Diseño e Implementación de un Sistema de Regulación de Carga de Batería en una Planta de Microgeneración Hidráulica

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Emil Hernández Arroyo  Universidad Pontificia Bolivariana-Colombia.  emil.hernandez@upb.edu.co | **Omar Pinzón Ardila**  Universidad Pontificia Bolivariana-Colombia.  omar.pinzon@upb.edu.co | **Alfonso Santos Jaimes**  Universidad Pontificia Bolivariana-Colombia.  alfonso.santos@upb.edu.co |

(Tipo de Artículo: xxxxxx. Recibido el 00/00/0000. Aprobado el 00/00/0000)

**Resumen**. En este proyecto se diseña y construye un sistema de regulación de carga de batería en una planta de microgeneración hidráulica que usa una turbina de reacción tipo Francis. Para regular la carga de la batería se adaptó un controlador MPPT [*Maximum Power Point Tracker*] el cual se utiliza en sistemas fotovoltaicos. La turbina convierte la energía hidráulica en energía mecánica y el generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica, la cual se rectifica a 12 V DC [*Direct Current*] para alimentar el controlador que regula la carga de la batería. La energía hidráulica se genera con una bomba centrifuga de 5.5 Hp y proporciona una altura o cabeza equivalente a 28 m. Se utiliza una batería de 12 V / 100 Ah y es cargada por el sistema en 23 h, la eficiencia del generador fue aproximadamente 75%.

**Palabras clave**. Turbina hidráulica, controlador de carga, bomba centrifuga, batería.

***Design and Implementation of a Battery Charge Regulation System in a Hydraulic Microgeneration Plant***

**Abstract**. In this project, a battery charge regulation system was designed and built using a microgeneration plant with a Francis type turbine. To regulate the charge of the battery an MPPT [Maximum Power Point Tracker] controller was adapted which is used in photovoltaic systems. The turbine converts the hydraulic energy into mechanical energy and the generator transforms the mechanical energy into electrical energy, which was rectified at 12 V DC [Direct Current] and the controller regulates the charge of the battery. The hydraulic power was generated with a centrifugal pump of 5.5 Hp and it provides a height or head equivalent to 28 m. In this setup a 12 V / 100 Ah battery was charged by the system in 23 h and the generator efficiency was approximately 75%.

**Keywords**. Hydraulic turbine, load controller, centrifugal pump, battery.

# Introducción

Las turbinas son comúnmente usadas en sistemas de microhidropotencia. El agua en movimiento impacta los álabes de la turbina, en muchos casos como en una rueda hidráulica, produciendo el giro de un eje. Sin embargo, las turbinas son más compactas conforme aumenta la energía de salida que las ruedas hidráulicas. Ellas también tienen pocos engranajes y requieren menos material para su construcción [1].

Por otro lado, l**as baterías son el tanque de almacenamiento de potencia de los sistemas solares e hídricos. Estas suministran potencia cuando el sol no brilla [2].**

**Numerosas investigaciones se han realizado con sistemas de control de carga en baterías y sistemas de generación hidráulica. Yasser y Naggar [2], diseñaron e implementaron un controlador utilizando una técnica MPPT, un algoritmo genético y una estrategia de corriente y voltaje constante. Todas estas modificaciones reducen apreciablemente el periodo de carga. Los resultados experimentales muestran que el nuevo controlador tiene una mejora significativa y una mayor eficiencia comparado con el controlador tradicional.**

**Sadid et al [3],** propone una formulación matemática para modelar el costo de incertidumbre en la operación de una pequeña central hidroeléctrica, partiendo de las formulaciones propuestas para sistemas solares y eólicos.

**Las turbinas *microhidro* cargan las baterías continuamente. En todos los sistemas las baterías se cargan completamente en algún momento. Por lo tanto, se necesita detener la carga para prevenir la sobrecarga, de hecho, en los sistemas *microhidro* esta situación se puede presentar con mucha frecuencia [4].**

**Shengjun [5] diseñó una estrategia de control para cargar vehículos eléctricos basados en generación fotovoltaica, baterías de almacenamiento y conexión a red. La estrategia de optimización es útil para resolver la integración de sistemas de potencia distribuidos a gran escala y los problemas de carga de vehículos eléctricos en conexión a red.**

# Teoría

## Calculo de potencia

La potencia disponible o potencia hidráulica en un sistema de microgeneración hidráulica se calcula con la Ecuación (1) [6].

Ph = γ Q Hn Ecuación (1)

γ: Peso específico del agua [N / m^3]

Q: Caudal [m^3 / s]

Hn: Altura neta [m]

Ph: Potencia hidráulica [W]

La altura neta se calcula con la Ecuación (2).

