

Anexo 1. Formato de presentación de proyecto

Título: Sistemas Distribuidos para el Control del Modo de Operación en Micro-Redes Inteligentes Basados en Técnicas Multi-Agente.

Duración (en meses): 9 meses.

Lugar de ejecución: Universidad Santo Tomás, sede central.

Investigador principal: Carlos Andrés Torres Pinzón

Co-investigador(es): José Guillermo Guarnizo Marín, Edwin Francisco Forero García

Programa(s)	Facultad(es)	Datos generales			
		Línea activa	Línea medular	Campos de acción institucional (Seleccione)	Grupo(s) de investigación
Ingeniería Electrónica.	Ingeniería Electrónica.	<u>Sistemas de Energía Eléctrica</u>	<u>San Alberto Magno</u> (Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente)	Derechos humanos, ciudadanía y construcción de política pública en y para escenarios de paz () Desarrollo tecnológico con apuesta social (X) Desarrollo ambiental sostenible (X) Cambio educativo y social desde la multi e interculturalidad ()	Grupo de investigación MEM (Modelado, Electrónica y Monitoreo)

Equipo de investigación requerido

El equipo de investigación contará con la presencia de tres profesores de la Universidad Santo Tomás a saber:

Carlos Andrés Torres Pinzón, Ingeniero Electricista (Universidad Tecnológica de Pereira), Magíster en Ingeniería Eléctrica (Universidad Tecnológica de Pereira), Máster en Ingeniería Electrónica (Universitat Rovira i Virgili-España) y Doctor en Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones (Universitat Rovira i Virgili-España).

José Guillermo Guarnizo Marín, Ingeniero Electrónico (Universidad Distrital Francisco José de Caldas), Magíster en Automatización Industrial (Universidad Nacional de Colombia) y Doctor en Automática, Robótica e Informática Industrial (Universidad Politécnica de Valencia-España).

Edwin Francisco Forero García, Ingeniero Electricista (Universidad Industrial de Santander), Magíster en Ingeniería-Área de Ingeniería Electrónica (Universidad Industrial de Santander), y Doctor (c) en Educación (Universidad de La Salle-Costa Rica).

Alianza estratégica: Se cuenta con la intención de colaborar con los grupos de investigación en Electrónica de Potencia y SIRIUS de la Universidad Tecnológica de Pereira (Cartas en Trámite).

Resumen de la propuesta (máximo 300 palabras): Las microrredes eléctricas han tomado auge en los últimos años debido a los retos que presenta el cambio climático, buscando alternativas de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía. Las microrredes ofrecen ventajas como suministrar energía eléctrica en zonas aisladas o de difícil acceso, facilitando la interconexión con otras microrredes o eventualmente con la red eléctrica, permitiendo inyectar energía eléctrica a la red o absorber de la misma cuando sea necesario.

Uno de los objetivos más importantes en una microrred eléctrica es la protección a las baterías que componen los sistemas de almacenamiento, siendo este tipo de baterías de plomo ácido donde descargas muy profundas o sobrecargas pueden afectar el tiempo de vida de la batería, teniendo en cuenta que el transporte de bancos de baterías puede incrementar los costos y el impacto ambiental. Una forma de proteger a las baterías es mediante el control del modo de operación con el fin de mantener el balance de potencia en la microrred. esto consiste en determinar la frecuencia y la tensión del bus común en una red aislada. Si bien existen trabajos donde se realiza este tipo de control en un microrred eléctrica aislada, es necesario realizar estudios en los casos en los que se tiene diferentes microrredes interconectadas entre sí, pero aisladas de la red eléctrica.

En este proyecto de investigación se propone el control del modo de operación de un conjunto de microrredes eléctricas interconectadas mediante un bus común, pero aisladas de la red eléctrica, con el fin de proteger la vida útil de las baterías. Para este propósito se propone el diseño de una arquitectura basada en sistemas multi-agente dado el extenso uso que tiene este tipo de modelos en gestión energética de microrredes, facilitando su modelado y el diseño de sistemas de control.

Palabras clave (máximo 5): Microrredes eléctricas, control modo operación, sistemas multi-agente, sistema distribuido.



