

**MÉTODO DE CONTROL PARA DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN
DINÁMICOS (SVC) MEDIANTE ALGORITMOS DE CONTROL ÓPTIMO BASADO
EN LA NORMA H-INF**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**MÉTODO DE CONTROL PARA DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN
DINÁMICOS (SVC) MEDIANTE ALGORITMOS DE CONTROL ÓPTIMO BASADO
EN LA NORMA H-INF**

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

**AUTOR
JUAN CARLOS ACHIG NAULA**

**TUTOR
LEONY ORTIZ MATOS**

**Quito -Ecuador
2022**

Juan Carlos Achig Naula

MÉTODO DE CONTROL PARA DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN DINÁMICOS (SVC) MEDIANTE ALGORITMOS DE CONTROL ÓPTIMO BASADO EN LA NORMA H-INF

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2022
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Juan Carlos Achig Naula (Y' 1995). Realizo sus estudios de nivel primario en la “Unidad Educativa Rincón del Saber”, se graduó de bachiller “Técnico Eléctrico” en el Colegio Técnico Sucre con especialidad en “Instalaciones, Equipos Y Maquinas Eléctricas”. Egresado de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo de titulación trata de un método de control para dispositivos de compensación dinámicos (SVC) mediante algoritmos de control óptimo basado en la norma H-Inf. Sus principales intereses de investigación son Control robusto de Regulación De Voltaje, Diagnóstico de Flujos de Potencia y Micro-redes eléctricas Híbridas AC/DC. jachign@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Leony Ortiz Matos (Y' 1982). Recibió el título de MSc. e ingeniería en automática por el Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Mella (ISPJAM) de la Universidad de Oriente, Cuba. Actualmente recibió el título de doctor en ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana Colombia-Medellín, Es miembro del grupo de investigación de redes eléctricas inteligentes (GIREI). Forma parte del grupo académico de la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador. Sus principales intereses de investigación son Automatización y Control, Control Robusto y Control Tolerante a Fallos, Micro-redes Eléctricas Inteligentes Híbridas AC/DC. lortiz@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, Juan Carlos Achig Naula con documento de identificación N° 1725683609 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, 16 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Juan Carlos Achig Naula
1725683609

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

Yo, Juan Carlos Achig Naula con documento de identificación No. 1725683609, 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: “Método de control para dispositivos de compensación dinámicos (SVC) mediante algoritmos de control óptimo basado en la norma H-Inf”, 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, 16 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Juan Carlos Achig Naula
1725683609

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Leony Ortiz Matos con documento de identificación N° 175423038-9, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: MÉTODO DE CONTROL PARA DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN DINÁMICOS (SVC) MEDIANTE ALGORITMOS DE CONTROL ÓPTIMO BASADO EN LA NORMA H-INF, realizado por Juan Carlos Achig Naula con documento de identificación N° 172568360-9, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Leony Ortiz Matos, PH.D
1754230389

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Introducción | 2 |
| 2 | Marco teórico..... | 3 |
| 2.1 | Micro-Redes Híbridas (MRH)..... | 3 |
| 2.2 | Estabilidad de Voltaje Compensador Estático de Reactivo (SVC)..... | 3 |
| 2.3 | Control De Dispositivos SVC | 3 |
| 3 | Planteamiento del problema | 3 |
| 3.1 | Control H^∞ | 3 |
| 4 | Caso de estudio..... | 5 |
| 5 | Análisis de resultados..... | 6 |
| 5.1 | Caso base sin control de voltaje en mínima demanda..... | 6 |
| 5.2 | Caso base sin control de voltaje en máxima demanda | 6 |
| 5.3 | Caso base con control de voltaje en mínima demanda..... | 7 |
| 5.4 | Caso base con control de voltaje en máxima demanda..... | 7 |
| 5.5 | Comparación de casos en mínima y máxima demanda | 8 |
| 6 | Conclusiones..... | 9 |
| 6.1 | Trabajos futuros | 9 |
| 7 | Referencias..... | 9 |
| 7.1 | Matriz de Estado del Arte | 15 |
| 7.2 | Resumen de Indicadores..... | 20 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Micro-red Híbrida tipo Benchmark con sistema de monitoreo y control de SVC..... | 2 |
| Figura 2 Diagrama del sistema de control H^∞ | 4 |
| Figura 3 Diseño del controlador y regulador de voltaje para el SVC..... | 5 |
| Figura 4 Señal de voltaje p.u en mínima demanda sin control..... | 6 |
| Figura 5 Señal de voltaje p.u en máxima demanda sin control..... | 6 |
| Figura 6 Señal de voltaje p.u con pico inicial en mínima demanda con control por H^∞ | 7 |
| Figura 7 Señal de voltaje p.u estable en mínima demanda con control por H^∞ | 7 |
| Figura 8 Señal de voltaje p.u con pico inicial en máxima demanda con control por H^∞ | 7 |
| Figura 9 Señal de voltaje p.u estable en máxima demanda con control por H^∞ | 8 |
| Figura 10 Comparación de la acción de control de señales de voltaje en mínima demanda..... | 8 |
| Figura 11 Comparación de la acción de control de señales de voltaje en máxima demanda..... | 8 |
| Figura 12. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte..... | 20 |
| Figura 13. Indicador de formulación del problema - Estado del arte..... | 20 |
| Figura 14. Indicador de solución - Estado del arte..... | 20 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Diseño del algoritmo H^∞ | 5 |
| Tabla 2 Funciones utilizadas en él algoritmo..... | 5 |
| Tabla 3 Margen de error de voltajes (p.u) caso base..... | 7 |
| Tabla 4 Margen de error de voltajes (p.u) caso base con control por H^∞ | 8 |
| Tabla 5 Margen de mejora de voltajes..... | 8 |
| Tabla 6: Matriz de estado del arte..... | 15 |

MÉTODO DE CONTROL PARA DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN DINÁMICOS (SVC) MEDIANTE ALGORITMOS DE CONTROL ÓPTIMO BASADO EN LA NORMA H- ∞

Resumen

La presente investigación desarrolla un sistema de control óptimo para dispositivos de compensación dinámica conectados a las Micro-redes híbridas en AC. Las perturbaciones que existen en el sistema eléctrico tienen su origen por conexión y desconexión de cargas, las cuales hacen variar de forma notable los perfiles de voltaje. El controlador óptimo propuesto está basado en la norma H_{∞} que busca el rechazo de perturbaciones a la entrada de la Micro-red Híbrida en AC y mejorar la robustez del control para sistemas altamente no lineales como el SVC. La Micro-red en AC, el controlador del SVC, son simulados mediante el software Matlab-Simulink. En el desarrollo del presente documento se puede apreciar un resultado favorable de la señal del voltaje entre el esquema del control por H_{∞} y un esquema clásico, destacándose el control óptimo propuesto por su mejor comportamiento dinámico y un mejor rechazo a perturbaciones.

Palabras Clave: Micro-red Híbrida en AC, Generación distribuida, Dispositivos de compensación dinámicos, Control robusto H_{∞} , Regulación de voltaje.

Abstract

This research develops an optimal control system for dynamic compensation devices connected to AC Hybrid Microgrids. The disturbances that exist in the electrical system have their origin by connection and disconnection of loads, which get the voltage profiles to vary significantly. The proposed optimal controller is based on the H_{∞} standard that seeks the rejection of disturbances at the input of the AC Hybrid Microgrid and improves the robustness of the control for highly nonlinear systems such as the SVC. The AC Microgrid, the SVC controller, is simulated using Matlab-Simulink software. In the development of this paper, it can be appreciated a notorious favorable result of the voltage signal between the H_{∞} control scheme and a classical scheme, highlighting the proposed optimal control for its better dynamic behavior and better rejection to disturbances.

Keywords: AC Hybrid Microgrid, Distributed generation, Dynamic compensation devices, Robust H_{∞} control, Voltage regulation.

1 Introducción

Actualmente la alta demanda y el surgimiento de nuevas tecnologías nos han obligado a implementar mejores sistemas en torno a las Micro-redes híbridas (MRH) que brindan alta confiabilidad, disponibilidad y un soporte eficaz [1]–[6].

Las MRH en AC son una gran elección para proyectos de interconexión a la red principal (RP), puesto que reducen pérdidas de energía, mejoran los perfiles de voltaje y minimizan la contaminación ambiental [1]–[13].

Las MRH en AC operan en diferente tiempo considerando sus formas de generación y almacenamiento como respaldo de energía [1]–[5], [14].

En las interconexiones de la MRH en AC y el sistema eléctrico no debe existir intermitencias puesto que afectan a la operación y a los flujos de potencia [7], [8], [15]–[17].

Para optimizar el desempeño de las MRH en AC es necesario configurar el controlador del dispositivo de

compensación dinámica (SVC) [2]–[4], [13], [18]–[21].

Las técnicas de control optimizan los sistemas donde operan diversos métodos de control y de respaldo. Los cuales actúan de manera tolerante mediante un diagnóstico de detección de intermitencias en el sistema eléctrico y en la MRH en AC [4], [12], [22]–[32].

Este artículo está distribuido de la siguiente manera. En la Sección 2, se presenta el marco teórico donde se aborda un estudio de los diferentes conceptos para solucionar el problema propuesto.

En la sección 3, se define el planteamiento del problema. En la Sección 4, se analiza el caso de estudio. En la Sección 5, se realiza un análisis de resultados de diversos casos de estudio.

