

## Sistema de Generación Energía Sumergible Basado en un Vórtice Gravitacional con Sifón para Comunidades Aisladas

M. Ayala<sup>1</sup> H. Benavides<sup>2</sup> C. Riba<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Loja

E-mail: mayalapel@ yahoo.es

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja

E-mail: hmbenavides@utpl.edu.ec

<sup>3</sup>Universidad Politécnica de Cataluña

E-mail: carles.riba@upc.edu

### Resumen

En este trabajo se presenta un sistema de generación de energía eléctrica basado en un vórtice gravitacional con sifón para comunidades aisladas, manufacturado en la provincia de Loja-Ecuador. El sistema es sumergible funciona como una central de paso y por su diseño se lo puede instalar directamente en canales de riego, ríos, etc. sin obras civiles importantes. La unidad de generación denominada UTG (*Underwater Turbine Generator*) está conformada por una turbina Kaplan, un generador sumergible síncrono multi-polo con imanes permanentes, un rectificador, un inversor, un vórtice gravitacional y un sifón de evacuación para ganar energía potencial. Además incluye un control integrado que permite realizar mediciones de los parámetros eléctricos del sistema. De acuerdo con los resultados de la medición de campo, el prototipo UTG basado en un vórtice gravitacional puede ofrecer de forma estable la energía eléctrica a las cargas conectadas, con un factor de planta del 60%.

**Palabras clave**— Uso no consuntivo, agua a superficie libre, agua de riego, turbinas sumergibles, generador síncrono, inversor CC a CA, vórtice artificial.

### Abstract

This paper presents a system of power generation based on a gravitational vortex with siphon for isolated communities, manufactured in the province of Loja - Ecuador. The system is submersible operates such a step hydroelectric power plant and by design it can be installed directly into irrigation canals, rivers, etc. without major civil works. The designed Under Water Generator UTG unit consists of a prototype underwater Kaplan turbine, a three-phase multi-pole synchronous generator with permanent magnet excited, a three-phase diode bridge rectifier, a DC-to-AC inverter, and artificial vortex. A monitoring and control system of the UTG unit is also integrated to measure the electrical data of the UTG system. According to the measurement results, the designed prototype underwater-turbine-generator-based on gravity vortex system can stably offer adequate electric power to the connected loads, with a factor power plant of 60%

**Index terms**— irrigation water, underwater turbine, synchronous generator, DC-to-AC inverter, artificial vortex.

Recibido: 03-10-2015, Aprobado tras revisión: 24-12-2015.

Forma sugerida de citación: Ayala, M.; Benavides, H. y Riba, C. (2016). "Sistema de Generación Energía Sumergible Basado en un Vórtice Gravitacional con Sifón para Comunidades Aisladas". Revista Técnica "energía". N° 12, Pp. 304-312.

ISSN 1390-5074.

## 1. INTRODUCCIÓN

El creciente uso de energía procedente de fuentes renovables descentralizadas como la solar, hidráulica (pequeñas hidroeléctricas), eólica, geotérmica o calor provoca una importante reingeniería de la infraestructura energética, por lo que se ha desarrollado el concepto de *energy hub* para integrar de manera eficiente las energías renovables en barrios o comunidades evaluando y midiendo los sistemas eléctricos urbanos en función de su energía-autonomía, rendimiento económico y ecológico [1].

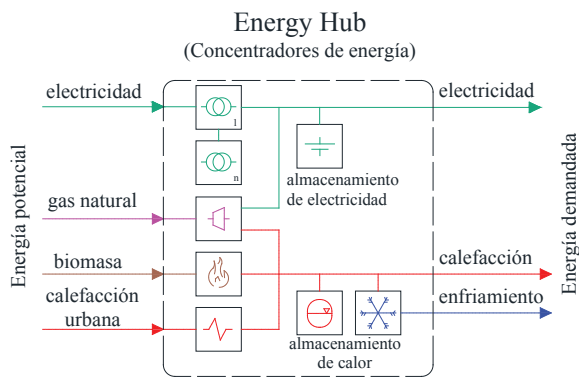


Figura 1: Concepto de Energy hub para integrar las tecnologías de energía descentralizada a escala de barrio

