estas pérdidas y el rendimiento de todo el sistema, los resultados obtenidos muestran claramente la distorsión armónica que se genera dentro de un

sistema de conversión AC/DC trifásico de 6 pulsos a nivel de generación e industrial.

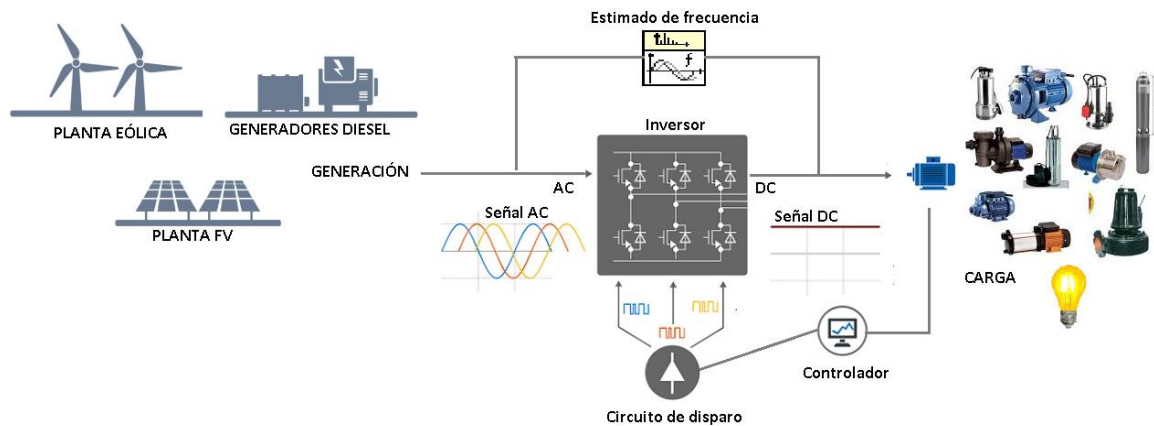


Figura 1. Sistema de conversión AC/DC trifásico en la Industria.

2. Marco teórico

2.1 Sistemas trifásicos Industriales

Dentro de los sistemas completos de energía eléctrica a nivel industrial los más utilizados son los trifásicos, estos sistemas pueden utilizar conductores de menor sección para transportar un mismo voltaje a los mismos kVA lo que implica una notoria reducción en los costos de inversión, las líneas de estos sistemas son más ligeras por lo que tienen facilidad de instalación y sus estructuras de soporte son más livianas, la mayoría de los grandes motores utilizados en la industria son trifásicos ya que estos son de autoarranque y no requieren de un diseño especial o de un circuito adicional para su funcionamiento [10].

La tensión eléctrica trifásica es producida por tres generadores interconectados entre si denominados fases R, S y T con un punto en común que es el neutro, estos sistemas están compuestos por fuentes de tensión

monofásica que trabajan a la misma frecuencia con un desfase de 120° entre sí, que logran hacer que estos sistemas sean más eficientes al transportar energía, la potencia de estos sistemas es constante, dentro de un sistema ideal no importa la impedancia de todos modos la diferencia de tensión no es diferente en los puntos del neutro [11].

En los sistemas de energía trifásicos mantener un balance de energía cercano entre producción y consumo es crucial para preservar una operación confiable ya que debe existir un equilibrio constante de energía eléctrica, sin embargo los desequilibrios mecánicos están presentes dentro de los sistemas creando desviaciones de frecuencia donde la extracción de energía cinética de los sistemas de potencia es inestable y hacen que el sistema de potencia sea vulnerable a grandes disturbios, por lo que conlleva a un análisis de las pérdidas de potencia que se producen a causa de estos problemas [12].

2.1.1 Pérdidas de potencia eléctrica en sistemas trifásicos industriales.

La estructura del sistema eléctrico se establece por una serie de elementos que actúan y se organizan en relación, cuando existe un problema en uno de ellos la afectación se da para todo el sistema, independientemente del tipo de energía que se genere, en el cual se crea un proceso de conversión o transformación que cuando no es ideal produce pérdidas de potencia que hacen que los sistemas eléctricos sean obsoletos, no estandarizados y sin control alguno, la falta de compromisos corporativos, la falta de inversión, el desorden administrativo, la falta de cultura, el robo de los usuarios energéticos han producido un problema de desestabilidad en los niveles de energía eléctrica [13].

2.1.2 Clasificación de pérdidas de potencia eléctrica.

Pérdidas no técnicas:

Este tipo de pérdidas se refiere a que no toda la energía que se produce se vende, es decir que una parte de la energía se pierde en algún momento de la generación, los aparatos de medición no contabilizan esta energía como entregada al usuario y por tanto esta no puede ser cobrada, este tipo de pérdida no se encuentra dentro de las pérdidas reales de energía [12][14].

Pérdidas técnicas:

Este tipo de pérdidas se refiere a la energía que se pierde en los diferentes equipos, redes y elementos que sirven para transformar la electricidad [14].

De alguna forma se trata de simplificar las pérdidas de potencia eléctrica en un sistema trifásico, para lo que se emplean los sistemas de conversión, los cuales cambian la forma particular de las ondas tanto en la tensión como en la corriente de entrada, para

optimizar su salida y darle usos específicos [15].

2.1.3 Sistemas trifásicos de conversión Industriales:

En general los circuitos eléctricos son alimentados por tensión continua (DC), sin embargo los equipos funcionan con el implemento de la red en baja tensión en corriente alterna (AC), dentro de estos sistemas se necesita de una conversión óptima con ciertas características particulares que aportan al adecuado funcionamiento de todo el sistema [16].

Características de la corriente:

DC

- a) Magnitud constante
- b) Magnitud variable

AC

- c) Frecuencia constante, magnitud variable.
- d) Frecuencia y magnitud variables.
- e) Las señales en la entrada pueden ser a diferente tensión, sin importar si son monofásicas o trifásicas.

En este caso se analiza el sistema de conversión AC/DC, el cual transforma tensión trifásica alterna en tensión continua de magnitud ajustable.

En la actualidad existen varios convertidores de potencia trifásicos de AC/DC, configurados como redes que se han implementado recientemente con el propósito de aplicaciones industriales, sistemas de distribución y transmisión en varios niveles de voltaje, Si se toma en cuenta algún modelo físico de este tipo se pueden lograr diferentes investigaciones ya que los tipos de modelos son muy versátiles, ambos extremos del convertidor en su configuración pueden funcionar como rectificador o inversor controlado, con un ángulo de disparo desde $0^\circ < 90^\circ$ a 90° o $< 180^\circ$ respectivamente, el inversor que actúa como carga puede ser constante o de carácter variable [17].

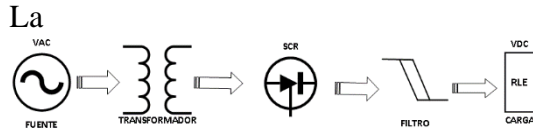


Figura 2 muestra el diagrama estructural del sistema de conversión AC/DC.



Figura 2. Estructura del sistema de conversión AC/DC [21].

Al trabajar con estos sistemas de conversión se tiene por objetivo obtener una variación de voltaje a la salida del convertidor, para lograr esto se realiza una configuración de todo el sistema [18].

Al utilizar los sistemas de conversión AC/DC se logra variar el voltaje y controlar el ángulo de disparo en su salida, para de esta manera lograr un control en sus fases, este proceso que se realiza mediante un tiristor polarizado adecuadamente que se activa cuando se produce un pulso corto en la entrada de la corriente y se desactiva con el conmutado de la línea [7] [19].

El ángulo de conmutación en un convertidor trifásico AC/DC de 6 pulsos está vinculado con el tiempo en el que la corriente continua debe cambiar o conmutar de un tiristor a otro, este ángulo eléctrico corresponde a un tiempo de conmutación conocido como ángulo de superposición o ángulo de conmutación, este periodo es una función del sistema de inductancia AC, los convertidores controlados que actúan como inversores tienen una diferencia entre 180° y su ángulo tiene un disparo siempre mayor que 90° [20].

2.1.4 Sistema de conversión AC/DC trifásico de 6 pulsos.

Los convertidores trifásicos AC/DC de seis pulsos modifican la corriente de

entrada alterna en corriente de salida continua, la cual se conecta automáticamente con la frecuencia que maneja en ese instante la red eléctrica.

Este tipo de convertidores manejan un voltaje de entrada con una onda a la misma frecuencia y amplitud de la generación eléctrica, su salida se efectúa a través de la conversión de corrientes mediante un convertidor que tiene un control para cada fase [21].

El diagrama estructural del convertidor AC/DC trifásico de 6 pulsos está establecido con tres etapas, donde cada una contiene un par de tiristores o conductores eléctricos [22], como se observa en la Figura 3.

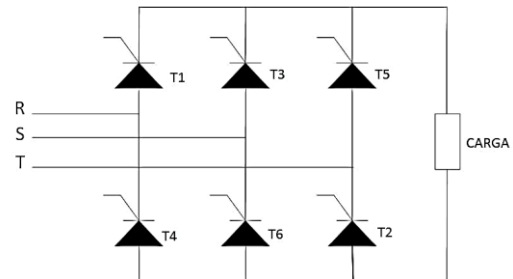


Figura 3. Convertidor AC/DC trifásico tipo puente.

