

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA



Este documento corresponde a un trabajo de grado

INGENIERÍA ELÉCTRICA

---

**Dynamic Analysis of a DC Microgrid  
Considering the ZIP Load Model for Electric  
Vehicles**

---

*Asesores:*

Joseph Sosapanta Salas

Sergio Saldarriaga Zuluaga

*Alumno:*

Juan Pablo Yepes Zuluaga

Medellín, Colombia

De acuerdo con el artículo 4.1.4 del acuerdo del consejo académico 002 del 5 de octubre de 2016, se presenta un artículo publicable en lugar del informe final de trabajo de grado

# 1. Resumen

La creciente necesidad de abordar el cambio climático y garantizar la confiabilidad del sistema eléctrico, ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías como las microrredes de corriente continua (DC), ver figura 1. Estas microrredes DC se destacan por su eficiencia energética, menores costos de instalación y su capacidad para integrar fuentes renovables como la energía solar y eólica. En este contexto, la electrificación del transporte, particularmente mediante vehículos eléctricos (VE), representa un desafío adicional para las microrredes, ya que estos vehículos eléctricos son cargas altamente variables que pueden comprometer su estabilidad operativa de la red.

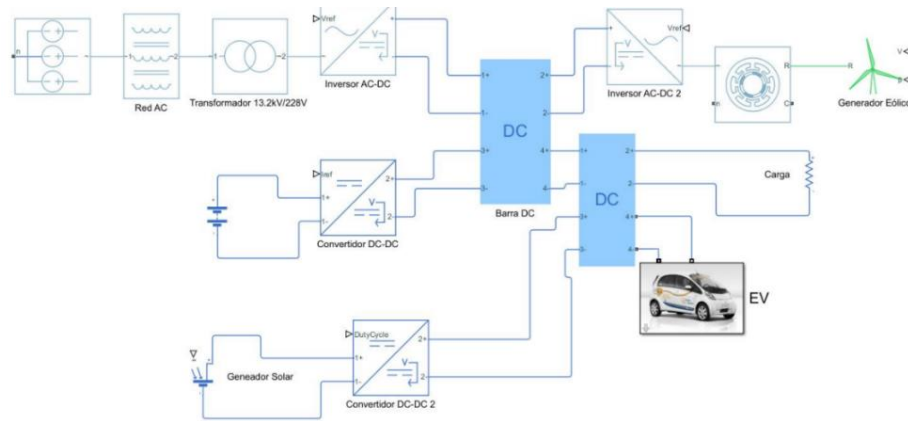


Figura 1. Microrred DC.

Para saber la estabilidad dinámica del sistema, se realizó un análisis dinámico de estabilidad de pequeña señal para una microrred DC que incorpora el modelo de carga ZIP como la carga de los vehículos eléctricos, siguiendo la metodología mostrada en la figura 2. La problemática central radica en garantizar la estabilidad del sistema frente a variaciones significativas en la generación y la carga, especialmente considerando el ingreso de VE, que actúan como cargas con características no lineales y variables. Aunque las microrredes DC son eficientes y versátiles para fuentes de energía renovables, son especialmente sensibles a estas variaciones debido a la baja inercia de sus componentes y la dependencia de recursos intermitentes.

De acuerdo con el artículo 4.1.4 del acuerdo del consejo académico 002 del 5 de octubre de 2016, se presenta un artículo publicable en lugar del informe final de trabajo de grado

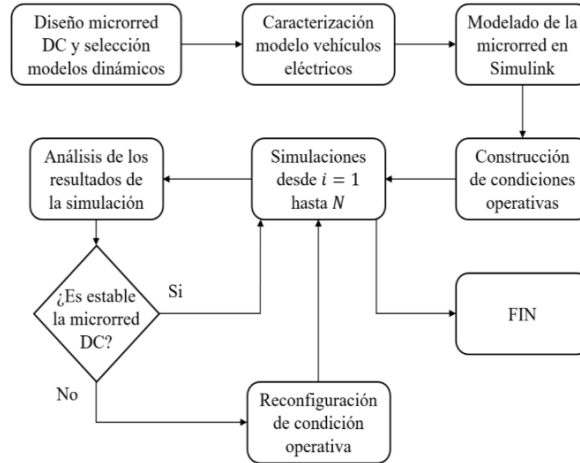


Figura 2. Metodología implementada para determinar el comportamiento dinámico de la red.