Las pequeñas centrales hidroeléctricas con vórtice constituyen una fuente económica de generación de energía eléctrica, incluso después del aumento reciente del costo de equipos. Las ventajas económicas de estas han mejorado en los últimos años por la subida de los costos de generación de energía a partir de combustibles fósiles y por la cercanía de su agotamiento [2]. Según la teoría de M. King Hubbert el *peak oil* es el momento en el que se alcanza la tasa máxima de extracción de petróleo, después de lo cual se espera que la tasa de producción entre en un declive terminal [3], en este contexto es necesaria la transición energética hacia las renovables para evitar un colapso energético [4].

Si bien a lo largo de la historia se reconoce la importancia del desarrollo de grandes hidroeléctricas para el suministro económico y confiable de la energía, la proporción de plantas hidroeléctricas en capacidad total de generación instalada aún es muy baja [5]. Una de las principales razones de esta situación es la muy alta inversión de capital y el desequilibrio ecológico que una gran planta de generación de energía hidroeléctrica tendrá como

resultado. En este escenario los sistemas eléctricos del futuro tienen que ser capaces de gestionar las pequeñas fuentes de energía local, almacenarlas, convertirlas de un soporte a otro (por ejemplo electricidad-calor, electricidad-hidrógeno, etc.) y suministrar de electricidad a la comunidad, con el objetivo de bajar los picos de demanda eléctrica y reducir el consumo global [6], [7].

Los requisitos para la implementación de un sistema de generación de energía UTG son menores que los esquemas convencionales puesto que no se necesitan obras civiles importantes, la electricidad producida por este método se puede considerar renovable, y con impactos ambientales leves.

Una central hidroeléctrica convencional almacena agua en una presa en forma de energía potencial [8]. En un sistema de generación UTG el vórtice es una forma de almacenamiento de energía cinética, el cual es empleado para estabilizar el giro del eje de la turbina, reduciendo los esfuerzos mecánicos y eléctricos de turbogenerador. Cuando el agua fluye sobre la turbina esta hace girar el eje de forma que se transforma en energía mecánica y acciona al generador eléctrico [9].

La generación de energía con el sistema UTG es posible en lugares con baja carga hidráulica y alto caudal, facilitando la construcción de muchas de estas plantas a lo largo de la trayectoria del flujo de un río, con un costo mínimo y en un tiempo mínimo. En la Fig. 2 se representa una planta de generación de energía UTG.

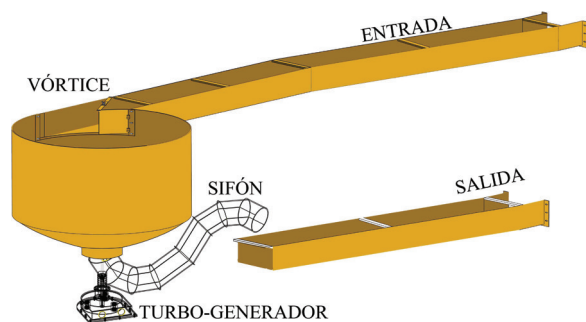


Figura 2: Esquema básico de una planta de generación UTG

El funcionamiento del sistema UTG es sencillo consiste en suministrar agua al vórtice para generar electricidad con un turbo generador y una vez turbinada se la evacua aguas abajo por medio del sifón.

El sifón de evacuación implementado cumple con dos finalidades: la primera es ganar altura para garantizar la carga estática mínima para que el sistema entre en operación y la segunda es para evacuar el agua a la salida de la turbina.

El turbo generador es sumergible, por lo que se lo puede instalar directamente en el río, canal de riego, etc. con obras civiles mínimas, por lo tanto, no es necesario maquinaria pesada para su instalación, de esta manera se consigue disminuir el impacto ambiental al sistema tema hídrico natural. En la Fig. 3 se puede observar el diseño conceptual de un sistema de generación UTG.