Los tiristores han sido utilizados en diversas aplicaciones como, convertidores de potencia de sistemas de transmisión de corriente continua de alto voltaje (hvdc) y controladores de motores en velocidad, estos solo pueden ser encendidos si están en bloqueo directo o al aplicar una entrada de corriente positiva, se puede apagar con la corriente aplicada en forma inversa o si el sistema esta conmutado de forma natural. En el esquema estructural del convertidor los tiristores T1 y T4 controlan la fase R, T3 y T6 la fase S, T5 y T2 la fase T, el voltaje continuo dentro del circuito se forma de la unión de los cátodos en su parte positiva y de la unión de los ánodos en su parte negativa, si el

voltaje es detectado de igual forma en sus fases se establece un cruce por cero [23].

Para el disparo de los pulsos se toma en cuenta varias leyes propias de la potencia eléctrica como:

1.- Si basamos nuestro sistema en la ley de Kirchhoff se indica que las tensiones se conducen una a la vez, es decir que cuando los tiristores T1, T3 o T6 están en conducción, se establece que se toma la tensión con mayor valor.

2.- Del mismo modo cuando los tiristores T2, T4 o T6 están en conducción, se establece que se toma la tensión con menor valor.

3.- De la misma forma los tiristores T1 y T4 no pueden trabajar al mismo tiempo, al igual que los tiristores T2 y T5, T3 y T6.

4.- La tensión de salida que maneja la carga es la misma que considera la línea, esto quiere decir que cuando los tiristores T1 y T6 actúan la tensión de salida se determina como se aprecia en la ecuación 1.

$$(V_R - V_S) = V_{RS} \quad (1)$$

Donde:

$V_R =$ Voltaje en la fase R

$V_S =$ Voltaje en la fase S

$V_{RS} =$ Tensión de salida

Si el valor de la tensión es mayor en la línea de V_{RS} los tiristores en conducción son T1 y T6.

5.- El circuito que representa los 6 pulsos genera 6 transiciones dentro de cada parte del voltaje de generación, en la cual su composición está formada por 6 combinaciones, sus fases se combinan de par en par, cada periodo de generación se establece en 360° por lo que el voltaje de valor mayor en la línea debe estar en un periodo de 60° [24].

Se debe tomar en cuenta el tipo de ángulo de disparo que se quiere variar, ya que depende mucho del tipo de carga que

se utiliza dentro del periodo de generación.[25].

Para obtener una carga continua se toma en cuenta el análisis de la onda de todo el sistema, en este circuito la corriente de cada tiristor se conduce en un periodo de 120° sin importar el ángulo de disparo del convertidor [26], se establece el voltaje medio da la forma de onda periódica como se aprecia en la ecuación 2.

$$V_{DC} = \frac{1}{T} \int_0^T f(\omega t) \partial \omega t \quad (2)$$

Donde:

$V_{DC} =$ Voltaje en el componente DC

$T =$ Periodo

$f(\omega t) =$ Frecuencia en dominio del tiempo

Se requiere del reemplazo del voltaje máximo por el voltaje de fase como se aprecia en la ecuación 3, todo al tomar en cuenta el ángulo de disparo α [19].

$$V_{d\alpha} = 3\sqrt{2} \frac{\sqrt{3}V_{max}}{\pi} \cos(\alpha) \quad (3)$$

Donde:

$V_{DC} =$ Voltaje en el componente DC

$V_{max} =$ Voltaje máximo

$\cos(\alpha) =$ Angulo de disparo

En la potencia se toma en cuenta las señales de voltaje y corriente como se muestra en la ecuación 4 y ecuación 5.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t)\partial t \quad (4)$$

$$P = V_{d\alpha}I_L \quad (5)$$

Donde:

$P =$ Potencia

$v(t) =$ Voltaje en funcion del tiempo

$i(t) =$ Corriente en funcion del tiempo

$T =$ Periodo

Funcionamiento del rectificador trifásico.

En la primera ramificación se tiene un voltaje en su forma positiva al igual que una corriente positiva, esto permite establecer un control de los varios tipos de cargas, basados en la circulación de la energía que se dirige de la red eléctrica a la carga, en el sistema se realiza una variación del control que representa la potencia en cuanto al ángulo de disparo, como se aprecia en la ecuación 6, la potencia que provee la red eléctrica debe ser la misma que adquiere el sistema.

$$P_{in} = V_f I_i(\alpha), \text{ por fase} \quad (6)$$

Donde:

P_{in} = Potencia de entrada

V_f = Voltaje de fase

$I_i(\alpha)$, = Corriente de fase

Donde el ángulo que adquiere la fase está dado por el ángulo de disparo del convertidor entre el voltaje y corriente.

En el segundo ramal el ángulo de disparo está entre 90° y 180° , donde al reemplazar los valores en la ecuación 6 se obtiene un ángulo α mayor a 90 grados, por lo que se dice que la carga está emitiendo energía eléctrica a la red, al tomar en cuenta estos valores se establece que el trabajo del conversor es en base a un inversor síncrono y de este modo la carga puede entregar energía a la red eléctrica [27].

2.2 Principales fuentes y efectos de los armónicos en el sistema eléctrico.

Las variaciones de potencia que se provocan por la conexión y desconexión de carga, u operaciones en el sistema de generación de potencia eléctrica se crean elementos denominados como no lineales que son dañinos, conocidos

como armónicos, los cuales se producen de la estructura de las ondas sinusoidales que manejan diferente frecuencia en la red, estos elementos causan problemas dentro de los usuarios y en los generadores de energía, al igual que dañan los equipos industriales. [28].

Los armónicos son considerados los principales componentes que causan distorsiones en la tensión y corriente, por lo que requieren de monitoreo continuo para conocer el estado del sistema eléctrico, un reporte técnico de la IEC 61000 [22], toma en cuenta los diversos tipos de perturbaciones que pueden presentarse en los sistemas de suministro de energía, estos problemas muestran a una caída significativa de voltaje y corriente que provocan un desequilibrio en la señal eléctrica y una variación notoria de frecuencia en su componente.

Como define la IEEE-519-1992 [29], las distorsiones que provocan los armónico como el factor de distorsión de demanda total (TDD), esto se expresa en un valor de porcentaje nominal de todo el valor de la carga, debido a que las cargas no lineales provocan el descenso del voltaje en AC y son capaces de cambiar la estructura completa de la onda en la corriente de dicha alimentación, como problemática en los circuitos de comunicación o con cualquier otro tipo de equipo industrial.

Los armónicos son distorsiones cuya frecuencia está catalogada dentro de las unidades enteras, se expresan en términos de orden segunda, tercera y cuarta, se toma en cuenta las frecuencias de 120, 180 y 240 Hz respectivamente los cuales son expresados en un múltiplo de la frecuencia principal o fundamental [30].

Los componentes de los armónicos se definen bajo los siguientes parámetros:

Factor de potencia:

En presencia de distorsiones armónicas es la relación, entre la potencia activa y

potencia aparente [31]. Como se aprecia en la ecuación 7.

$$FP = \frac{P}{S} \quad (7)$$

Donde

$P =$ Potencia activa

$S =$ Potencia aparente

Factor cresta:

Valor de cresta de corriente o de tensión (I_m o V_m) sobre el valor eficaz. Como se aprecia en la ecuación 8.

$$k = \frac{I_m}{I_{RMS}} \quad \text{o} \quad k = \frac{V_m}{V_{RMS}} \quad (8)$$

Potencia activa:

Al realizar una suma de todas las potencias correspondientes a la tensiones e intensidad da como resultado una señal que se distorsiona por la presencia de armónicos en la potencia activa, como se aprecia en la ecuación 9.

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos \varphi_h \quad (9)$$

Donde:

$P =$ Potencia activa

$V_h =$ Voltaje

$I_h =$ Corriente

φ_h : Desfase entre la intensidad y la tensión del armónico de orden h .

$\cos \varphi$: Hace énfasis en la frecuencia fundamental, la cual no tiene componente continua en presencia de armónicos

Potencia reactiva:

Está determinada únicamente para la potencia fundamental como se muestra en la ecuación 10.

$$Q = V_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad (10)$$

Donde:

$Q =$ Potencia reactiva

$V_1 =$ Voltaje de línea

$I_1 =$ Corriente de línea

$\sin \varphi_1$: Desfase que se produce por la presencia de armónicos entre la tensión y la intensidad

Potencia de Distorsión:

Para este caso se considera la potencia aparente como se aprecia en la ecuación 11.

$$S = V_{rms} I_{rms} \quad (11)$$

Donde:

$S =$ Potencia de distorsión

$V_{rms} =$ Voltaje RMS

$I_{rms} =$ Corriente RMS

En presencia de armónicos se considera como aparece en la ecuación 12.

$$S^2 = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos \varphi_h \quad (12)$$

Donde:

$S^2 =$ Potencia de distorsión de armónicos

$V_h =$ Voltaje

$I_h =$ Corriente

φ_h : Desfase entre la tensión y la intensidad del armónico de orden h .