En la Sección 6, las conclusiones. En la Sección 7, los trabajos futuros que se propone para investigaciones futuras.

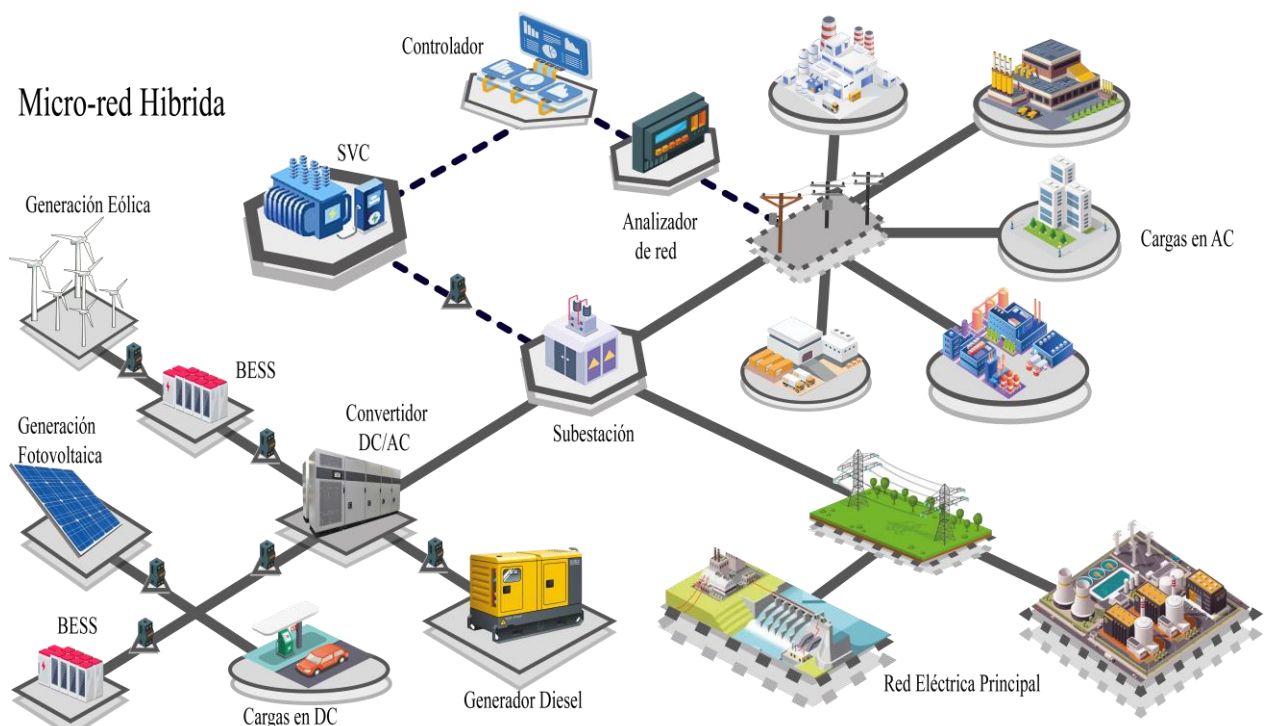


Figura 1 Micro-red Híbrida tipo Benchmark con sistema de monitoreo y control de SVC.

2 Marco teórico

2.1 Micro-Redes Híbridas (MRH)

Las MRH son un conjunto de generación y cargas que pueden operar de manera aislada o en conjunto con la RP, utilizan y aprovechan diferentes recursos ambientales que disminuyen el uso de combustibles fósiles [3], [14], [33], [34].

El modo de operación aislada cubre en totalidad las necesidades de la demanda, teniendo el control adecuado al interactuar con las fuentes de generación de la MRH siendo este el mayor reto en este tipo de operación [11], [14], [20], [26], [28].

El modo de operación interconectado tiene el control más sofisticado de operación con líneas de distribución energizadas y la MRH lo cual brinda un soporte a la RP [11], [20], [30].

Uno de los conflictos que tiene la RP es la desconexión accidental o una falla de programación la cual puede ser solucionada por las MRH ya que mantiene los perfiles de voltaje adecuados con un margen de error mínimo [14], [23], [33]–[39].

2.2 Estabilidad de Voltaje Compensador Estático de Reactivo (SVC)

Los SVC dispositivos pertenecen a los controladores de sistemas flexibles de transmisión de AC (FACTS) con diferentes conexiones en derivación, la principal utilidad es generar o consumir potencia reactiva manteniendo o corrigiendo los perfiles de voltaje en un menor tiempo de respuesta [20], [40]–[42].

El sistema eléctrico principal no se puede cambiar sin embargo puede ser modificado adaptando nuevos sistemas de generación y así cubrir la demanda requerida [1], [3], [40], [42].

Los perfiles de voltaje sufren variaciones y perturbaciones por un alto o bajo consumo de potencia, se realizan análisis en tiempo real y se localiza las intermitencias del

sistema eléctrico para corregir el voltaje se instala el SVC el cual cubrirá con la demanda requerida [1], [3], [40], [43]–[45].

2.3 Control De Dispositivos SVC

Los SVC disponen de configuraciones en las cuales se puede encontrar el de inductores controlados por tiristores (TCR) y también el de condensadores con switches tiristorizados (TSC) [3], [45]–[48].

Las configuraciones de los SVC se activan dependiendo de la disposición, la configuración que dispongan y la que se necesite, mediante variación de reactancia de forma continua o pueden ser controlados por el ángulo de disparo [40], [45], [48]–[51].

Las diferentes disposiciones de las configuraciones se las puede intervenir mediante un control analógico que disponen y brindan los controladores PID [3], [45]–[48], [52], [53].

Se opta por desarrollar diferentes configuraciones o a su vez controladores mucho más sofisticados brindando una mayor fiabilidad y mejores resultados teniendo en cuenta que el control debe regirse a la curva de la demanda diaria y satisfacer los perfiles requeridos [1], [14], [40], [43], [46]–[48], [50], [51].

3 Planteamiento del problema

Para el modelamiento y simulación de una Micro-red híbrida en AC/DC de tipo Benchmark con su estructura general de 14 barras de la IEEE se utiliza el modelo elaborado en Matlab-Simulink del artículo AC/DC Hybrid Microgrids test system simulation: grid-connected mode [5].

3.1 Control H_{∞}

Este tipo de control tiene un modelo objetivo para mejorar y garantizar un rendimiento mayor, en los controladores siendo aún más estable y optimizando la planta, con un correcto funcionamiento siendo siempre monitoreada [2]–[4].

En los sistemas multivariables, se toma en cuenta que el modelo matemático y los sistemas controlados integran un nivel de dificultad aún mayor que los controles tradicionales, e implementados únicamente a controlar una variable del sistema eléctrico [3], [6], [41], [54]–[56].

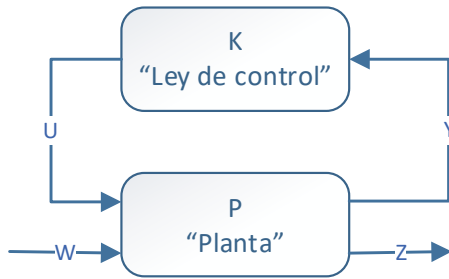


Figura 2 Diagrama del sistema de control H_∞ .

El análisis del control H_∞ , se lo realiza en el plano positivo complejo del espacio Hardy, en donde analiza el valor máximo siendo esta la ganancia en cualquier dirección y frecuencia para todos los diferentes sistemas SISO [2], [3], [52], [54], [55].

Tomando en cuenta los sistemas, se evidencia una minimización de impacto en el caso de lazo cerrado, con una observabilidad en la estabilidad y un rendimiento mejorado en las entradas y salidas de la planta a emplearse [3], [6], [52], [54], [57].

Para el cálculo de las variables manipuladas a partir de variables medidas, señales manipuladas y señales de referencia del sistema que se requiera analizar, se lo puede realizar y calcular de forma matricial con los sistemas de espacios de estados analizados de la siguiente forma [52], [54], [57]:

$$\begin{bmatrix} Z \\ Y \end{bmatrix} = P(s) \begin{bmatrix} W \\ U \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde:

$$\begin{bmatrix} Z \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11}(s) & P_{12}(s) \\ P_{21}(s) & P_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W \\ U \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$U = K(s) * Y \quad (3)$$

Algunas técnicas para la parametrización de controladores de alto orden se basan en la reformulación de Riccati, en forma de matrices lineales, las mismas que requieren diferentes soluciones con superposiciones en sus resoluciones [3], [6].

Para poder obtener los parámetros del controlador K o ley de control, de acuerdo con la norma H_∞ se debe simplificar los valores de $F_l(P, K)$ aplicando el mismo concepto para todos los diferentes modelos de H_2 [3], [6], [53], [55].

Entonces se procede a analizar el sistema de la siguiente manera:

$$F_l(P, K) * W = Z \quad (4)$$

Donde:

$$F_l(P, K) = P_{11} + P_{12} * K(I - P_{22} * K)^{-1} * P_{21} \quad (5)$$

En la figura 3 se muestra el controlador del SVC en conexión con el regulador de voltaje regido por la norma H_∞ , siendo un controlador robusto el cual utiliza como señal de entrada el voltaje de este, que siempre está medido y comparado en tiempo real para la conexión y desconexión del sistema SVC.

El tipo de control del regulador de voltaje reemplaza al control tradicional de los sistemas PI, por ser un control más rígido y teniendo un tiempo de respuesta mucho más corto, observando los perfiles de voltaje en las gráficas resultantes de los diferentes casos de estudio [2], [3], [52]–[55].