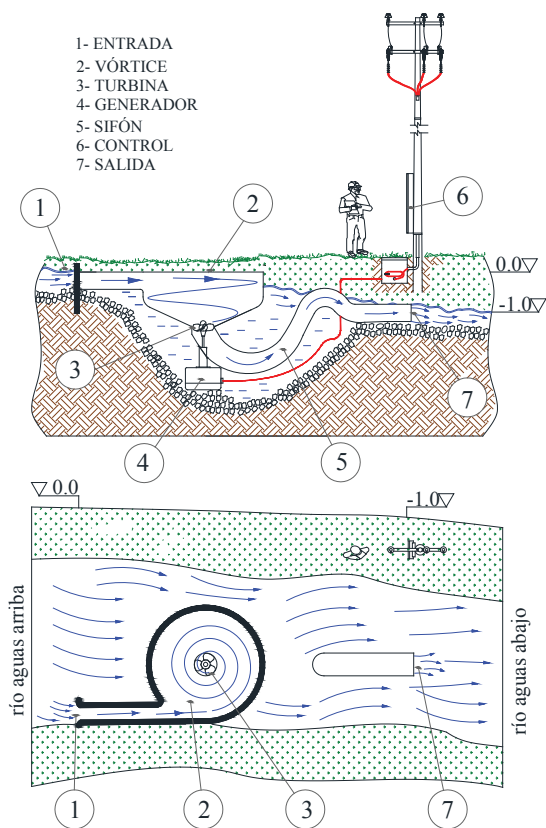


Figura 3: Diseño conceptual del sistema de turbo generación

Este documento presenta una alternativa de generación eléctrica descentralizada denominada UTG, se muestran los resultados del diseño, instalación y puesta en funcionamiento del sistema.

El presente artículo está organizado de la siguiente forma: La sección 2 describe el diseño, construcción e instalación del sistema UTG. La sección 3 muestra los resultados de las mediciones en condiciones de funcionamiento en estado

estacionario y en la sección 4 se extraen algunas conclusiones importantes de este trabajo.

## 2. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE TURBO GENERACIÓN SUMERGIBLE BASADO EN UN VÓRTICE GRAVITACIONAL

### 2.1. Descripción del canal artificial para generar el vórtice

En el laboratorio de hidráulica de la Universidad Técnica Particular de Loja se implementó un circuito hidráulico cerrado con un canal para generar el vórtice gravitacional, cuenta con un sistema de bombeo y un reservorio para la recirculación del agua y además posee un mecanismo para variar la pendiente del canal.

Los parámetros de diseño seleccionados para el funcionamiento del sistema son: caudal medio  $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$ , caudal máximo  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ , ancho  $0,20 \text{ m}$ , profundidad  $0,30 \text{ m}$ , diámetro del vórtice  $0,90 \text{ m}$  y profundidad del vórtice  $0,90 \text{ m}$ . [10], [11].

En la Fig. 4 muestra las dimensiones del canal y el vórtice artificial.

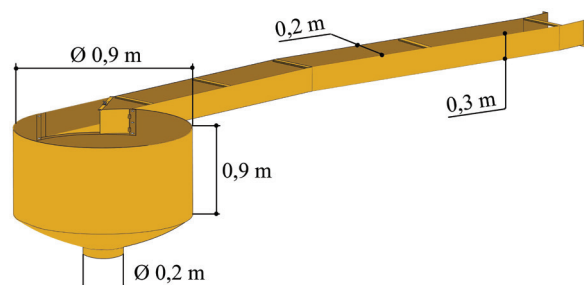


Figura 4: Vórtice gravitacional artificial

El suministro de agua al circuito hidráulico se lo realizó con una bomba centrífuga de alto caudal y baja altura que es capaz de hacer circular  $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El experimento se lo realizó con un caudal de entrada de  $0,05$  metros cúbicos por segundo y una columna de agua de  $1,0$  metro desde la entrada del vórtice hasta el turbo generador.

En la Fig. 5 se puede observar el circuito hidráulico en funcionamiento.



Figura 5: Vórtice artificial en funcionamiento

## 2.2. Especificaciones de Diseño del Turbogenerador

Las especificaciones del turbo generador se establecieron cumpliendo las características y los requerimientos de la norma ANSI C50.1 O-1 990 *for Rotating Electrical Machinery - Synchronous Machines* y para el diseño de la turbina Kaplan, se aplicó directamente la teoría de turbinas de hélice y Bulbo.