$\cos \varphi$: Se refiere a la frecuencia fundamental, en ausencia de armónicos la señal no contiene componente continua.

Tasas de distorsión armónica.

Una señal eléctrica en dominio de tiempo está determinada por una serie de parámetros como se muestra en la ecuación 13 y ecuación 14.

$$v(t) = V \cdot \cos(\omega_0 t) \quad (13)$$

$$i(t) = I \cdot \cos(\omega_0 t) \quad (14)$$

Donde:

$v(t) =$ Voltaje en función del tiempo

$i(t) =$ Corriente en función del tiempo

$\cos(\omega_0 t)$: ángulo en función del tiempo

Por otro lado, los sistemas eléctricos con presencia de armónicos se describen como se muestra en la ecuación 15 y ecuación 16.

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega_0 + \theta_n) \quad (15)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad (16)$$

V_n = armónico de voltaje de orden n.
 I_n = armónico de corriente de orden n.
 θ_n = Angulo de armónico n.

Distorsión armónica total:

Está representada por THD (tasa de distorsión armónica), es utilizada para el contenido de una señal, como se aprecia en la ecuación 17.

$$THD = \sqrt{\left(\frac{I_{RMS}}{I_1}\right)^2 - 1} * 100\% \quad (17)$$

Donde:

THD = Tasa de distorsión armónica total

I_{RMS} = Corriente RMS

I_1 = Corriente en la línea 1

Para armónicos individuales como se muestra en la ecuación 19.

$$IHD_n = \frac{V_n}{V_1} * 100\% \quad (18)$$

Existen métodos que pueden ayudar a reducir los armónicos de corriente y la distorsión de tensión resultante en el voltaje de sistemas eléctricos, el primer nivel de eliminación se basa en la inductancia de línea agregada en un rectificador, esta implementación proporciona grandes ganancias en la reducción de corrientes armónicas

2.3 Control de potencia y frecuencia en el sistema eléctrico.

El sistema de Energía Eléctrica cuenta con varios elementos que están organizados y relacionados entre sí, de tal forma que si existe algún cambio en alguno de ellos se ve afectado todo el

conjunto del sistema eléctrico, para poder entender su funcionamiento es importante conocer todos los elementos que constituyen el circuito y hacer una relación directa o indirecta entre ellos [32].

La inestabilidad de la frecuencia pueden provocar el mal funcionamiento de equipos industriales, para organizar un sistema eléctrico que controle la potencia y frecuencia de todo el sistema se requiere de estabilidad, que se basa en el equilibrio de la potencia activa, para esto se utilizan algoritmos de inteligencia artificiales como el PID que optimiza los parámetros de control de la frecuencia en la carga y maximiza la estabilidad de la frecuencia, para de esta forma lograr una energía estable en un sistema económico[33][34].

El PID es un controlador convencional que se utiliza a nivel industrial, este tipo de controlador es ampliamente aceptado por proporcionar soluciones genéricas y eficientes a problemas energéticos en el mundo real, este control tiene simplicidad en la simulación, siendo económica y eficaz, cuando las señales de entrada no son continuas y están sujetas a perturbaciones lo elemental es utilizar un circuito controlador PID que mejora las características del sistema, va establecido por un bucle en lazo de forma cerrada que permite alcanzar los valores deseados en la salida, el mismo está compuesto por elementos que realizan acciones Proporcionales, Integrales y derivativas [35]. Las limitaciones que se generan dentro de la industria en el mundo real disminuye la eficiencia del control, lo mismo que dificulta llegar a los resultados esperados, para lo cual se establece un cálculo entre una variable real y una variable deseada [36].

2.4 Estimador de frecuencia de Bunaman.

Resulta muy útil para varias aplicaciones caracterizar y representar las señales emitidas por un convertidor bajo un dominio de tiempo, en el cual se presentan señales a un nivel elevando de distorsión, es adecuado utilizar una forma de cálculos que están basados la frecuencia, la cual se realiza con los datos que se extraen en base a la forma de la señal, se toma en cuenta la forma de los armónicos que se producen a partir del desarrollo apropiado de la Serie de Fourier. La táctica del estimador de Buneman se utiliza para la cuantificación de la frecuencia fundamental en señales distorsionadas con ruido, El espectro de la Transformada de Fourier es imprescindible en este estimador por lo que se puede obtener una vista de los picos en los componentes de la frecuencia y sus respectivas amplitudes [3].

La estimación de frecuencia de Buneman es un algoritmo que estima la frecuencia de un segmento de una señal sinusoidal digitalizada utilizando una frecuencia fraccional basada en la transformada discreta de Fourier (DFT) [37].

La frecuencia juega un papel muy importante en la energía eléctrica, debido a que esta puede equilibrar la energía entre generación y carga, se espera que la frecuencia permanezca constante pero debido a la presencia de ruido, perturbaciones, discrepancia repentina de generación de carga y uso creciente de cargas no lineales esta tiende a variar, causando un daño severo en los dispositivos del sistema de generación, generalmente la señal de voltaje se usa para la estimación de frecuencia debido a que tiene menos distorsión que la corriente de línea [33][37].

La frecuencia fundamental es la más vital y sensible, la estabilidad de esta depende de los valores de frecuencia del

sistema, la variación de la frecuencia se debe al desequilibrio entre la carga y la generación, el cambio en los valores de la frecuencia del sistema conduce a variaciones perjudiciales, para lo cual es imprescindible mantener una frecuencia en su valor nominal cualquier desviación en la precisión de la estimación de la frecuencia podría dar como resultado el colapso del sistema debido al desprendimiento inadecuado de la carga [38].

Equación fundamental

Para una señal de tiempo inferior que no es exactamente periódica n , donde n denota el tamaño de la matriz de datos, se usa el algoritmo de Buneman para estimar la frecuencia desconocida como se muestra en la ecuación 19.

$$\beta = b + \frac{na}{\pi} \operatorname{atan} \left(\frac{\left(\sin \frac{\pi}{n} \right)}{\cos \frac{\pi}{n} + \frac{|Fb(x)|}{|Fb + 1(x)|}} \right) \quad (19)$$

Donde:

Fb : Valor de la transformada de Fourier de la señal x a la frecuencia de b .

Se establece el valor de b utilizando el mayor valor de $|Fb(x)|$.

La fórmula es exacta para ondas sinusoidales puras y una buena estimación, en cualquier caso [3].

El análisis convencional de Fourier puede obtener las componentes de frecuencia de una señal, y el análisis fraccional puede revelar el tiempo mixto y los componentes de frecuencia de las señales. El análisis fraccional de Fourier tiene solo dos esquemas para tratar con diferentes tipos de señales que se pueden utilizar para señales continuas y discretas, sus resultados son continuos y discretos respectivamente [39].

La transformada de Fourier cambia una señal unidimensional o función

continua $f(t)$ para calcular el aporte de la frecuencia en la formación de la onda [40]. como se aprecia en la ecuación 20.

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i2\pi ux} dt \quad (20)$$

Donde:
 $f(t)$ Señal unidimensional.

La transformada de Fourier está representad por funciones complejas con parte real y parte imaginaria expresada como se muestra en la ecuación 21.

$$F(u) = R(u) + iI(u) \quad (21)$$

Donde:
 $R(u)$ denota la parte real.
 $I(u)$ denota la parte imaginaria.
 $|F(u)|$ espectro de Fourier de la señal $f(t)$.
 $|F(u)|^2$ espectro de potencias de $f(t)$.

3. Problema.

Los sistemas de conversión AC/DC presentan perdidas de potencia eléctrica debido a la presencia de distorsiones armónicas en la red, para analizar el daño que estas producen en los sistemas eléctricos de potencia, se propone un modelo elaborado en Labview que

cuenta con un enlace en Matlab mediante una de sus librerías StarSim, la cual permite dar solución al impacto que se produce a nivel industrial, mediante la obtención de datos en un sistema de conversión AC/DC trifásicos de 6 pulsos utilizando el estimador de frecuencia de Buneman como una herramienta de análisis para verificar el comportamiento de los armónicos y su respuesta transitoria, a través de un diagrama de conversión óptimo que ayuda a interpretar el funcionamiento operativo de los diferentes tipos de cargas energéticas que se desarrollan a nivel de la industria para de este modo lograr un análisis del método utilizado y sus aplicaciones basando nuestro sistema en los fundamentos de control y frecuencia para la industria.

4. Resultados

4.1 Caso de estudio

En el presente artículo se implementa un convertor AC/DC trifásico de 6 pulsos, con el cual se simuló cargas conectadas al inversor tipo industrial, con motores en corriente continua con una potencia de 5hp, 10hp, 20hp además de cargas resistivas de 2500W y 5000W, como se aprecia en la Figura 4.

