

MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA EMULADA CON MÁQUINAS REVERSIBLES: MONTAJE Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL EN LAB PCH'S UNIVALLE

1^{er}. Santiago Torres, 2^{do}. Juan Manuel Chantre, 3^{er}. Laura Luna y 4^{to}. Ramiro Ortiz Flórez

Sistemas Multienergéticos de Generación Universidad del Valle, Colombia

david.anacona@correounivalle.edu.co, juan.manuel.chantre@correounivalle.edu.co, laura.isabel.luna@correounivalle.edu.co y ramiro.ortiz@correounivalle.edu.co

INTRODUCCIÓN

Las Microcentrales Hidroeléctricas (MCHE) con máquinas reversibles representan una solución viable, robusta y replicable para abastecer zonas rurales y no interconectadas. El uso de bombas centrífugas como turbinas (PAT) y motores asíncronos como generadores (GA) permite implementar esquemas de generación de bajo costo y larga vida útil. En este contexto, el Laboratorio de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (SHPLAB) de la Universidad del Valle ha desarrollado un sistema experimental emulado, automatizado y versátil, capaz de operar tanto en condición aislada (ZNI) como interconectada (SIN), contribuyendo a la formación técnica y al desarrollo de tecnologías apropiadas en el ámbito energético descentralizado.

La propuesta se fundamenta en los estudios del profesor Ramiro Ortiz Flórez sobre bombas funcionando como turbinas (PAT) acopladas a motores de inducción como generadores. Esta configuración permite una implementación de bajo costo, adaptable a comunidades con recursos técnicos limitados. El objetivo es evaluar su viabilidad técnica mediante el análisis del recurso hídrico, la demanda energética y la selección de los equipos apropiados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema experimental se compone de una bomba centrífuga operando como turbina (PAT), acoplada a un generador asíncrono trifásico. Se integran dispositivos como: banco de condensadores para autoexcitación, válvulas de regulación, torquímetro Torque Trak 10K, caudalímetro electromagnético, y analizadores de red trifásicos. El montaje permite evaluar eficiencia hidráulica y comportamiento eléctrico bajo distintas condiciones de carga.

Se usaron curvas características y ecuaciones del circuito equivalente para dimensionar los bancos de condensadores. Las pruebas se realizaron en condiciones controladas, emulando la entrega de potencia a cargas resistivas, inductivas y mixtas, y observando la estabilidad del sistema.

RESULTADOS

El montaje experimental emula con precisión una MCHE real, permitiendo evaluar la capacidad de generación autónoma, la respuesta a variaciones de carga y los parámetros eléctricos clave. Se comprobó la autoexcitación del GA a partir del flujo magnético residual, y se validó la autorregulación del sistema sin necesidad de controladores electrónicos sofisticados.

Además, se logró identificar el punto de máxima eficiencia del conjunto PAT-GA bajo distintos caudales y cargas, ajustando la capacitancia del banco según la demanda. El sistema operó de forma estable ante eventos como desbalance de fases, picos de carga y transitorios.

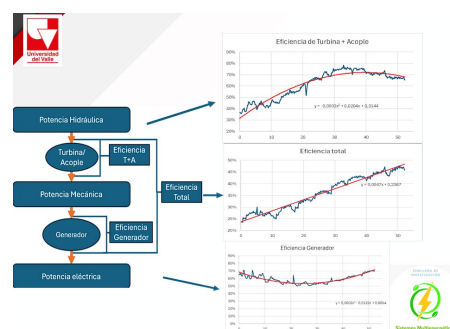


Figura 1.- Curva de eficiencia. Fuente: Elaboración propia

También dentro del laboratorio se realizó lo que es la autoexcitación y autoregulación del generador, esto representa una solución económica y eléctrica la cual evita costosos y complejos equipos

electrónicos permitiendo que sea más asequible y resista las condiciones difíciles de las zonas rurales.

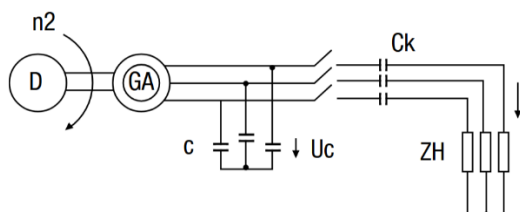


Figura 2.- Diagrama de conexión generador autoexcitado y autoregulado. Fuente: Elaboración propia



Figura 3.- Laboratorio PCH'S Univalle. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El sistema emulado desarrollado en el SHPLAB evidencia la viabilidad de una microcentral con máquinas reversibles como alternativa energética para zonas rurales.

Su diseño robusto, automatizado y validado bajo condiciones reales de operación permite su réplica en campo. Este tipo de desarrollos fortalece la transferencia de conocimiento desde la academia hacia comunidades con baja cobertura energética.

El uso de una bomba centrífuga operando como turbina (PAT) acoplada a un motor de inducción como generador asíncrono evidencia una solución de bajo costo, fácil implementación y adecuada para contextos rurales con limitaciones tecnológicas. Además, su validación en laboratorio, bajo condiciones representativas del sitio, refuerza la viabilidad técnica del sistema.

Finalmente, este tipo de desarrollos sientan precedentes para futuras aplicaciones en comunidades con problemas de acceso a energía, ofreciendo un enfoque replicable basado en criterios de sostenibilidad, aprovechamiento local de recursos y transferencia de conocimiento desde la universidad hacia el territorio.

EJEMPLO DE REFERENCIAS

M. R. Ortiz Flórez, “Micro CHE con aplicación de máquinas reversibles,” Presentación académica, Universidad del Valle, 2023.

C. A. Restrepo et al., “Selección de bombas operando como turbinas para generación de energía en pequeñas centrales hidroeléctricas,” Revista Tecnura, vol. 15, no. 1, pp. 15–20, 2011.

G. Vásquez, J. C. Córdoba, y M. Mosquera, “Metodología para el diseño de microcentrales hidroeléctricas aplicadas a zonas rurales en Colombia,” Universidad Tecnológica de Pereira, 2020.

Universidad del Valle, “Laboratorio de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas – PCHs, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica,” Documentación interna, 2024.