En este proyecto se mantuvieron varias sesiones de *Brainstorming* con el equipo de trabajo, para encontrar soluciones del mecanismo de montaje del turbogenerador. A través de este proceso fue posible encontrar una solución con baja complejidad y de fácil montaje, en la Fig. 6 muestra el resultado del *Brainstorming*, en donde se puede observar dos propuestas de montaje del turbo generador en el sifón de evacuación.

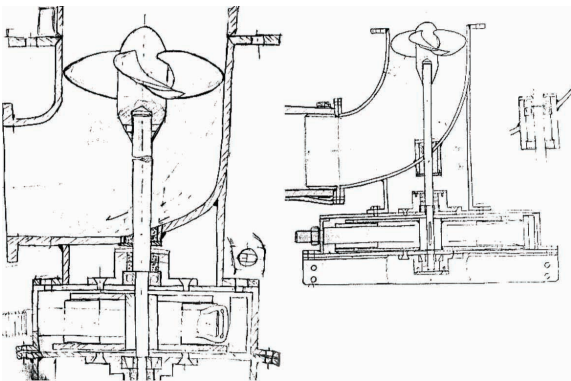


Figura 6: Brainstorming del Sistema de turbo generación

Se implementó un sifón a la salida de la turbina para evacuar el agua porque es un dispositivo simple y eficaz para la transferencia de líquido de un nivel mayor a un inferior.

Se diseñó la geometría del sifón para que trabaje bajo condiciones de vacío, por lo tanto, el líquido fluirá a través del sifón si la fuerza gravitacional que actúa sobre el líquido en la salida del sifón es mayor que la fuerza gravitacional que actúa sobre el líquido en la succión.

## 2.3. Simulación del sistema de turbo generación

En el proceso de diseño se realizó varias simulaciones del sistema y un análisis de complejidad del turbogenerador con la finalidad de reducir la complejidad en la manufactura y montaje [12]. Se disminuyó el número de piezas, peso y el número de piezas diferentes para optimizar el costo y las maniobras de montaje. Adicionalmente se efectuó un análisis de interferencias y de resistencia a la fatiga de la turbina.

En la Fig. 7 se puede observar el módulo de turbo generación con sifón de evacuación en 3D, este módulo se lo instala directamente a la salida del vórtice gravitacional.

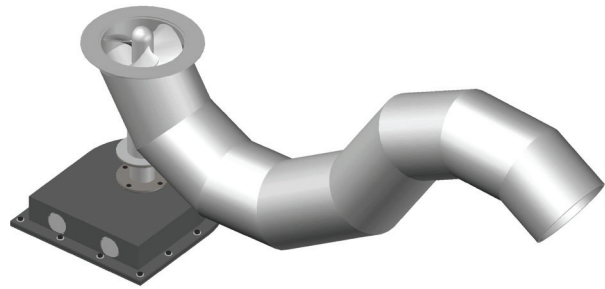


Figura 7: Simulación de Turbo-generador con sifón

Finalmente el módulo de turbo generación consta de 5 piezas y se puede montar directamente a la salida del vórtice con 4 pernos y con solamente una herramienta, con lo cual se consiguió un fácil montaje.

## 2.4. Diseño de materialización del sistema de turbo generación

En el diseño de materialización se construyó un prototipo no funcional, los materiales no eran los definitivos, pero los moldes sirvieron de guía para realizar los cortes del material y comprobar las dimensiones, Fig. 8.





Figura 8: Moldes para construcción del sifón

## 2.5. Construcción del sistema de turbo generación

El prototipo de turbo generador fue fabricado en la provincia de Loja, República del Ecuador, produce más de 200W de potencia mecánica sin generador, lo cual es mucho más que la potencia máxima obtenida por otros sistemas de generación convencionales, Fig. 9.



Figura 9: Turbo generador con sifón

Los componentes del turbo generador tienen un grado IP64, por tanto, se pueden sumergir y no es necesario construir una casa de máquinas, esta sólo se construiría para fines didácticos.

## 2.6. Generador y convertidor de potencia

Para el sistema UTG se seleccionó un generador síncrono, porque es un generador de accionamiento directo de baja velocidad y alto número de polos, y además la turbina y el generador rotan a la misma velocidad mecánica a través del mismo eje, por lo tanto cumple con los requerimientos del diseño.