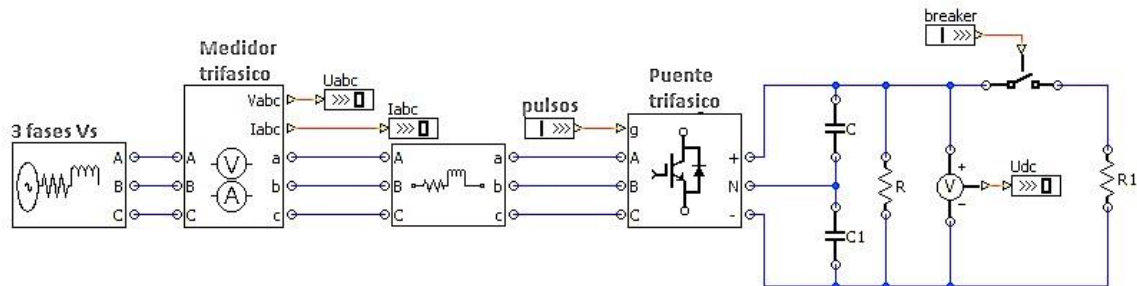


Figura 4. Circuito de conversión AC/DC trifásico.

4.1.1 Diagrama

El diagrama de disparo para el rectificador trifásico de 6 pulsos AC/DC se aprecia en la Figura 5.

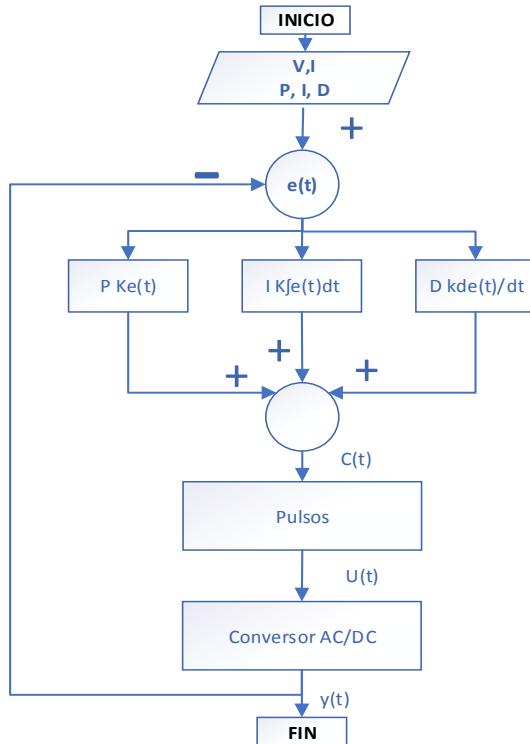


Figura 5. Control de Frecuencia y Potencia.

Un control de frecuencia y potencia utilizado a nivel industrial permite calcular la desviación que se produce entre un valor medido y un valor deseado, el tipo de control que se utiliza en el interior de este sistema consta parámetros distintos proporcional, integral y derivativo como se aprecia en la

Figura 6, para obtener la conversión AC/DC trifásico de 6 pulsos mediante un control que se genera en la potencia que basa sus resultados en la electrónica del rectificador como un mecanismo de control simultaneo.

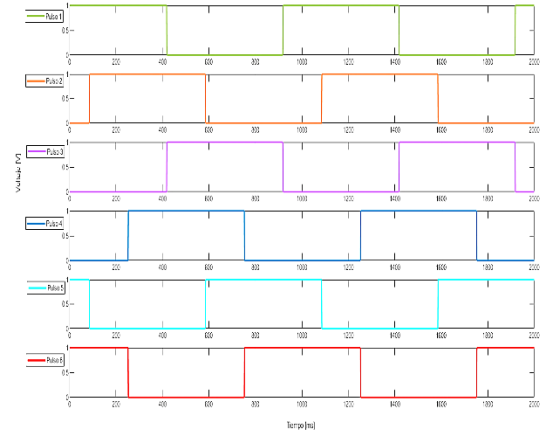


Figura 6. Sistema de conversión de 6 pulsos.

El control de los pulsos mantiene constante la tensión de salida DC al sistema como se aprecia en la Figura 7, si se aplica cualquier carga el sistema mantendrá estable el nivel tensión.

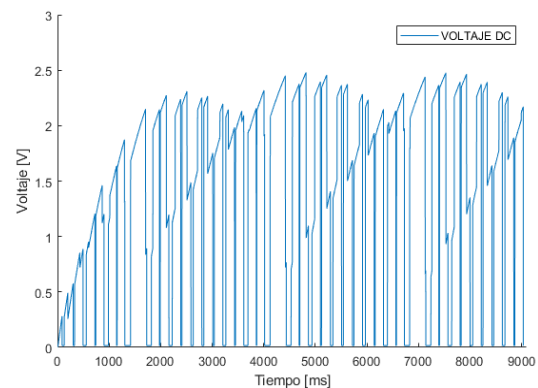


Figura 7. Control de pulsos.

En la Figura 5 declaramos las variables para controlar la frecuencia y la potencia mediante el voltaje y la corriente, además de las constantes $K = 2$, $I = 12$, $d = 2000$, lo que no permite tener una $t(w)$, para que nuestro sistema siga siendo estable como se aprecia en la Figura 8.

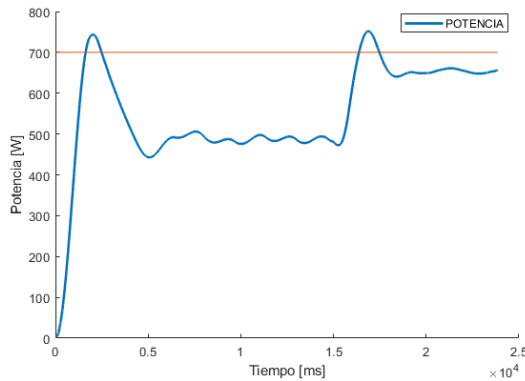


Figura 8. Control de voltaje.

A nivel industrial real, dentro del conversor AC/DC la salida del rectificador no es totalmente continua a nivel de tensión, dentro de este se genera un rizado que desestabiliza la tensión continua.

4.1.2 Pseudocódigo

Dentro de un sistema trifásico ideal es difícil controlar la potencia de salida, para lo cual se requiere de un control óptimo, el mismo que varía el ángulo de disparo y la potencia entregada a la carga, en este control los elementos se comportan de acuerdo a la programación del sistema y los tiristores se disparan al rango definido, para formar un circuito rectificador de 6 pulsos, en el cual los tiristores están numerados en un orden secuencial de acuerdo con su conducción para cada fase como se muestra en la Tabla 1, dentro de este análisis se implementa el estimador de frecuencia de Buneman para obtener un control de frecuencia y potencia que permite observar el comportamiento del sistema.

Tabla 1. Pseudocódigo análisis del sistema de conversión AC/DC.

ALGORITMO SISTEMA DE CONVERSIÓN AC/DC TRIFÁSICO DE 6 PULSOS CON EL ESTIMADOR DE FRECUENCIA DE BUNEMAN.

Paso 1: Inicio y declaración de variables.

Entrada:

Fase1, fase2, fase3.
Vdc, dt; Carga; Frecuencia; Idc.

Salida:

Voltaje en DC; Frecuencia, Corriente; Pulsos.

Paso 2: Inicio

For i = 1: 300

 If Fase 1 > fase2

 P12=1;

 Else

 If Fase 1 > Fase3

 P13=1;

 End

 If Fase 2 > fase1

 P21=1;

 Else

 If Fase 2 > Fase3

 P23=1;

 End

 If Fase 3 > fase1

 P31=1;

 Else

 If Fase 1 > Fase2

 P32=1;

 End

P1=Fs>Fr

$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T f(\omega t) d\omega t$

Id(i)c=Vdc(i)/Carga

$$F(ac) = b + \frac{na}{\pi} \operatorname{atan} \left(\frac{\left(\sin \frac{\pi}{n} \right)}{\cos \frac{\pi}{n} + \frac{|Fb(x)|}{|Fb + 1(x)|}} \right)$$

ThD_I=Idc

$$AIac = \frac{1}{V_{rms}} \sqrt{\sum_{h=2}^k I_{hrms}^2}$$

Paso 3: Gráficas

grafica (Idc)

grafica (armónicos)

grafica (Vac)

End for

4.1.3 Gráficas

Como resultado de las simulaciones se obtuvieron las siguientes graficas:

Se muestra un sistema con sus respectivas formas de onda tanto en corriente como en voltaje, en la entrada de un sistema rectificador trifásico su amplitud y frecuencia son iguales, con una diferencia entre fases de 120°, su sentido y magnitud varían cíclicamente

como se aprecia en la Figura 9 y Figura 10.

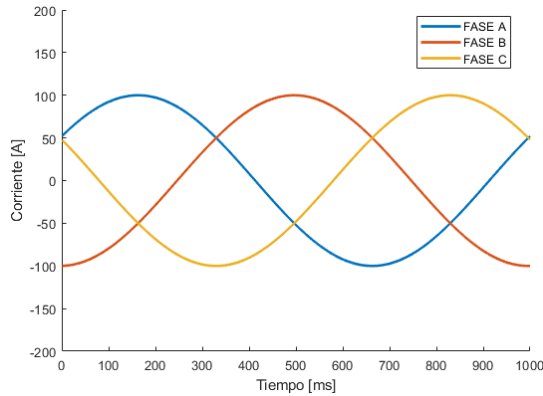


Figura 9. Corriente de entrada del rectificador trifásico.