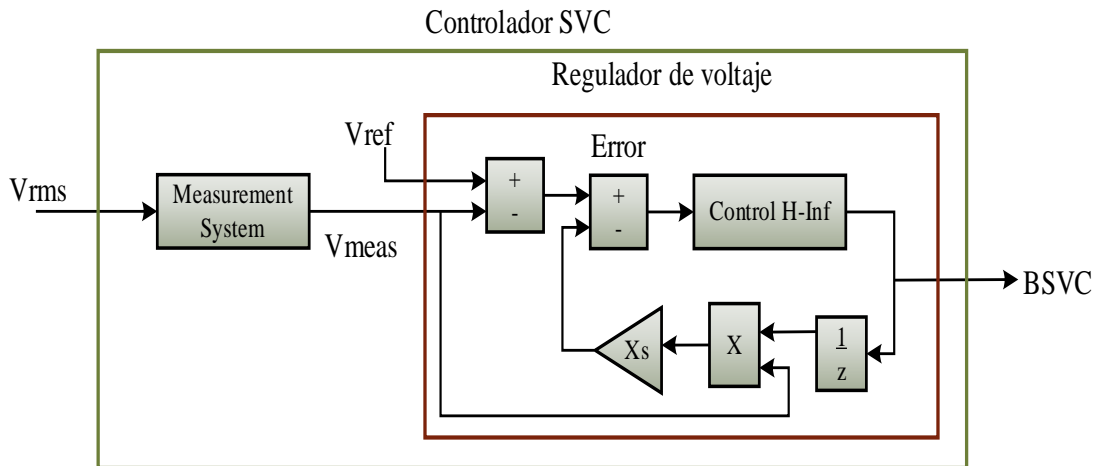


Figura 3 Diseño del controlador y regulador de voltaje para el SVC.

En la tabla 1 se muestra el diseño del algoritmo del controlador basado en la norma H_{∞} , el cual utiliza funciones específicas y disponibles en el software de Matlab-Simulink.

Tabla 1 Diseño del algoritmo H_{∞} .

| Algoritmo 1: Controlador basado en H_{∞} | |
|---|---|
| Paso 1 | Definición parámetros de entrada $P=ss(A,B,C,D);$ |
| Paso 2 | Creación de un modelo de polos, ceros y ganancias $s = zpk('s');$ $M=M/(dcgain(M)*dcgain(P(1,:)));$ $R_ideal = P*M;$ |
| Paso 3 | Conformación del bucle H-infinito $om_c = bandwidth(P(1,:)*M);$ |
| Paso 4 | Obtención de la forma general $Pw = minreal(Pw, [], false);$ |
| Paso 5 | Uso de NCFSYN $[Cinf,~,gam,info] = ncfsyn(Pw);$ $perf_margin = 1/ga;$ |
| Paso 6 | Cálculo de la ganancia total del bucle $L=P*Cl;$ |
| Paso 7 | Prefiltro $Qhat = (T(1,:)*Q0) \setminus R_ideal(1,:);$ $Q=Q0*Qhat;$ |
| Paso 7 | Control General $Controller=minreal(Controller, [], false);$ |
| Paso 8 | Guardar los datos automáticamente planta_peqctrl Controller |

En la tabla 2 se definen las funciones utilizadas para el desarrollo del algoritmo H_{∞} , utilizados en la tabla 1, cabe resaltar que los comandos utilizados están

disponibles en el software de Matlab-Simulink.

Tabla 2 Funciones utilizadas en el algoritmo.

| Función | Descripción |
|-----------|--|
| zpk | Crea un modelo de ganancia de cero. |
| dcgain | Calcula la ganancia de los sistemas LTI de la frecuencia baja en DC. |
| bandwidth | Calcula el ancho de banda de un modelo dinámico SISO. |
| ncfsyn | Conformación de un controlador con factor coprimo k, basado en H_{∞} de Glover Mcfarlane. |
| minreal | Minimiza o cancela los polos y ceros. |

4 Caso de estudio

Para el estudio propuesto se utilizará un sistema de una Micro-red híbrida AC/DC tipo Benchmark de 14 barras, diseñada en Matlab Simulink con diferentes sistemas de alimentación: Fotovoltaico, Eólico, Generador Diesel, sistemas de almacenamiento de energía con baterías y cargas: lineales, no lineales [5], [35].

Se realiza el análisis para los diferentes tipos voltaje, todos los sistemas conectados a un convertidor de energía de DC/AC con interconexión a la red eléctrica principal y finalmente conectados a un SVC en las líneas de distribución.

El controlador propuesto, con su respectiva ley de control, es simulado para la obtención de los parámetros para el

modelo y la identificación de la planta, con el sistema de espacio de estados el cual complementa al funcionamiento del sistema del SVC siendo estos los siguientes expresados [18], [36], [58], [59]:

$$A = \begin{bmatrix} -2859 & -437.5 & -200.4 \\ -189.3 & -108 & -119 \\ -31.96 & 10.56 & -21.65 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -2253 \\ 9545 \\ -2564 \end{bmatrix}$$

$$C = [9.547e - 17 \quad -2.373e - 18 \quad 1.378e - 17]$$

$$D = [0]$$

Las regulaciones de voltaje del controlador con el SVC se implementan en las líneas de distribución, estas serán visualizadas con simulaciones y comparadas las mismas con el sistema original sin regulación de voltaje, teniendo en cuenta que en el sistema existen cargas lineales y no lineales, las cuales afectan al sistema en general con su respectivo aporte o consumo de potencia.

5 Análisis de resultados

Dentro del estudio realizado se implementaron diversos procesos de identificación para el sistema de control y los métodos para la adquisición de parámetros y correcta sintonía de las señales manipuladas, tanto de entrada como de salida, verificando la mejora de los perfiles de voltaje para la adecuación respectiva del sistema.

Se puede evidenciar, que las respuestas ante los distintos comportamientos dinámicos del controlador son eficientes, estables y fiables, para su aplicación en sistemas de Micro-redes híbridas en AC/DC.

Se realiza un primer escenario, con simulaciones del sistema original para diferentes casos estudio, de máxima y mínima demanda en la barra 6, validando los perfiles de voltaje y comparándolos con la referencia del sistema.

Se realiza un segundo escenario, de simulación del sistema original, con una implementación del sistema SVC en la barra 6, para diferentes casos estudio, de mínima y máxima demanda validando y comparando los perfiles de voltaje con la referencia y con el sistema original.

5.1 Caso base sin control de voltaje en mínima demanda

En la figura 4, se logra apreciar que la respuesta de voltaje del sistema, en un caso de mínima demanda sin control, el voltaje tiene su valor pico de 0.9856 (p.u) en un tiempo de 0.046 (s).

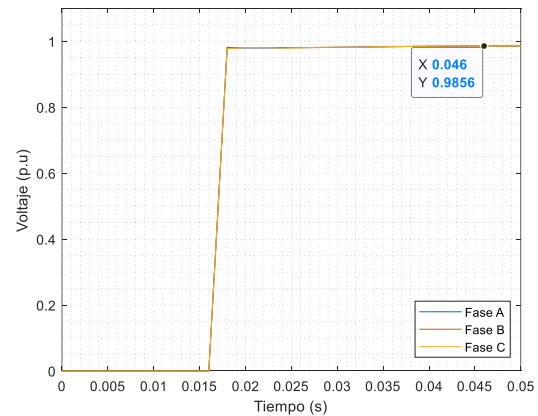


Figura 4 Señal de voltaje p.u en mínima demanda sin control.

5.2 Caso base sin control de voltaje en máxima demanda

Realizando el análisis con máxima demanda y sin control de la regulación de voltaje, se puede apreciar en la figura 5, que la respuesta tiene un valor pico de voltaje de 0.9676 (p.u) en un tiempo de 0.044 (s).

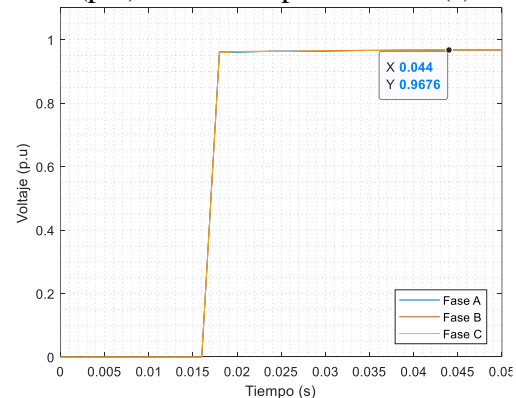


Figura 5 Señal de voltaje p.u en máxima demanda sin control.

En los casos mencionados, se los sitúa en el sistema base sin controladores, además teniendo en cuenta que los voltajes en mínima y máxima demanda varían en un rango de ± 0.001 p.u.

Realizando un análisis con respecto al voltaje ideal de 1 (p.u) se puede apreciar en la tabla 3 un margen muy notable respectivamente:

Tabla 3 Margen de error de voltajes (p.u) caso base.

| | Máxima | Mínima |
|-------------|--------|--------|
| v (p.u) | 0.9676 | 0.9856 |
| v.err (p.u) | 0.0324 | 0.0144 |

5.3 Caso base con control de voltaje en mínima demanda

En la figura 6, se puede apreciar la señal de voltaje con un controlador regido por la norma H^∞ en el caso de mínima demanda, además teniendo una oscilación inicial de 1.034 (p.u) en un tiempo de 0.01727 (s).

