

**DISEÑO DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO PARA LA
MITIGACIÓN DE VARIACIONES TRANSITORIAS DE VOLTAJE ANTE LA
PRESENCIA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**DISEÑO DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO
SÍNCRONO PARA LA MITIGACIÓN DE
VARIACIONES TRANSITORIAS DE VOLTAJE
ANTE LA PRESENCIA DE GENERACIÓN
FOTOVOLTAICA.**

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

AUTOR: ALVARO GUILLERMO MANOPANTA AIGAJE

TUTOR: CRISTIAN CRISTÓBAL CUJI CUJI

Quito - Ecuador
2022

Alvaro Guillermo Manopanta Aigaje

DISEÑO DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO PARA LA MITIGACIÓN DE VARIACIONES TRANSITORIAS DE VOLTAJE ANTE LA PRESENCIA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2022

Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



Alvaro Guillermo Manopanta Aigaje (Y'1996-M'11). Realizó sus estudios secundarios en el colegio Charles Spurgeon, se graduó de Bachillerato General Unificado. Egresado de la Carrera de Electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el Diseño de un compensador estático síncrono para la mitigación de variaciones transitorias de voltaje ante la presencia de generación fotovoltaica Para mejorar la estabilidad de voltaje y obtener una mejora en la calidad de energía. amanopanta@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Cristian Cristóbal Cuji Cuji (Y'1986-M'03). Se graduó de Ingeniero Electrónico de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en 2014 y Master 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

©2022 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Yo, Alvaro Guillermo Manopanta Aigaje con documento de identificación N° 1725095309 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, 6 de mayo del año 2022

Atentamente,



Alvaro Guillermo Manopanta Aigaje
1725095309

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

Yo, Alvaro Guillermo Manopanta Aigaje con documento de identificación No. 1725095309, 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: “Diseño de un compensador estático síncrono para la mitigación de variaciones transitorias de voltaje ante la presencia de generación fotovoltaica”, 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, 6 de mayo del año 2022

Atentamente,



Alvaro Guillermo Manopanta Aigaje

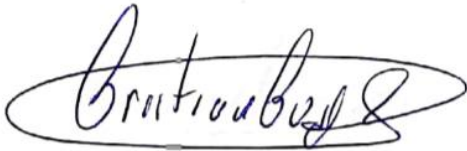
1725095309

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Cristóbal Cuji Cuji con documento de identificación N° 1718002221, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO PARA LA MITIGACIÓN DE VARIACIONES TRANSITORIAS DE VOLTAJE ANTE LA PRESENCIA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA, realizado por Alvaro Guillermo Manopanta Aigaje con documento de identificación N° 1725095309, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 6 de mayo del año 2022

Atentamente,



Ing. Cristian Cristóbal Cuji Cuji, MSc
1718002221

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	2
2. Marco teórico	3
2.1 Generación distribuida.....	3
2.1.1 Sistema fotovoltaico.....	3
2.1.2 Efecto de la variación de irradiancia solar	3
2.2 Modelo de generación.....	3
2.2.1 Función de transferencia en circuitos lineales	4
2.2.2 Control mediante diagrama de bloques.....	4
2.2.3 Estabilidad del sistema de energía	4
2.3 Tipos de perturbaciones transitorias	5
2.3.1 Transitorios impulsivos.....	5
2.3.2 Transitorios oscilatorios.....	6
2.4 Tecnologías de compensación de potencia reactiva	6
2.4.1 Compensador estático de VAR.....	6
2.4.2 Compensador estático síncrono D-statcom.....	6
3. Diseño del compensador	7
3.1 Inversor de voltaje	7
3.2 Filtro LCL.....	8
4. Estrategia de control.....	8
4.1 Transformación de Clark y Park	8
4.2 Lazo de seguimiento por fase	8
4.3 Punto de máxima potencia.....	9
4.4 Bucles de control	9
4.5 Control por ancho de pulso.....	9
5. Resultados de la simulación.....	11
5.1 Caso sin el dispositivo D-statcom	12
5.2 Caso con el dispositivo D-statcom	13
5.3 Resultados del espectro de frecuencia	14
5.3.1 Caso sin el dispositivo D-statcom.....	14
5.3.2 Caso con el dispositivo D-statcom.....	15

6. Conclusiones.....	15
7. Referencias.....	16
8. Estado del arte.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de conexión de un dispositivo de compensación a la red.	2
Figura 2 Configuración de generación distribuida conectada a red.	3
Figura 3 Elementos de bloque.....	4
Figura 4 Tipos de estabilidad en sistemas eléctricos de Potencia.....	5
Figura 5 Transitorio impulsivo.....	5
Figura 6 Transitorio oscilatorio.....	6
Figura 7 Compensador estático VAR.	6
Figura 8 Esquema general de un D-STATCOM.....	7
Figura 9 Diseño y control del compensador en Matlab-Simulink.	10
Figura 10 Diseño y control del compensador en Digsilent.	10
Figura 11 Representación gráfica del proceso de control.	11
Figura 12 Sistema fotovoltaico conectado a la red de 13 barras del sistema IEEE.	11
Figura 13 Características de voltaje y corriente de la matriz solar fotovoltaica.	12
Figura 14 Cantidad de Irradiancia solar (W/m^2)	12
Figura 15 Variación de la Cantidad de Irradiancia solar (W/m^2).....	12
Figura 16 Forma de onda de voltaje trifásica AC sin D-statcom.	12
Figura 17 Forma de onda de corriente trifásica AC sin D-statcom en PCC.	12
Figura 18 Depresión Forma de onda de voltaje trifásica AC sin D-statcom.	13
Figura 19 Onda de corriente trifásica AC sin D-statcom y variación en la irradiancia. .	13
Figura 20 Voltaje de corriente continua.....	13
Figura 21 Forma de onda de voltaje trifásica AC con D-statcom	13
Figura 22 Forma de onda de corriente trifásica AC con D-statcom.	13
Figura 23 Onda de voltaje trifásica AC con D-statcom y variación en la irradiancia. ...	13
Figura 24 Onda de corriente trifásica AC con D-statcom y variación en la irradiancia.	13
Figura 25 Desempeño del sistema de control sin cambios en la irradiancia.....	14
Figura 26 Desempeño del sistema de con cambios en la irradiancia.	14
Figura 27 Respuesta de Potencia activa y Reactiva sin variación en la irradiancia.....	14
Figura 28 Respuesta potencia activa con variación en la irradiancia.....	14
Figura 29 Respuesta de potencia reactiva con variación en la irradiancia.....	14
Figura 30 Forma de onda de voltaje y corriente en fase.	14

Figura 31 Resultados del análisis FFT del voltaje CA trifásica de salida.....	15
Figura 32 Resultados del análisis FFT de la corriente CA trifásica de salida.....	15
Figura 33 Resultados del análisis FFT del voltaje de CA trifásico de salida.....	15
Figura 34 Resultados del análisis FFT de la corriente CA trifásica de salida.....	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Modos de operación del D-STATCOM.....	7
Tabla 2 Transformaciones de Clark y Park en forma matricial.	8
Tabla 3 Proporción de Potencia Activa de salida vs entrada de irradiancia.	12
Tabla 4 Valores de los componentes del D-STATCOM.	15
Tabla 5 Matriz de estado del arte	23
Tabla 6 Resumen e Indicadores del estado del arte	23
Tabla 7 Resumen e Indicadores del estado del arte	23

DISEÑO DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO PARA LA MITIGACIÓN DE VARIACIONES TRANSITORIAS DE VOLTAJE ANTE LA PRESENCIA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA.

Resumen

La conexión de generación fotovoltaica en la red eléctrica ha presentado un aumento por su bajo costo de implementación, por su disponibilidad y su efecto no contaminante, pero debido a que los factores medioambientales no son constantes puede presentar deficiencia en la calidad de energía. En la presente investigación se propone diseñar un controlador estático síncrono con el fin de mejorar los perfiles de tensión de una central fotovoltaica, provocado por el aumento o disminución en la irradiancia solar ocasionando cambios de voltajes muy rápidos e inyectando transitorios en la onda que es suministrada a la red eléctrica. La investigación se desarrolla conjuntamente con los programas Matlab-simulink, Digsilent y con el sistema estandarizado de 13 barras del IEEE. El documento está organizado de la siguiente manera, la sección dos aporta información sobre sistemas de generación distribuida, estabilidad en el sistema y tecnologías de compensación, la sección tres describe el diseño del compensador, la sección cuatro presenta la estrategia de control empleada en el compensador, la sección cinco muestra los resultados obtenidos y la sección seis define las conclusiones.

Palabras Clave:

D-statcom, Facts, SPWM, Transformación de Clark y Park, THD, transistores IGBT, perfil de tensión, estabilidad, MPPT

Abstract

The connection of photovoltaic generation in the electricity network has shown an increase because of factors such as its low implementation cost, its availability and its non-polluting effect, but due to the fact that environmental factors are not constant, it may display a deficiency in energy quality. This research aims at designing a synchronous static controller in order to improve the voltage profiles of a photovoltaic power plant, caused by the increase or decrease in solar irradiance producing very fast voltage changes and inserting transients in the wave that is supplied to the electricity grid. The study is developed with the Matlab-simulink, Digsilent programs, and the IEEE standardized 13-bar system. The paper is organized as follows, section two provides information on distributed generation systems, system stability and compensation technologies, section three describes the compensator design, section four presents the control strategy used in the compensator, section five shows the results obtained and section six defines the conclusions.

Keywords:

D-statcom, Facts, SPWM, Clark and Park transformation, THD, IGBT transistors, voltage profile, stability, MPPT.