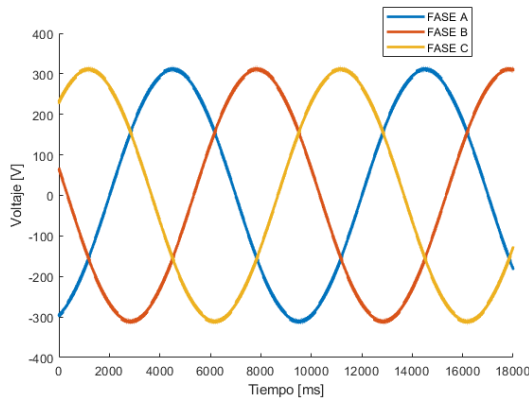


Figura 10. Voltaje de entrada del rectificador trifásico.

4.1.4 Análisis de Corriente

En los primeros 240 milisegundos en el convertor AC/DC de 6 pulsos se genera una inestabilidad en las fases del sistema afectando la corriente como se aprecia en la Figura 11.

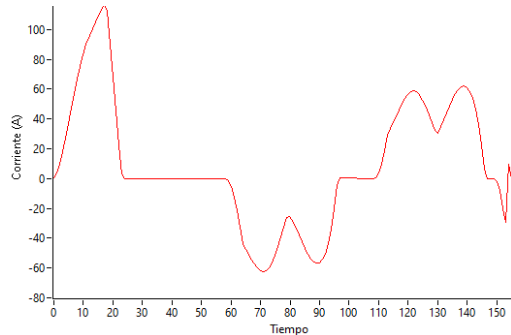


Figura 11. Afectación de la corriente en el tiempo.

Una vez transcurrido ese periodo el sistema se estabiliza que muestra la estructura de la onda en la salida del rectificador como se verifica en la Figura 12.

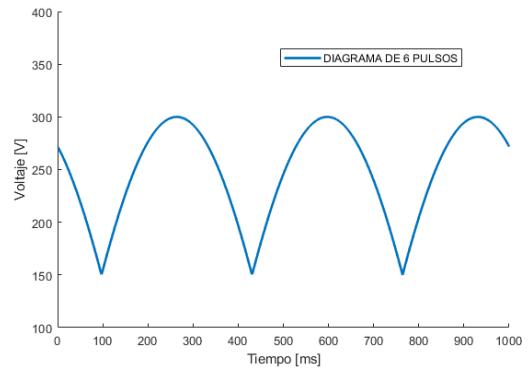


Figura 12. Corriente con inductancia y filtro en la carga.

4.1.5 Análisis de Armónicos

Dentro de un tiempo transitorio alrededor de los 300 milisegundos como se aprecia en la Figura 13 y Figura 14, se generan la mayor cantidad de armónicos tanto en voltaje como en corriente, provocando una leve distorsión en las ondas hasta que se pueda estabilizar el sistema.

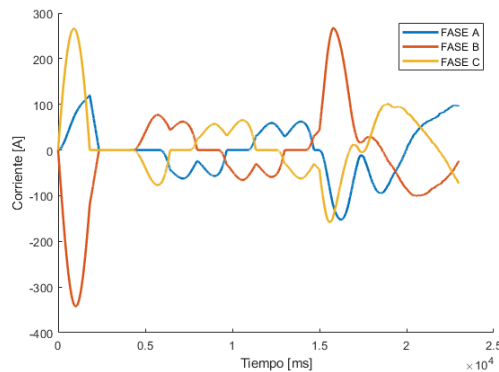


Figura 13. Armónicos de corriente en la red.

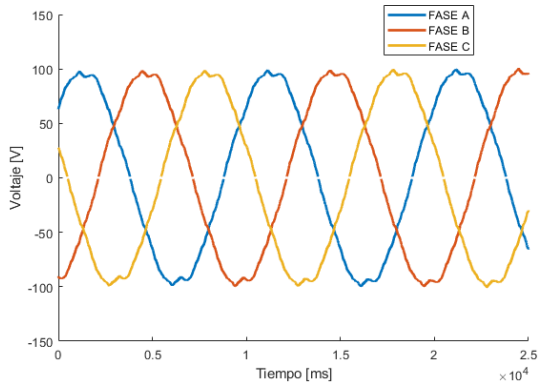


Figura 14. Armónicos de voltaje en la red del sistema.

Con la verificación de los armónicos dentro del circuito de conversión AC/DC, se determina un intervalo en el que se aprecia la presencia desde el 3 al 25 armónico como se observa en la Figura 15.

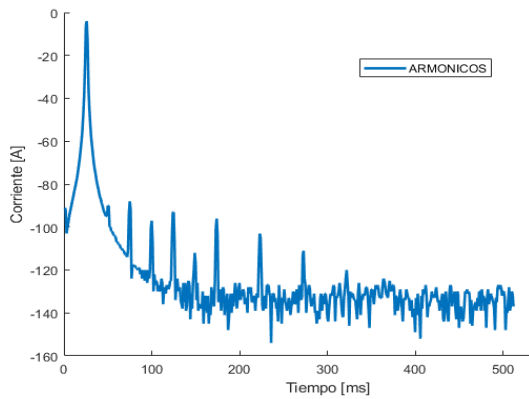


Figura 15. Armónicos en la corriente.

Una vez determinada la presencia de los armónicos en el sistema, los más representativos que se visualizan entre los 25 primeros presentados, se puede observar la presencia del 9, 15 y 21, a parte del primero que es el fundamental, como se aprecia en la Figura 16, analizando el THD en corriente se llegó a determinar que su valor es del 5,05% encontrándose dentro de los parámetros que nos indican las normas de calidad de energía, el tiempo analizado es de 240 milisegundos.

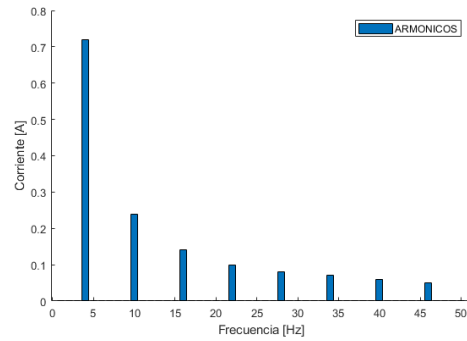


Figura 16. Resumen de los armónicos de corriente.

4.1.6 Análisis de Frecuencia

Al incrementar la carga en el sistema, provoca que la frecuencia empiece a caer a razón del 0,05% por cada segundo como se puede observar en la Figura 17.

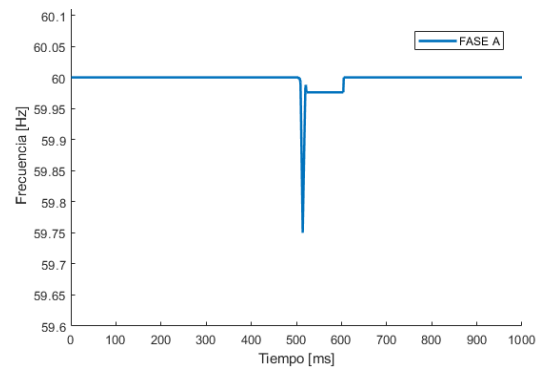


Figura 17. Control de frecuencia.

Al no encontrar un mecanismo que actúe de forma adecuada, una variación en la carga por más pequeña que sea provoca el colapso de todo el sistema en corto tiempo, con el estimador de frecuencia se logra un punto de control que permite observar el comportamiento de la frecuencia mientras el sistema se estabiliza, la frecuencia tiene un nivel de vibraciones a un rango establecido, con un estimador de frecuencia se logra obtener componentes individuales de la misma, para lo cual se emplea un filtro que permite pasar las partes de las vibraciones que están contenidas dentro de un estrecho rango de frecuencia y de

esta forma observar el comportamiento de la onda y la generación de un desnivel de frecuencia basando todo el sistema en los fundamentos de control de frecuencia y potencia [41].

4.2 Fundamentos del control de frecuencia y potencia.

En los sistemas de energía el control de frecuencia se da en base a tres niveles que son evaluados mediante la contención de frecuencia ("control primario"), restauración de frecuencia ("control secundario") y reemplazo de reserva ("control terciario"). Las capacidades asociadas se denominan reservas de energía activa o reservas de control, siendo el control primario la inercia rotativa de la máquina, quien tiene estable el nivel de frecuencia a 60Hz de todo el sistema, al producirse una inestabilidad en la frecuencia actúa el control secundario quien mediante un switcheo en un determinado tiempo logra establecer nuevamente el sistema regulando la frecuencia y tensión para llegar a la frecuencia deseada [43]. El valor eficaz y la frecuencia en la forma de la tensión son parámetros que deben estar limitados, para de este modo el suministro eléctrico pueda operar en condiciones estables, las variaciones de la frecuencia fuera del rango normal causan el mal funcionamiento de los equipos industriales y provocan daños perjudiciales para el mismo.