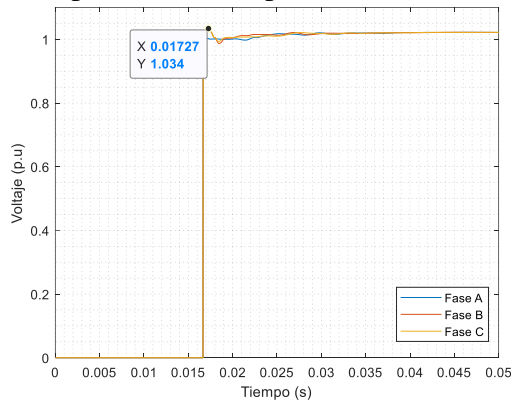


Figura 6 Señal de voltaje p.u con pico inicial en mínima demanda con control por H^∞ .

Las señales de voltaje de la figura 6 se estabilizan en un tiempo de 0.03278 (s) y mantienen un valor de 1.02 (p.u) como se muestra en la figura 7.

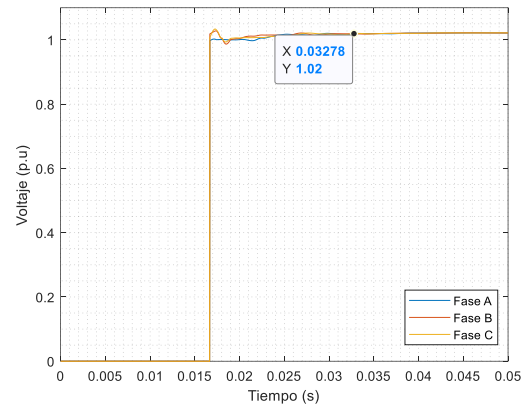


Figura 7 Señal de voltaje p.u estable en mínima demanda con control por H^∞ .

5.4 Caso base con control de voltaje en máxima demanda

Las señales de voltaje se estabilizan en un tiempo de 0.03278 (s) y mantienen un valor de 1.02 (p.u) como se muestra en la figura 8.

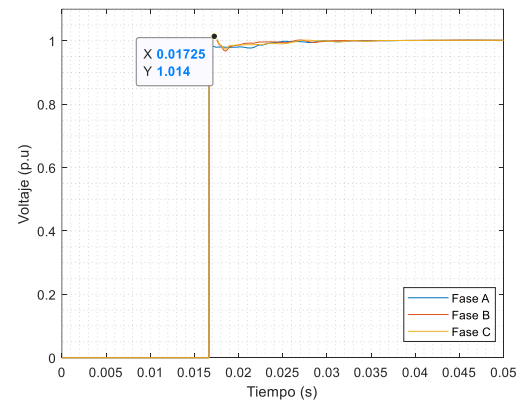


Figura 8 Señal de voltaje p.u con pico inicial en máxima demanda con control por H^∞ .

Después de la oscilación inicial en la figura 9, se puede apreciar que el sistema se estabiliza en un tiempo de 0.03542 (s) en un valor de 1.001 (p.u).

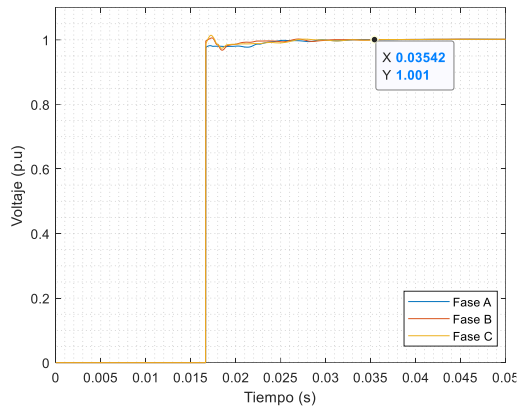


Figura 9 Señal de voltaje p.u estable en máxima demanda con control por H^∞ .

Realizando el análisis de los casos anteriores, se aprecian oscilaciones picos por la implementación y operación del SVC, que es regido por la norma H^∞ , una vez estabilizado el sistema el voltaje varía en un rango de ± 0.001 (p.u).

Con respecto al margen de error y al voltaje ideal, se puede apreciar en la tabla 4 que es mucho más estricto, por la ley de control establecida:

Tabla 4 Margen de error de voltajes (p.u) caso base con control por H^∞ .

| | Máxima | Mínima |
|-------------|--------|--------|
| v (p.u) | 1.001 | 1.02 |
| v.err (p.u) | 0.001 | 0.02 |

5.5 Comparación de casos en mínima y máxima demanda

Realizado el análisis individual, de cada caso de mínima demanda mostrado en la figura 10 y máxima demanda en la figura 11, se puede apreciar la mejora de las señales de voltaje con respecto al caso base sin control absoluto.

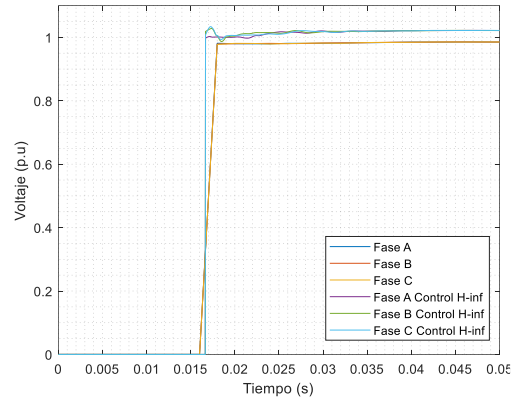


Figura 10 Comparación de la acción de control de señales de voltaje en mínima demanda.

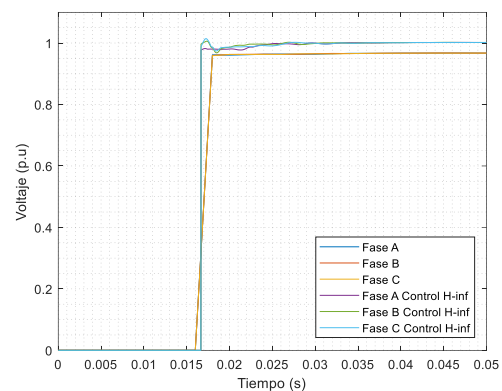


Figura 11 Comparación de la acción de control de señales de voltaje en máxima demanda.

Realizando un análisis de las tablas 3 y 4, se puede apreciar en la tabla 5 el nivel de mejora de los voltajes en cada uno de los casos mínima y máxima demanda correspondiente.

Tabla 5 Margen de mejora de voltajes.

| | Máxima | Mínima |
|--------------|--------|--------|
| v.opt. (p.u) | 0.0334 | 0.0344 |

Los casos analizados anteriormente se realizaron a cabo con un tiempo de simulación de 1 (s) pero para mayor visibilidad y apreciación de las señales de voltaje requeridas con las zonas de amortiguamiento y picos máximos de voltaje se reduce a una escala con un tiempo de 0.05 (s).

6 Conclusiones

En el estudio realizado se comprueba de manera correcta y eficiente que la implementación de SVC en los sistemas eléctricos tiene mayor fiabilidad y estabilidad con la estrategia de control óptima basada en la norma H_∞ .

El controlador diseñado, presenta diferentes capacidades de soportar y tolerar las intermitencias que presenten los sistemas eléctricos acoplados a Micro-redes híbridas en AC, además teniendo un mejor desempeño dinámico.

6.1 Trabajos futuros

Se propone desarrollar controladores que se adapten a las condiciones del sistema eléctrico y condiciones ambientales, los mismos que deberán ajustarse a la mejor acción de control, teniendo una base estratégica que se respalde y complemente con los nuevos controles que pudieran mejorar la metodología propuesta en este artículo académico.

Queda pendiente para posteriores investigaciones, nuevas estrategias de control, que puedan validar varios softwares en conjunto, en donde se analicen como señal de entrada otra variable como la corriente, la potencia o la frecuencia, que también son factores que afectan al voltaje.

7 Referencias

- [1] D. Jacome and A. Águila, "Localización y dimensionamiento óptimo de dispositivos SVC para la compensación de potencia reactiva en SEP," *Sci. Technol. Educ. Res.*, pp. 1–17, 2017.
- [2] J. C. Buestan Vera, "Control tolerante a fallos multi-objetivo para sistemas Bess acoplados electrónicamente a micro-redes eléctricas en CA aisladas basado en IMC y H_∞ ," *Univ. Politécnica Sales.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–23, 2016.
- [3] J. P. Ramírez García, "Sistema de control tolerante a fallos pasivo para dispositivos de compensación dinámicos instalados en micro-red híbrida inteligentes basado en h_∞ y redes neuronales artificiales," *Univ. Politécnica Sales.*, vol. 1, p. 29, 2022, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21742>.
- [4] L. Ortiz, J. W. González, L. B. Gutierrez, and O. Llanes-Santiago, "A review on control and fault-tolerant control systems of AC/DC microgrids," *Heliyon*, vol. 6, no. 8, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04799.
- [5] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Águila, J. W. González, G. J. López, and I. Isaac, "Hybrid AC/DC microgrid test system simulation: grid-connected mode," *Heliyon*, vol. 5, no. 12, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02862.
- [6] A. F. Falcón Ayala, "Confiabilidad en microredes eléctricas AC/DC usando control robusto H_∞ y estrategias de tolerancia a fallas," *Univ. Politécnica Sales.*, 2019.
- [7] A. Águila Tellez, D. C. Carrión, and L. Ortiz Matos, "Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution

- systems,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 7, pp. 2190–2194, 2015, doi: 10.1109/TLA.2015.7273776.
- [8] L. O. Matos, L. B. Gutierrez, J. W. G. Sanchez, and A. A. Tellez, “An ARX-petri nets algorithm for active identification of an AC/DC microgrid simulation,” *4th IEEE Colomb. Conf. Autom. Control Autom. Control as Key Support Ind. Product. CCAC 2019 - Proc.*, 2019, doi: 10.1109/CCAC.2019.8921191.
- [9] L. O. Matos and J. W. G. Sanchez, “Reconfiguration strategy for Fault Tolerance of power Distribution Systems using Petri net,” *2016 IEEE Ecuador Tech. Chapters Meet. ETCM 2016*, 2016, doi: 10.1109/ETCM.2016.7750820.
- [10] C. D. Velasco Guanín, “Simulación y validación de un sistema de prueba tipo benchmark de una micro-red híbrida en ac/dc mediante el software electrical transient analyzer (etap),” *Univ. Politécnica Sales.*, 2022, [Online]. Available: <http://dSPACE.ups.edu.ec/handle/123456789/21941>.
- [11] A. Águila, D. González, G. Gutiérrez, and L. Ortiz, “Ubicación y dimensionamiento óptimo de generación distribuida fotovoltaica en redes de distribución usando PSO Optimal location and dimensioning of photovoltaic distributed generation in,” *I+D Tecnológico*, vol. 18, no. 1, pp. 50–68, 2022, doi: <https://doi.org/10.33412/idt.v18.1.3219>.
- [12] L. Ortiz-Matos, A. Aguila-Tellez, R. C. Hincapié-Reyes, and J. W. González-Sanchez, “Multi-Criteria Optimization of the Deployment of a Grid for Rural Electrification Based on a Heuristic Method,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 73, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/73/1/012020.
- [13] Á. J. Pérez Pazmiño and L. Ortiz Matos, “Despliegue óptimo de redes de distribución y generación distribuida para microrredes eléctricas híbridas CA aisladas usando método heurístico,” *Ser. Científica la Univ. Ilas Ciencias Informáticas*, vol. 15, no. 1, pp. 80–96, 2022, [Online]. Available: <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/1013>.
- [14] A. Águila, L. Ortiz, R. Orizondo, and G. López, “Optimal location and dimensioning of capacitors in microgrids using a multicriteria decision algorithm,” *Heliyon*, vol. 7, no. 9, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08061.
- [15] X. Yang, W. Wang, and W. Jin, “The influence and control measures of distributed photovoltaic generation on the voltage in distribution system,” *China Int. Conf. Electr. Distrib. CICED*, no. 0335, pp. 5–6, 2012, doi: 10.1109/CICED.2012.6508538.
- [16] M. Hosseinzadeh and F. R. Salmasi, “Fault-Tolerant Supervisory Controller for a Hybrid AC/DC Micro-Grid,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 9, no. 4, pp. 2809–2823, 2018, doi: 10.1109/TSG.2016.2620803.
- [17] G. X. Álvarez Yanchapanta and H. I. Vaca Vallejo, “Diseño de una microred híbrida a base de energía fotovoltaica y energía térmica diesel para reducir la contaminación ambiental,” *Dep. Eléctrica y Electrónica la Univ. las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga*, pp. 1–5, 2013, [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9068>.
- [18] L. Ortiz, L. B. Gutiérrez, J. W. González, and A. Águila, “A novel strategy for dynamic identification

- in AC/DC microgrids based on ARX and Petri Nets,” *Heliyon*, vol. 6, no. March, p. 18, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03559.
- [19] A. T. Aguila, L. M. Ortiz, and R. Orizondo, “Optimal Location and Dimensioning of Capacitors in Microgrids Using a Multicriteria Decision Algorithm,” *Heliyon*, vol. 7, no. August, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08061.
- [20] D. Arias Cazco, R. A. Robayo Vasco, and L. Ortiz Matos, “Novel inteligente Step Voltaje Regulator (SVR) for residential electrical connections,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 4, pp. 1656–1661, 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7483497.
- [21] G. K. Chinchuña Toledo and L. Ortiz Matos, “Mejoramiento de la fiabilidad en microredes mediante el control robusto de voltaje usando técnicas pasivas de tolerancia a fallos,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [22] U. Akram, M. Khalid, and S. Shafiq, “Optimizing a grid-connected micro-grid with optimal renewable generation and battery energy storage,” *2017 9th IEEE-GCC Conf. Exhib. GCCCE 2017*, pp. 1–9, 2018, doi: 10.1109/IEEEGCC.2017.8448232.
- [23] M. Lema, W. Pavon, L. Ortiz, and A. B. Asiedu-asante, “Controller Coordination Strategy for DC Microgrid Using Distributed Predictive Control Improving Voltage Stability,” *Energies*, pp. 1–15, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/en15155442>.
- [24] J. L. M. Bastidas and L. O. Matos, “Localización de fallas en microredes eléctricas basado en un modelo Markoviano.,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [25] F. Luis and G. Moncayo, *Síntesis de controladores robustos mediante el análisis de la compatibilidad de especificaciones e incertidumbre*. 2021.
- [26] S. X. Garrido Jácome and L. Ortiz Matos, “Estrategia activa de tolerancia a fallas para el control Buck-Boost de micro-redes eléctricas en DC,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [27] B. E. Ramírez Velasco and L. Ortiz Matos, “Estudio comparativo de métodos de detección e identificación de fallas (FDI) de sensado sobre el Control Local de micro redes Electricas Híbridas AC/DC,” Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [28] J. R. Collaguazo Solís and L. Ortiz Matos, “Control de voltaje óptimo para sistemas de almacenamiento de energía de batería (BESS) acoplados a microrredes de AC utilizando algoritmos LQG,” Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [29] P. Lopes and T. A. Perdico, “Optimal deployment of d distribution networks and distributed generation for isolated AC hybrid micro-grids using heuristic method,” vol. 15, no. January, 2022, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/357604510%0ADespliegue>.
- [30] A. Vargas-Martínez, L. I. M. Avila, Y. Zhang, L. E. Garza-Castañón, and E. R. C. Ortiz, “Model-based fault-tolerant control to guarantee the performance of a hybrid wind-diesel power system in a microgrid configuration,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 19, no. Seit, pp. 712–719, 2013, doi: 10.1016/j.procs.2013.06.094.
- [31] S. Jadidi, H. Badihi, and Y. Zhang, “Passive Fault-Tolerant Control of PWM Converter in a Hybrid AC/DC Microgrid,” *2019 IEEE 2nd Int. Conf. Renew. Energy Power Eng.*

- REPE 2019*, pp. 90–94, 2019, doi: 10.1109/REPE48501.2019.9025123.
- [32] B. N. Alhasnawi, B. H. Jasim, and B. E. Sedhom, “Distributed secondary consensus fault tolerant control method for voltage and frequency restoration and power sharing control in multi-agent microgrid,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 133, no. May, p. 107251, 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107251.
- [33] A. A. Téllez, A. Robayo, G. López, L. Ortiz, I. Isaac, and J. González, “Optimal sizing of distribution transformers using exhaustive search algorithm,” *2019 FISE-IEEE/CIGRE Conf. - Living Energy Transition, FISE/CIGRE 2019*, 2019, doi: 10.1109/FISECIGRE48012.2019.8984965.
- [34] Y. G. Lv, C. Y. Long, and T. Q. Cai, “Research on coordinated operating control of micro-grid power system including wind power, photovoltaic system and battery storage,” in *Proceedings - International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2014, vol. 1, no. 3, pp. 181–187, doi: 10.1109/ICMLC.2014.7009114.
- [35] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Aguila, J. W. Gonz, I. Isaac, and J. L. Gabriel, “Hybrid AC/DC & DC microgrid test system simulation (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/73878-hybrid-ac-dc-dc-microgrid-test-system-simulation>).” MATLAB Central File Exchange, 2020.
- [36] L. Ortiz Matos, L. B. Gutierrez Zea, J. W. González Sanchez, and A. Aguila Tellez, “An ARX-Petri Nets algorithm for Active Identification of an AC / DC Microgrid Simulation,” in *2019 IEEE 4th Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, 2019, p. 6, doi: 10.1109/CCAC.2019.8921191.
- [37] L. Ortiz Matos, A. Aguila Tellez, R. C. Hincapié Reyes, and J. . González Sanchez, “Multi-Criteria Optimization of the Deployment of a Grid for Rural Electrification Based on a Heuristic Method,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 73, no. 1, p. 012020, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/73/1/012020.
- [38] J. G. B. Sánchez and L. O. Matos, “Estrategia de tolerancia a fallas por condiciones ambientales para IEDS en subestaciones de distribución,” Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
- [39] W. Llumitaxi, W. Pavón, L. Ortíz, and N. Pozo, “Hybrid Active Power Filter (APF) with Photovoltaic Generation integration for Voltage Profile Improvement,” *Energía*, vol. 19, no. 1, pp. 100–109, 2022, doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergía.v19.n1.2022.523>.
- [40] C. E. Ojeda Y, Pabón L, “Compensador estático var para sistemas de distribución Var static compensator for distribution systems,” *Mundo Fesc*, vol. 11, no. 21, pp. 70–86, 2021.
- [41] A. F. Falcón Ayala and L. Ortiz Matos, “Confiabilidad en microredes eléctricas AC/DC usando control robusto H_{∞} y estrategias de tolerancia a fallas,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [42] J. Ramírez, L. Ortiz, and A. Aguila, “Passive Control Tolerant to Sensing Faults in dynamic compensation devices - SVC through a hybrid strategy Control Pasivo Tolerante a Fallos de sensado en dispositivos de compensación dinámicos - SVC mediante una estrategia híbrida,” *Ingenius*, no. 28,

