

# GENERACIÓN ASINCRÓNICA EN PROTOTIPO DE PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA A SER INSTALADA EN ZONA NATURAL PROTEGIDA

Víctor H. Kurtz<sup>1</sup>, Jorge A. Olsson<sup>2</sup>, Cristian Flores<sup>3</sup>, Leandro J. Corrado<sup>4</sup>, Marcelo A. Juárez<sup>5</sup>,  
German Moniec<sup>6</sup>, Oscar A. Vallejos<sup>7</sup>, Guillermo Rendon<sup>8</sup>, Fernando M. Nuñez<sup>9</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.

<sup>4</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>5</sup> Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM), Buenos Aires, Argentina

<sup>6</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>7</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>8</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>9</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

kurtzvh@gmail.com, jorgealbertoolsson@gmail.com, cristianflores@fio.unam.edu.ar,  
leandrojavier.corrado@gmail.com, mjuarez@unlam.edu.ar, germanmoniec@gmail.com, oscalfre86@gmail.com,  
rendonguillermor@gmail.com, manuelfernandonunez@gmail.com.

---

## Resumen

El siguiente trabajo presenta la metodología que se utilizó para la obtención de los parámetros del sistema de generación de energía eléctrica de una Pequeña Central Hidroeléctrica a ser instalada en la zona de influencia de la Reserva de Biósfera Yabotí, Puerto Paraíso, El Soberbio, Provincia de Misiones, Argentina.

La metodología utilizada consistió en ensayos que se llevaron a cabo en el laboratorio del departamento de Ingeniería Electrónica, de la Facultad de Ingeniería de Oberá, Universidad Nacional de Misiones. Para ello se utilizaron dos motores de inducción del tipo industrial estándar, uno de ellos como motor y el otro como generador, con el propósito de poder simular el sistema.

Mediante los ensayos y ecuaciones obtenidas de las revisiones bibliográficas, se determinó el banco de capacitores necesario para la excitación de la máquina generadora. Una vez analizado los datos de los ensayos y previo diseño, se procedió al armado del tablero principal.

Se concluyó que la posibilidad de ensayar la máquina generadora en situación similar a la del funcionamiento real aporta datos que permiten una óptima puesta en marcha del aprovechamiento y evitan de esta forma, complicaciones en el lugar de instalación de la microcentral ya que es de difícil acceso.

**Palabras Clave** – Energía Eléctrica, Energías Renovables, Generador Asíncrono, Pequeña Central Hidroeléctrica.

## 1. Introducción

En la Provincia de misiones durante los años 80 se llevaron a cabo numerosos emprendimientos de generación eléctrica mediante Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), en donde la Facultad de Ingeniería tuvo una importante participación. Durante los últimos años se ha incentivado desde distintos ámbitos, la puesta en marcha de proyectos de generación eléctrica mediante fuentes renovables. Es así que el presente trabajo se enmarca en un proyecto del Programa Consejo de la

Demanda de Actores Sociales (PROCODAS) que tiene como finalidad el diseño, construcción e instalación de un prototipo de PCH. En el proyecto participan la fundación Misiones Para Todos, el Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la UNLaM y la Facultad de Ingeniería de la UNaM.

El presente trabajo se realizó dentro del proyecto mencionado con el objetivo de predecir, dimensionar y diseñar el sistema de control y comando eléctrico de las máquinas que componen el sistema de generación, a partir de las características registradas en los ensayos.

En el capítulo siguiente se desarrollan los pasos planificados que se llevaron a cabo para el diseño y armado del sistema de excitación del generador. El cual tiene como objetivo principal que el generador proporcione una salida de tensión monofásica para la alimentación de las cargas eléctricas que demanda la carpintería de la zona. El sistema eléctrico está compuesto por dispositivos de protección, los cuales actuarán en caso de existir un cortocircuito o sobrecarga producidas por descargas atmosféricas, además de un interruptor semi-automático, el cual tiene como fin acoplar el generador a la línea de alimentación una vez llegada a la tensión de trabajo.