El generador es síncrono y tiene las siguientes características: 3 fases, 150W de potencia, tensión

nominal de línea de 120 V, frecuencia nominal 60 Hz, 6 polos, revoluciones por minuto de 100 - 400 rpm.

En este caso para hacer la excitación del generador completamente independiente de cualquier fuente de alimentación externa se usó un excitador piloto.

El excitador piloto es un pequeño generador de corriente alterna con imanes permanentes montados en el eje del rotor y 3 devanados de fase en el estator. Este produce la energía para el circuito de campo del excitador, que a su vez controla el circuito de campo de la máquina principal, Fig.10. Si un excitador piloto se incluye en el eje del generador, entonces no se requiere energía eléctrica externa.

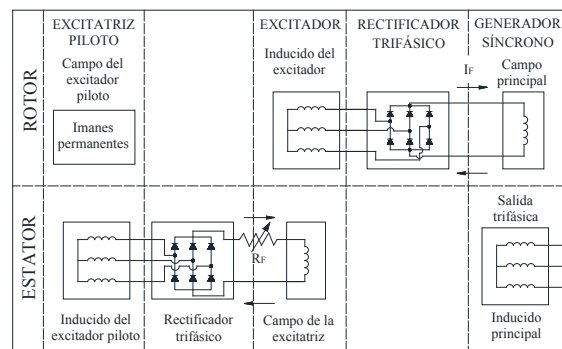


Figura 10: Esquema de excitación sin escobillas con piloto excitador del generador síncrono

La estructura general del convertidor de corriente alterna a corriente alterna del sistema, comienza con el rectificador AC/DC del lado del rotor que transforma la energía generada en corriente continua como paso previo al inversor DC/AC del lado de la red que realiza una conversión a corriente alterna, con la posibilidad de poder controlar tanto la frecuencia como el valor eficaz de la tensión o intensidad de salida, Fig. 11.

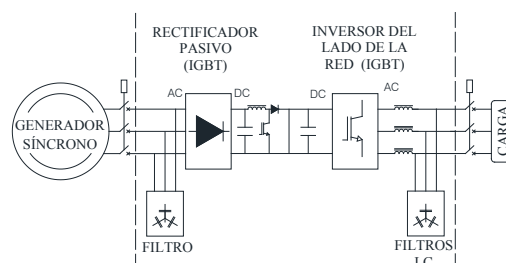


Figura 11: Diagrama de los elementos del convertidor

Si el sistema UTG está aislado de la red es necesario implementar un controlador sencillo con un rectificador que convierte la energía eléctrica

generada de corriente alterna a corriente continua, y esta alimentará a los dispositivos electrónicos prácticamente de forma directa.

Si el sistema UTG está interconectado a la red eléctrica es necesario adicionar al controlador un inversor que hace que la electricidad generada sea compatible con la de la red.

El modelo matemático para el generador eléctrico se basa en la teoría de máquinas general y se lo realiza con las siguientes ecuaciones representadas en el marco de referencia d-q [13]:

$$V_d = R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega_e L_q i_q \quad (1)$$

$$V_q = R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} - \omega_e L_d i_d + \omega_e \varphi_m \quad (2)$$

Donde  $V_d$  y  $V_q$  son d y q componentes de voltaje del estator (V),  $i_d$  y  $i_q$  son d y q componentes de corriente del estator (A),  $R_s$  resistencia del estator (ohms),  $L_d$  y  $L_q$  son las inductancias de la máquina (H),  $\omega_e$  es la velocidad eléctrica (rad/s) y  $\varphi_m$  es el flujo magnético ( $w_b$ ). El torque eléctrico se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$T_e = \frac{3}{2} p [\varphi_m i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (3)$$

Donde p es el número de pares de polos. La dinámica del rotor de la máquina está dada por:

$$T_m - T_e = B \omega_r + J \frac{d\omega_r}{dt} \quad (4)$$

Donde B es la fricción del rotor ( $kgm^2/s$ ), J es la inercia del rotor ( $kgm^2$ ),  $\omega_r$  es la velocidad del rotor (rad/s) y  $T_m$  es el torque mecánico producido por el agua (Nm). La dinámica de la máquina se pueden simplificar al asumir ( $L_d = L_q = 0$ ) y la corriente de referencia d es cero ( $i_d^* = 0$ ) y de ahí que el término del producto ( $(L_d - L_q) i_d i_q$ ) es despreciable. Más información sobre el modelo del generador se presenta en [14-16].