1. Introducción

Por medio de la tecnología se ha logrado convertir al sol, un recurso natural, en una fuente de energía eléctrica mediante la aplicación de paneles fotovoltaicos obteniendo una eficacia entre 18 y 24 % debido a los materiales empleados en su estructura, de igual manera el bajo costo de implementación ha dado como resultado el aumento de la generación fotovoltaica a gran escala, las cuales pueden estar conectadas a una red principal o fuera de la red.[1]

Un problema en la aplicación de este tipo de generación es la inestabilidad de la irradiancia y temperatura provocado por factores climáticos los cuales no son controlables causando problemas en la estabilidad del voltaje, este tipo de desequilibrios pueden ser caracterizados

en variaciones de voltajes lentas o voltajes rápidos. Este tipo de inconvenientes provoca que el voltaje que es suministrado a la red contenga armónicos y que su funcionamiento no esté dentro de las normas establecidas para la conexión en la red principal.[2]

El poder obtener un suministro de energía con calidad y valores adecuados ha provocado desarrollar métodos que permitan disminuir las variaciones para mantener un voltaje estable. Una solución es la aplicación de un dispositivo de compensación reactiva D-statcom el cual, mediante un sistema de control integrado en su convertidor proporciona energía reactiva cuando los valores no se encuentran en un margen que cumpla con los requisitos de conexión, de manera que este tipo de dispositivos logra amenorar los problemas de voltajes transitorios. [3]

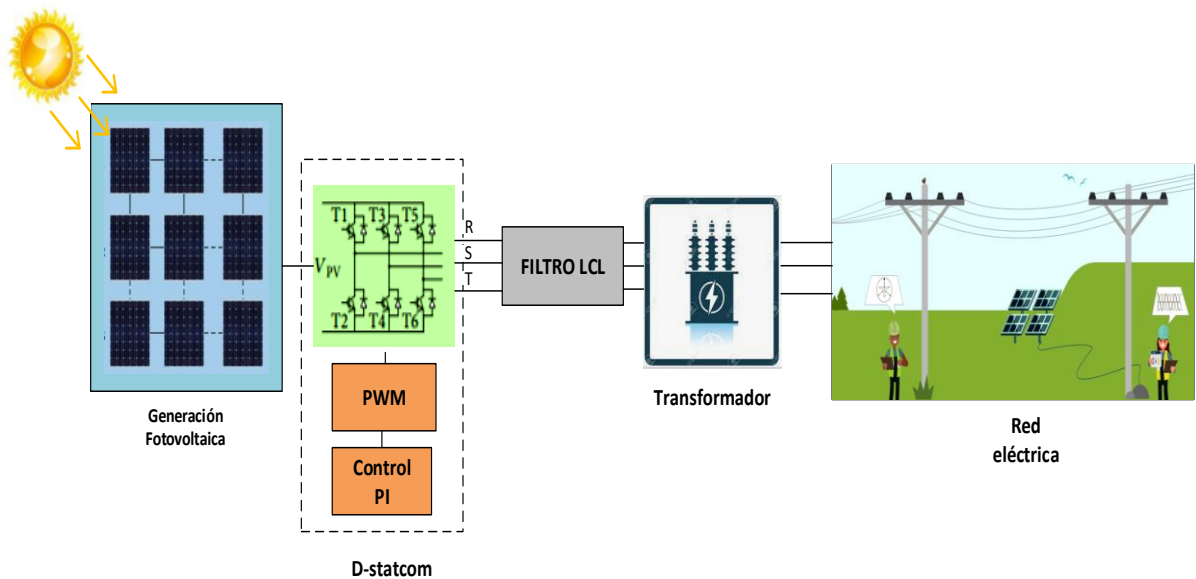


Figura 1 Diagrama de conexión de un dispositivo de compensación a la red.

2. Marco teórico

2.1 Generación distribuida

Las plantas de generación centralizadas integran fuentes de energías convencionales para la producción de electricidad, pero contribuyen con los gases de efecto invernadero. Para sustituir a las fuentes antes mencionadas los sistemas eléctricos deben sufrir innovaciones estructurales. Una opción que aporta a la reducción de los impactos medioambientales es la conexión de energía distribuida en diferentes puntos del sistema de distribución. [4]

Entre los recursos inagotables empleados por los sistemas de generación distribuida se utiliza como medios más comunes a la energía eólica y la energía fotovoltaica, estos métodos de generación causan una interacción en la red de distribución debido a que ocasiona una operación bidireccional del flujo de energía.[5]

Por otra parte, la introducción de generación distribuida contribuye a aligerar las operaciones en los sistemas de generación, transmisión y distribución. El propósito de acoplar la generación distribuida es lograr reducir el incremento de flujo de potencia en diferentes puntos del sistema eléctrico provocado por el crecimiento de la carga creando un gran consumo de energía eléctrica. [6]

Entre los problemas que se presentan en los sistemas de generación distribuida están las perturbaciones transitorias las cuales son capaces de ocasionar inestabilidad en la red eléctrica.[5]

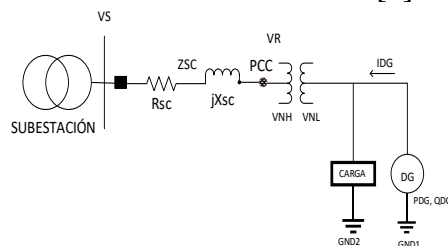


Figura 2 Configuración de generación distribuida conectada a red.

2.1.1 Sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos están compuestos de una interfaz electrónica que es capaz de capturar la energía solar mediante los módulos fotovoltaicos y convertir a energía eléctrica. Una pieza clave para lograr la conversión de corriente es el inversor, el cual permite transformar la corriente de entrada de energía directa (DC) a una corriente de salida de energía alterna (AC), para conseguir la compatibilidad al momento de conectar a la red de distribución en el punto de acoplamiento (PCC). [7]

2.1.2 Efecto de la variación de irradiancia solar

La irradiancia es una energía procedente de sol que permite conocer la potencia solar incidente en una determinada superficie y se mide en W/m^2 . Esta energía es un elemento importante para tener un rendimiento energético.[8]

Los cambios de irradiancia solar presentan una desventaja dado que los generadores fotovoltaicos no poseen de componentes que permitan mantener la inercia mecánica. Las variaciones rápidas o lentas de energía solar ocasionan la conmutación del inversor con regularidad, esta situación puede causar un gran impacto en la estabilidad del sistema. Dependiendo de la variación de energía solar presente en los módulos fotovoltaicos, se consideran dos tipos de estabilidades, estabilidad transitoria y estabilidad estacionaria. [9]

2.2 Modelo de generación

El funcionamiento de una planta fotovoltaica presenta un gran efecto en la regulación de voltaje, por lo cual en el sistema es importante cumplir con una determinada cantidad de potencia activa y no sobrepasar los límites del factor de

potencia con el fin de que no puedan causar cambios en la regulación de tensión. El modelo matemático de generación se representa a continuación. [10]

$$P_{i,min}^{DG} \leq P_{i,t}^{DG} \leq P_{i,max}^{DG} \quad i \in DG_i, t \in T \quad (1)$$

$$\frac{P_{i,t}^{DG}}{\sqrt{(P_{i,t}^{DG})^2 + (Q_{i,t}^{DG})^2}} \geq K_{i,min} \quad i \in DG_i, t \in T \quad (2)$$

En que $K_{i,min}$ representa el factor de potencia mínimo del sistema fotovoltaico y T es el periodo de la señal. [10]

En consecuencia de que en la ecuación (2) existe una ecuación que no son de primer grado, en la que $P_{i,t}^{DG}$ y $Q_{i,t}^{DG}$ son cantidades desconocidas para resolver, es necesario declarar una nueva cantidad representada como, $F_{i,min}$, permitiendo sustituir estos valores y crear una ecuación lineal. [10]

$$\frac{P_{i,t}^{DG} \sqrt{1-F_{i,min}^2}}{F_{i,min}} \leq Q_{i,t}^{DG} \leq \frac{P_{i,t}^{DG} \sqrt{1-F_{i,min}^2}}{F_{i,min}} \quad (3)$$

$$i \in DG_i, t \in T$$

2.2.1 Función de transferencia en circuitos lineales

La función de transferencia permite analizar el comportamiento del proceso de control de circuitos lineales relacionando el voltaje y la corriente de entrada y salida. La característica que presentan los sistemas lineales es la invarianza en el tiempo, es decir, la señal de entrada produce el mismo desplazamiento en la señal de salida. [11]

$$y(t) = tx(t) \quad (4)$$

Para relacionar la entrada y salida de respuesta es necesario aplicar la

transformada de Laplace, la cual transforma una función de tiempo (t) en una función de variable (s) por lo que permite obtener una solución para las ecuaciones diferenciales invariantes en el tiempo. [12]

$$Y(s) = G(s) * R(s) \quad (5)$$

De igual manera, la función de transferencia permite relacionar la potencia con el voltaje y se define como: [12]

$$H^2(w) \quad (6)$$

2.2.2 Control mediante diagrama de bloques

Un proceso de control puede ser representado mediante diagramas de bloques, los cuales indican de forma más objetiva el comportamiento dinámico y estacionario. Los elementos del diagrama de bloques son los siguientes. [11]

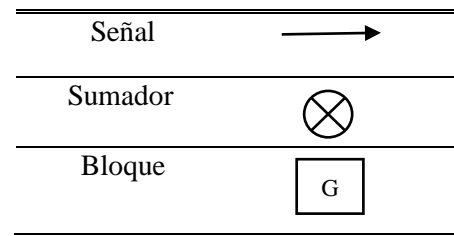


Figura 3 Elementos de bloque

Donde:

Señal. - Representa las variables de entrada.

Sumador. - Elemento que combina dos señales de entrada.

Bloque. - representa un sistema al que le llega la información de entrada y en el que se produce la información de salida.

2.2.3 Estabilidad del sistema de energía

La red de distribución permite que el usuario final tenga acceso al servicio eléctrico, ya que de ella depende el

transporte de energía a las cargas a un nivel apropiado, dentro del transporte las redes de distribución pueden presentar diferentes tipos de anomalías por factores externos o internos que afectan a su estabilidad teniendo como consecuencia una mala calidad de energía. Según las normas IEEE 1159 de 1995 y IEEE 519-1992, las perturbaciones a corregir para garantizar un suministro de calidad son los transitorios, interrupciones, bajada de tensión, aumento de tensión, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de frecuencia. [13]

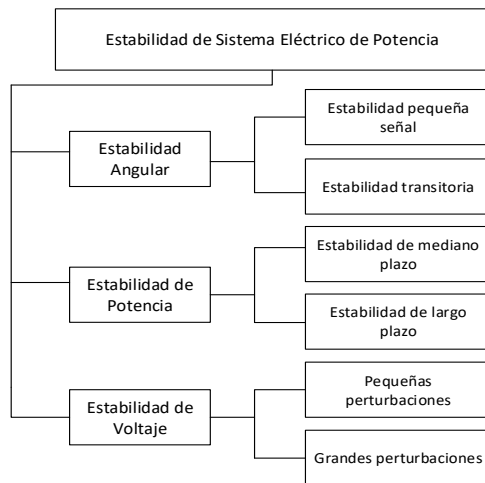


Figura 4 Tipos de estabilidad en sistemas eléctricos de Potencia.