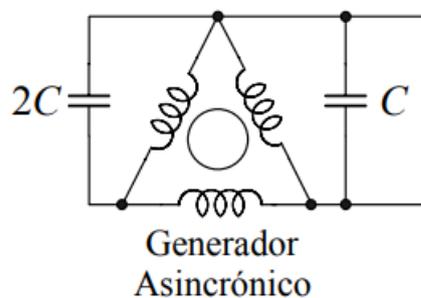
## 2. Resultados y Discusión

El proyecto Yabotí surge de la necesidad de resolver el problema de la distribución de la energía eléctrica, para esto se propuso el armado de un prototipo de generación de energía a partir del aprovechamiento de la energía hidráulica. Debido al tamaño de la turbina diseñada, el cual limita la capacidad de generación, se tiene que el sistema de generación asíncrona es el más eficiente desde el punto de vista técnico-económico [1].

Inicialmente se procedió al cálculo y conexión del sistema de generación eléctrica y luego al ensayo del generador, con el fin de obtener los parámetros de funcionamiento del sistema.

### *Cálculo y conexión del sistema de excitación y generación:*

Para que el generador entregue una tensión monofásica al sistema el mismo estará conectado a un banco de capacitores según la configuración en triángulo C-2C [2] que se muestra en la figura 1.



**Fig.1. Conexión del banco de capacitores al generador.**

Para el cálculo del banco de capacitores del sistema de excitación del generador nos valemos de los datos de placa y ensayo proporcionados por el fabricante, siendo los mismos:

- Corriente nominal:  $I_n = 15,7$  A
- Tensión nominal:  $U = 220$  V.
- Corriente de vacío:  $I_0 = 8,73$  A.
- Potencia nominal:  $5,5$  Hp =  $4,1$  KW.

### **Potencia nominal que entregaría el generador:**

Un motor a inducción conectado como generador, proporciona menor potencia, que la que consume como motor [3].

Existen varias técnicas para determinar la potencia máxima, que puede generar un motor conectado como generador. En este caso se opta por el método de la diferencia de corriente [4], esto es; la diferencia de corriente que toma el generador como motor en vacío, respecto a la que toma a plena carga por fase. Inicialmente calculamos la potencia por fase que consumiría como motor:

$$I_{GEN} = I_N - I_0 = 15,7A - 8,73 A = \mathbf{6,97A} \quad (1)$$

Donde:

- $I_{GEN}$  = Máxima corriente que puede generar.
- $I_N$  = Corriente nominal consumida como motor, (valor tomado de la placa de características del motor)
- $I_0$  = Corriente en vacío, que toma la maquina a inducción, conectado como motor (magnitud medida).

La potencia útil que entregaría como generador será:

$$P_{GEN} = 3U_f \cdot I_{GENf} \cdot \cos \varphi = 220V \cdot 6,97A \cdot 0.80 = \mathbf{1,23 KW} \quad (2)$$

### **Banco de capacitores:**

Para la determinación del valor del capacitor conectado al motor como generador, se puede determinar recurriendo al siguiente razonamiento [4].

Conociendo la intensidad de la corriente que toma el generador conectado como motor, sin carga  $I_0$ . Se elige un capacitor que consuma igual o menor corriente por fase. Para el cálculo de la capacidad tomamos los datos de placa mencionados anteriormente llegando a lo siguiente:

$$C = \frac{I_0}{U \cdot 2\pi \cdot f} = \frac{8,73}{220 \cdot 2\pi \cdot 50} = \mathbf{126,3 \mu F} \quad (3)$$

### **Armado del tablero del sistema de excitación y protección del generador:**

Realizados los cálculos se procedió al armado del tablero, para esta etapa se adquirieron siguientes dispositivos:

- Gabinete de PVC de 200x300x175
- Gabinete de PVC 150x200x100
- Llave termomagnética de 25 A.
- Llave diferencial de 40 A/30 mA.
- Contactor de 5,5 kW.
- 12 capacitores permanentes de 20 uF.
- Detector de tensión generada más interruptor de by pass.
- Detector de sobre-tensión.
- Luz de led indicadora de tensión generada.
- Voltímetro de 400 V.
- Amperímetro de 10 A.
- Cables según los colores correspondientes.