Hn = Pn / γ Ecuación (2)

Pn: Presión neta [Pa] : Presión cuando hay flujo de agua.

La potencia de accionamiento o potencia de eje se calcula con la Ecuación (3).

Peje = Ph \* ηt Ecuación (3)

ηt: Eficiencia de la turbina

La potencia de salida o potencia del generador se calcula con la Ecuación (4).

Pgen. = Peje \* ηgen. Ecuación (4)

ηt: Eficiencia del generador.

En la Figura 1, con una Pn = 206000 Pa, γ = 9880 N / m^3, ηt = 0.75 y ηgen = 0.6 se obtiene:

Ph = 1659.8 W

Peje = 1244.8 W

Pgen. = 746.9 W



Figura 1 Sistema de microgeneración hidráulica

## Dimensionamiento de la tubería forzada

La tubería forzada es el tramo de tubería que se extiende desde la fuente hídrica hasta la turbina [7].

La altura geométrica se calcula con la Ecuación (5).

Perdida vertical = Hg - Hn Ecuación (5)

La pérdida vertical ideal se calcula con la Ecuación (6) [3].

Perdida vertical ideal = 0.25 \* Hg Ecuación (6)

Para un Hn = 21m y usando la Ecuación (5) y (6) se obtiene una perdida vertical ideal de 7m.

La pérdida de cabeza por fricción se obtiene de la Ecuación (7) [7].

% Perdida = Perdida vertical /Lt Ecuación (7)

Lt : Longitud de la tubería forzada

Para una longitud de 50 m el % Perdida = 14%.

Utilizando la Tabla 3.2 de la Fuente [3], se obtiene el siguiente dimensionamiento de la tubería forzada:

Diámetro interno = 3 pulgadas

Qóptimo = 225 gpm

Ph = 3 kW

Tubería pvc

# Metodología

## Diseño estructural

Teniendo en cuenta las dimensiones de los elementos que componen el banco de micro generación hidráulica se diseña una estructura que soportará toda la carga de los elementos que la componen y que permitiera su fácil manejo al momento de poner en marcha. Se utiliza acero *cold roll* en láminas y tubos de sección cuadrada de diferentes calibres.

La estructura cuenta con un tanque de almacenamiento de agua con láminas de calibre ¼”,  tubería cuadrada de 2x2¨(pulgadas) tipo pesado de *cold roll* 1020 y 6 ruedas giratorias con freno de 200 kg.

En la Figura 2 se muestra el modelamiento del banco utilizando el software de simulación *Solidworks*, todas las dimensiones están en mm.



Figura 2 Banco estructural del sistema hidráulico

## Diseño hidráulico

En la Figura 3, Figura 4 y Figura 5 se muestra el esquema para la construcción del sistema hidráulico donde se utiliza una bomba centrífuga que simula la cabeza [8-11], una turbina de reacción tipo Francis



Figura 3 Banco del sistema de microgeneración hidráulica

Los valores de potencia de la Figura 3, corresponden a un Hn = 18m con una presión neta de 176 kPa.



Figura 4 Sistema de microgeneración hidráulica construido

## Diseño eléctrico

El controlador MPPT permite regular una tensión variable en la entrada para entregar en la salida una tensión acondiciona para cargar el sistema de baterías.

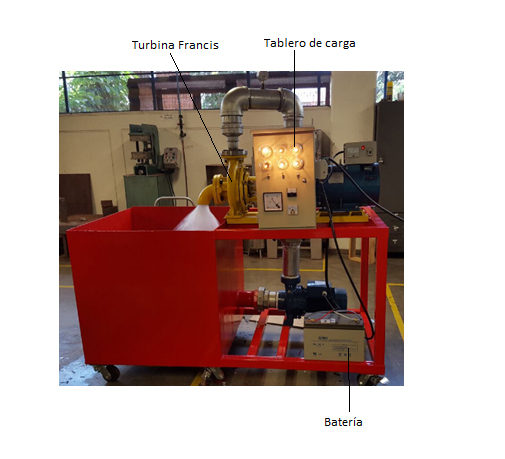


Figura 5 Sistema completo de microgeneración hidráulica

En la Figura 6 se muestra el diagrama eléctrico donde el generador entrega una tensión variable (220 V AC, nominales), la cual se reduce a 24V AC. Un puente de diodos se utilizan para conseguir 12V DC y por último la señal se filtra con dos condensadores de 1000 μF y 100V previa conexión al controlador MPPT 75/15 que optimiza la carga de las baterías y desvía la energía a una carga resistiva de 240W cuando la batería se ha cargado en su totalidad.