Planteamiento del problema y pregunta de investigación: En tiempos recientes, las microrredes eléctricas han despertado un gran interés debido al gran auge que han tenido las energías renovables en las últimas décadas, dadas sus ventajas que permiten suministrar energía eléctrica en zonas remotas o para mejorar la fiabilidad en las redes de energía locales. Una microrred tiene la facilidad de operar conectada a la red eléctrica o en modo aislado, en cuyo caso se necesita un sistema de almacenamiento de energía para compensar la variabilidad de las fuentes renovables que sean utilizadas. En los casos en los que la microrred se encuentra aislada, es necesario que alguno de los sistemas distribuidos de energía realice la regulación del bus común, asegurando que la frecuencia, la forma de onda y la tensión pico de la señal alterna del bus posean valores adecuados. Al tener distintos sistemas distribuidos de energía operando en paralelo, se hace posible la cooperación en estos procesos de regulación del bus común en la microrred, teniendo en cuenta sus condiciones de operación. Esto hace importante la regulación de la energía almacenada en los sistemas de almacenamiento de energía evitando con eso sobrecargas o descargas profundas en las baterías, con el fin de alargar la vida útil de las mismas. Si bien existen trabajos al respecto esto se enfocan en una microrred, sin atender los casos de distintas microrredes que si bien están desconectadas de las redes eléctricas, comparten un bus común permitiendo la gestión energética entre ellas. En estos casos, es posible que una microrred pueda suplir las necesidades energéticas de otras microrredes cuyas fuentes renovables no suministren la energía suficiente, y sus sistemas de almacenamiento estén llegando a niveles críticos de descargas.

Por lo cual, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es viable el control del modo de operación entre distintas microrredes eléctricas interconectadas pero desconectadas de la red, con el fin de mantener la correcta regulación del bus común y evitando sobrecargas y descargas profundas en las baterías, mediante arquitecturas de coordinación basadas en sistemas multi-agente?

Justificación: Dados los retos que se enfrentan por los efectos del cambio climático, ha sido necesario trabajar en fuentes de energía renovables tales como aerogeneradores o sistemas fotovoltaicos, exigiendo para esto el diseño de microrredes que permitan suministrar una señal de energía eléctrica adecuada para las necesidades pertinentes. Para esto es necesario el diseño de sistemas de almacenamiento de energía que permitan la conversión eléctrica, los cuales se componen de bancos de baterías de plomo ácido, los cuales pueden tener costos elevados. Dado esto es necesario preservar las baterías con el fin de alargar su vida útil, tanto desde el punto de vista económico como de protección al medio ambiente y para esto es necesario evitar tanto descargas profundas como sobrecargas. Para este propósito existen trabajos en los que se regula el control del modo de operación de una microrred eléctrica aislada basada en sistemas multi-agente [1], centrándose en una única microrred, sin tener en



cuenta la posibilidad de coordinar distintas microrredes interconectadas pero desconectadas de la red eléctrica, como puede ser el caso de comunidades aisladas.

Un sistema de microrredes eléctricas aisladas operando en regiones remotas de difícil acceso tiene la posibilidad de suministrarle energía eléctrica a comunidades aisladas con ventajas como la posibilidad de poder conservar mejor alimentos, suplir las necesidades eléctricas de centros de salud o mantener plantas purificadoras de agua. Al diseñar sistemas distribuidos que le permitan a las diferentes microrredes eléctricas del sistema planteado coordinación en el control del modo de operación, es posible no solo una mejor regulación del bus común, sino contribuir a mejorar el uso de las baterías de los sistemas de almacenamiento eléctrico alargando con esto su tiempo de vida. Para esto es necesario diseñar sistemas de coordinación de las distintas microrredes eléctricas de modo distribuido, de tal manera que soporten a las microrredes cuyos sistemas de generación no estén suministrando la demanda energética de la microrred en particular y sus sistemas de almacenamiento empiecen a presentar profundas descargas. Esto también permite que el exceso de energía de una microrred, cuyos generadores suministre energía por encima de su demanda y su sistema de almacenamiento esté cargado al máximo, sea suministrado a otras microrredes, evitando con esto desperdicio en la energía generada.