4.3 Estimador de frecuencia.

El estimador de frecuencia de Buneman permite observar un rango de error que se presenta en la frecuencia del sistema cuando se produce una variación en la demanda, de esta forma el sistema de control secundario realiza su respectiva compensación mediante el lazo PID, es importante determinar que el sistema se estabiliza dentro de un parámetro de

tiempo, se toma en cuenta los valores que se grafican en función de la parte transitoria del sistema, como se aprecia en la Figura 18.

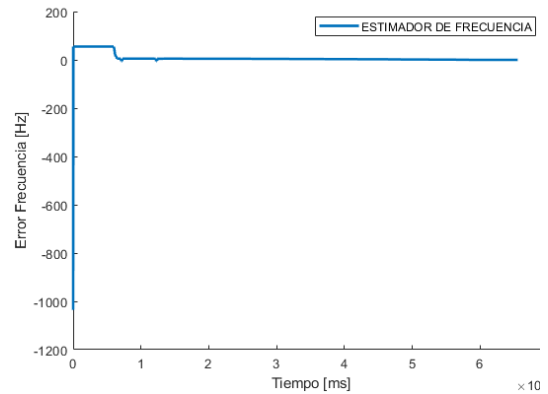


Figura 18. Error del Estimador de frecuencia.

El estimador de frecuencia de Buneman visualiza el comportamiento de las 3 fases del sistema de conversión AC/DC, donde al aplicar una frecuencia sobre los 60Hz esta se desestabiliza, provocando oscilaciones alrededor del 1% dentro de la estimación, como se aprecia en la Figura 19.

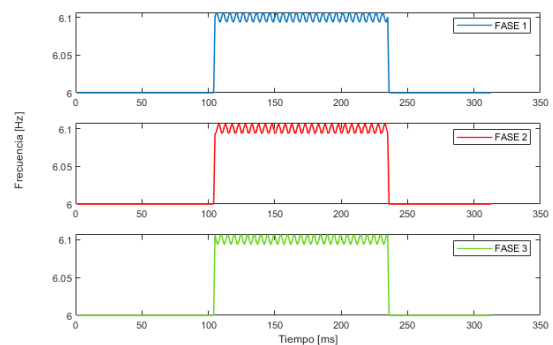


Figura 19. Estimador de frecuencia en las 3 fases.

Mientras el sistema de conversión se vuelve estable la frecuencia estimada toma los valores del rango establecido por el estimador de frecuencia de Buneman, para este análisis se toman valores de la fase 1 para hacer una comparación del

comportamiento de sus fases, como se aprecia en la Figura 20.

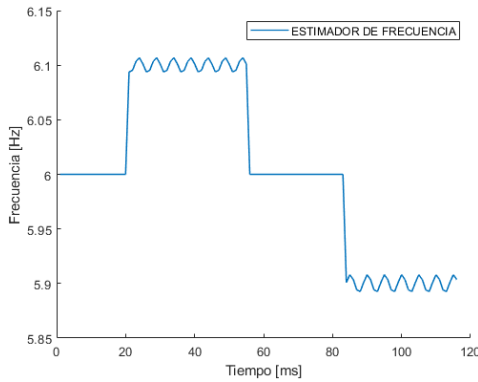


Figura 20. Estimador de frecuencia en 1 fase.

Se aplica una frecuencia de 61 Hz donde la frecuencia se eleva y con una frecuencia de 59Hz la misma cae.

4.4 Análisis de las pérdidas de potencia estimadas del sistema.

El circuito de conversión es mejor cuando su rendimiento es mayor, es decir cuando se producen pérdidas escasas. En el sistema analizado podemos determinar que las pérdidas de potencia eléctrica por la aparición de armónicos en sistemas de conversión AC/DC trifásico de 6 pulsos en la industria, aplicando el estimador de frecuencia de Buneman, se evalúan a partir del rendimiento del rectificador, aplicando a la carga industrial del motor la cual posee una potencia instalada de 25kW, analizando la tensión y la corriente en el sistema trifásico de alimentación se obtuvo una potencia de 25,5Kw, alcanzando un rendimiento de 0.998 como se aprecia en la ecuación 21.

$$n = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} = 99,8\% \quad (21)$$

Donde:

$$P_{DC} = V_{DC} * I_{DC} \quad (22)$$

$$P_{AC} = V_{RMS} * I_{RMS} \quad (23)$$

Donde la eficiencia del inversor es del 99.8%, esto logrado mediante la determinación de la frecuencia y un control secundario.

5. Conclusiones

El sistema de conversión AC/DC se ha implementado en una carga industrial conformado por un sistema en régimen permanente de 25kW donde se obtuvo una eficiencia del 99.8%, este análisis se basa en los fundamentos de control de frecuencia y potencia.

Al analizar un sistema de conversión AC/DC de 6 pulsos se determinó dos estados: primero un estado transitorio que dura alrededor de 300 milisegundos con una presencia de 8 armónicos entre los más representativos se encuentran el tercero, onceavo y quinceavo, pasado este tiempo cambia a un estado estable con un THD de corriente de 5% y de voltaje del 1%.

Se ha desarrollado un diseño que permite evaluar el tipo de carga en DC, logrando determinar el THD en corriente y los armónicos, permitiendo un análisis que se encuentra dentro de las instancias manejadas por la calidad de energía. El sistema implementado permite tener un control secundario que mantiene estable la frecuencia y voltaje tanto en la red como en la carga.

6. Trabajos futuros

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten formular a futuro investigaciones relacionadas a:

Formulación y resolución del problema AC/DC/AC, con el análisis del rendimiento y los armónicos generados

tanto en alimentación como en la carga y su análisis potencia frecuencia.

Análisis de estabilidad en sistemas eléctricos mediante la utilización D-STANCON.

Análisis de Micro-redes inteligentes híbridas.

7. Referencias

- [1] W. T. R. Mohan, ned, torre n undeland, *electronica de potencia convertidores, aplicaciones y diseño.*, tercera ed. Mexico, 2002.
- [2] N. A. Losic, “passive vs. Active ac-dc power conversion in variable frequency aerospace applications,” *5th ieee veh. Power propuls. Conf. Vppc '09*, pp. 1139–1144, 2009, doi: 10.1109/vppc.2009.5289723.
- [3] V. Dwivedi and d. Singh, “electric power quality monitoring (pqm) using virtual instrumentation,” *speedam 2010 - int. Symp. Power electron. Electr. Drives, autom. Motion*, pp. 431–436, 2010, doi: 10.1109/speedam.2010.5545058.
- [4] E. M. Khawla, c. Dhia, and s. Lassaad, “lvrt control strategy for three-phase grid connected pv systems,” *int. Conf. Green energy convers. Syst. Gecs 2017*, 2017, doi: 10.1109/gecs.2017.8066237.
- [5] R. D. Medina, “microrredes basadas en electrónica de potencia,” *ingenius*, vol. 2, p. 34, 2014.
- [6] V. E. Q. Aguirre, “desarrollo de un programa para el cálculo digital de flujo de potencia utilizando el método de newton raphson,” escuela politécnica nacional, 1975.
- [7] N. B. H. Youssef and k. Al-haddad, “application of the new quasi-linear control theory to the ac current shaping and dc voltage regulation of a three-phase boost-type ac/dc vienna converter under very severe operating conditions,” *eurocon 2007 - int. Conf. Comput. As a tool*, pp. 1336–1343, 2007, doi: 10.1109/eurcon.2007.4400225.
- [8] M. Habrych, g. Wisniewski, b. Miedzinski, j. Wosik, and a. Kozlowski, “power loss due to high harmonics in power transformer when use for dc drive of hoisting machines,” *proc. - 2014 int. Conf. Inf. Sci. Electron. Electr. Eng. Isee 2014*, vol. 3, pp. 2065–2070, 2014, doi: 10.1109/infosee.2014.6946287.
- [9] W. A. M. Ponce, “estudio de flujo de potencia con logica difusa basados en los modelos dc y ac,” 1997.
- [10] I. E. Y l. G. L. Ferro, “electrotecnia (para la carrera de ingeniería mecánica),” p. 32, 2016.
- [11] HH. Tumbelaka and m. Miyatake, “an integrated system for active filter and photovoltaic energy conversion,” *proc. - 12th int. Conf. Electr. Mach. Syst. Icems 2009*, 2009, doi: 10.1109/icems.2009.5382691.
- [12] M. Nilsson, l. Söder, and z. Yuan, “estimation of power system frequency response based on measured & simulated frequencies,” *ieee power energy soc. Gen. Meet.*, vol. 2016-novem, pp. 0–4, 2016, doi: 10.1109/pesgm.2016.7741498.
- [13] S. Li, j. Wang, and d. Wang, “relativistic surface wave oscillator in y-band with large oversized structures modulated by dual reflectors,” *sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1038/s41598-019-55525-9.

