



## Sistema de Control de Tensión y Frecuencia en Generadores Asíncronos con Operación Aislada para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Cristian Flores <sup>1\*</sup>, Mario O. Oliveira <sup>2</sup>, Víctor H. Kurtz <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

cristianfloresfio@gmail.com, oliveira@fio.unam.edu.ar, kurtzvh@gmail.com

---

### Resumen

El presente artículo surge del tema propuesto como plan de tesis de la maestría en ingeniería electrónica y tiene como finalidad el desarrollo de un sistema de control, para regulación de frecuencia y tensión en generadores asíncronos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. El trabajo se enfoca en acondicionar las características de tensión y frecuencia a valores normalizados en momentos críticos de operación aislada de la microcentral. Se propone un sistema mecatrónico que pueda ser accionado en los momentos en que la turbina hidráulica tienda a embalsarse, controlando rápida y eficazmente la tensión y frecuencia de generación para evitar daños tanto en los equipos de los consumidores como en los propios componentes de la instalación.

*Palabras Clave* – Energía Eléctrica, Generación Asíncrona, Pequeña Central Hidroeléctrica.

### 1. Introducción

Hoy en día las posibilidades energéticas marcan el ritmo de desarrollo de un país. Según un informe de la Fundación Crear, la Argentina necesita inversiones en energía por us\$33.223 millones entre este año y 2020 para sostener su previsión de crecimiento económico del 3% anual, además de ello diversificar su matriz energética ya que tan solo el 2% ocupan las renovables [1]. El escenario para el desarrollo de las renovables se encuentra en un buen momento con la sanción de la ley de energías renovables en 2015 y el impulso que se le dió el año pasado a las licitaciones para sumar megavatios (MW) de fuente limpia a la red eléctrica por parte del gobierno. (Ezequiel Mirazón, socio Líder de Energía, Servicios Públicos y Minería de PwC Argentina) [2].

En la Provincia de Misiones los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (PAH) tienen un gran potencial dado las características hidrológicas y topográficas, presenta condiciones adecuadas para la implantación desde pico hasta pequeñas centrales hidroeléctricas. Por ello el desarrollo e innovación en estos emprendimientos es de suma importancia para el desarrollo de la región.

En la Provincia durante los años 80 se llevaron a cabo numerosos emprendimientos de generación eléctrica mediante PCH's, la mayoría de ellos, en la actualidad, se encuentran desmantelados en su totalidad o abandonados. Durante estos últimos años se ha incentivado desde distintos ámbitos, la puesta en marcha de proyectos de generación eléctrica mediante fuentes renovables; dentro de estas fuentes están incluidas las PCH's.

La Facultad de Ingeniería de Oberá ha recibido numerosas consultas sobre reactivación de proyectos, en donde ha participado activamente en muchos de ellos. En este sentido intercambiando

\*Autor en correspondencia.

información con los profesionales que participaron de estos emprendimientos y analizando las problemáticas, así como también las posibles mejoras, se idea trabajar sobre dos parámetros importantes de la generación eléctrica aislada mediante PCH's. Estos dos parámetros son la tensión y frecuencia de generación.

La problemática que se identifica es el control de los picos de tensión y variación de la frecuencia, que se producen cuando hay un desacople repentino y brusco de la carga. Este abrupto aumento de la tensión genera serios inconvenientes sobre la demanda que se encuentra conectada al momento de producirse el fenómeno. Además los problemas se hacen extensivos al equipamiento de generación; tales como generador, protecciones, elementos de maniobra, etc.

Según un informe realizado por la Agencia Internacional de Energía las principales dificultades que enfrentan los países de América Latina para avanzar hacia su desarrollo sustentable, es la falta de servicios de energía permanentes, fiables y amigables ambientalmente. Donde el mayor sector involucrado es el rural. En cifras, 28 millones de personas no tienen acceso a la electricidad y satisfacen sus necesidades de energía con fuentes altamente contaminantes como la leña, el carbón y el diésel [3].

En el estudio realizado por Rivera [3] manifiesta que: “Entre las causas de ésta situación pueden mencionarse: la gran distancia de los poblados rurales a las redes de suministro eléctrico, las extensas áreas que abarcan las regiones rurales y además con muy baja densidad de población, aunado, en ciertos casos, a la presencia de condiciones climáticas adversas o ser de difícil acceso; todo lo cual hace inviable, técnica y económicamente, su satisfacción energética por la vía tradicional”.

En la actualidad, la generación eléctrica es un tema que nos sensibiliza a todos, tanto desde el punto de vista de las complejidades de los métodos de generación como de la oferta disponible. El aprovechamiento de los recursos naturales renovables para la generación de energía eléctrica, en pequeña escala y con el mínimo impacto sobre el ecosistema.

En nuestro país existen regiones con un gran potencial de generación, una de ellas es la hidroeléctrica. En este sentido la provincia de Misiones, posee un significativo potencial hídrico en arroyos y pequeños ríos, esta situación puede ser aprovechada para el desarrollo de proyectos orientados a la construcción de sistemas de generación de operación aislada.