Una posibilidad para el control de este tipo de sistemas distribuidos consiste en el uso de arquitecturas de coordinación basadas en sistemas multi-agente, dada sus ventajas como su capacidad de adaptación, expansión, robustez y simplicidad en su diseño [2]. Estas arquitecturas presentan aplicaciones en temas de mercados energéticos, optimización de recursos en microrredes inteligentes, control en microrredes, entre otros [3], [4].

Este trabajo de investigación presenta posibilidades desde el punto de vista de la proyección social, teniendo en cuenta que si bien en sus primeras fases sus aportes serán a nivel de investigación, abre una línea de trabajo en la Universidad Santo Tomás en la que en futuros proyectos se permite el desarrollo tecnológicos en temas de microrredes eléctricas y gestión energética, con la capacidad de contribuir en regiones apartadas las cuales no están interconectadas a la red eléctrica nacional o cuya conexión presenta deficiencias, ofreciendo soluciones tecnológicas que permiten resolver necesidades existentes en las comunidades que habitan estas regiones.

Objetivo general:

Diseñar una arquitectura basada en sistemas multi-agente que permita el control del modo de operación de un sistema de microrredes distribuidas en un entorno aislado, la cual permita cooperación entre las microrredes con el fin de mantener un adecuado estado de carga de las baterías que conforman los distintos sistemas de almacenamiento de energía.



Objetivos específicos:

- Comparar los modelos teóricos de microrredes eléctricas que permitan realizar simulaciones de las mismas.
- Diseñar la arquitectura para el control del modo de operación de microrredes basadas en sistemas multi-agente, la cual permita cooperación entre las distintas microrredes con el fin de mantener un adecuado estado de carga de los sistemas de almacenamiento de energía.
- Validar el modelo propuesto mediante simulación.

Marco teórico: Las microrredes eléctricas han presentado un creciente interés dado el auge que han tenido las fuentes renovables de energía (*renewable energy sources* RESs), tales como las fuentes fotovoltaicas (*photovoltaic* PV) y los aerogeneradores eléctricos (*wind turbine* WT). En este panorama las microrredes eléctricas se presentan como una alternativa para la integración de las RESs, ya que estas pueden operar en modo aislado de la red eléctrica como interconectada a esta misma [5]. Cuando la microrred se encuentra interconectada, la red eléctrica determina la frecuencia y la tensión del bus común, mientras que las fuentes de energía distribuidas (*distributed energy resources* DERs) pueden absorber e inyectar potencia a la red [6]. Dado esto, la red eléctrica es responsable de mantener el balance de potencia entre la generación y el consumo eléctrico [7].

En el caso de la operación en modo aislado, es necesario usar sistemas de almacenamiento de energía (*energy storage systems* ESSs) con el fin de mantener el balance de potencia entre la generación y el consumo, así como se deben corregir comportamientos impredecibles de las RESs. Para esto es necesario el control del balance de potencia, el cual es uno de los problemas más complejos en microrredes aisladas, ya que requiere que al menos una de las unidades DERs (ESSs o RESs) asuma el rol de formación de red (*grid-forming*), convirtiéndose en responsable de fijar la amplitud y la frecuencia de la tensión de la red local [8]. Para esto, dos principales aproximaciones han sido usadas para definir la tensión y la frecuencia de la red local: Maestro único (una unidad en modo de operación *grid-forming*), o multimaestro (distintas unidades conectadas en paralelo trabajando todas en modo de operación *grid-forming*) [6]. En el modo multimaestro la potencia es distribuida entre las diferentes unidades de almacenamiento de energía las cuales operan en modo de operación *grid-forming* [9]. Normalmente en modo de operación aislado las unidades ESSs asumen el rol de *grid-forming*. En este caso las RESs pueden ser integradas a la micro-red en modo seguidor de red, llamado en adelante *grid-following*, como unidades de seguimiento de red

usando control para el seguimiento del punto de máxima transferencia de potencia (*máximum power point tracking* MPPT) con el fin de obtener la máxima potencia posible [10].