La solución planteada combina el diseño de una microrred DC, con generación renovable mixta (19.2 kW solar y 11 kW eólica), un sistema de almacenamiento con baterías de 24 V y 100 Ah, y su conexión directa a una red eléctrica externa para soportar momentos de alta demanda. La barra DC de la microrred opera a 250 V, y el análisis dinámico se realizó mediante simulaciones en Matlab/Simulink, empleando el método de integración numérica Runge-Kutta de orden 4. Para evaluar el comportamiento del sistema, se simularon tres escenarios de incorporación de VE: sin vehículos, con un vehículo (7.5 kW) y con dos vehículos (15 kW).

Los resultados muestran que la estabilidad de la microrred depende críticamente de la conexión a la red eléctrica externa (Ver tabla 1), que actúa como soporte principal para suplir la demanda adicional de los vehículos eléctricos. Durante los picos de demanda, la generación renovable por sí sola no es suficiente para mantener la estabilidad del voltaje en la barra DC. Adicionalmente, en condiciones de baja demanda, la microrred puede experimentar incrementos de voltaje fuera de los límites permitidos, especialmente cuando la generación renovable supera el consumo.

Escenarios	Condiciones operativas analizadas	Condiciones operativas sin pérdida de estabilidad	Condiciones operativas con pérdida de estabilidad
Escenario 0 (0 vehículos eléctricos)	42	25 (19,90 %)	17 (13,49 %)
Escenario 1 (1 vehículo eléctrico)	42	39 (30,95 %)	3 (2,38 %)
Escenario 2 (2 vehículos eléctricos)	42	38 (30,15 %)	4 (3,17 %)
Total	126	102 (80,95 %)	24 (19,05 %)

Tabla 1. Análisis de escenarios.

El análisis de los escenarios operativos muestra como la microrred DC es capaz de operar de manera estable siempre que se cumplan dos condiciones clave: (1) que al menos dos fuentes de generación estén activas simultáneamente, y (2) que exista un nivel mínimo de carga conectado para

De acuerdo con el artículo 4.1.4 del acuerdo del consejo académico 002 del 5 de octubre de 2016, se presenta un artículo publicable en lugar del informe final de trabajo de grado

equilibrar la generación y el consumo. Los resultados también mostraron que las baterías, aunque juegan un papel importante para la microrred, no pueden suplir completamente las demandas de los VE en ausencia de cualquier elemento de generación, lo que muestra la necesidad de mantener una red externa siempre activa.

Estos análisis muestran que las microrredes DC son una solución prometedora en el contexto de la transición energética, pero su implementación requiere tanto de estudios técnicos como de analizar el comportamiento de los elementos en su operación normal. Para garantizar la estabilidad y viabilidad de estas microrredes en escenarios reales es fundamental la conexión a la red eléctrica externa, combinada con la generación de energía renovable, de esta manera se podría garantizar un correcto funcionamiento al incorporar VE.

## 2. Actividades investigativas

En esta sección se mencionan todas las actividades investigativas realizadas hasta el momento:

1. Participación en el semillero de investigación los semestres 2022-1, 2022-1, 2023-1, 2023-2, 2024-1, 2024-2 para un total de seis (6) semestres.
2. Aportes para la sistematización de la experiencia investigativa como ponente en un total de nueve (9) ponencias.
3. Publicación de un artículo científico de categoría Q3 titulado “Análisis dinámico de una microrred DC considerando el modelo de carga ZIP para vehículos eléctricos” ([Ver aquí](#)).
4. Participación en el programa Pascualino creativo e innovador.
5. Participación en el proyecto titulado “Análisis de estabilidad de microrred DC de 6 nodos mediante estudios de régimen dinámico”.
6. Participación en pasantía de investigación en la institución federal de Sao Paulo en Brasil.
7. Participación en pasantía de trabajo en Giessenburg, Holanda en la empresa RIETVELD.

De acuerdo con el artículo 4.1.4 del acuerdo del consejo académico 002 del 5 de octubre de 2016, se presenta un artículo publicable en lugar del informe final de trabajo de grado