## 2.7. Sistema de Control y Supervisión

El controlador fue diseñado para ajustar la velocidad de la turbina y extraer la potencia máxima de la fuente de agua. Por lo general, un controlador

PI está diseñado para este propósito de acuerdo a los parámetros estimados ya sea fuera de línea o en línea y la perturbación del torque observada es para aumentar la robustez del sistema [17, 18]. Este tipo de controlador clásico es suficiente para servir al propósito de manera eficiente. La estructura general del control está mostrada en la Fig. 12.

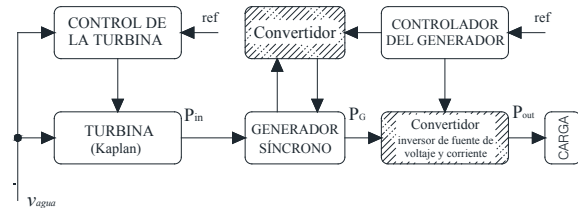


Figura 12: Estructura general del control

## 3. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DEL SISTEMA UTG

### 3.1 Medición del torque para el cálculo de la potencia de la turbina sin generador

El primer experimento fue realizado con una entrada de caudal de 0,05 metros cúbicos por segundo y las mediciones se realizaron con sensores de par de reacción piezoeléctricos, así se obtuvo la siguiente curva de potencia mecánica, Fig. 13.

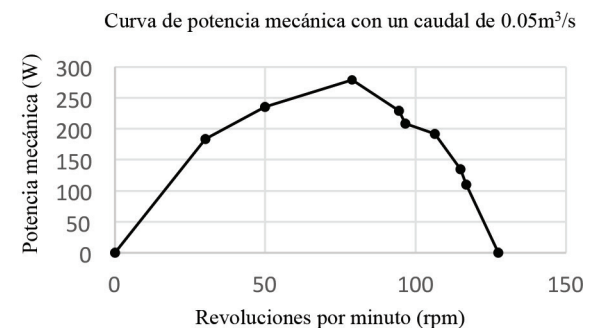


Figura 13: Curva de potencia mecánica con un caudal de 0.05m<sup>3</sup>/s.

Con los resultados de esta primera medición se realizó el dimensionamiento del generador síncrono.

En la Fig. 14 se muestra el sistema de turbo generación en funcionamiento, el prototipo UTG es sumergible y está instalado a la salida del vórtice del canal de riego artificial.



Figura 14: Pruebas del turbo generador.

En la Tabla 1 podemos ver las variables a ser medidas en el experimento y las variables a ser calculadas.

Tabla 1: Variables medidas

Variable	Símbolo	Unidad	Rango de variación
Variables medidas			
Voltaje eficaz	$V_g$	V	0 a 200
Corriente eficaz	$I_g$	I	0 a 5
Número de revoluciones	n	rpm	0 a 200
Variables calculadas			
Potencia activa	$P_g$	W	0 a 150
Potencia aparente	$S_g$	VA	0 a 150
Potencia reactiva	$Q_g$	Var	0 a 150
Potencia mecánica	$P_m$	W	0 a 300

En la Tabla 2 se enumera los resultados del generador sin carga para diferentes revoluciones por minuto.

Tabla 2: Resultados de las mediciones en condiciones de vacío

n(rpm)	Vg (V)	Ig (I)	Pg (W)	Sg (VA)	Qg (Var)
70,30	108,1	0,38	41,1	66,0	51,1
76,40	114,3	0,40	45,7	73,6	57,6
85,20	124,5	0,42	52,3	84,1	65,9
89,50	131,1	0,43	56,4	90,7	71,0
91,00	133,5	0,44	58,7	94,5	74,0
94,10	134,0	0,45	60,3	97,0	76,0
96,50	136,5	0,46	62,8	101,0	79,1
100,30	138,8	0,47	65,2	104,9	82,2
101,20	145,5	0,48	69,8	112,4	88,0
102,70	147,2	0,49	72,1	116,0	90,9

En la Tabla 2 cuando la velocidad se incrementa desde 70,3 rpm a 102,7 rpm, la salida de voltaje del generador ( $V_g$ ) se incrementa desde 108,1 V a 147,2 V y la corriente tiene una media aproximadamente de 0,44 A.