Para una operación confiable en una micro-red aislada, es importante definir una adecuada arquitectura de control que permita operaciones coordinadas entre las DERs. Esta arquitectura de control debe considerar la demanda de la carga, la potencia disponible de las RESs y la capacidad de almacenamiento de energía de los ESSs. De hecho, el estado de la carga (SoC) de un ESSs es probablemente el principal factor en la arquitectura de control. Esto se da principalmente para prevenir profundas descargas o sobrecargas de las ESSs, permitiendo con esto prolongar el tiempo de vida de las unidades de almacenamiento de energía, ya que principalmente estas se basan en baterías [11].

La mejor forma de cargar las baterías es mediante un procedimiento de dos etapas. Inicialmente limitando la intensidad de corriente, seguido por una carga constante de tensión. En esta última etapa la tensión permanece constante mientras que la corriente de la batería llega a sus niveles de carga máxima [12], adicionalmente, se recomienda que las baterías sean completamente cargadas después de iniciar sus ciclos de descarga. Dado lo anterior una operación de control de corriente es requerida con el propósito de asegurar una carga apropiada de la batería, implicando con esto que los ESSs deben cambiar su modo de operación de fuente de tensión a carga de potencia. Como consecuencia de esto la operación de las otras DERs debe ser coordinada para asegurar que al menos una unidad asuma la regulación de la tensión y la frecuencia del bus común y para esto, estrategias de coordinación distribuidas que consideran los diferentes escenarios de carga de los ESSs han sido considerados en [13], donde la tensión y la frecuencia del bus AC es utilizada para disparar los cambios en los modos de operación de las DERs. Esta propuesta tiene el problema que cualquier perturbación o ruido puede causar cambios abruptos en los modos de operación, y la tensión y frecuencia deseadas para el bus finalmente no son alcanzadas.

Dado que en años recientes tecnologías basadas en sistemas multi-agente son aplicadas en sistemas de potencia [14], distintos trabajos han utilizado este tipo de arquitecturas en aplicaciones relacionadas con micro-redes eléctricas. Por ejemplo utilizando estrategias basadas en teoría de juegos para integrar la energía producida por redes eléctricas inteligentes [15], con propósitos de integración y resolución de conflictos de intereses alcanzados entre agentes productores y consumidores, y la red de agentes. Una arquitectura basada en sistemas multi-agente para la gestión y predicción en redes eléctricas inteligentes aplicadas a centrales eléctricas virtuales es presentada en [16], incluyendo un conjunto de agentes embebido combinados con Redes Neuronales para la predicción colaborativa de demandas energéticas desagregadas para usuarios domésticos. En [17] es presentado un algoritmo basado en agentes para la restauración del servicio con almacenadores distribuidos de energía



incluyendo detección de fallos, localización y aislamiento. Sistemas Inmunes Artificiales son utilizados como algoritmos de optimización en redes eléctricas inteligentes como se puede encontrar en [18], para asegurar operaciones rentables en el mercado energético. Microrredes eléctricas han sido modeladas como equipos de agentes cooperativos en [19], donde cada microrred puede intercambiar potencia con otras microrredes y la red eléctrica, sin necesidad de un control centralizado. En [20] sistemas multi-agente son usados para la gestión energética y control en una red compuesta por múltiples microrredes eléctricas. El estándar IEC/ISO 62264 es presentado en [21] para adaptar el control jerárquico y el almacenamiento de energía en microrredes eléctricas y centrales eléctricas virtuales.

Más específicamente, los sistemas multi-agente han sido usados en aplicaciones relacionadas con el control de la operación en una microrred eléctrica. Por ejemplo en [22] se propone una estrategia basada en sistemas multi-agente descentralizados, para el control de frecuencia para una micro-red autónoma con restricciones en las comunicaciones. En [23] es presentado un método de control basado en sistemas multi-agente descentralizados para microrredes aisladas, con una estructura de control de dos capas, siendo la capa baja la de distribución eléctrica, y la capa alta la red de comunicaciones. Un sistema híbrido de control basado en sistemas multi-agente es presentado en [24], para microrredes inteligentes con el propósito de buscar la seguridad en la tensión suministrada, buscando maximizar beneficios económicos y ambientales. En [25] un sistema multi-agente basado en arquitecturas de coordinación de fútbol de robots con percepción global y control centralizado es utilizado para controlar el modo de operación de una microrred eléctrica aislada, no obstante el trabajo no contempla la coordinación de múltiples microrredes que puedan estar conectadas entre si.