Ahora bien, con la inclusión de generación distribuida el mercado eléctrico se ha vuelto comercial dando lugar a que nuevos proveedores de energía puedan abastecer del suministro eléctrico a las cargas cercanas a través de la conexión en la red de distribución. Desafortunadamente el comportamiento de los sistemas renovables es variado teniendo como consecuencia fallas eléctricas. [13][14]

Para que un generador fotovoltaico tenga la capacidad de conectarse al punto de acoplamiento (PCC) debe cumplir con el código de red de distribución, generalmente los paneles solares solo generan energía activa ocasionando un

problema de estabilidad del voltaje al momento de conectarse en el sistema eléctrico, principalmente en las barras las cuales deben mantener los márgenes de estabilidad determinados por los operadores de red, dentro de un valor $\pm 5\%$ del voltaje RMS. [5][15]

2.3 Tipos de perturbaciones transitorias

Cualquier factor interno o externo que pueda alterar en magnitud, forma o frecuencia a la forma de onda senoidal se lo conoce como perturbación energética, estas imperfecciones en la señal provocan que los aparatos eléctricos sufran daños en sus componentes alterando su funcionamiento y reduciendo su vida útil. Se presentan en diferentes intervalos de tiempo, de manera que se los clasifica en dos categorías, transitorios impulsivos y transitorios oscilatorios. [16]

2.3.1 Transitorios impulsivos

Un transitorios impulsivo produce cambios rápidos de voltaje y corriente, este fenómeno causa que se desarrolle inesperadamente un pico de voltaje en la onda senoidal. En particular son ocasionados por descargas atmosféricas en la red eléctrica tradicional, y presentan una duración de 0,1 ms a 50 ns. [17]

De igual manera están presentes en las unidades fotovoltaicas, cuando existe la conmutación del inversor de manera instantánea producto de los cambios apresurados de la intensidad de irradiación. [18]

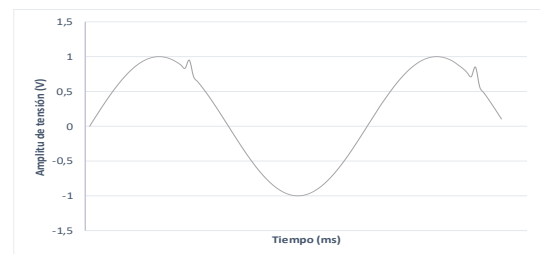


Figura 5 Transitorio impulsivo.

2.3.2 Transitorios oscilatorios

Un transitorio oscilatorio de igual manera deforma a la onda de voltaje y corriente provocando un cambio brusco de la condición en estado estable, a diferencia de los transitorios impulsivos esta genera una elevación y reducción del voltaje de forma variada en periodos positivos y negativos. Este tipo de alteración se produce por la conexión y desconexión de líneas eléctricas, conmutación de los bancos de condensadores o energización de los transformadores. [19]

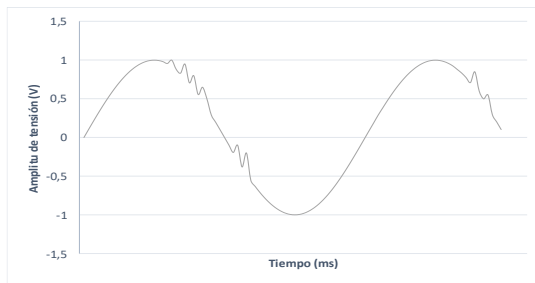


Figura 6 Transitorio oscilatorio.

2.4 Tecnologías de compensación de potencia reactiva

Este tipo de componentes conocidos como facts permiten mantener un sistema equilibrado, solucionando problemas como el de factor de potencia, variación de voltaje, compensación de potencia activa o reactiva, corrientes armónicas y el desbalanceo de cargas consiguiendo la mejora del sistema eléctrico ante desbalances energéticos en la red. Existen gran variedad de dispositivos que aportan este tipo de beneficios, pero los que tienen amplias aplicaciones en la industria de servicios eléctricos son los: VAR estático SVC, Statcom y D-Statcom. [20]

2.4.1 Compensador estático de VAR

Este ejemplar de compensador permite el aporte de potencia reactiva y el filtrado de la contaminación de armónicos, en su estructura integra el uso de tiristores

conmutados. Su funcionamiento se basa en el ajuste de la susceptancia mediante el control de ángulo de disparo del tiristor (TCR), el cual puede estar entre los 90° y 180° y la conmutación del condensador (TSC). Para obtener una correcta operación se debe realizar ajustes en su configuración ya que puede producir cierta cantidad de armónicos en el sistema. [21][22]

El control de voltaje se obtiene mediante las siguientes ecuaciones:

$$V = V_{ref} + X_s(-B_{c,max} < B < B_l) \quad (7)$$

$$V = \frac{I}{B_{c,max}} \quad \text{para (SVC) inductivo} \quad (8)$$

$$V = \frac{I}{B_{i,max}} \quad \text{para (SVC) capacitivo} \quad (9)$$

Donde:

V : voltaje de secuencia positiva.

V_{ref} : voltaje de referencia.

I : corriente reactiva (Sí $I > 0$ indica una corriente inductiva).

X_s : reactancia de pendiente o caída

$B_{c,max}$: Susceptancia capacitiva máxima con todos los TSC en servicio, sin TCR.

$B_{i,max}$: Susceptancia inductiva máxima con todos los TCR en servicio, sin TSC.

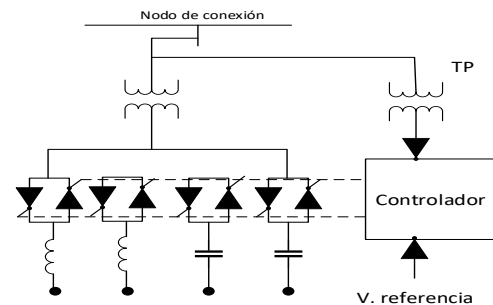


Figura 7 Compensador estático VAR.

2.4.2 Compensador estático síncrono D-statcom

Este tipo de sistemas presenta beneficios en la regulación y control del voltaje, compensación o consumo de

potencia reactiva, estabilidad dinámica y transitoria. Para lograr estas funciones, su diseño incluye tiristores o transistores, inductores y condensadores conmutados. [23]

Una característica destacable del D-Statcom es que mediante el convertidor (VSC) permite la provisión de energía reactiva a niveles de voltajes muy bajos logrando así poder obtener valores estables de amplitud de tensión, fase y frecuencia. [23] [24]

El convertidor puede integrar dos tipos de componentes con respecto al nivel de tensión en el que se trabaje. Para niveles altos de tensión y potencia integra el tiristor GTO, mientras que para niveles bajos de tensión y potencia integra el transistor IGBT.[25][26]

El control de voltaje de salida se puede expresar mediante la siguiente ecuación.

$$V_{inv_peak} = MI * V_{dc} \quad (10)$$

Donde:

V_{inv_peak} : voltaje de salida del inversor (pico) [V].

MI : índice de modulación del patrón de conmutación.

V_{dc} : voltaje del condensador de CC [V].

Los inversores tienen la capacidad de controlar la magnitud de tensión y frecuencia de salida. Normalmente este tipo de compensadores presentan una conexión en derivación con el punto de acoplamiento y la carga. [27]

Para efectuar la inyección o consumo de potencia reactiva realiza una comparación de la tensión de entrada con el voltaje programado en el control del compensador. Cuando el voltaje de la red es mayor al voltaje del D-statcom este actuara absorbiendo la potencia reactiva, mientras que cuando el voltaje de la red es menor al voltaje del D-statcom, este

realizara la compensación de potencia reactiva. [28]

Otro método de operación es la realizar la comparación entre el ángulo de fase de voltaje de la red θ y el ángulo del convertidor ϕ para el aporte o la reducción de energía activa.[29]

$\theta = \phi$	Solo intercambia potencia reactiva
$ V_1 > V_2 $	Absorbe potencia reactiva(inductivo)
$ V_2 > V_1 $	Genera potencia reactiva (capacitivo)
$\theta < \phi$	Absorbe potencia activa
$\theta > \phi$	inyecta potencia activa

Tabla 1 Modos de operación del D-STATCOM.

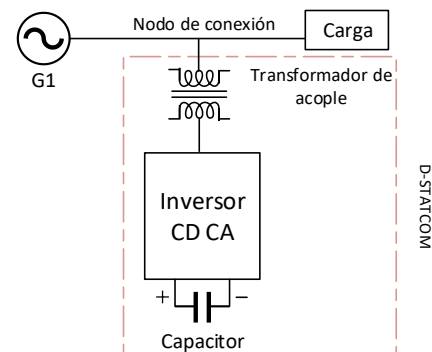


Figura 8 Esquema general de un D-STATCOM.

3. Diseño del compensador

3.1 Inversor de voltaje

El inversor de voltaje (VSC) utiliza transistores IGBT los cuales actúan como interruptores, el modelo trifásico desarrollado está compuesto de 6 IGBT los cuales generan pulsos controlados mediante la técnica de modulación por ancho de pulso para poder convertir el voltaje de corriente continua a corriente alterna.[30][31]

Los valores de voltaje de entrada pueden ser variables por lo que se conecta dos capacitores de 500 μF en paralelo en las terminales del convertidor con el objetivo de almacenar energía para el control del flujo de potencia y mantener

un voltaje estable en todo momento.[30]
[32]

Los componentes del inversor pueden soportar una cierta cantidad de corriente, por lo cual se debe dimensionar con valores de potencia aparente de acuerdo al tipo de aplicación, el inversor propuesto es de 670 kVA, para llegar al valor mencionado se toma los datos de voltaje, corriente y la potencia activa de la central fotovoltaica y se aplica las formulas. [32]

$$P = V_{rms} * I_{rms} * \cos\phi \quad (11)$$

$$Q = V_{rms} * I_{rms} * \sin\phi \quad (12)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (13)$$

3.2 Filtro LCL

El inversor genera componentes de alta frecuencia esto se debe a la operación de los IGBT, por lo que produce un deterioro en la onda de voltaje que va a ser suministrado a la red provocando una mala calidad de energía. La implementación de un filtro reduce las frecuencias armónicas y permite obtener una onda sinusoidal adecuada. [30][33]

Los valores del filtro LCL se establecen de acuerdo a los valores de la potencia aparente del inversor, el voltaje y frecuencia de la red. Para determinar el valor de la inductancia y la capacitancia se emplean las siguientes ecuaciones: [33]

$$C = \frac{0.05 * (\frac{S}{3})}{V_{red}^2 * 2 * \pi * f} \quad (14)$$

$$L = \frac{0.2 * (V_{red})}{2 * \pi * f * I_g} \quad (15)$$

$$I_g = \frac{(\frac{S}{3})}{V_{red}} \quad (16)$$

Donde:

S: Potencia aparente del inversor

Vred: Voltaje de la Red

Pi: 3.141516

f: Frecuencia de la Red

Ig: es el armónico de la corriente de salida del inversor

Resolviendo las ecuaciones se obtiene valores para la inductancia de 1524.83 μ H y para la capacitancia 46.14 μ F.