En el gabinete de mayor tamaño se ubicaron los elementos de medición como ser el amperímetro y voltímetro, los elementos de protección (llave termomagnética, diferencial y el detector de sobre-tensión) y los elementos de mando y control semi-automático (Detector de Tensión Generada “DTG”

y contactor). En el gabinete más pequeño se ubicó el banco de capacitores con el fin, de que en caso de una falla, la misma se dará fuera de los demás dispositivos.

***Objetivos de los dispositivos de protección:***

El objetivo de la llave termomagnética será de proteger al sistema en caso de que exista una sobrecarga y cortocircuito del lado de la carga (aguas abajo). En cambio, la llave diferencial será el dispositivo de mando que estará acoplado al detector de sobretensión el cual se activará en caso de exista una descarga atmosférica.

Se debe tener en cuenta que los dispositivos de protección desacoplarán el banco de capacitores el cual logrará que la maquina se desexcite siendo que ésta seguirá girando debido al agua que circula dentro de la turbina.

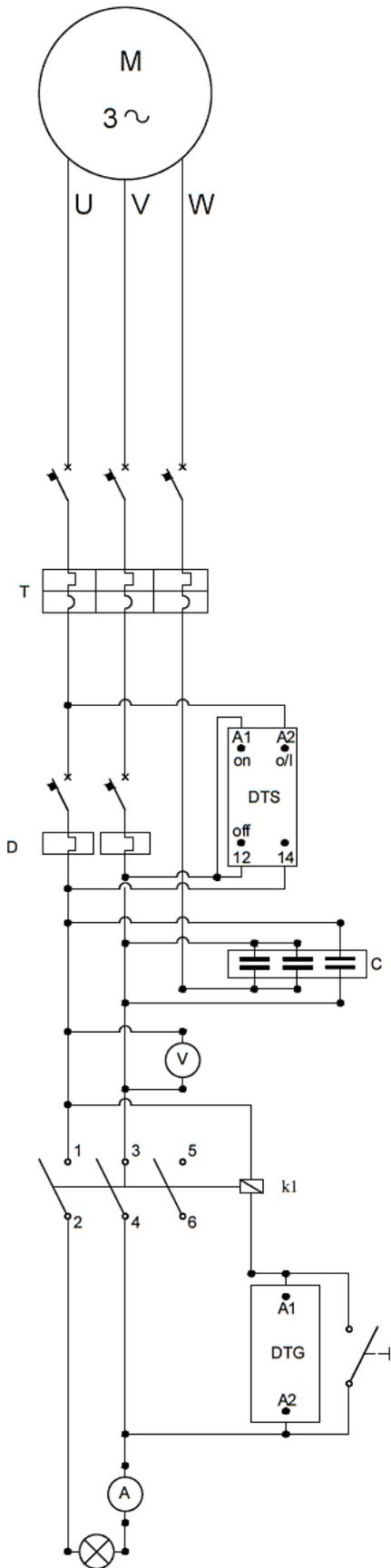
***Objetivos de los dispositivos de mando y control:***

El DTG censará la tensión de salida y una vez que esta llegue a 190 V enviará una señal al contactor y este acoplará el sistema monofásico a la red de carga. En caso de que la tensión generada baje del nivel mencionado desacoplará la carga. Ténganse en cuenta que esta última situación se puede dar en el caso de acoplar más carga de la estipulada para su operación.

***Objetivos de los elementos de medición:***

El voltímetro y el amperímetro serán los elementos que tendrá el operador de la micro turbina para controlar el nivel de carga, también le será de gran ayuda en caso de que el DTG falle, es decir con el interruptor de by pass podrá activar el contactor de manera directa, y este último alimentará las cargas requeridas.