- [14] T. Chalá and v. García, “capítulo 1 pérdidas en distribución de energía eléctrica,” *análisis en los primarios distrib. Las sube. No. 02, no. 10, no. 12, no. 32 y no. 53 perten. A la empres. Eléctrica quito s.a. para reducir pérdidas*, pp. 1–11, 2012.
- [15] X. He, r. Wang, j. Wu, and w. Li, “nature of power electronics and integration of power conversion with communication for talkative power,” *nat. Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1038/s41467-020-16262-0.
- [16] M. Bressan, “convertidores de potencia. Capítulo 2,” *univ. Los andes*, p. 19, 2018.
- [17] A. Nava-segura and p. Bañuelos-sanchez, “influence of the firing angle control in the harmonic generation of thyristor pulse controlled ac/dc/ac systems,” *int. Power electron. Congr. - ciep*, vol. 1996, pp. 207–211, 1996, doi: 10.1109/ciep.1996.618539.
- [18] M. H. Rashid, “electronica de potencia.” P. 721, 2001.
- [19] R. G. Carrasco, “universidad de tarapacá electrónica de potencia escuela universitaria de ingeniería.”
- [20] M. M. Canteli, “regulación, control y protección de máquinas eléctricas,” *fax*, vol. 942, p. 201385, 2013.
- [21] S. H. Salus, “diseño y construccion de un modelo didactico de convertor dual con corriente circulante para el laboratorio de convertidores estaticos,” vol. 1, p. 193, 2012.
- [22] C. A. V. Leòn, “sistema convertor ac-dc de alta frecuencia con correccion del factor de potencia,” vol. 2, p. 135, 2009.
- [23] G. S. N. Jenkins, b.m. weedy, j.b. ekanayake, b.j. cory, *electric power systems*, fifth edit. 2012.
- [24] J. C. Rivera gaibor and m. J. Arévalo luzuriaga, “construcción de módulos didácticos de convertidores ac/dc para el aprendizaje práctico de los estudiantes de la carrera de ingeniería de la universidad tecnológica equinoccial, quito, ecuador, diciembre del 2008,” *tsafiqui*, no. 1, p. 205, 1970, doi: 10.29019/tsafiqui.v0i1.24.
- [25] D. G. Barco, “análisis de sensibilidad de flujos de potencia activa respecto a variaciones de carga nodal,” universidad tecnológica de pereira, 2015.
- [26] L. Chai, y. Liao, and s. Ni, “continuous time lti system analysis based on complex frequency domain,” *proc. 2016 ieee adv. Inf. Manag. Commun. Electron. Autom. Control conf. Imcec 2016*, pp. 1014–1017, 2017, doi: 10.1109/imcec.2016.7867364.
- [27] M.h rashid, *electronica de potencia circuitos, dispositivos y aplicaciones.*, tercera ed. Mexico: pearson educacion, 2004.
- [28] D. Matecki and m. Gwozdz, “programmable broad-band power electronics current source with gan transistors in power stage,” *2018 prog. Appl. Electr. Eng. Pae 2018*, 2018, doi: 10.1109/pae.2018.8441156.
- [29] F. D. E. I. Eléctrica *et al.*, “escuela politécnica nacional,” 2000.
- [30] universidad politecnica salesiana, “armonicos en las redes eléctricas,” pp. 4–7, 2013.
- [31] J. R. Aranda mendoza, “análisis descriptivo de la amortiguación y eliminación de armónicos en sistemas eléctricos de potencia,” *univ. Nac. Del cent. Del Perú*,

- 2015.
- [32] F. Barrero-gonzález, m. I. Milanés-montero, e. González-romera, c. Roncero-clemente, and p. González-castrillo, “el control de potencia y frecuencia en los sistemas eléctricos multiárea. Revisión y nuevos retos,” *riai - rev. Iberoam. Autom. E inform. Ind.*, vol. 12, no. 4, pp. 357–364, 2015, doi: 10.1016/j.riai.2015.07.001.
- [33] S. Yang-wu *et al.*, “load frequency control strategy for wind power grid-connected power systems considering wind power forecast,” *2019 3rd ieee conf. Energy internet energy syst. Integr. Ubiquitous energy netw. Connect. Everything, ei2 2019*, pp. 1124–1128, 2019, doi: 10.1109/ei247390.2019.9062084.
- [34] C. Chen, c. Guo, z. Man, and t. Xin, “control strategy research on frequency regulation of power system considering electric vehicles,” *asia-pacific power energy eng. Conf. Appeec*, vol. 2016-decem, pp. 2101–2105, 2016, doi: 10.1109/appeec.2016.7779857.
- [35] S. K. Valluru *et al.*, “design of multi-loop l-pid and nl-pid controllers: an experimental validation,” *2018 2nd ieee int. Conf. Power electron. Intell. Control energy syst. Icpeices 2018*, vol. 3, pp. 1228–1231, 2018, doi: 10.1109/icpeices.2018.8897368.
- [36] S. Kim, y. Il lee, h. Song, and j. Kim, “systems,” pp. 1796–1799, 2012.
- [37] Y. Yang, j. Wu, m. Wang, q. Wang, q. X. Yu, and k. P. Chen, “fast demodulation of fiber bragg grating wavelength from low-resolution spectral measurements using buneman frequency estimation,” *j. Light. Technol.*, vol. 8724, no. C, pp. 1–1, 2020, doi: 10.1109/jlt.2020.2998614.
- [38] B. P. Ganthia, a. Pragati, s. Sahoo, and l. Ray, “frequency estimation of distorted signal using recursive least square filter,” *int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 11, pp. 1074–1078, 2019, doi: 10.35940/ijitee.j1173.0981119.
- [39] S. C. Pel, m. H. Yeh, and t. L. Luo, “fractional fourier series expansion for periodic signals and dual extension to discrete-time fractional fourier transform,” *ieee trans. Signal process.*, vol. 46, no. 5, p. 1474, 1998.
- [40] L. Barannyk, h. H. Tran, l. V. Nguyen, a. Elshabini, and f. Barlow, “delay estimation using svd-based causal fourier continuations for high speed interconnects,” *2015 ieee 24th conf. Electr. Perform. Electron. Packag. Syst. Epeps 2015*, no. 1, pp. 225–228, 2015, doi: 10.1109/epeps.2015.7347167.
- [41] p. Ledesma, “regulación de frecuencia y potencia,” *potencia*, pp. 1–33, 2008.
- [42] R. Samuel, “eléctricos protección de sistemas eléctricos,” *univ. Nac. Colomb. Manizales*, vol. Primera ed, p. 664, 2014, doi: doi 10.1002/masy.201000052.
- [43] M. Scherer, m. Pfister, and g. Hug, “the operational difficulty of standardizing frequency restoration products,” *int. Conf. Eur. Energy mark. Eem*, 2017, doi: 10.1109/eem.2017.7981952.

8. Matriz de Estado del Arte

Tabla 2. Matriz de estado del arte.

Perdidas de potencia eléctrica debido a la presencia de armónicos en sistemas de conversión AC/DC trifásico de 6 pulsos en la industria aplicando el estimador de frecuencia de Buneman.																																
ÍTEM	DATOS			TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO								RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			ALGORITMO DE SOLUCIÓN				SOLUCIÓN PROPUESTA							
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	Sistemas trifásicos industriales	Perdidas de potencia eléctrica	Sistemas trifásicos de conversión	Fuentes de armónicos	Control de frecuencia y potencia	Estimador de frecuencia de Buneman	Fundamentos del control de frecuencia y potencia	Perdidas de potencia estimada	Modelamiento de sistemas trifásicos	Estimador de frecuencia	Controlo de potencia	Control de frecuencia	Sistema de conversión AC/DC	Efectos de armónicos	Sistemas eléctricos	Sistemas de conversión AC/DC	Sistemas trifásicos de 6 pulsos	Análisis de armónicos	Estimador de frecuencia de Buneman	Sistema de conversión AC/DC	Control de frecuencia y potencia	Análisis transitorio	Sistema de 6 pulsos	Estimador de frecuencia de Buneman	Control de frecuencia y potencia	Análisis de armónicos	Sistema trifásico de conversión AC/DC	Respuesta transitoria	
1	2015	Active AC-DC power conversion in variable frequency aerospace applications	56	☒	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	
2	2009	Control theory to the AC current shaping and DC voltage regulation	14	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	
3	2012	Cálculo Digital de Flujo de Potencia	25	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
4	2002	Electric power quality monitoring (PQM) using Virtual Instrumentation	24	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
5	1992	Análisis de Sistemas de Potencia	16	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☒
6	2002	Análisis de Sistemas de Potencia	23	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
7	2010	Análisis de Sistemas Eléctricos de potencia	32	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	
8	2012	Electric Power Systems	21	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☐	☒	☒	
9	1998	Power loss due to high harmonics in power transformer when use for dc drive of hoisting machines	14	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	