4. Estrategia de control

4.1 Transformación de Clark y Park

Para el desarrollo del control del inversor es necesario detectar los voltajes de la red y la corriente del inversor con el objetivo de convertir los componentes del sistema trifásico 'abc' y transformarlos en voltajes alfa y beta utilizando la transformación de Clark, esta transformación es necesaria para la implementación en el control de lazo de seguimiento por fase o PLL (del inglés phase-locked loop). [33][34]

Posteriormente estos nuevos datos de voltajes y corrientes alfa y beta se convierten en valores dq utilizando la transformación de Park, estas modificaciones en el sistema trifásico permiten convertir las variables senoidales en el tiempo a valores en régimen permanente, como resultado se logra regular de forma independiente la P. Activa y P. Reactiva. En la siguiente tabla se muestran las transformaciones en forma matricial. [34]

Clark	$\begin{bmatrix} V_{\alpha} \\ V_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$
Park	$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi \\ -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_{\alpha} \\ V_{\beta} \end{bmatrix}$

Tabla 2 Transformaciones de Clark y Park en forma matricial.

4.2 Lazo de seguimiento por fase

El lazo de seguimiento por fase (PLL) es un sistema de control en lazo cerrado, este se encarga de medir el ángulo del

vector de referencia con respecto al eje alfa para que las señales de entrada del inversor puedan estar sincronizadas con las señales de la red.[30][35]

4.3 Punto de máxima potencia

Los valores de salida de voltaje, corriente y potencia de un sistema fotovoltaico dependen de la temperatura y la irradiancia. Al tener valores variables de entrada de estos factores climáticos generan variaciones rápidas de voltaje y corriente, el control de punto de máxima potencia (MPPT) permite calcular la potencia máxima de trabajo de los paneles solares y mantenerla para alimentar al inversor ante cualquier condición medioambiental. [36] [37]

4.4 Bucles de control

El control del D-Statcom se compone de varios bloques. El método desarrollado utiliza dos lazos de control, un lazo de control o bucle externo el cual realiza una comparación del voltaje del sistema fotovoltaico con el voltaje de referencia para obtener un error y modificarlo a través del regulador pi. El resultado de esta comparación es la referencia de corriente activa.[37] [35]

El segundo lazo de control o bucle interno se divide en dos partes, el control de potencia activa y reactiva realizado por las componentes i_d (P. Activa) y i_q (P. Reactiva). El bucle interno realiza la comparación de la corriente activa de referencia obtenida con la corriente activa del inversor para encontrar nuevamente el error y adecuarlo a través del regulador pi. La Corriente de referencia de potencia

reactiva i_{q_ref} generalmente se establece en cero lo que significa que el sistema puede mantener el factor de potencia máximo. [34][35]

Dado que la relación entre el índice de modulación y el voltaje del inversor viene dada por:

$$V_d = m_d \frac{V_{dc}}{2} \quad (17)$$

$$V_q = m_q \frac{V_{dc}}{2} \quad (18)$$

Es necesario incluir estas ecuaciones en el control para obtener las señales de referencia y enviar al PWM, donde se genera los pulsos para crear la señal sinusoidal.

4.5 Control por ancho de pulso

La modulación por ancho de pulso (PWM) determina la secuencia de conmutación de los IGBTs del inversor, este control compara las referencias de voltajes y corrientes medidas, los cuales son obtenidos a través de la información de los bucles de control, es decir, primero las señales de pre-alimentación se transforman al marco de la transformada de Park (dq) y son procesadas por el control dentro del mismo marco de referencia, las señales de control son regresadas al marco trifásico 'abc', las cuales dan la información al VSC.[30][35]

La frecuencia de conmutación de los IGBTs del inversor resulta en una frecuencia de conmutación constante debido a que la frecuencia de la onda triangular utilizada en el comparador es constante. [35]

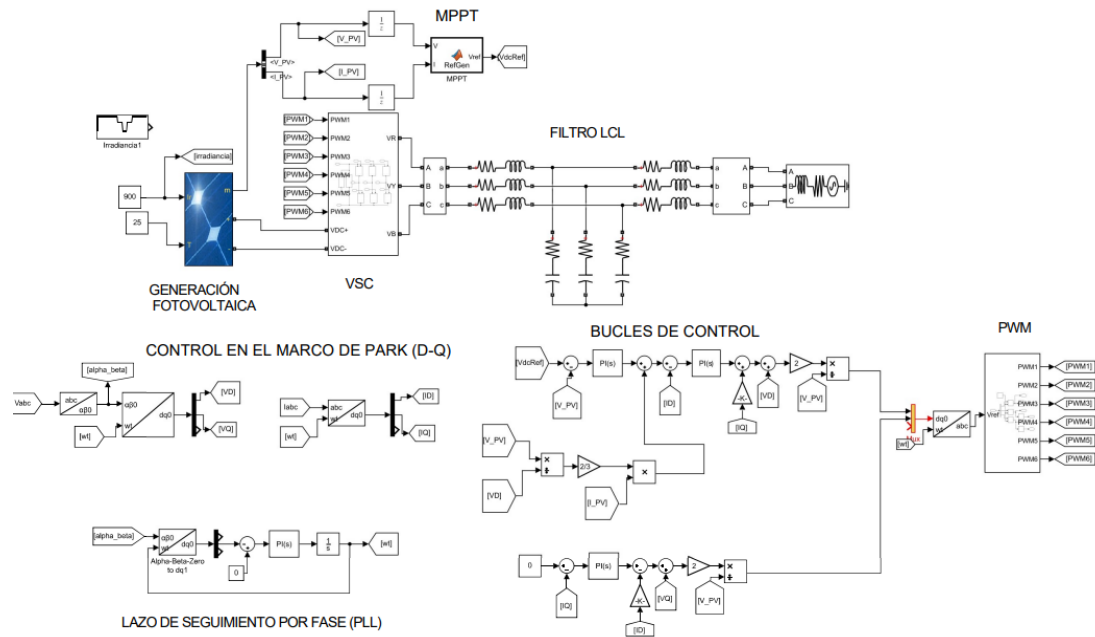


Figura 9 Diseño y control del compensador en Matlab-Simulink.

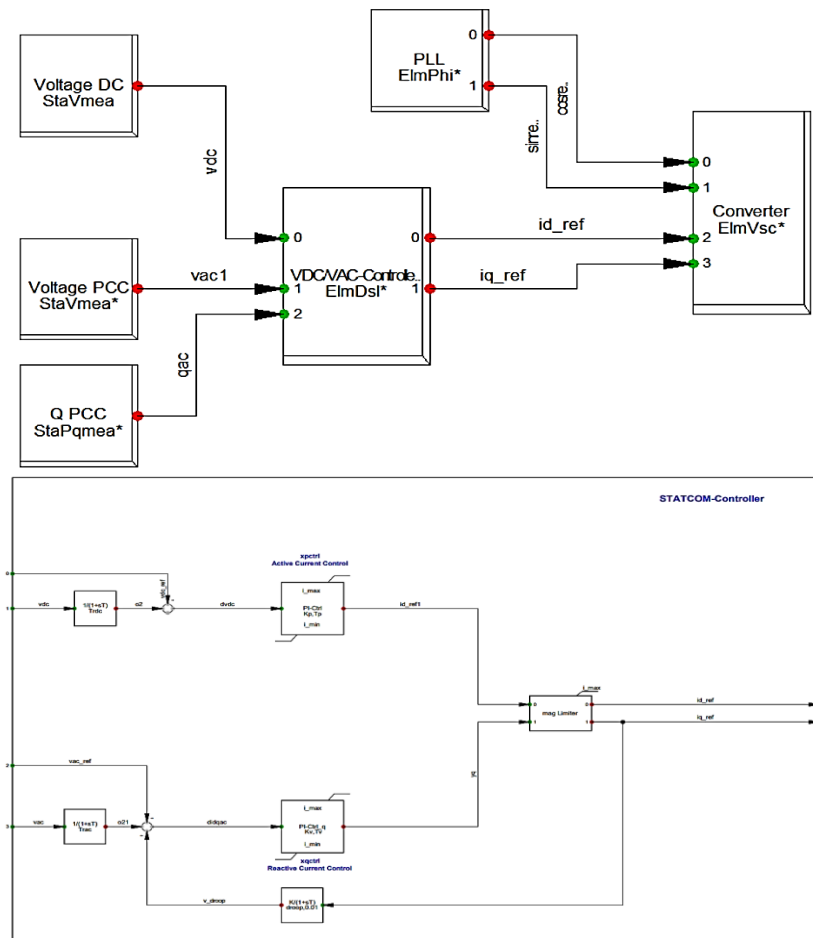


Figura 10 Diseño y control del compensador en Digsilent.

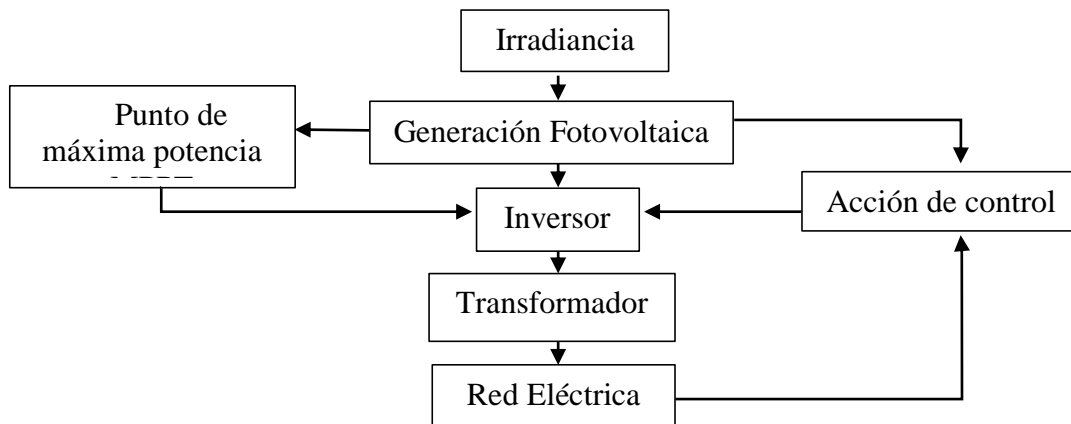


Figura 11 Representación gráfica del proceso de control.

5. Resultados de la simulación

Los resultados de la simulación corresponden a un sistema fotovoltaico conectado a la red de 13 barras del sistema IEEE, el tiempo de simulación del sistema es de 0.1 segundos. Durante la simulación la irradiancia presentara

cambios para observar los efectos que provoca en la red cuando no se tiene un dispositivo de compensación y de igual manera cuando se efectúa la conexión de un dispositivo de compensación (D-statcom).