Para la conexión del sistema de excitación y obtención de la alimentación monofásica en 220 V se diseñó el circuito de la Fig. 3:



**Referencia:**  
 M- Motor asincrónico trifasico.  
 T- Llave termomagnética.  
 D- Llave diferencial.  
 DTS- Detector de sobretensión.  
 DTG- Detector de tensión generada.  
 C- Banco de capacitores.  
 K1- Bobina del contacto.  
 A- Amperímetro  
 V- Voltímetro

**Fig. 2. Circuito de conexionado del sistema de excitación.**

A continuación, se muestran imágenes de los trabajos de armado del tablero:



Fig. 3a-3b: Armado y montaje del banco de capacitores



Fig. 4a y 4b. Montaje del sistema de comando (contactor)



Fig. 5a y 5b. Montaje de los sistemas de protección.



Fig. 6. Presentación del tablero armado.

Finalizado el conexionado se realizaron las pruebas del sistema verificando el funcionamiento del DTG, los instrumentos de medición y los sistemas de protección.

#### ***Ensayo del generador:***

Para el ensayo del generador se utilizó el banco de ensayo del laboratorio de electrónica, el cual consta de un motor impulsor, que simula la turbina, un banco de capacitores y un regulador de frecuencia (velocidad del motor). Para iniciar el ensayo se realizaron trabajos de alienación del motor impulsor con respecto al generador, luego se verificó la capacidad del banco de capacitores para su posterior conexión.



Fig.7a y 7b. Trabajos de alienación del generador.

Una vez verificada la capacidad del banco se realizó la conexión en el generador y la carga. Esta última consta de un tablero con cargas puramente resistivas, las cuales se lograron por medio de focos incandescentes. Acoplada la carga luego se procedió al conexionado del regulador de frecuencia el cual tiene como objetivo simular la variación del caudal de agua que ingresa a la turbina por medio

de la variación de la velocidad del motor impulsor. Para las mediciones se utilizaron, un multímetro marca UNI-T, un tacómetro marca CEM y un analizador de redes marca FLUKE.

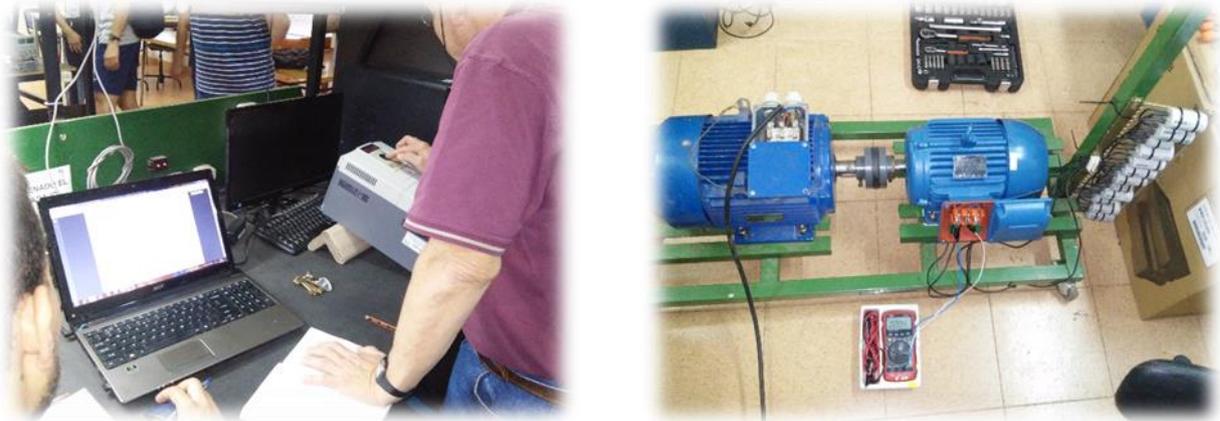


Fig. 8a y 8b. Medición y regulación del voltaje generado.

Los ensayos se iniciaron con el generador y en primer instancia sin carga, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Medición de Tensión, Corriente y frecuencia con analizador de redes. Valores en vacío.

Parámetros	$V_{RMS}$ (Voltaje eficaz)	$V_{PK}$ (Voltaje pico)	Frecuencia	$I_{RMS}$ (Corriente eficaz)	$I_{PK}$ (Corriente pico)
Valores	261,2 V	368,5 V	53,7 Hz	0,2 A	0,3 A

Como se observa en la tabla 1, para lograr una tensión de 262 V la frecuencia es de 53,7 Hz, esta sobretensión se compensará a medida que se va acoplado la carga.