Tabla 3: Resultados de las mediciones condiciones de carga

Cargas en serie	n (rpm)	$V_g$	$I_g$	$P_g$ (W)	$S_g$ (VA)	$Q_g$ (Var)
1	99	106	0,36	38,1	61,4	48,1
2	99	126	0,001	0,13	0,2	0,2
Cargas paralelo	n (rpm)	$V_g$	$I_g$	$P_g$ (W)	$S_g$ (VA)	$Q_g$ (Var)
2	99	100	0,44	40,0	64,3	50,4
3	99	100	0,43	43,0	69,2	54,2
4	99	100	0,48	48,0	77,2	60,5

En la Tabla 3 se puede observar que cuando las cargas se incrementan en serie de 1 a 2, la salida de voltaje del generador ( $V_g$ ) se incrementa de 106 V a 126 V pero la corriente del sistema decrece desde 0,36 A a 0,001 A. Cuando las resistencias de carga se conectan en paralelo la intensidad permanece constante a 0,4 A y el voltaje es de 100 V.

#### 4. CONCLUSIÓN

En este trabajo se presentó el diseño e implementación experimental de una instalación UTG construida en la ciudad de Loja - Ecuador, el cual puede ser una interesante opción para diversificar la matriz energética en el Ecuador e impulsar la autonomía energética de las poblaciones.

De los resultados obtenidos en la medición de los parámetros de funcionamiento en condiciones de carga, se pudo concluir que el sistema de turbo generación sumergible de 150W, tiene la capacidad de suministrar energía a las cargas conectadas con un factor de planta del 60%.

El esquema de generación UTG ofrece una solución favorable con el medio ambiente, soluciona el problema de la escasez energética en sitios aislados con potencial hidráulico y es una solución sostenible económicamente.

La utilización de la tendencia natural de la formación de un torbellino para actuar como un sistema de almacenamiento de energía dinámica facilita la extracción de la energía más eficientemente.

El diseño del prototipo es comercial porque su arquitectura es modular, y de fácil mantenimiento. Además puede ser implementado como un centro de investigación de sistemas de generación de energía.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado con el apoyo de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Universidad Nacional de Loja (UNL), el Centro de Diseño de Equipos Industriales de La Universidad Politécnica de Cataluña (CDEI) y La Secretaría de Educación Superior, Ciencia y Tecnología e Innovación (SENESCYT).