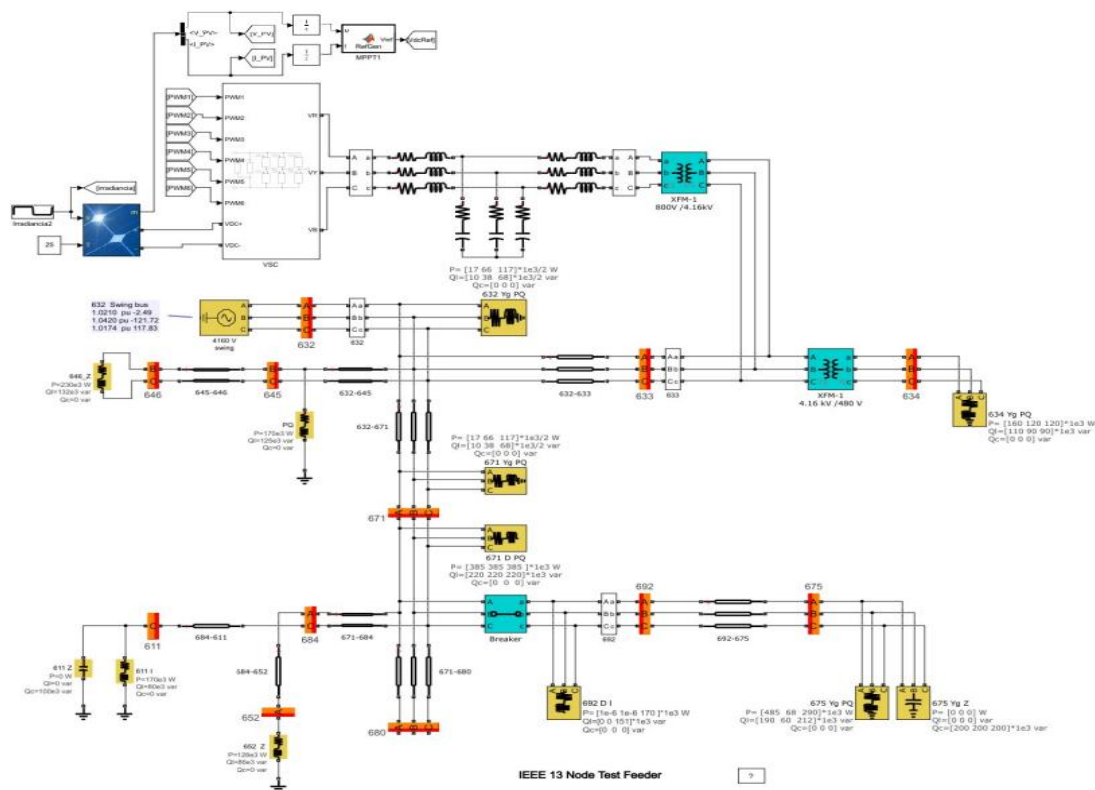


Figura 12 Sistema fotovoltaico conectado a la red de 13 barras del sistema IEEE.

El módulo fotovoltaico de este documento utiliza 55 cadenas en paralelo y 46 cadenas en serie, la irradiancia máxima es de 1000 W/m^2 , la potencia máxima del sistema fotovoltaico solar es de 500 kW y el voltaje y corriente del módulo fotovoltaico son 1670 V y 399.8 A en el punto de máxima potencia.

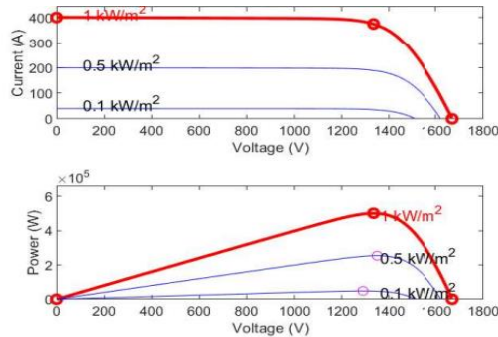


Figura 13 Características de voltaje y corriente de la matriz solar fotovoltaica.

Los valores de entrada de irradiancia del sistema solar se realizan en dos etapas. La primera etapa con una irradiancia constante de 1000 W/m^2 y la segunda etapa con variaciones entre los 0.04 a 0.05 segundos con una irradiancia de 800 W/m^2 y de 0.05 a 0.06 segundos con una irradiancia de 500 W/m^2 .

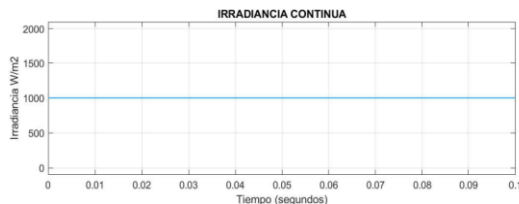


Figura 14 Cantidad de Irradiancia solar (W/m^2)

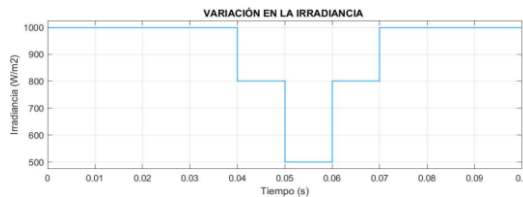


Figura 15 Variación de la Cantidad de Irradiancia solar (W/m^2)

La tabla 4 expresa la potencia de salida que se obtiene con diferentes valores de irradiancia solar.

Irradiancia (W/m^2)	Potencia(kW)
1000	500
900	435
800	380
700	332
600	300
500	250
400	200
300	130
200	100
100	25

Tabla 3 Proporción de Potencia Activa de salida vs entrada de irradiancia.

5.1 Caso sin el dispositivo D-statcom

En las figuras 15 y 16 se observa que la operación de un sistema fotovoltaico conectado en la red sin un sistema de compensación ocasiona que las formas de voltaje y corriente de salida del inversor hacia la red se encuentren distorsionadas provocando que las señales contengan transitorios.

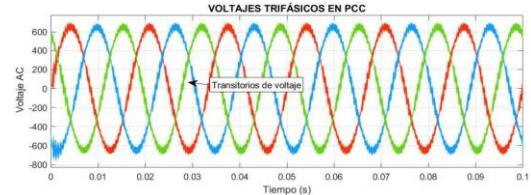


Figura 16 Forma de onda de voltaje trifásica AC sin D-statcom.

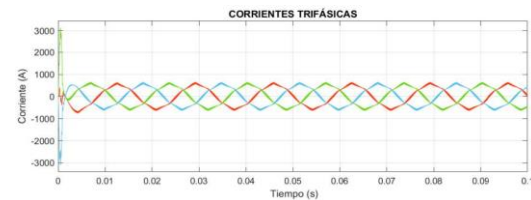


Figura 17 Forma de onda de corriente trifásica AC sin D-statcom en PCC.

En la figura 17 se genera una depresión del voltaje de salida, esto se origina por el efecto de la variación en la entrada de irradiancia solar la cual disminuye, de igual manera en la figura 18 se observa que la corriente se reduce drásticamente.

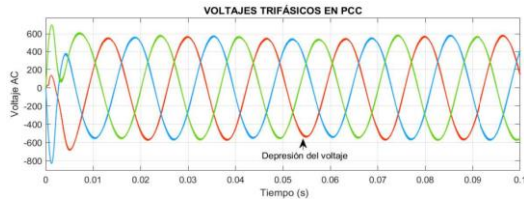


Figura 18 Depresión Forma de onda de voltaje trifásica AC sin D-statcom.

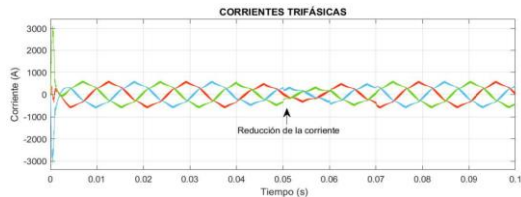


Figura 19 Onda de corriente trifásica AC sin D-statcom y variación en la irradiancia.

La tensión del sistema fotovoltaico debe ser controlado para que pueda suministrar una potencia continua, el gráfico 19 refleja que al no poseer una acción de control ocasiona que la tensión no presente un amortiguamiento en el voltaje Vdc al momento de tener una irradiancia continua o una variación.

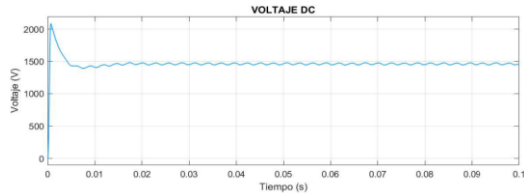


Figura 20 Voltaje de corriente continua.

5.2 Caso con el dispositivo D-statcom

Cuando la irradiancia se mantiene en un régimen permanente de 1000 W/m^2 la tensión y corriente permanece constante en el punto de conexión como se muestra en el gráfico 20 y 21.

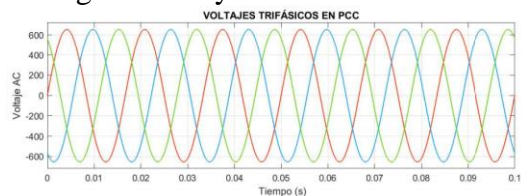


Figura 21 Forma de onda de voltaje trifásica AC con D-statcom .

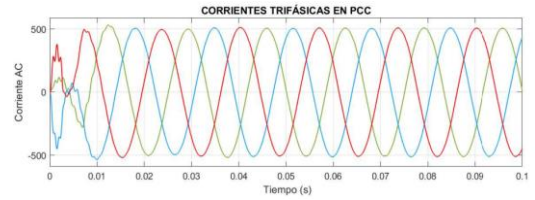


Figura 22 Forma de onda de corriente trifásica AC con D-statcom.

En el momento en el que se produce la disminución de irradiancia a 800 W/m^2 y 500 W/m^2 se observa la disminución de corriente como se observa en el gráfico 23 lo cual genera perturbaciones al tener un mecanismo de compensación se logra evitar la depresión del voltaje en el sistema ver gráfico 22.

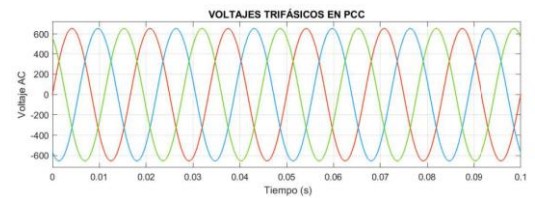


Figura 23 Onda de voltaje trifásica AC con D-statcom y variación en la irradiancia.

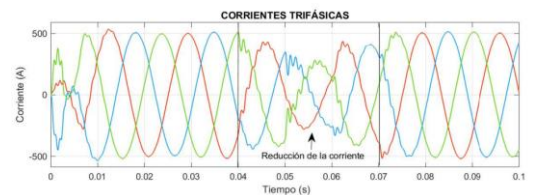


Figura 24 Onda de corriente trifásica AC con D-statcom y variación en la irradiancia.

La fuente de tensión Vdc posibilita la actuación del inversor, si no se tiene un control en el Vdc ocasiona que las ondas de voltaje y corriente estén distorsionadas, el resultado obtenido al usar controladores PI permite que la tensión Vdc pueda permanecer estable cuando no se produce una perturbación, así también que pueda reestablecer el valor de tensión cuando se produce un estado transitorio.