Figura 6 Diagrama eléctrico del sistema de carga de batería

Los siguientes datos corresponden a las especificaciones de placa de los elementos que componen el sistema eléctrico según Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 1 Especificaciones del controlador

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Controlador MPPT 75/15** |  |  |
| Tensión de la batería [V] | 12V /24V |  |
| Corriente máxima batería [A] | 15 A |  |
| Eficiencia máxima | 98% |  |
| Autoconsumo [mA] | 10 mA |  |
| Potencia máxima PV / 12 V | 200 W |  |

Un controlador de carga es una parte esencial de cualquier sistema que carga baterías, ya sean fuentes fotovoltaicas, eólicas, hidráulicas, *fuel* o redes públicas. Su propósito es mantener las baterías apropiadamente alimentadas de forma segura y a largo plazo. Los controladores bloquean la corriente inversa y previenen la sobrecarga de las baterías. Algunos controladores también previenen la sobre descarga, protegen de la sobrecarga eléctrica, y muestran el estado de la batería [11].

Tabla 2 Especificaciones del puente de diodos

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Puente de diodos KBPC5010** |  |  |
| Corriente en directo máxima [A] | 50 |  |
| Voltaje en directo por elemento [V] | 1.2 |  |
| Voltaje DC inverso máximo [V] | 1000 |  |
| Corriente pico en directo [A] | 400 |  |

El puente, junto con un condensador y un [diodo zener](http://www.ecured.cu/index.php?title=Diodo_zener&action=edit&redlink=1" \o "Diodo zener (la página no existe)), limitan la tensión, permitiendo la conversión segura de la corriente alterna a la corriente continua. La función de los cuatro diodos es lograr que la corriente circule en un solo sentido, mientras que el resto de componentes tienen como función estabilizar la señal.

Tabla 3 Especificaciones del generador

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Generador** |  |  |
| Potencia [kW] | 2 |  |
| Voltaje [V] | 220 |  |
| Frecuencia [Hz] | 60 |  |
| Eficiencia | 0.6 |  |

Tabla 4 Especificaciones de la batería

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Batería** |  |  |
| Voltaje nominal [V] | 12 |  |
| Capacidad nominal [A] | 100 |  |
| Máxima corriente de carga [A] | 20 |  |
| 20 horas de carga a 5A | 1. Ah |  |

# Resultados

En la Figura 7 se observa el funcionamiento de la turbina respecto al caudal y las revoluciones. El caudal se varía con una válvula tipo globo con un ángulo apertura de 90° y las 5 posiciones parten del *shut off* o posición 0° y las siguiente 4 aperturas se consiguen cada 22,5° siendo la última posición *full open* o posición 90°.

Figura 7 Caudal vs Rpm en la turbina Francis

En la Figura 8 se observa que en las 2 primeras aperturas de la válvula la potencia de salida o generada fue muy baja mientras que las revoluciones si aumentaron significativamente. En las siguientes 3 muestras la potencia generada aumenta considerablemente y lo que se puede concluir es que a partir de las 1000 rpm, el generador eleva la potencia generada exponencialmente, consiguiendo que el funcionamiento ideal del generador se encuentra entre 1600 y 1800 rpm.

Figura 8 Potencia generada vs Rpm

La Figura 9 muestra una carga inicial del acumulador es de 11,3V,(voltios) pero en el momento en el que el generador empieza a transferir energía su valor de carga aumenta hasta 11,76V, transcurrido un tiempo, la batería se carga, con lo anterior se determina el tiempo total de carga calculado en 23 horas y 15min. Al transcurrir las 23 horas y 15min el acumulador disminuye su tensión a 13,7V evidenciando que en este tiempo la batería se carga en 2,4V.

En esta prueba se evidencian las 3 etapas de carga de una batería, la primera etapa es la etapa inicial (*bulk*) durante esta fase, el controlador suministra tanta corriente de carga como le es posible para cargar la batería rápidamente, en esta fase el controlador suministra corriente entre los 6 y 7 A para cargar la batería. Cuando la tensión de la batería alcanza la tensión de absorción predeterminada, el controlador activa la siguiente fase que es la fase de absorción, en esta fase el controlador conmuta a un modo de tensión constante, en el que se le aplica a la batería una tensión de carga entre los 2 y 4A (amperios). Cuando la corriente de carga disminuye hasta alcanzar la corriente predeterminada de transición a carga de flotación, la batería está completamente cargada y el controlador cambia a la fase de flotación, durante esta fase se aplica la tensión de flotación a la batería para mantenerla completamente cargada. Cuando la tensión de la batería cae por debajo de 13,2 voltios durante al menos 1 minuto, se iniciará un nuevo ciclo de carga.