Metodología: La metodología que se aplicará en esta investigación es de carácter empírico analítica. Partiendo de la observación y experiencias de trabajos pasados se plantean hipótesis que conduzcan a proponer nuevas alternativas que permitan la solución al problema del control del modo de operación de un sistema compuesto por distintas microrredes eléctricas conectadas entre sí, pero aisladas de la red eléctrica interconectada.

Inicialmente se realiza una revisión del estado del arte de distintas aplicaciones de sistemas multi-agente aplicadas a microrredes eléctricas y microrredes inteligentes, así como también se revisarán diferentes técnicas utilizadas para el control del modo de operación de una microrred eléctrica, así como técnicas utilizadas para el intercambio energético entre microrredes, revisando casos donde se realiza optimización de recursos en la microrred.

Posterior a esto se realiza una fundamentación teórica que permita obtener modelos de microrredes eléctricas con el fin de realizar simulaciones de las mismas.

Después se propondrá una arquitectura multi-agente que permita el control del modo de operación de distintas microrredes interconectadas entre ellas, pero aislada de la red eléctrica, de tal manera que se asegure un adecuado estado de carga de las baterías que componen los diferentes sistemas de almacenamiento de energía, evitando tanto sobre cargas como descargas profundas y evitando también desperdicios en la energía generada por las fuentes renovables cuando el sistema de almacenamiento de energía de una microrred individual esté en su carga máxima.

Posteriormente se buscará un simulador adecuado con el fin de validar la arquitectura propuesta. Se implementará la arquitectura presentada mediante simulación, realizando diferentes experimentos emulando distintos estados de carga y comportamientos de las fuentes renovables. Se obtendrán y analizarán resultados con el fin de analizar la fiabilidad de la arquitectura propuesta. En caso de ser necesario se ajustará el modelo propuesto partiendo de los resultados previamente obtenidos, buscando un mejor desempeño. Finalmente se documenta el desarrollo del proyecto y se socializan los resultados.

Cabe aclarar que como en cualquier proceso de ingeniería se plantean estrategias de realimentación en todas las etapas de la investigación, donde se puede cambiar la estrategia inicial por una diferente, para solucionar inconvenientes o por una estrategia más eficiente manteniendo la misma filosofía inicial.

Resultados esperados:

Con el desarrollo de esta propuesta de investigación se pueden identificar tres tipos de resultados: los de apropiación de conocimiento, los de divulgación de los resultados de la investigación y los de aplicación de los productos a nuevas iniciativas. Cada uno de estos resultados tiene un impacto diferente, dado que los primeros son de beneficio de los investigadores, los segundos impactan directamente en la comunidad académica y científica relacionada con el tema de investigación y los temas afines, y el tercer grupo de resultados impactarán a la comunidad estudiantil. Una forma de visualizar los resultados de este proyecto, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Relación entre los resultados del proyecto y su impacto.

Producto	Clase	Descripción y beneficiario
Diseño de una Arquitectura basada en sistemas multi-agente para el control del modo de operación de un sistema de microrredes interconectadas y aisladas de la red eléctrica.	Científico y académico de formación	El sistema multi-agente permitirá el planteamiento y desarrollo de otras propuestas de investigación tanto del grupo de investigación MEM como

		del semillero en eficiencia energética. • Partiendo de este desarrollo se pueden proponer trabajos de grado y tesis de maestría para estudiantes. • Se puede utilizar para la propuesta y realización de futuros proyectos de investigación.
Plataforma para la simulación de microrredes eléctricas, utilizando un simulador existente estandarizado.		• Permitirá obtener una plataforma que pueda ser utilizada en futuros trabajos de simulación de microrredes eléctricas.

Productos esperados (relaciónelos de acuerdo con la tipología de Colciencias- Ver Tabla anexa a la convocatoria)

Durante la realización del presente proyecto de investigación se pretende obtener productos en el corto y mediano plazo. Los productos esperados a partir de los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2.

Productos esperados (relaciónelos de acuerdo con la tipología de Colciencias- Ver Tabla anexa a la convocatoria).