Con ello se podrán atender las necesidades de energía eléctrica de pequeñas comunidades que viven en zonas rurales muy alejadas del sistema eléctrico provincial. Estas comunidades, en general no poseen mano de obra calificada y si la poseen es muy limitada, además de poseer limitados recursos financieros. Por lo tanto, es menester la utilización de equipamientos, tanto eléctricos, mecánicos y electrónicos, de mantenimiento y costo reducido, altamente confiables y fáciles de instalar. Además de esto, y lo más importante, es imprescindible que la operación del equipamiento requiera la mínima intervención de alguna persona de la comunidad, lo que supone la utilización de sistemas de supervisión, protección y de control automático de la generación [4].

### ***Relevamiento de los sistemas de control:***

Los sistemas de control de las PCH presentan un esquema simplificado en comparación con las grandes centrales, principalmente debido al nivel de potencia que manejan. En centrales de gran envergadura, se tienen sistemas de monitoreo sobre: válvulas de entrada de agua a la turbina, inyectores y alabes, medición de caudal y presión, temperatura de bobinas, entre otros. Por otro lado, en las instalaciones de PCH el control sobre la válvula es manual y se trabaja en conjunto con un controlador de carga variable que mantiene una frecuencia estable ante variaciones de consumo [5].

En la operación de las PCHs existen dos parámetros fundamentales que se deben controlar con la mayor precisión posible, estas son la tensión y frecuencia de salida. La importancia de su control está dada por las constantes variaciones que sufre la demanda del usuario; si la demanda de potencia establecida por la carga del usuario es incrementada, el generador experimenta una disminución en la velocidad de rotación que provoca una caída en el nivel de tensión y frecuencia. Si el usuario disminuye el consumo, la velocidad del generador sufre un incremento, ocasionando un aumento tanto en la tensión como en la frecuencia de salida del mismo. Estos cambios de tensión y frecuencia producidos a la salida del generador no son deseables para la carga del usuario, dado que pueden traer inconvenientes tales como “parpadeos” en lámparas de iluminación, variación del torque y de la velocidad en motores [6].

En el sistema de control de carga variable, se utiliza una carga (resistiva) controlada por medios electrónicos (un rectificador, por ejemplo) que disipa la diferencia de potencia entre la potencia generada y consumida a fines de mantener la frecuencia constante. En este sistema, la válvula se fija de manera de obtener la potencia deseada (generalmente la potencia máxima) y el sistema de control varía la carga ficticia para que consuma lo necesario para mantener constante la frecuencia (variando desde 0% para plena carga hasta el 100% en vacío) [7].

La regulación de tensión es efectuada a través de un Regulador Automático de Tensión (AVR), que mantiene el valor de tensión en bornes del generador dentro de un rango definido por límites establecidos. En su construcción pueden utilizarse elementos electrónicos como rectificadores, o bien utilizarse elementos pasivos tales como transformadores de corriente, reóstatos, etc. La desventaja de estos controladores es que no permite la conexión del generador a la red, debiendo funcionar el mismo solamente en forma aislada. Por otro lado un regulador AVR no puede controlar la Potencia Activa inyectada o absorbida de la red imposibilitando así el control del factor de potencia [8].

Ante lo expuesto, la hipótesis a evaluar en este trabajo es comprobar que el uso de un sistema de control mecatrónico puede ser utilizado eficientemente en la regulación tanto de tensión como de frecuencia de generación.

### ***Metodología y plan de trabajo***

I. *Estudio del Estado del Arte.* Se abordarán temas relacionados a la línea de investigación de este proyecto, recopilando y estudiando bibliografía específica sobre el tema propuesto a fines de conocer las posibles soluciones presentadas al problema en estudio. Esta revisión permitirá conocer cuáles son los parámetros operacionales de la PCH que presentan mayor influencia en las variaciones de tensión y frecuencia en bornes del generador.

II. *Modelación del Sistema Turbina-Generador.* Mediante la utilización de programas computacionales específicos (como por ejemplo, Simulink/MatLab®), se procederá a efectuar un modelo computacional de una PCH que contemple los parámetros de influencia identificados en la primer actividad. La metodología a utilizar en esta etapa se basará en describir el modelo matemático de cada componente del sistema turbina-generador para luego representarlo mediante modelos computacionales.

III. *Diseño del Sistema de Control de Frecuencia.* En esta etapa se utilizará el modelo computacional desarrollado anteriormente para encontrar la estructura de control más robusta en función de la simulación computacional de diferentes condiciones operacionales para una PCH. Este análisis incluirá un estudio técnico-económico del sistema propuesto a fines de encontrar una solución técnicamente viable y económicamente atractiva.