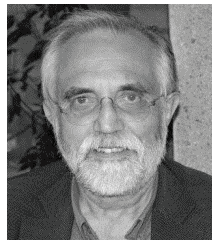
#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Geidl and G. Andersson; Optimal Power Flow of Multiple Energy Carriers, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, No. 1, February 2007, pp 145 – 155.
- [2] C. Riba, Recursos energètics i crisi, la fi de 200 anys irrepetibles, Ed. UPC Barcelona, 2011, pp. 64-67.
- [3] S. Sorrell and others, Global Oil Depletion, UK Energy Research Centre, ISBN 1-903144-0-35, 2009, pp. 24-25.
- [4] R. Sans, E. Pulla, El Colapso es evitable, La transición Energética del Siglo XXI, Ed Octaedro, ISBN 978-84-9921-445-0, 2013, pp. 131-193.
- [5] H. Rudnick and L. A. Barroso, “Water, water everywhere [guest editorial].” Power and Energy Magazine, IEEE 6.4, 2008, pp. 14-20.
- [6] S. Baral, S Budhathoki and H. P. Neopane, “Grid connection of Micro Hydropower, Mini Grid initiatives and rural electrification policy in Nepal.” IEEE 3rd International Conference on Sustainable Energy Technologies September, 2012.
- [7] A. Zahedi, “Energy, People, Environment”. Development of an integrated renewable energy and energy storage system, an uninterruptible power supply for people and for better environment”. “Systems, Man, and Cybernetics, IEEE International Conference on”. Vol. 3. pp. 2692 – 2695, Oct. 1994.
- [8] Lago, L. I., Ponta, F. L., & Chen, L. Advances and trends in hydrokinetic turbine systems. Energy for Sustainable Development, Volume14, issue4, December 2010, pp. 287-296.
- [9] Venukumar, A. Artificial Vortex (ArVo) power generation --- An innovative micro hydroelectric power generation scheme Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS), IEEE, 2013, pp. 53-57.
- [10] J. Peña, Ingeniería de detalle y construcción de un sistema de hidrogenación basado en vórtice gravitacional. Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, 2013.
- [11] H. Rojas, Diseño de una central mini-hidráulica basada en vórtice gravitacional. Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, 2014.
- [12] Riba C. Diseño Concurrente, Ed. UPC Barcelona, 2002, pp. 121-198.
- [13] Krichen, L.; Francois, B.; and Ouali, A. A fuzzy logic supervisor for active and reactive power control of a fixed speed wind energy conversion system. Electrical Power System Research, Volume 78, Issue 3, 2008, pp. 418-424.
- [14] Nicolas, C.; and Poul, S. Proceedings of Nordic Wind Power Conference. Risø National Lab., Roskilde, Denmark, Technical Report, Riso- R-1624 (EN), 2007, pp. 1-271.
- [15] Zhang, J.; Chen, Z.; and Cheng, M. Design and comparison of a novel stator interior permanent magnet generator for direct-drive wind turbines. IET Renewable Power Generation, 1(4), 2007, pp. 203-210.
- [16] Chinchilla, M.; Arnaltes, S.; and Burgos, J.C. Control of permanent magnet generators applied to variable-speed wind-energy systems connected to the grid. IEEE Transactions on Energy Conversion, 21(1), 2004, pp.130-135.
- [17] Wang, L.; Chen, S.-J.; Jen, S.-R. & Li, H.-W. Design and implementation of a prototype underwater turbine generator system for renewable micro hydro power energy Industry



Applications Society Annual Meeting (IAS), 2012 IEEE, 2012, pp. 1-7.

- [18] J. Ortega, G. Romero. Generación eléctrica y monitoreo de un sistema de hidrogenación basada en vórtice gravitacional. Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, 2014



**Carles Riba i Romeva.-** Nació en Palma de Mallorca, España en 1947. Recibió su título de Ingeniero Industrial por la Universidad de Politécnica de Cataluña en 1971; y su título de Doctor por la Universidad

Politécnica de Cataluña en 1976. Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica de Cataluña desde diciembre de 1984. Director del Centro de Diseño de Equipos Industriales y del Director del Máster de Ingeniería Mecánica y Equipamiento Industrial desde 1999. Sus campos de investigación están relacionados con el desarrollo e innovación del equipamiento industrial y la transición energética hacia las energías renovables.



**Manuel Ignacio Ayala Chauvin.-** Nació en Loja, Ecuador en 1981. Recibió su título de Ingeniero Electromecánico por la Universidad de Nacional de Loja-Ecuador en 2006; de Master en Ingeniería

Mecánica y Equipamiento Industrial por la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona en 2011; y Actualmente, se encuentra cursando sus estudios de Doctorado en Sostenibilidad en la Universidad Politécnica de Catalunya, España. Sus campos de investigación están relacionados con el Desarrollo de Sistemas de Generación y Gestión de la Energía.

**Holger Manuel Benavidez Muñoz.-** Nació en Loja, Ecuador en 1974.



Recibió su título de Ingeniero Civil por la Universidad Técnica Particular de Loja en 1999; de Master en Gerencia de proyectos para el desarrollo por la Universidad Politécnica de Guayaquil en 2005 y

su título de Doctor en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente por la Universidad Politécnica de Valencia-España en 2010; Actualmente es docente investigador del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil, Universidad Técnica Particular de Loja-Ecuador. Sus campos de investigación están relacionados con la ingeniería hidráulica y la evaluación de impactos ambientales de construcciones civiles.