Producto	Descripción	Tiempo de seguimiento
Producto resultado de actividades de generación de nuevo conocimiento. • Un (1) artículo de Investigación A1, A2, B o C. (Clasificación Pubindex 2017.)	Artículo científico que recopila los resultados más relevantes del proceso de investigación. Dirigido a la comunidad académica nacional o internacional, enfocado a la socialización de los resultados de investigación.	Se obtendrá una vez consolidados los resultados del proyecto de investigación. Se espera al finalizar el proyecto tenerlo sometido a revisión en una revista A1, A2, B o C vigente en el momento, de acuerdo con la clasificación Pubindex.
Productos resultados de actividades de apropiación social del conocimiento. • Un (1) evento científico.	Participación en un (1) evento especializados, presentando los resultados de la investigación. Uno de los eventos será de carácter nacional y el otro de carácter internacional. En ambo se asegura que la ponencia quede	Se busca presentar resultados parciales del proceso de investigación, se presentarán a consideración los artículos en los congresos a lo largo del año 2018, presentando como evidencia las cartas de aceptación, certificado de



	indexada en alguna de las siguientes bases de datos: IEEE Explorer, Science Direct o Springer Link.	asistencia y las memorias del evento indexadas en las bases de datos
Producto de actividades relacionadas con la formación del recurso humano para la CTEI. Un (1) trabajo de grado de pregrado.	Realización de un trabajo de grado a nivel de pregrado, dirigido a estudiantes de Ingeniería Electrónica.	El proyecto de grado se realizará a lo largo de las asignaturas Proyecto de Grado I y Proyecto de Grado II. Una vez finalizado el trabajo de grado, este se someterá a sustentación ante evaluadores designados por el comité de grados de la Facultad de Ingeniería Electrónica. Finalizada la fase de sustentación y aprobado el trabajo de grado, el documento será incluido en el repositorio de la Universidad Santo Tomás.
Producto de actividades relacionadas con la formación del recurso humano para la CTEI. Un (1) trabajo de grado de maestría.	Realización de un trabajo de grado de maestría, dirigido a estudiantes de la maestría en Ingeniería Electrónica, de la Universidad Santo Tomás.	El trabajo de grado de maestría se realizará a lo largo de los estudios de maestría en Ingeniería Electrónica por parte del estudiante.

Contribución del proyecto al cumplimiento de la misión institucional: (Se pueden consultar en la página de la Unidad de Investigación)

1. Con qué líneas del PIM se vincula el proyecto:

De acuerdo con el Plan Integral Multicampus (PIM), aprobado por el Consejo de Fundadores mediante el Decreto 81 del 5 de mayo de 2016. Se considera que el proyecto se vincula con la siguiente línea:

3. Proyección social e investigación pertinentes

Focalizar y articular la investigación y la proyección social USTA Colombia con visibilidad e impacto nacional y global.



2. Con qué acciones del Plan General de Desarrollo Bogotá, se articula el proyecto:

De acuerdo con las líneas de acción 3. Proyección social e investigación pertinente, del Plan General de Desarrollo de Bogotá 2016-2019, el proyecto se articula con las siguientes acciones:

3.4 Incrementar la producción investigativa con impacto regional, nacional e internacional.

3.4.5 Elaborar un plan de acción de la sede para incrementar la producción investigativa en el marco de los campos de acción.

Presupuesto

Recurso solicitado FODEIN		
Concepto	Descripción	Monto
Personal científico	Carlos Andrés Torres Pinzón	60 horas mensuales Valor hora: \$34.818,75 Total: 18.802.125
	José Guillermo Guarnizo Marín	20 horas mensuales Valor hora: \$34.818,75 Total: 6.267.375
	Edwin Francisco Forero García	20 horas mensuales Valor hora: \$34.818,75 Total: 6.267.375
Auxilio a investigadores	Un (1) estudiante de pregrado	\$2.000.000
Asistentes de investigación		
Equipos	Consultar en adquisiciones y suministros para evitar duplicidad	
Software	HOMER-PRO	\$4.000.000
Materiales		
Papelería		