32	1997	Estudio de Flujo de Potencia con Lógica Difusa Basados en los Modelos DC y AC	2	<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 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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
33	2016	Control strategy research on frequency regulation of power system considering Electric vehicles	7	<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 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"/>		
34	2005	Control strategy research on frequency regulation of power system considering Electric vehicles	2	<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"/>	<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 type="checkbox"/>		
35	2015	Fast demodulation of fiber Bragg grating wavelength from low-resolution spectral measurements using Buneman Frequency Estimation	40	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
36	1997	Fractional fourier series expansion for periodic signals and dual extension to discrete-time fractional fourier transform	23	<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 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"/>	
37	2006	Delay estimation using SVD-based causal fourier continuations for high speed interconnects	1	<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 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"/>	
38	2002	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MODELO DIDACTICO DE CONVERTOR DUAL CON CORRIENTE CIRCULANTE PARA EL LABORATORIO DE CONVERTORES ESTATICOS	6	<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 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"/>	
39	1994	Construcción de módulos didácticos de Convertidores AC/DC	8	<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 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"/>	
40	2023	The operational difficulty of standardizing frequency restoration products	7	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
41	2008	Regulación de frecuencia y potencia	1	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
42	2014	Eléctricos Protección de Sistemas Eléctricos	2	<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 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
43	2017	The operational difficulty of standardizing frequency restoration products	42	<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"/>	<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 type="checkbox"/>	
CANTIDAD:				7	8	13	7	7	5	2	3	5	3	5	14	7	7	5	2	2	2	2	1	1	6	4	7	9	5	7	5

8.1 Resumen de Indicadores

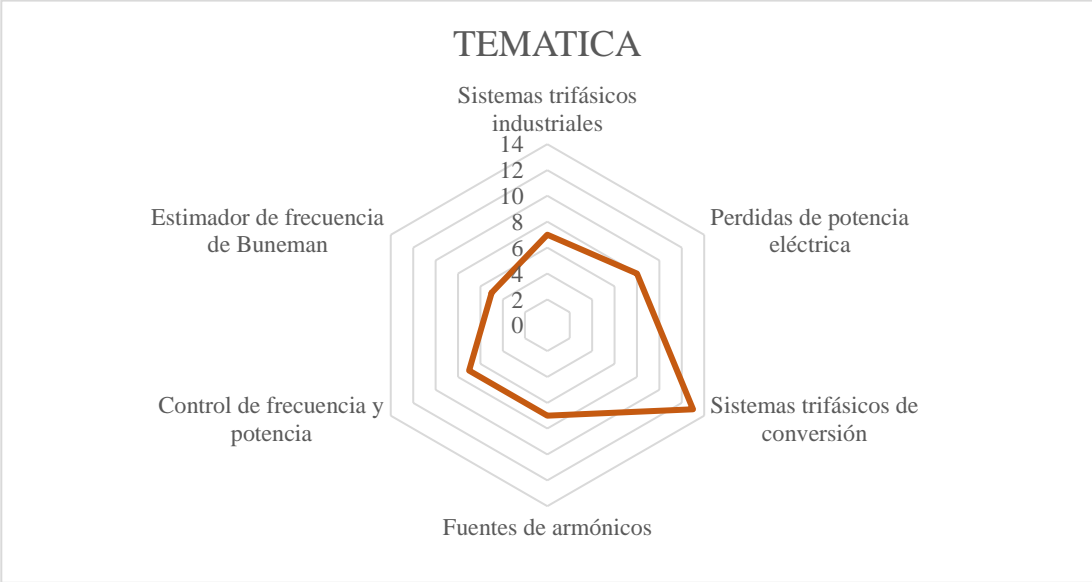


Figura 21. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

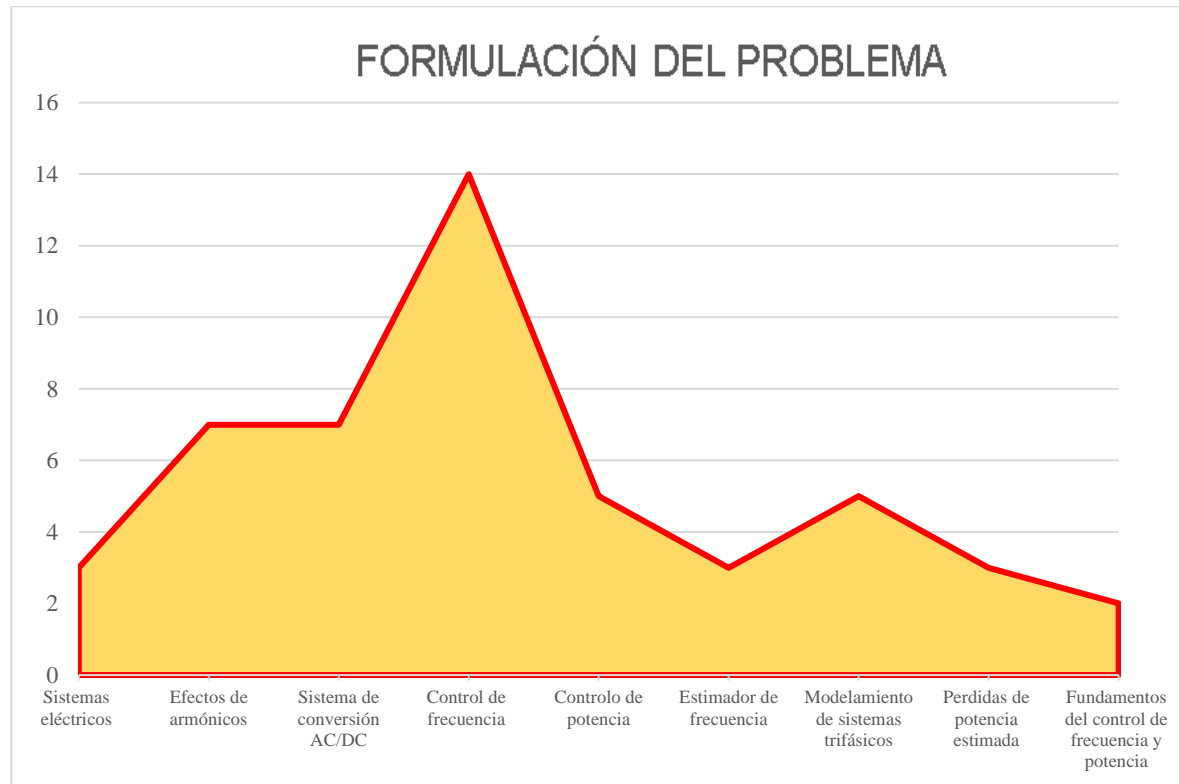


Figura 22. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

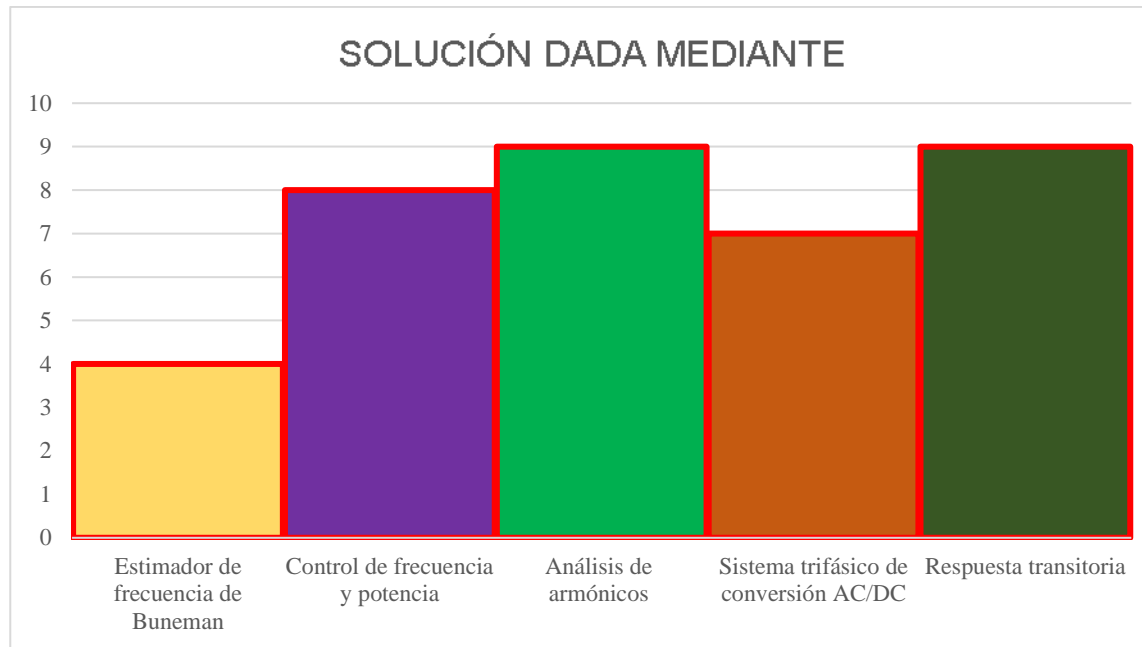


Figura 23. Indicador de solución - Estado del arte.