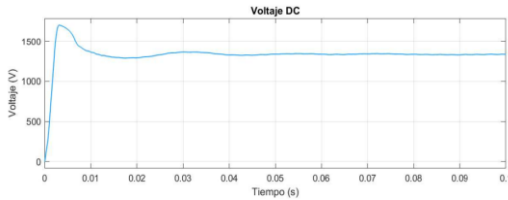


Figura 25 Desempeño del sistema de control sin cambios en la irradiancia.

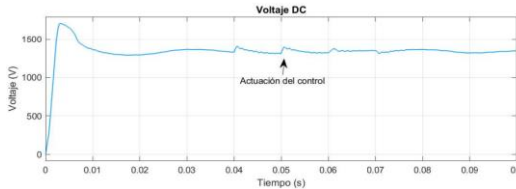


Figura 26 Desempeño del sistema de con cambios en la irradiancia.

Los controladores PI utilizados en el método de control de corriente se establecieron en $K_P = 75$ y $K_I = 100$. El controlador PI que ajusta el voltaje, se estableció en $K_P = 0.25$ y $K_I = 30$.

El gráfico 26 muestra que al tener un sistema fotovoltaico estacionario la potencia activa suministrada a la red no presenta cambios, por tal motivo no existe el aporte de potencia reactiva.

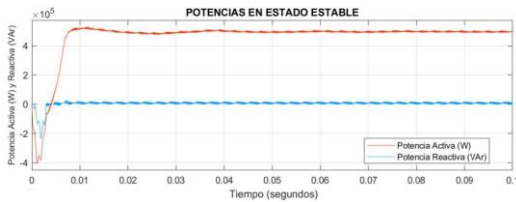


Figura 27 Respuesta de Potencia activa y Reactiva sin variación en la irradiancia.

Algo diferente ocurre al momento de tener un cambio en la irradiancia, la potencia activa disminuye donde empieza a actuar el control del D-statcom aportando de energía reactiva para poder compensar la pérdida de potencia y poder tener un suministro de voltaje estable, el resultado se presenta en los gráficos 27 y 28.

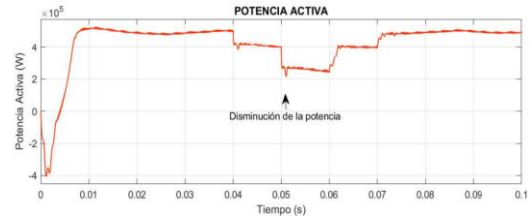


Figura 28 Respuesta potencia activa con variación en la irradiancia.

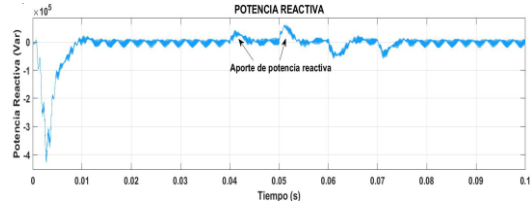


Figura 29 Respuesta de potencia reactiva con variación en la irradiancia.

Se observa que la forma de onda de voltaje y corriente en el gráfico 29 está en fase entre sí, por lo que se logra una mejora del factor de potencia

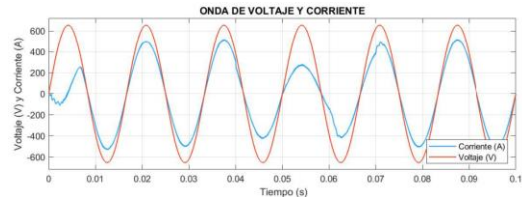


Figura 30 Forma de onda de voltaje y corriente en fase.

5.3 Resultados del espectro de frecuencia

La transformada rápida de Fourier permite obtener información sobre la intensidad de determinada frecuencia y también de la fase. El objetivo de realizar el análisis es para determinar la cantidad de armónicos presentes en la onda suministrada a la red y cumplir con los valores especificados en la norma IEEE 519-1992 la cual permite valores máximos del 5% de THD.

5.3.1 Caso sin el dispositivo D-statcom

Al examinar el THD presente en la onda de voltaje y corriente que es suministrada a la red, muestra que alcanzan valores superiores al 5% los cuales no son valores adecuados para la

conexión en la red según la norma IEEE 519-1992. Los resultados del análisis FFT del voltaje de la corriente se muestran en los gráficos 30 y 31.

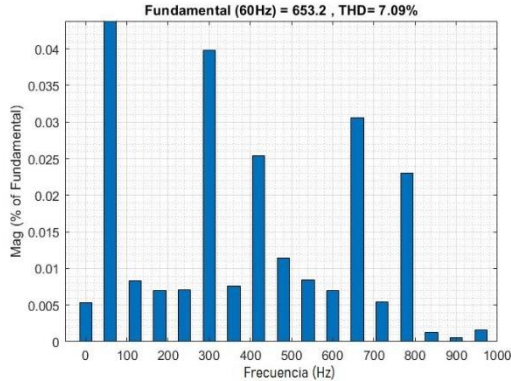


Figura 31 Resultados del análisis FFT del voltaje CA trifásica de salida.

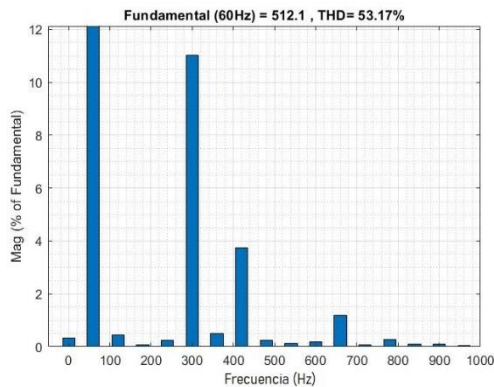


Figura 32 Resultados del análisis FFT de la corriente CA trifásica de salida.

5.3.2 Caso con el dispositivo D-statcom

Para obtener calidad de energía los valores de THD deben estar en valores por debajo del 5%, por ello se realiza el análisis para la onda de voltaje y corriente, en ambas situaciones se obtiene un THD aceptable lo que permite saber que el control opera de manera favorable. Los resultados del análisis FFT del voltaje de la corriente se muestran en los gráficos 32 y 33.

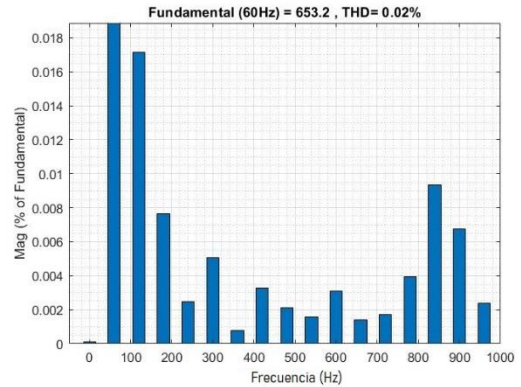


Figura 33 Resultados del análisis FFT del voltaje de CA trifásico de salida.

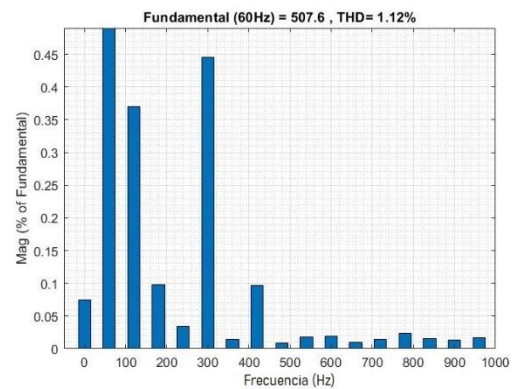


Figura 34 Resultados del análisis FFT de la corriente CA trifásica de salida.

El compensador permite operar ante condiciones de cambios en irradiancia solar logrando una mejora en los perfiles de voltaje con el aporte de energía reactiva. En la tabla 5 se detallan los valores de cada componente del compensador

D-statcom	
Elemento	Valor
Filtro L	1524.83 μ H
Filtro C	46.14 μ F.
Condensador CD	1000 μ F
Transformador	0.8kV/4.16 kV

Tabla 4 Valores de los componentes del D-STATCOM.

6. Conclusiones.

La investigación desarrollada presenta la simulación de un sistema fotovoltaico, el diseño y el método de control de un dispositivo D-statcom. El sistema fue

sometido a cambios en la irradiancia para demostrar el rendimiento de los controladores. Los resultados obtenidos exponen que la corriente y la potencia de salida están relacionados con la cantidad de entrada de irradiancia, al no tener un sistema de compensación causa que estos cambios repentinos provoquen perturbaciones transitorias en el voltaje que es suministrado a la red.

Los resultados obtenidos sin un sistema de compensación durante la disminución de irradiancia entre los segundos de 0.04 a 0.05 y de 0.05 a 0.06 muestran que, los valores del voltaje suministrado a la red presentan una disminución de 555 kV y 530 kV durante las variaciones. Sin embargo, la integración de un dispositivo D-statcom demuestra que puede mantener el abastecimiento del voltaje a la red estable con un valor de 670 kV mediante el aporte de la potencia reactiva cuando se origina las pérdidas de potencia activa por los cambios ambientales.

El diseño del D-statcom integra una configuración de 6 transistores IGBT, dos capacitores de 500 μ F. El método de control aplicado en este artículo usa para el voltaje y la corriente controladores PI con el objetivo de obtener una señal de referencia, un control de modulación por ancho de pulso (PWM), un filtro LCL con valores para la inductancia de 1524.83 μ H y para la capacitancia 46.14 μ F. Para la conexión a la red se integra un transformador de 0.8 kV a 4.16 kV. El proyecto demuestra una operación eficaz y útil para cualquier variación en la irradiancia solar.

El modelo planteado logró una mejora en los perfiles de voltaje suministrados a la red durante las variaciones de los factores climáticos, esto se comprueba al comparar el THD del voltaje sin un dispositivo de compensación el cual inicialmente se encontraba con un valor

de 7.09% y después de realizar la integración del D-statcom posee un valor de 0.02% de tal forma que está por debajo de los valores especificados en la norma IEEE 519-1992.

La investigación desarrollada permitió cumplir con los objetivos proyectados.