Fotocopias		
Salidas de campo	Lugar, tiempos, actividades, investigadores	
Material bibliográfico	Libros, suscripciones a revistas, etc	
Publicaciones	Libros, traducciones publicación en revistas	
Servicios técnicos	Laboratorios, personas naturales	
Movilidad académica	Eventos para socialización de avances y resultados, pasantías	\$4.000.000
Organización de eventos	Eventos para difusión de resultados	
	Total	\$41.336.875
Contrapartida externa		
Para proyectos en cooperación y alianza estratégica		
Institución	Descripción	Monto
	Detalle los montos y los conceptos	
	Total	

Cronograma

Etapas	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9
Revisión del estado del arte.	X	X							
Delimitación de las condiciones del proyecto	X	X							
Diseño de la arquitectura basada en sistemas multi-agente,		X	X	X					
Selección del simulador				X					
Programación del modelo de la microrred y de la arquitectura propuesta					X				



Simulación y realización de experimentos						X	X		
Ajustes del modelo.								X	
Realización de informe final y redacción de artículos.									X

Bibliografía (correcto uso de normas IEEE) se sugiere el uso de gestores bibliográficos

- [1] N. L. Díaz, J. G. Guarnizo, M. M. J. C. Vasquez y J. M. Guerrero, «A Robot-Soccer-Coordination Inspired Control Architecture Applied to Islanded Microgrids,» *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, nº 4, pp. 2728-2742, 04 2017.
- [2] A. Kantamneni, L. E. Brown, G. P. y W. W. Weaver, «Survey of multi-agent systems for microgrid control,» *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 45, pp. 192-203, 2015.
- [3] M. WaseemKhan y J. Wang, «The research on multi-agent system for microgrid control and optimization,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1399-1411, 2017.
- [4] A. Anvari-Moghaddam, A. Rahimi-Kian, M. S. Mirian y J. M. Guerrero, «A multi-agent based energy management solution for integrated buildings and microgrid system,» *Applied Energy*, vol. 203, pp. 41-56, 2017.
- [5] D. Wu, F. Tang, T. Dragicevic, J. C. Vasquez y J. M. Guerrero, «A Control Architecture to Coordinate Renewable Energy Sources and Energy Storage Systems in Islanded Microgrids,» *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 6, nº 3, pp. 1156-1166, May 2015.
- [6] J. A. Peças Lopes, C. L. Moreira y A. G. Madureira, «Defining control strategies for MicroGrids islanded operation,» *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 21, nº 2, pp. 916-924, May 2006.

- [7] H. Mahmood, D. Michaelson y J. Jiang, «Strategies for Independent Deployment and Autonomous Control of PV and Battery Units in Islanded Microgrids,» *Emerging and Selected Topics in Power Electronics, IEEE Journal of*, vol. 3, nº 3, pp. 742-755, September 2015.
- [8] T. L. Vandoorn, J. C. Vasquez, J. De Kooning, J. M. Guerrero y L. Vandevelde, «Microgrids: Hierarchical Control and an Overview of the Control and Reserve Management Strategies,» *Industrial Electronics Magazine, IEEE*, vol. 7, nº 4, pp. 42-55, Dec. 2013.
- [9] J. Rocabert, A. Luna, . F. Blaabjerg y P. Rodríguez, «Control of Power Converters in AC Microgrids,» *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 27, nº 11, pp. 4734-4749, November 2012.
- [10] D. Wu, F. Tang, T. Dragicevic, J. C. Vasquez y J. M. Guerrero, «Autonomous Active Power Control for Islanded AC Microgrids With Photovoltaic Generation and Energy Storage System,» *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, vol. 29, nº 4, pp. 882-892, Dec. 2014.
- [11] A. H. Fathima y K. Palanisamy, «Optimization in microgrids with hybrid energy systems – A review,» *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, p. 431–446, May 2015.
- [12] IEEE Standards Coordinating Committee 21, «1561-2007 - IEEE Guide for Optimizing the Performance and Life of Lead-Acid Batteries in Remote Hybrid Power Systems,» 2008.
- [13] N. L. Diaz Aldana, D. Wu, T. Dragicevic, J. C. Vasquez y J. M. Guerrero, «Fuzzy droop control loops adjustment for stored energy balance in distributed energy storage system,» de *IEEE ECCE-ASIA 2015.*, Seoul, 2015.
- [14] G. Zhabelova, V. Vyatkin y V. N. Dubinin, «Toward Industrially Usable Agent Technology for Smart Grid Automation,» *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 62, nº 4, pp. 2629-2641, April 2015.
- [15] P. Nguyen, W. Kling y P. Ribeiro, «A Game Theory Strategy to Integrate Distributed Agent-Based Functions in Smart Grids,» *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 4, nº 1, pp. 568-576, March 2013.
- [16] L. Hernández, C. Baladrón, J. M. Aguiar, B. Carro, A. Sánchez-Esguevillas, J. Lloret, D. Chinarro, J. J. Gomez-Sanz y D. Cook, «A Multi-Agent System Architecture for Smart Grid Management and Forecasting of Energy Demand in Virtual Power Plants,» *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, nº 1, pp. 106-113, January 2013.