Figura 9 Perfil de carga de la batería 12V / 100 Ah

En la Figura 10 se observa el comportamiento de la batería con una potencia de carga constante sin estar recibiendo energía. La batería del estudio es de 12V100 Ah, se selecciana una carga resistiva de 240 W, ubicadas en el tablero de control.

Figura 10 Perfil de descarga de la batería 12V / 100 Ah

La Figura 10 muestra una carga inicial del acumulador es de 13,7V, pero en el momento en el que se expuso a una carga, ésta baja su tensión hasta 12,7 V y con el transcurrir del tiempo la potencia disminuye debido al consumo constante, con esa información se pudo determinar el tiempo de autonomía es 18 horas y media. Por lo tanto, al transcurrir las 18 horas y media el sistema se apagó y se evidencio que el acumulador disminuye su voltaje hasta 11,8 V evidenciando que en este tiempo la batería se descargó 1,9 V.

# Conclusiones

EN este trabajo se construye e implementa un banco de pruebas para la turbina Francis donde se realizaron ensayos en 5 aperturas de la válvula, en la experiencia se obtienen las curvas características de la bomba y se observa que cuando entrega menos de 400 W de potencia la turbina entrega 1000 rpm, esas 1000 rpm no cargan la batería y por el contrario la carga resistiva conectada al controlador consume la energía de la batería, en cambio cuando se entrega una potencia superior a 400 W ésta entrega más de 1000 rpm y la potencia generada eleva considerablemente su valor medido, por consiguiente para generar se debe entregar más de 400 W de potencia disponible que en cabeza equivale a 5m.

La utilización de un controlador MPPT en un sistema de micro generación hidráulica protege y extiende la vida útil de las baterías, aunque este controlador se implementa para sistemas fotovoltaicos, el controlador funciona en sistemas de micro generación pero para utilizarse se debe implementar un sistema que convierta la señal de AC a DC y después se rectifica ya que si no se implementa este sistema no funciona el controlador debido a que la tensión del generador es muy pulsante y variante.

Por último se realiza un perfil de carga de una batería con el fin de comparar un sistema de micro generación hidráulica con un sistema de generación utilizando paneles fotovoltaicos donde el sistema hidráulico utiliza una batería de 12V/100Ah para cargarla en 23 horas y 15 minutos. Mientras que los paneles utilizaban una batería de 12V/3,2Ah para cargarla en 160 minutos. Por lo tanto se concluye que el sistema de generación hidráulico carga la batería a 0,071 Ah (amperios hora), mientras que los paneles se cargan 0,02 Ah (amperios hora) siendo así 3,5 veces más eficiente el sistema de generación hidráulica que el sistema de generación por paneles fotovoltaicos.

**6. Referencias**

1. US Department of Energy, Micropower systems.
2. E.Yasser, and H. Naggar, *Enhancing the design of battery charging controllers for photovoltaic systems*, Elsevier, Nro 58, 2016.
3. F. Sadid, S. J. Perez, S. R. Rivera, Formulación de Funciones de Costo de Incertidumbre en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas dentro de una Microgrid, Ingenierías USBMed, Vol. 8, No. 1, pp. 29-36, 2017.
4. D. Scott, *Microhidro*, New Society Publishers, *Canada*: 2003.
5. W. Shengjun et al., *Optimal EV charging control strategy based on DC microgrid,* . Elsevier. 3rd International Conference on power and energy systems engineering, Kitakyushu, Japan, 2016.

[6] J. Franzini, Mecánica de fluidos con aplicaciones en ingeniería, 9 ed.,

McGraw-Hill, España: 1999.

[7] G. Jaramillo, Máquinas reversibles aplicadas a microcentrales

Hidroeléctricas. [En línea]Disponible en internet:

<http://shplab.univalle.edu.co>, Cali, Colombia.

[8]E. Hernández, Máquinas Hidráulicas, Bombas centrifugas Universidad

Pontificia Bolivariana, Bucaramanga-Colombia, 2013.

[9]E. Hernández, Máquinas Hidráulicas, Turbinas hidráulicas,Universidad

Pontificia Bolivariana, Bucaramanga-Colombia, 2013.

[10] Endesa, Educa, Centrales hidroelectricas, Disponible en internet:

<http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos>

/produccion-de-electricidad/xi.-las-centrales- hidroeléctricas.

[11] Elemento de una pequeña central hidroeléctrica. Disponible en:

<http://www.jenijos.com/centraleshidroelectricas>.

[12] TFV, Controlador MPPT, Disponible en:

<http://www.tiendafotovoltaica.es/reguladordecargasolar>.