7. Referencias

- [1] C. I. Sanseverinatti, A. S. Loyarte, L. A. Clementi, and J. R. Vega, "Impact of Battery Banks on an Electric Grid with High Penetration of Renewable Energy-based Generators," *2018 IEEE Bienn. Congr. Argentina, ARGENCON 2018*, pp. 2–7, 2019, doi: 10.1109/ARGENCON.2018.8646144.
- [2] C. Anzures, J. Posada, K. Osorio, J. R. V. Medina, V. M. Sanchez, and Y. U. Lopez, "Operación de Sistemas de Generación y Suministro de Energía Eléctrica en Zonas no Interconectadas de Colombia," *2018 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2018 - Conf. Proc.*, 2018, doi: 10.1109/ANDESCON.2018.8564585.
- [3] J. Chen *et al.*, "Impact of smart transformer voltage and frequency support in a high renewable penetration system," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 190, no. September 2020, p. 106836, 2021, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106836.
- [4] M. Saufi, "N. Ghasemkhani, R. Khalili, B. Zaker y GB Gharehpetian, 'Effect of Synchronous Generator-Based Distributed Generation Resources on Power System Transient Stability Considerando Critical Clearing Time Index', 2018 Electrical Power Distribution

- Conference (," vol. 2, pp. 227–249, 2018.
- [5] X. Li and L. Ran, "Impact of photovoltaic generation on load characteristics in distribution network," *Proc. 2016 IEEE Adv. Inf. Manag. Commun. Electron. Autom. Control Conf. IMCEC 2016*, pp. 1212–1216, 2017, doi: 10.1109/IMCEC.2016.7867404.
- [6] L. A. Arias, E. Rivas, and L. M. León, "Propuesta de modelo de gestión para redes eléctricas con generación distribuida a través de unidades de medición fasorial," *Inf. Tecnol.*, vol. 28, no. 2, pp. 15–28, 2017, doi: 10.4067/S0718-07642017000200003.
- [7] B. Phan, H. Nguyen, P. Le, H. Nguyen, and N. Le, "Transient Stability of Low Voltage Micro Grid," *Proc. 2019 Int. Conf. Syst. Sci. Eng. ICSSE 2019*, pp. 169–173, 2019, doi: 10.1109/ICSSE.2019.8823299.
- [8] S. Pal and R. Saive, "Experimental study of the spectral and angular solar irradiance," *Opt. InfoBase Conf. Pap.*, vol. Part F136-, pp. 3182–3186, 2019, doi: 10.1364/PVLED.2019.PW2C.4.
- [9] F. C. L. Trindade, T. S. D. Ferreira, M. G. Lopes, and W. Freitas, "Mitigation of Fast Voltage Variations during Cloud Transients in Distribution Systems with PV Solar Farms," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 32, no. 2, pp. 921–932, 2017, doi: 10.1109/TPWRD.2016.2562922.
- [10] S. Qiao, G. Zou, W. Sun, and X. Du, "A day ahead optimal scheduling method for active distribution network," *Proc. - 2020 5th Asia Conf. Power Electr. Eng. ACPEE 2020*, no. 3, pp. 1101–1105, 2020, doi: 10.1109/ACPEE48638.2020.9136479.
- [11] X. Yao, L. Xue, and Y. Wang, "A fusion design method of transfer function," *Proc. - 2015 Int. Conf. Comput. Commun. Syst. ICCCS 2015*, no. 2, pp. 73–76, 2016, doi: 10.1109/CCOMS.2015.7562875.
- [12] K. Verma, Bharti, and A. Gupta, "A modeling and control functions of grid connected converter for solar photovoltaic system- A review," *India Int. Conf. Power Electron. IICPE*, vol. 2016-Novem, 2016, doi: 10.1109/IICPE.2016.8079441.
- [13] R. Bhat and A. P. Meliopoulos, "Probability of distribution network pole failures under extreme weather conditions," *Clemson Univ. Power Syst. Conf. PSC 2016*, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/PSC.2016.7462860.
- [14] O. Shavuka, K. O. Awodele, S. P. Chowdhury, and S. Chowdhury, "Reliability analysis of distribution networks," *2010 Int. Conf. Power Syst. Technol. Technol. Innov. Mak. Power Grid Smarter, POWERCON2010*, 2010, doi: 10.1109/POWERCON.2010.5666066.
- [15] S. Eftekharijad, V. Vittal, G. T. Heydt, B. Keel, and J. Loehr, "Impact of increased penetration of photovoltaic generation on power systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 2, pp. 893–901, 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2216294.
- [16] Z. Li, W. Wu, B. Zhang, and X. Tai, "Analytical Reliability Assessment Method for Complex Distribution Networks Considering Post-Fault Network Reconfiguration," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 35, no. 2, pp. 1457–1467, 2020, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2936543.

- [17] F. Hussain, H. Liu, and Y. Shen, "A Novel Method for Analysis of Power Quality Transient Disturbances," *Proc. 2018 Int. Comput. Signals Syst. Conf. ICOMSSC 2018*, pp. 563–566, 2018, doi: 10.1109/ICOMSSC45026.2018.8941670.
- [18] H. Ping, L. Dong, and Q. Xin, "Influence of grid-connected photovoltaic systems on power quality," *Proc. 2019 IEEE 2nd Int. Conf. Autom. Electron. Electr. Eng. AUTEEE 2019*, pp. 447–451, 2019, doi: 10.1109/AUTEEE48671.2019.9033202.
- [19] A. Chakraborty and R. Mandal, "A novel technique employing DWT-based envelope analysis for detection of power system transients," *2017 Int. Conf. Energy, Commun. Data Anal. Soft Comput. ICECDS 2017*, pp. 346–350, 2018, doi: 10.1109/ICECDS.2017.8390084.
- [20] A. Lohate and M. Chaudhari, "Thyristor Binary Compensator Strategy for Reactive Power Compensation and PF Improvement using Static VAR Compensator," *2018 Int. Conf. Recent Innov. Electr. Electron. Commun. Eng. ICRIEECE 2018*, pp. 2469–2474, 2018, doi: 10.1109/ICRIEECE44171.2018.9008980.
- [21] D. I. Panfilov, A. E. Elgebaly, and M. G. Astashev, "Design and assessment of static VAR compensator on railways power grid operation under normal and contingencies conditions," *EEEIC 2016 - Int. Conf. Environ. Electr. Eng.*, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/EEEIC.2016.7555525.
- [22] K. Ramadhan, K. Yonathan, I. M. Ardita, F. H. Jufri, and A. R. Utomo, "Voltage stability improvement using load shedding and static VAR compensator (SVC): Study case of senayan-sambas power system," *2nd IEEE Int. Conf. Innov. Res. Dev. ICIRD 2019*, 2019, doi: 10.1109/ICIRD47319.2019.9074752.
- [23] IEEE Power and Energy Society, *IEEE Guide for Specification of Transmission Static Synchronous Compensator (STATCOM) Systems*. 2018.
- [24] W. Farm, "Comparison of Using," no. 5, pp. 279–283, 2006.
- [25] J. L. Dong, W. L. Eun, H. L. Jong, and G. K. Jong, "Simulation of static synchronous compensator (STATCOM)," *ICEMS 2005 Proc. Eighth Int. Conf. Electr. Mach. Syst.*, vol. 2, pp. 1401–1403, 2005, doi: 10.1109/icems.2005.202778.
- [26] P. Mahale, K. D. Joshi, and V. K. Chandrakar, "Static Synchronous Compensator (STATCOM) with energy storage," *2009 2nd Int. Conf. Emerg. Trends Eng. Technol. ICETET 2009*, pp. 560–563, 2009, doi: 10.1109/ICETET.2009.213.
- [27] H. K. Shah, P. N. Kapil, and M. T. Shah, "Simulation & analysis of Distribution Static Compensator (D-STATCOM)," *2011 Nirma Univ. Int. Conf. Eng. Curr. Trends Technol. NUiCONE 2011 - Conf. Proc.*, pp. 8–10, 2011, doi: 10.1109/NUiConE.2011.6153294.
- [28] N. Van Minh, B. Q. Khanh, and P. V. Phuong, "Comparative simulation results of DVR and D-STATCOM to improve voltage quality in distributed power system," *Proc. - 2017 Int. Conf. Syst. Sci. Eng. ICSSE 2017*, pp.

- 196–199, 2017, doi: 10.1109/ICSSE.2017.8030864.
- [29] H. A. Pereira, M. R. Haddioui, L. O. M. De Oliveira, L. Mathe, M. Bongiorno, and R. Teodorescu, “Circulating current suppression strategies for D-STATCOM based on modular Multilevel Converters,” *2015 IEEE 13th Brazilian Power Electron. Conf. 1st South. Power Electron. Conf. COBEP/SPEC 2016*, 2015, doi: 10.1109/COBEP.2015.7420153.
- [30] W. Du, Q. Jiang, M. J. Erickson, and R. H. Lasseter, “Voltage-source control of PV inverter in a CERTS microgrid,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, no. 4, pp. 1726–1734, 2014, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2302313.
- [31] O. O. Mengi, “A five-level H-Bridge STATCOM for an off-grid PV solar farm under two controllers PI and PI λ -MPC hybrid,” *Int. J. Photoenergy*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/4030214.
- [32] D. Aiswarya, K. Ilango, and M. G. Nair, “A comparative performance analysis of PV grid interface STATCOM control algorithms,” *2017 Innov. Power Adv. Comput. Technol. i-PACT 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1–7, 2017, doi: 10.1109/IPACT.2017.8245213.
- [33] O. A. Morfín Garduño, L. A. Zavala Rubio, F. Ornelas Téllez, and R. Ramírez Betancour, “Compensación de potencia reactiva mediante el control robusto de un STATCOM en un sistema de potencia,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 22, no. 3, pp. 1–13, 2021, doi: 10.22201/fi.25940732e.2021.22.3.020.
- [34] N. M. Salgado Herrera, A. M. Ríos, and R. T. Sánchez, “Compensación Reactiva en una Red Eléctrica con Generación Eólica mediante un STATCOM,” *Dep.Fie.Umich.Mx*, [Online]. Available: http://dep.fie.umich.mx/produccion_dep/media/pdfs/00122_compensacion_react.pdf.
- [35] G. Díaz, C. Peraza, F. Gonzalez-longatt, and C. Villanueva, “Control de inversores en sistemas de generación distribuida,” *Rev. Ing. UC*, vol. 12, no. 3, pp. 29–39, 2005.
- [36] P. K. Singh and A. K. Dahiya, “Analysis Modelling Simulation of Grid Connected PV-System with D-Statcom,” *Proc. 2nd Int. Conf. Intell. Comput. Control Syst. ICICCS 2018*, no. Iccics, pp. 1517–1522, 2019, doi: 10.1109/ICCONS.2018.8662907.
- [37] H. Li, H. Zhang, F. Ma, and W. Bao, “Modeling, Control and Simulation of Grid connected PV System with D-STATCOM,” College of Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China Shanghai pp. 1–4, 2014.