IV. *Diseño del Sistema de Control de Tensión.* La metodología a utilizar en esta etapa es similar a la anteriormente presentada con la diferencia que ahora se diseñará un sistema de control para la tensión generada en la PCH. Una vez determinada la función de transferencia a utilizar se obtendrán las acciones de control para el sistema regulador.

V. *Implementación y Validación de Resultados.* Una vez diseñado y probado ambos sistemas de control se procederá a la implementación real en campo. Esta implementación será realizada en el micro-aprovechamiento “Arroyo El Tigre” perteneciente a la Facultad de Ingeniería de Oberá y el objetivo es validar experimentalmente los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio.

VI. *Publicación de Resultados.* Esta etapa consiste en socializar los resultados obtenidos primeramente a través de la escrita de una Tesis de Maestría. Posteriormente, se divulgarán los resultados mediante artículos presentados en congresos y/o publicados en revistas.

### ***Recursos disponibles***

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación “Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Equipos y Sistemas” (Código: 16/I142, Resolución: C.D. n° 083/16) que se desarrolla en la Facultad de Ingeniería y tiene como director a V. H. Kurtz. Bajo esta línea de trabajo he sido seleccionado como becario en la beca de posgrado PERHID-CIN, la cual tiene como objetivo la culminación de la Maestría. El lugar de trabajo para el desarrollo de las actividades que se presentan será el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Energía Eléctrica (LIDEE) perteneciente a la Facultad de Ingeniería de Oberá, de la Universidad Nacional de Misiones.

## 2. Conclusiones

Como se indicó al inicio, este artículo surge del tema propuesto como plan de tesis de maestría. El mismo se encuentra en la etapa de evaluación por el comité académico del posgrado.

En relación a la revisión bibliográfica sobre los sistemas de control de frecuencia y tensión en generadores de pequeñas potencias, se encontraron varios sistemas implementados y con resultados experimentales publicados. Muchos de ellos fueron realizados por docentes e investigadores de la Facultad de Ingeniería, lo cual hace posible recabar información de manera más fácil y adoptar criterios y sugerencias de forma continua para llevar a cabo este proyecto.

Un aspecto interesante del sistema que se pretende realizar radica en la conjunción e interrelación de las ingenierías electromecánicas (título de grado del maestrando) y electrónica (temática de la maestría), que serán necesarias para desarrollar el sistema de control ideado.

Las expectativas sobre este trabajo son auspiciosas ya que la temática resulta de interés no solo a nivel regional sino que también a nivel mundial. Además, las condiciones de apoyo por parte de investigadores de la Facultad de Ingeniería, del laboratorio LIDEE y de instituciones nacionales como el CIN, con el aporte de una beca para finalización de maestría; hacen que lo propuesto tenga el suficiente respaldo para llevarlo adelante.

## Referencias

- [1] El sector energético: un factor de crecimiento económico a largo plazo. Junio 2015. [Disponible en]: <http://www.biblioteca.iapg.org.ar/ArchivosAdjuntos/Petrotecnia/2005-3/Energia.pdf> [Acceso 3 Jul. 2018].
- [2] PwC. (2018). Energías renovables en Argentina, una oportunidad para los inversores de todo el mundo. [en línea] Disponible en: <https://www.pwc.com.ar/es/prensa/energias-renovables-en-Argentina.html> [Acceso 3 Jul. 2018].
- [3] F. R. Posso Rivera, “Experiencias de la Cooperación Internacional en el Desarrollo de las Energías Renovables en América Latina”, *Aldea Mundo Revista sobre Fronteras e Integración*. Año 16, No. 32 / Julio - Diciembre 2011, ISSN 1316 – 6727.
- [4] V. H. Kurtz, F. Botterón, O. A. Audisio, A. R. Marchegiani, A. Dose, “Control por Tensión, con Elevado Desempeño Dinámico, de Generadores de Inducción para Pico y Micro Turbinas hidráulicas”, XIII Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos, 2009, Cajamarca - Perú. ELPAAH 2009, 2009.
- [5] C. Marinescu, L. Clotea, M. Cirstea, I. Serban, C. Ion, “Controlling variable load stand-alone hydrogenerators”, *Industrial Electronics Society*, 2005. IECON 2005. 32nd Annual Conference of IEEE, page 6, November 2005.
- [6] F. Botterón, G. A. Fernández, A. P. Quintana, J. L. Gerber, V. H. Kurtz, “Análisis Comparativo de Diferentes Estructuras de Compensación por Carga Balasto, Aplicadas a Generadores de Inducción Autoexcitados Para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, Salta; Año: 2011 vol. 15 p. 89 – 89, ISSN 0329-5184.
- [7] C. Bonifetti. “Microcentral hidroeléctrica en Patagonia”, *Hidrored, Red Latinoamericana de Microhidroenergía*, 1:5–12, 2002. ISSN 0935-0578.
- [8] V. Kurtz, O. Audisio, “Alternadores Sincrónicos en Pico Turbinas”, XII Encuentro Latinoamericano y del Caribe Sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos, Octubre de 2007 - Quito – Ecuador.