- pp. 34–43, 2022, doi:
<https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.03>.
- [43] A. Savić and Ž. Durišić, “Optimal sizing and location of SVC devices for improvement of voltage profile in distribution network with dispersed photovoltaic and wind power plants,” *Appl. Energy*, vol. 134, pp. 114–124, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.08.014.
- [44] N. Demirovic, “Impact of statcom and svc to voltage control in systems with wind farms using induction generators (IG),” *IET Conf. Publ.*, vol. 2016, no. CP711, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1049/cp.2016.1069.
- [45] H. M. Rodríguez, G. C. Delgado, J. Edwin, and C. Becerra, “Ubicación de FACTS para mejorar la estabilidad de tensión,” *Ing. y Desarro.*, vol. 30, no. 1, pp. 23–44, 2012, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v30n1/v30n1a03.pdf>.
- [46] R. Gitibin and F. Hoseinzadeh, “Comparison of D-SVC and D-STATCOM for performance enhancement of the distribution networks connected WECS including voltage dependent load models,” *20th Electr. Power Distrib. Conf. EPDC 2015*, no. April, pp. 90–100, 2015, doi: 10.1109/EPDC.2015.7330479.
- [47] H. Ebrahimirad, A. Choobdar, and G. R. Dehnavi, “A new control approach for voltage quality improvement in distribution power system by means of an SVC,” *IET Conf. Publ.*, no. 538 CP, pp. 583–586, 2008, doi: 10.1049/cp:20080588.
- [48] S. Bharti, S. Dewangan, and S. Ram, “Performance of wind farm distribution system under balanced and unbalanced condition with SVC & STATCOM,” *Int. Conf. Electr. Power Energy Syst. ICEPES 2016*, pp. 182–187, 2017, doi: 10.1109/ICEPES.2016.7915927.
- [49] V. Mateo, A. M. Gole, and C. N. M. Ho, “Design and implementation of laboratory scale static var compensator to demonstrate dynamic load balancing and power factor correction,” *2017 IEEE Electr. Power Energy Conf. EPEC 2017*, vol. 2017-October, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/EPEC.2017.8286229.
- [50] S. D. Patil, R. A. Kachare, A. M. Mulla, and D. R. Patil, “Performance enhancement of modified SVC as a thyristor binary switched capacitor and reactor banks by using different adaptive controllers,” *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, no. xxxx, 2021, doi: 10.1016/j.jksues.2021.06.006.
- [51] J. Aho and J. Turunen, “Power quality support for industrial load using hybrid SVC,” *IET Conf. Publ.*, vol. 2013, no. 615 CP, pp. 3–6, 2013, doi: 10.1049/cp.2013.1049.
- [52] D. N. Abara and A. Lanzon, “H-infinity-PID controller for an open-loop unstable system,” *2017 IEEE 3rd Int. Conf. Electro-Technology Natl. Dev. NIGERCON 2017*, vol. 2018-Janua, no. 3, pp. 134–138, 2018, doi: 10.1109/NIGERCON.2017.8281886.
- [53] K. Glover, “A Loop Shaping Design Procedure Using Ha Synthesis,” *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 37, no. 6, pp. 759–769, 1992, doi: 10.1109/9.256330.
- [54] W. Tian, Y. Wang, W. Deng, and L. Li, “H-infinity control for a class of multiple time delay fuzzy descriptor systems,” *Proc. - 2013 6th Int. Conf. Intell. Networks Intell. Syst. ICINIS 2013*, vol. 1, pp. 115–118, 2013,

- doi: 10.1109/ICINIS.2013.36.
- [55] J. Gadewadikar, F. L. Lewis, K. Subbarao, K. Peng, and B. M. Chen, “H-infinity static output-feedback control for rotorcraft,” *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.*, vol. 54, no. 4, pp. 629–646, 2009, doi: 10.1007/s10846-008-9279-5.
- [56] J. C. Buestán, L. Ortiz Matos, and A. Aguila Telelz, “Control Tolerante a Fallos Multi-Objetivo para BESS acoplados a Micro-redes aisladas basado en IMC y H_{∞} Multi-Objective Fault Tolerant Control for BESS coupled to isolated Micro- grids based on IMC and H_{∞} ,” *Ser. Científica la Univ. las Ciencias Informáticas*, vol. 15, no. 5, pp. 41–56, 2022.
- [57] C. G. SALAZAR, “Simulación De Técnicas De Control Avanzado Aplicadas a Casos De Estudio,” G. Salazar, “*Simulacion Tec. cotrol Av. Apl. a casos Estud. Tesis*, p. 155, 2010, 2010.
- [58] F. Uргуилес, L. Ortiz, and A. Aguila, “Estrategia de identificación no-lineal para Fuentes de Generación Distribuida acopladas electrónicamente a Micro-redes en CA / CC basada en NARX,” *RISTI – Rev. Ibérica Sist. e Tecnol. Informação*, no. E48, pp. 576–593, 2021.
- [59] F. A. Uргилес Navarrete and L. Ortiz Matos, “Estrategia de identificación dinámica no lineal basada en NARX para fuentes de generación distribuida acopladas electrónicamente a micro – redes AC/DC,” Universidad Politécnica Salesiana, 2020.

7.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 6: Matriz de estado del arte.

| MÉTODO DE CONTROL PARA DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN DINÁMICOS (SVC) MEDIANTE ALGORITMOS DE CONTROL ÓPTIMO BASADO EN LA NORMA H-INF | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|--|----------------------------|-------|--------------------|-------------|------------------------------------|--|----------------|--------------------|-------------|--------------------|--|---------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|--------|---------------------|--------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------|------------------|----------------------------|----------------|---|--|-------------------------------|------------------------|
| ITEM | AÑO | TÍTULO DEL ARTÍCULO | DATOS | | | | TEMÁTICA | | | | | | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS | | | | RESTRICCIONES DEL PROBLEMA | | | | PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA | | | | SOLUCIÓN PROPUESTA | | | | | |
| | | | REFERENCIA | CITAS | Problema; Objetivo | MICRO-REDES | DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN (SVC) | INTERCONEXION A LA RED ELECTRICA PRINCIPAL | CONTROL DE SVC | CONTROL DE VOLTAJE | NORMA H-INF | METODOS DE CONTROL | CONTROLADOR | CONTROL H-INF | SISTEMAS BENCHMARK | ANALISIS DE INTERFERENCIAS | CONFIGURACION DEL SISTEMA | COSTOS | FALLAS DEL ANALISIS | DIMENSIONAMIENTO DEL SVC | ESTABILIDAD DEL SISTEMA | DETERMINAR LOS PERFILES OPTIMOS DE VOLTAJE | CONTROL DE SVC POR H-INF | REDES NEURONALES | CONTROL TOLERANTE A FALLOS | ARX PETRI NETS | METODOLOGIA DE CONTROL POR LA NORMA H-INF | SOLUCIONES TÉCNICAS BASADAS NUEVOS CONTROLADORES | ANÁLISIS DINÁMICO DEL VOLTAJE | NUEVOS SISTEMAS DE SVC |
| 1 | 2019 | Passive Fault-Tolerant Control of PWM Converter in a Hybrid AC/DC Microgrid | \cite{Jadidi2019} | 11 | SI | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ |
| 2 | 2021 | Distributed secondary consensus fault tolerant control method for voltage and frequency restoration and power sharing control in multi-agent microgrid | \cite{Alhasnawi2021} | 15 | SI | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | | | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | ☒ | | | ☒ | | | ☒ | ☒ |
| 3 | 2018 | Fault-Tolerant Supervisory Controller for a Hybrid AC/DC Micro-Grid | \cite{Hosseinzadeh2018} | 87 | SI | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ |
| 4 | 2017 | Performance of wind farm distribution system under balanced and unbalanced condition with SVC & STATCOM | \cite{Bharti2017} | 7 | SI | | ☒ | ☒ | | ☒ | | | | | | ☒ | | | ☒ | ☒ | | | | | | ☒ | | | ☒ | |
| 5 | 2013 | Model-based fault-tolerant control to guarantee the performance of a hybrid wind-diesel power system in a microgrid configuration | \cite{Vargas-Martinez2013} | 7 | SI | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | | | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | ☒ | | | ☒ | | ☒ | ☒ |
| 6 | 2017 | Multi-Criteria Optimization of the Deployment of a Grid for Rural Electrification Based on a Heuristic Method | \cite{Ortiz-Matos2017} | 36 | SI | ☒ | | | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | | | ☒ | | | | | ☒ | ☒ | | | ☒ |
| 7 | 2019 | Optimal sizing of distribution transformers using exhaustive search algorithm | \cite{Tellez2019} | 27 | SI | | | ☒ | ☒ | | | | | | | | | | ☒ | | | | | | | | ☒ | | | ☒ |
| 8 | 2018 | Optimizing a grid-connected micro-grid with optimal renewable generation and battery energy storage | \cite{Akram2018} | 4 | SI | ☒ | | ☒ | | | | | | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | | | | | | ☒ | | | ☒ | | | |