8. Estado del arte

DISEÑO DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO PARA LA MITIGACIÓN DE VARIACIONES TRANSITORIAS DE VOLTAJE ANTE LA PRESENCIA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA																					
ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Generación distribuida, Sistema fotovoltaico	Modelo de generación, Función de transferencia en circuitos lineales, control mediante diagrama de bloques	Tipos de perturbaciones transitorias	Tecnologías de compensación de potencia reactiva	Calidad de energía	Variación de irradiancia solar	Desequilibrio del suministro eléctrico	reducción de las variaciones de voltaje	Estabilidad del sistema de energía	Espectro de frecuencia	dimensionamiento del inversor de voltaje filtro LCL	Lazo de seguimiento por fase	Punto de máxima potencia	Implementación de control mediante método de pulso	Diseño del compensador estático síncrono statcom	Incorporación de generación fotovoltaica	Análisis de perfiles de voltaje	Reducción del THD en onda suministrada	
1	2018	Impact of Battery Banks on an Electric Grid with High Penetration of Renewable Energy-based Generators.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>
2	2018	Operación de Sistemas de Generación y Suministro de Energía Eléctrica en Zonas no Interconectadas de Colombia.	<input checked="" 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 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"/>
3	2020	Impact of smart transformer voltage and frequency support in a high renewable penetration system.	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	2015	Effect of Synchronous Generator-Based Distributed Generation Resources on Power System Transient Stability Considering Critical Clearing Time Index.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>
5	2016	Effect of Synchronous Generator-Based Distributed Generation Resources on Power System Transient Stability Considering Critical Clearing Time Index.	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>
6	2017	Propuesta de modelo de gestión para redes eléctricas con generación distribuida a través de unidades de medición fasorial.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>
7	2019	Transient Stability of Low Voltage Micro Grid	<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 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	2020	A day ahead optimal scheduling method for active distribution network.	<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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DISEÑO DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO PARA LA MITIGACIÓN DE VARIACIONES TRANSITORIAS DE VOLTAJE ANTE LA PRESENCIA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA																				
ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Generación distribuida, Sistema fotovoltaico	Modelo de generación, Función de transferencia en circuitos lineales, control mediante diagrama de bloques	Tipos de perturbaciones transitorias	Tecnologías de compensación de potencia reactiva	Calidad de energía	Variación de irradiancia solar	Desequilibrio del suministro eléctrico	reducción de las variaciones de voltaje	Estabilidad del sistema de energía	Espectro de frecuencia	diseñomiamiento del inductor de voltaje filtro LCL	Lazo de seguimiento por fase	Punto de máxima potencia	Implementación de control mediante ancho de pulso	Diseño del compensador estático síncrono sistema	Incorporación de generación fotovoltaica	Análisis de perfiles de voltaje	Reducción del THD en onda suministrada
9	2019	Experimental study of the spectral and angular solar irradiance	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☑	☐
10	2017	Mitigation of Fast Voltage Variations during Cloud Transients in Distribution Systems with PV Solar Farms.	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☑	☐	☑
11	2015	A fusion design method of transfer function.	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐
12	2016	A modeling and control functions of grid connected converter for solar photovoltaic system- A review.	☐	☑	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑
13	2016	Probability of distribution network pole failures under extreme weather conditions.	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐
14	2010	Reliability analysis of distribution networks.	☑	☑	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	☑
15	2013	Impact of increased penetration of photovoltaic generation on power systems.	☐	☑	☑	☐	☑	☑	☐	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑
16	2020	Analytical Reliability Assessment Method for Complex Distribution Networks Considering Post-Fault Network Reconfiguration.	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☑	☐	☐
17	2018	A Novel Method for Analysis of Power Quality Transient Disturbances.	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐
18	2019	Influence of grid-connected photovoltaic systems on power quality.	☐	☐	☑	☐	☑	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑
19	2017	A novel technique employing DWT-based envelope analysis for detection of power system transients.	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐
20	2018	Thyristor Binary Compensator Strategy for Reactive Power Compensation and PF Improvement using Static VAR Compensator.	☐	☐	☑	☐	☑	☐	☐	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑
21	2016	Design and assessment of static VAR compensator on railways power grid operation under normal and contingencies conditions.	☐	☐	☑	☐	☑	☐	☐	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑

DISEÑO DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO PARA LA MITIGACIÓN DE VARIACIONES TRANSITORIAS DE VOLTAJE ANTE LA PRESENCIA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA																				
ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Generación distribuida, Sistema fotovoltaico	Modelo de generación, Función de transferencia en circuitos lineales, control mediante diagrama de bloques	Tipos de perturbaciones transitorias	Tecnologías de compensación de potencia reactiva	Calidad de energía	Variación de irradiación solar	Desequilibrio del suministro eléctrico	reducción de las variaciones de voltaje	Estabilidad del sistema de energía	Espectro de frecuencia	dimensionamiento del inversor de voltaje filtro LCL	Lazo de seguimiento por fase	Punto de máxima potencia	Implementación de control mediante antena de pabso	Diseño del compensador estático sincrónico statcom	Incorporación de generación fotovoltaica	Análisis de perfiles de voltaje	Reducción del THD en onda suministrada
22	2019	Voltage stability improvement using load shedding and static VAR compensator (SVC): Study case of senayan-sambas power system.	<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"/>	<input type="checkbox"/>	
23	2018	Guide for Specification of Transmission Static Synchronous Compensator (STATCOM).	<input type="checkbox"/>	<input 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 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"/>	
24	2006	Comparison of Using	<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"/>	
25	2005	Simulation of static synchronous compensator (STATCOM).	<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 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"/>	
26	2009	Static Synchronous Compensator (STATCOM) with energy storage.	<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"/>	<input type="checkbox"/>	
27	2011	Simulation & analysis of Distribution Static Compensator (D-STATCOM).	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>	
28	2015	Circulating current suppression strategies for D-STATCOM based on modular Multilevel Converters.	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29	2017	Comparative simulation results of DVR and D-STATCOM to improve voltage quality in distributed power system.	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30	2014	Voltage-source control of PV inverter in a CERTS microgrid.	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
31	2016	A five-level H-Bridge STATCOM for an off-grid PV solar farm under two controllers PI and PI-MPC hybrid.	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
32	2017	A comparative performance analysis of PV grid interface STATCOM control algorithms	<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"/>	
33	2021	Compensación de potencia reactiva mediante el control robusto de un STATCOM en un sistema de potencia	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
34	2020	Compensación Reactiva en una Red Eléctrica con Generación Eólica mediante un STATCOM	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
35	2005	Control de inversores en sistemas de generación distribuida	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
36	2016	Analysis Modelling Simulation of Grid Connected PV-System with D-Statcom	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
37	2014	Modeling, Control and Simulation of Grid connected PV System with D-STATCOM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input 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 type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			14	22	13	6	13	8	6	5	14	9	4	8	4	8	7	8	10	16

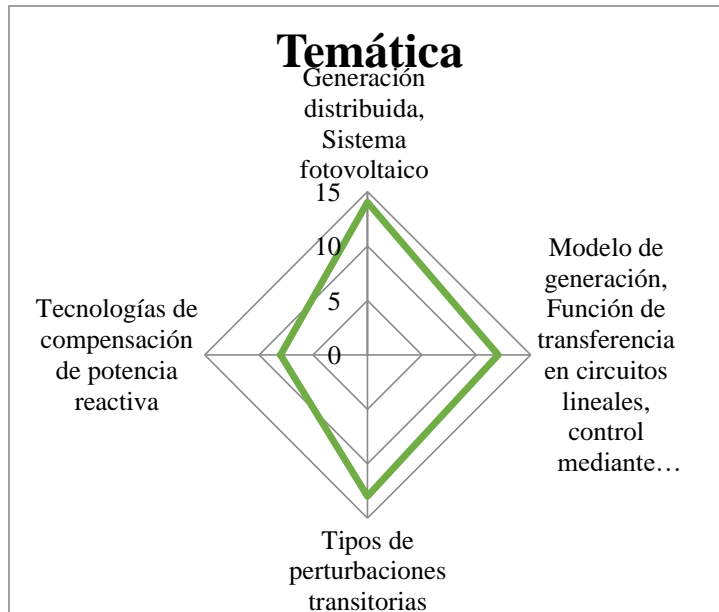


Tabla 6 Matriz de estado del arte

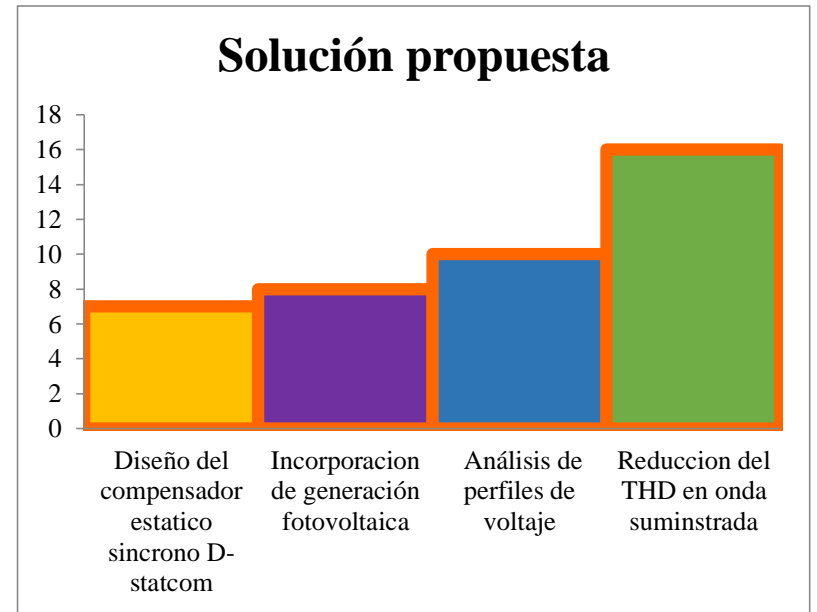


Tabla 5 Resumen e Indicadores del estado del arte

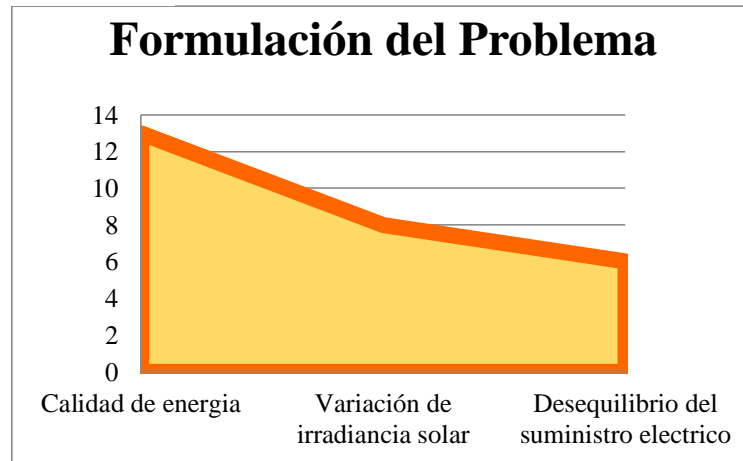


Tabla 7 Resumen e Indicadores del estado del arte