Luego se ensayó el sistema colocando la carga de manera gradual hasta la máxima potencia que el sistema de generación puede entregar, según la capacidad del banco de capacitores utilizado.

Los resultados se muestran en la tabla 2 y 3:

Tabla 2. Medición de Tensión, Corriente y frecuencia con analizador de redes. Valores en máximos dados según el tamaño del banco de ensayo.

Parámetros	$V_{RMS}$ (Voltaje eficaz)	$V_{PK}$ (Voltaje pico)	Frecuencia	$I_{RMS}$ (Corriente eficaz)	$I_{PK}$ (Corriente pico)
Valores	209,3 V	297,4 V	53,4 Hz	7,8 A	11,2 A

Tabla 3. Medición de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia. Valores en máximos dados según el tamaño del banco de ensayo.

Parámetros	$V_{RMS}$ (Voltaje eficaz)	$I_{RMS}$ (Corriente eficaz)	Potencia Activa	Potencia Reactiva	Potencia Aparente	Factor de potencia
Valores	210,7 V	7,8 A	1,64 KW	0,05 KVAR	1,64 KVA	1,00

### 3. Conclusiones y recomendaciones

En el acople de cargas, aparte de utilizar iluminación incandescente, se utilizaron otros tipos de cargas como ser: cargadores de baterías y motores de baja potencia. Con esto se comprobó que se podrán alimentar herramientas eléctricas como ser: perforadoras de mano, perforadoras de banco (de baja potencia) y amoladoras. Todas estas cargas utilizan motores universales por lo que no consumen excesiva potencia en su arranque, en cambio para motores de mayor potencia (compresores, sierras de banco, sinfín, etc.) el generador no resistirá ya que sus corrientes de arranques son elevadas lo cual causara una caída de tensión brusca y desexcitará el mismo. Para esto deberá instalarse un sistema de control para compensar estas cargas lo cual elevará el costo y la complejidad del sistema, debe tenerse en cuenta que las cargas de mayor potencia podrán ser utilizadas de manera individual o en conjunto mientras tanto no supere la capacidad máxima del generador y exista energía de entrada (desde la turbina) que compense la misma.

#### **Trabajos futuros:**

Se pretende acoplar al generador un sistema de estabilización de tensión por medio de una carga balasto [4] y un sistema de estabilización de frecuencia por medio del control de flujo de agua de la turbina.

También surge la necesidad de medir el comportamiento eléctrico del generador asíncrono ante cargas que generan un elevado índice de armónicos, esto es, cargas electrónicas como ser: lámparas fluorescentes compactas, lámparas leds, cargadores de baterías, etc.

Además, se pretende medir la eficiencia mecánica de la turbina con el fin de ajustar la potencia eléctrica real que se obtendrá en el generador. Este ensayo se realizará acoplando un motor de arrastre a la turbina, donde se medirán sus parámetros eléctricos para determinar el consumo y así la eficiencia del sistema mecánico de la micro-turbina.

### Referencias

- [1] Cortela N; Varela P; Antonelli J; Ramoska A. (2006). “Desarrollo de pico turbinas hidráulicas de reducido costo para la generación eléctrica aislada”. ASADES. ISSN 0329-5184. 2006.
- [2] Kurtz V.; Boteron F., “Alternativa para el Control de Cargas Balasto”, Anales del XI encuentro latinoamericano en pequeños aprovechamientos hidroenergéticos, XI ELPAH, <http://www.mec.utfsm.cl/elpahchile/es/index.php>. Noviembre 2005.
- [3] Bikivich J., “Tecnología del Generador de Energía Asíncrono, Un Aporte para la Promoción Energética en el País”. Preg. Misionero. 1986.
- [4] Kurtz V; Marchegiani, A; Audisio O; Boteron F. “Metodología y Ensayo de una Picoturbina Pelton Compacta”. Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Dpto. de Electrónica Juan Manuel de Rosas 325.