- [17] C. P. Nguyen y A. J. Flueck, «Agent Based Restoration With Distributed Energy Storage Support in Smart Grids,» *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 3, nº 2, pp. 1029-1038, June 2012.
- [18] B. Ramachandran, S. K. Srivastava, C. S. Edrington y D. A. Cartes, «An Intelligent Auction Scheme for Smart Grid Market Using a Hybrid Immune Algorithm,» *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 58, nº 10, pp. 4603-4612, October 2011.
- [19] H. Dagdougui y R. Sacile, «Decentralized Control of the Power Flows in a Network of Smart Microgrids Modeled as a Team of Cooperative Agents,» *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, vol. 22, nº 2, pp. 510 - 519, March 2014.
- [20] C. M. Colson y M. M. Hashem Nehrir, «Comprehensive Real-Time Microgrid Power Management and Control With Distributed Agents,» *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 4, nº 1, pp. 617-627, March 2013.
- [21] O. Palizbana, K. Kauhaniemi y J. M. Guerrero, «Microgrids in active network management—Part I: Hierarchical control, energy storage, virtual power plants, and market participation,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 36, pp. 428-439, August 2014.
- [22] W. Liu, W. Sheng, X. Meng, Z. Wu y W. Chen, «Decentralized Multi-Agent System-Based Cooperative Frequency Control for Autonomous Microgrids With Communication Constraints,» *IEEE Transaction on Sustainable Energy*, vol. 5, nº 2, pp. 446-456, 2014.
- [23] Q. Li, F. Chen, M. Chen, J. M. Guerrero y D. Abbott, «Agent-Based Decentralized Control Method for Islanded Microgrids,» *Smart Grid*, pp. 1-13, 2015.
- [24] C.-X. Dou y B. Liu, «Multi-Agent Based Hierarchical Hybrid Control for Smart Microgrid,» *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 4, nº 2, pp. 771-778, June 2013.
- [25] J. G. Guarnizo, Tesis Doctoral. Arquitecturas Centralizadas de Coordinación. Extrapolación del Fútbol de Robots al Control de Modo de Operación de Micro-Redes, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2016.

Posibles evaluadores

Ing, Cesar Leonardo Trujillo Rodriguez. Ph.D
Profesor Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Eléctrica.



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9. n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10. n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6



Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
Último nivel de formación: Doctorado.
cltrujillo@udistrital.edu.co

Ing. Nelson Leonardo Díaz Aldana.
Profesor Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Electrónica.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
Último nivel de formación: Doctorado.
nldiaza@udistrital.edu.co

Ing. Alejandro Garcés Ruíz. Ph.D
Profesor Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Eléctrica.
Universidad Tecnológica de Pereira.
Último nivel de formación: Doctorado.
alejandro.garces@utp.edu.co

Ing. Andrés Escobar Mejía. Ph.D
Profesor Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Eléctrica.
Universidad Tecnológica de Pereira.
Último nivel de formación: Doctorado.
andreses1@utp.edu.co



BOGOTÁ • PBX: (571) 587 87 97 **Línea gratuita nacional:** 01 8000 111 180
Carrera 9. n.º 51-11 / www.usta.edu.co / contactenos@usantotomas.edu.co
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA • Tel. (571) 595 00 00
Carrera 10. n.º 72-50 / www.ustadistancia.edu.co / admisiones@ustadistancia.edu.co
NIT: 860012357-6