MÉTODO DE CONTROL PARA DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN DINÁMICOS (SVC) MEDIANTE ALGORITMOS DE CONTROL ÓPTIMO BASADO EN LA NORMA H-INF

| ITEM | AÑO | TÍTULO DEL ARTÍCULO | DATOS | | | TEMÁTICA | | | | | | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS | | | | RESTRICCIONES DEL PROBLEMA | | | PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA | | | | SOLUCIÓN PROPUESTA | | | | | | | |
|------|------|---|-------------------------|-------|--------------------|-------------|------------------------------------|--|----------------|--------------------|-------------|--|-------------|---------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|--------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--|--------------------------|------------------|----------------------------|----------------|---|--|-------------------------------|------------------------|
| | | | REFERENCIA | CITAS | Problema; Objetivo | MICRO-REDES | DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN (SVC) | INTERCONEXION A LA RED ELECTRICA PRINCIPAL | CONTROL DE SVC | CONTROL DE VOLTAJE | NORMA H-INF | METODOS DE CONTROL | CONTROLADOR | CONTROL H-INF | SISTEMAS BENCHMARK | ANALISIS DE INTERFERENCIAS | CONFIGURACION DEL SISTEMA | COSTOS | FALLAS DEL ANALISIS | DIMENSIONAMIENTO DEL SVC | ESTABILIDAD DEL SISTEMA | DETERMINAR LOS PERFILES OPTIMOS DE VOLTAJE | CONTROL DE SVC POR H-INF | REDES NEURONALES | CONTROL TOLERANTE A FALLOS | ARX PETRI NETS | METODOLOGIA DE CONTROL POR LA NORMA H-INF | SOLUCIONES TÉCNICAS BASADAS NUEVOS CONTROLADORES | ANÁLISIS DINÁMICO DEL VOLTAJE | NUEVOS SISTEMAS DE SVC |
| 9 | 2010 | Simulación De Técnicas De Control Avanzado Aplicadas a Casos De Estudio | \cite{SALAZAR2010} | ... | SI | | ☒ | ☒ | ☒ | | | | | ☒ | | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ |
| 10 | 2009 | H-infinity static output-feedback control for rotorcraft | \cite{Gadewadikar2009} | 158 | SI | | | ☒ | | ☒ | ☒ | | | | | | ☒ | | | | ☒ | | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ |
| 11 | 2015 | Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems | \cite{AguilaTellez2015} | 83 | SI | | ☒ | ☒ | ☒ | | | | ☒ | ☒ | | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ |
| 12 | 2019 | An ARX-petri nets algorithm for active identification of an AC/DC microgrid simulation | \cite{Matos2019} | 13 | SI | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ |
| 13 | 2015 | Comparison of D-SVC and D-STATCOM for performance enhancement of the distribution networks connected WECS including voltage dependent load models | \cite{Gitibin2015} | 10 | SI | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ |
| 14 | 2008 | A new control approach for voltage quality improvement in distribution power system by means of an SVC | \cite{Ebrahimirad2008} | 8 | SI | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | | | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ |
| 15 | 2016 | Impact of statcom and svc to voltage control in systems with wind farms using induction generators (IG) | \cite{Demirovic2016} | 6 | SI | | ☒ | | ☒ | | | | ☒ | ☒ | | | ☒ | | ☒ | ☒ | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ |
| 16 | 2013 | Power quality support for industrial load using hybrid SVC | \cite{Aho2013} | 5 | SI | ☒ | ☒ | | | ☒ | | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ |
| 17 | 2012 | The influence and control measures of distributed photovoltaic generation on the voltage in distribution system | \cite{Yang2012} | 3 | SI | | ☒ | | ☒ | | | | ☒ | ☒ | | | ☒ | | ☒ | ☒ | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ |
| 18 | 2022 | Optimal deployment of d distribution neetworks and distributed generation for isolated AC hybrid micro-grids using heuristic method | \cite{Lopes2022} | 2 | SI | ☒ | ☒ | ☒ | | | | | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | | | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ |

MÉTODO DE CONTROL PARA DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN DINÁMICOS (SVC) MEDIANTE ALGORITMOS DE CONTROL ÓPTIMO BASADO EN LA NORMA H-INF

| DATOS | | TEMÁTICA | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS | RESTRICCIONES DEL PROBLEMA | PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA | SOLUCIÓN PROPUESTA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|--|---|----------------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|------------|-------|--------------------|-------------|------------------------------------|--|----------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|---------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|--------|---------------------|--------------------------|-------------------------|--|--------------------------|------------------|----------------------------|----------------|---|
| ITEM | AÑO | | | | | | TÍTULO DEL ARTÍCULO | REFERENCIA | CITAS | Problema; Objetivo | MICRO-REDES | DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN (SVC) | INTERCONEXION A LA RED ELECTRICA PRINCIPAL | CONTROL DE SVC | CONTROL DE VOLTAJE | NORMA H-INF | METODOS DE CONTROL | CONTROLADOR | CONTROL H-INF | SISTEMAS BENCHMARK | ANALISIS DE INTERFERENCIAS | CONFIGURACION DEL SISTEMA | COSTOS | FALLAS DEL ANALISIS | DIMENSIONAMIENTO DEL SVC | ESTABILIDAD DEL SISTEMA | DETERMINAR LOS PERFILES OPTIMOS DE VOLTAJE | CONTROL DE SVC POR H-INF | REDES NEURONALES | CONTROL TOLERANTE A FALLOS | ARX PETRI NETS | METODOLOGIA DE CONTROL POR LA NORMA H-INF |
| 19 | 2021 | Performance enhancement of modified SVC as a thyristor binary switched capacitor and reactor banks by using different adaptive controllers | \cite{Patil2021} | 5 | SI | ✗ | ✗ | ✗ | | | | ✗ | | | ✗ | ✗ | | ✗ | ✗ | ✗ | | | | | | ✗ | | | | | ✗ | |
| 20 | 2022 | Simulación y validación de un sistema de prueba tipo benchmark de una micro-red híbrida en ac/dc mediante el software electrical transient analyzer (etap) | \cite{VelascoGuanin2022} | --- | SI | ✗ | | ✗ | ✗ | ✗ | | | | | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | | | ✗ | ✗ | ✗ | | | | | ✗ | | | ✗ | ✗ |
| 21 | 2022 | Sistema de control tolerante a fallos pasivo para dispositivos de compensación dinámicos instalados en micro-red híbrida inteligentes basado en h_{∞} y redes neuronales artificiales | \cite{RamirezGarcia2022} | --- | SI | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| 22 | 2016 | Control tolerante a fallos multi-objetivo para sistemas Bess acoplados electrónicamente a micro-redes eléctricas en CA aisladas basado en IMC y H_{∞} | \cite{BuestanVera2016} | --- | SI | ✗ | | ✗ | ✗ | | ✗ | | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | | | ✗ | ✗ | | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| 23 | 2017 | Localización y dimensionamiento óptimo de dispositivos SVC para la compensación de potencia reactiva en SEP | \cite{Jacome2017} | --- | SI | | ✗ | ✗ | ✗ | | | ✗ | | | | | ✗ | | ✗ | ✗ | | | | | | ✗ | | | ✗ | | | ✗ |
| 24 | 2022 | Despliegue óptimo de redes de distribución y generación distribuida para microrredes eléctricas híbridas CA aisladas usando método heurístico | \cite{PerezPazmino2022} | 2 | SI | ✗ | | | ✗ | | | | | | ✗ | ✗ | ✗ | | | ✗ | ✗ | | | | | ✗ | | | ✗ | | | ✗ |
| 25 | 2013 | Diseño de una microrred híbrida a base de energía fotovoltaica y energía térmica diesel para reducir la contaminación ambiental. | \cite{AlvarezYanchapanta2013} | 3 | SI | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | | | ✗ | | | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | | | | ✗ | | | ✗ | | | ✗ |

MÉTODO DE CONTROL PARA DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN DINÁMICOS (SVC) MEDIANTE ALGORITMOS DE CONTROL ÓPTIMO BASADO EN LA NORMA H-INF

| ITEM | DATOS | | | TEMÁTICA | | | | | | | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS | | | | RESTRICCIONES DEL PROBLEMA | | | PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA | | | | SOLUCIÓN PROPUESTA | | | | | | | | | |
|------|-------|---|------------------------|----------|--------------------|-------------|------------------------------------|--|----------------|--------------------|--|--------------------|-------------|---------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|--|--------------------------|------------------|----------------------------|----------------|---|--|-------------------------------|------------------------|---|
| | AÑO | TÍTULO DEL ARTÍCULO | REFERENCIA | CITAS | Problema; Objetivo | MICRO-REDES | DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN (SVC) | INTERCONEXION A LA RED ELECTRICA PRINCIPAL | CONTROL DE SVC | CONTROL DE VOLTAJE | NORMA H-INF | METODOS DE CONTROL | CONTROLADOR | CONTROL H-INF | SISTEMAS BENCHMARK | ANALISIS DE INTERFERENCIAS | CONFIGURACION DEL SISTEMA | COSTOS | FALLAS DEL ANALISIS | DIMENSIONAMIENTO DEL SVC | ESTABILIDAD DEL SISTEMA | DETERMINAR LOS PERFILES OPTIMOS DE VOLTAJE | CONTROL DE SVC POR H-INF | REDES NEURONALES | CONTROL TOLERANTE A FALLOS | ARX PETRI NETS | METODOLOGIA DE CONTROL POR LA NORMA H-INF | SOLUCIONES TÉCNICAS BASADAS NUEVOS CONTROLADORES | ANÁLISIS DINÁMICO DEL VOLTAJE | NUEVOS SISTEMAS DE SVC | |
| 26 | 2020 | A review on control and fault-tolerant control systems of AC/DC microgrids | \cite{Ortiz2020} | 34 | SI | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ |
| 27 | 1992 | A Loop Shaping Design Procedure Using Ha Synthesis | \cite{Glover1992} | 11 6 | SI | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | | | | | ☒ | | ☒ | | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | | | ☒ | |
| 28 | 2019 | Confiabilidad en microrredes eléctricas AC/DC usando control robusto H_∞ y estrategias de tolerancia a fallas | \cite{FalconAyala2019} | --- | SI | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ |
| 29 | 2018 | Design and implementation of laboratory scale static var compensator to demonstrate dynamic load balancing and power factor correction | \cite{Mateo2018} | 7 | SI | | ☒ | ☒ | ☒ | | | | | | | | ☒ | | ☒ | | | | | | | | ☒ | | | | ☒ |
| 30 | 2019 | Reconfiguration strategy for Fault Tolerance of power Distribution Systems using Petri net | \cite{Matos2016} | 26 | SI | ☒ | | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | | ☒ | | ☒ | | | ☒ | | | ☒ | ☒ | | ☒ | | ☒ | | | | ☒ |
| 31 | 2013 | H-infinity control for a class of multiple time delay fuzzy descriptor systems | \cite{Tian2013} | 2 | SI | | | | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | | | | | | ☒ | | | ☒ | | | | | ☒ | ☒ | | | ☒ |
| 32 | 2012 | Ubicación de FACTS para mejorar la estabilidad de tensión | \cite{Rodriguez2012} | 1 | SI | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | | | | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | | | | | ☒ | | | | ☒ | ☒ |
| 33 | 2014 | Optimal sizing and location of SVC devices for improvement of voltage profile in distribution network with dispersed photovoltaic and wind power plants | \cite{Savic2014} | 41 | SI | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | | | ☒ | | | | ☒ | ☒ |
| 34 | 2021 | Optimal location and dimensioning of capacitors in microgrids using a multicriteria decision algorithm | \cite{Aguila2021} | 6 | SI | ☒ | | | ☒ | | ☒ | | | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | | | | ☒ | | | ☒ | | | | | ☒ |
| 35 | 2021 | Síntesis de controladores robustos mediante el análisis de la compatibilidad de especificaciones e incertidumbre | \cite{Luis} | 20 | SI | | | | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | | | | ☒ | | | ☒ | | | | ☒ | ☒ | | | | ☒ |

MÉTODO DE CONTROL PARA DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN DINÁMICOS (SVC) MEDIANTE ALGORITMOS DE CONTROL ÓPTIMO BASADO EN LA NORMA H-INF

| | | DATOS | | | | TEMÁTICA | | | | | | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS | | | | RESTRICCIONES DEL PROBLEMA | | | | PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA | | | | SOLUCIÓN PROPUESTA | | | | | | |
|-----------|------|--|-------------------------|-------|--------------------|-------------|------------------------------------|--|----------------|--------------------|-------------|--|-------------|---------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|--------|---------------------|--------------------------------------|-------------------------|--|--------------------------|--------------------|----------------------------|----------------|---|--|-------------------------------|------------------------|
| ITEM | AÑO | TÍTULO DEL ARTÍCULO | REFERENCIA | CITAS | Problema; Objetivo | MICRO-REDES | DISPOSITIVOS DE COMPENSACIÓN (SVC) | INTERCONEXION A LA RED ELECTRICA PRINCIPAL | CONTROL DE SVC | CONTROL DE VOLTAJE | NORMA H-INF | METODOS DE CONTROL | CONTROLADOR | CONTROL H-INF | SISTEMAS BENCHMARK | ANALISIS DE INTERFERENCIAS | CONFIGURACION DEL SISTEMA | COSTOS | FALLAS DEL ANALISIS | DIMENSIONAMIENTO DEL SVC | ESTABILIDAD DEL SISTEMA | DETERMINAR LOS PERFILES OPTIMOS DE VOLTAJE | CONTROL DE SVC POR H-INF | REDES NEURONALES | CONTROL TOLERANTE A FALLOS | ARX PETRI NETS | METODOLOGIA DE CONTROL POR LA NORMA H-INF | SOLUCIONES TÉCNICAS BASADAS NUEVOS CONTROLADORES | ANÁLISIS DINÁMICO DEL VOLTAJE | NUEVOS SISTEMAS DE SVC |
| 36 | 2021 | Compensador estático var para sistemas de distribución Var static compensator for distribution systems | \cite{OjedaYPabonL2021} | 31 | SI | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | | ☒ | | | ☒ | ☒ | ☒ | |
| 37 | 2014 | Research on coordinated operating control of micro-grid power system including wind power, photovoltaic system and battery storage | \cite{Lv2014} | 1 | SI | ☒ | | | | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | | | | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ | | |
| 38 | 2019 | Hybrid AC/DC microgrid test system simulation: grid-connected mode | \cite{Ortiz2019a} | 62 | SI | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ |
| 39 | 2018 | H-infinity-PID controller for an open-loop unstable system | \cite{Abara2018} | 3 | SI | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ | ☒ |
| CANTIDAD: | | | | | | 21 | 17 | 30 | 32 | 19 | 12 | 22 | 16 | 12 | 29 | 29 | 21 | 17 | 29 | 32 | 19 | 20 | 16 | 6 | 29 | 6 | 39 | 12 | 20 | 32 |

7.2 Resumen de Indicadores

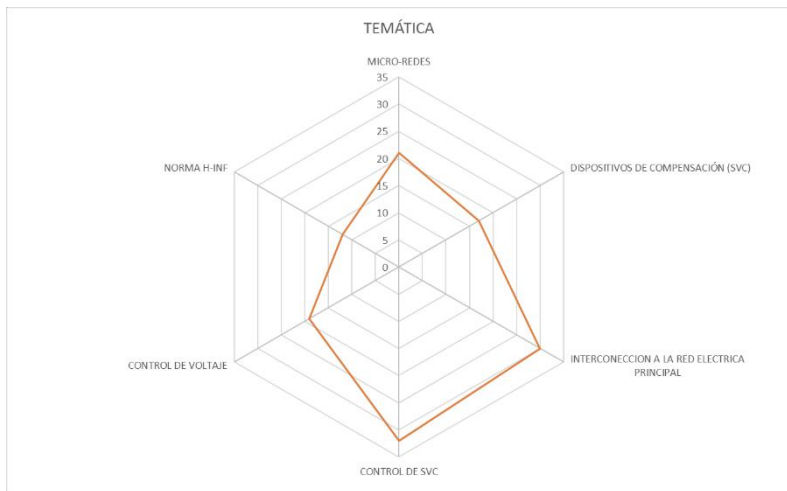


Figura 12. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

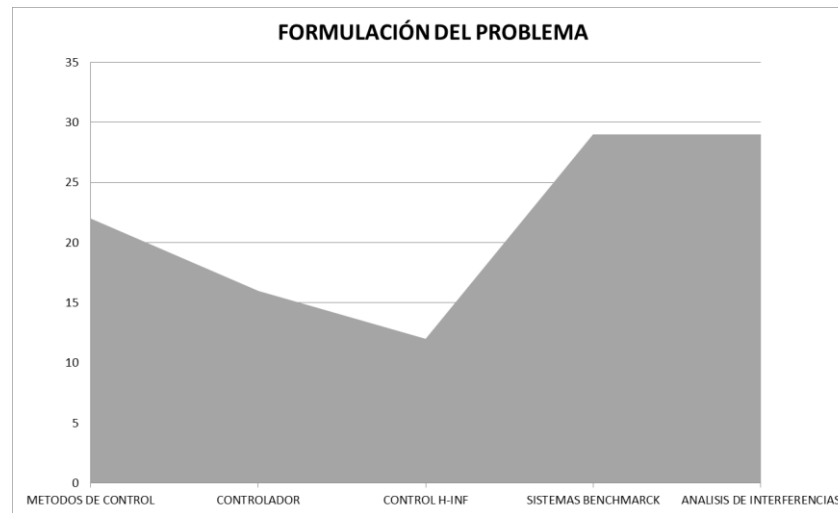


Figura 13. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

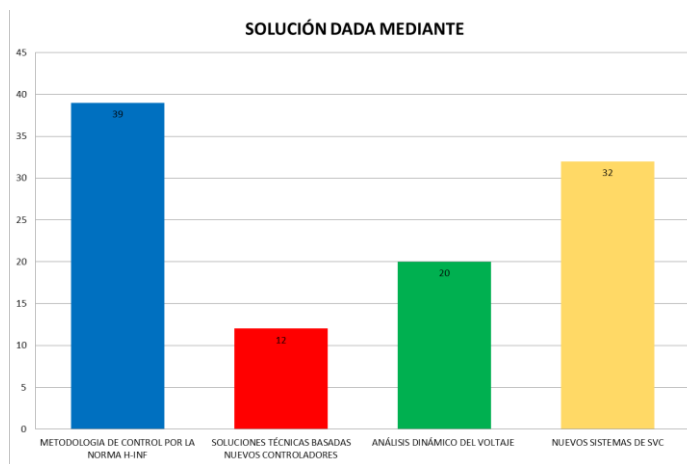


Figura 14. Indicador de solución - Estado del arte.

