

AVANCE DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE TURBINAS PELTON EN PEQUEÑAS CENTRALES HIDRAULICAS.

Abstract

In this work the authors have developed an authomatic prototype controller of flow for electricity generation in small hidraulic Pelton turbine.

Keywords: Controller, flow, turbine, Pelton, electricity

Resumen.

En este trabajo se ha desarrollado un prototipo de sistema para controlar en forma automática, la velocidad de pequeñas turbinas hidráulicas, especialmente, para pequeñas turbinas Pelton, que operan en micro centrales, que tienen como fin la generación de electricidad.

I. INTRODUCCION

La generación de electricidad actualmente se ha visto afectada, por la dificultad al acceso y los altos costos en los recursos energéticos primarios, esto ha impulsado la investigación y el desarrollo de tecnologías alternas para la producción de energía eléctrica. Otro factor importante, es el impacto ambiental que se genera, como resultado del consumo de combustibles fósiles, otra razón para justificar la producción de energía eléctrica por medio de recursos renovables. En este sentido la generación hidráulica cumple las condiciones que se requiere para la producción de energía reduciendo el impacto ambiental. La energía hidráulica como recurso renovable tiene gran aplicación en Colombia dadas sus condiciones geográficas y climáticas.

Debido a la creciente necesidad de suministro de energía eléctrica, para las áreas rurales, donde el costo de la transmisión eléctrica es levado, los sistemas de micro centrales hidroeléctricas, constituyen una alternativa económica, para atender la demanda en las zonas que no están interconectadas al sistema eléctrico nacional.[1]

Considerando que la calidad de la energía eléctrica generada depende del adecuado control que se haga sobre el flujo de agua que impacta a la turbina, el mecanismo de Tornillo Sin fin Corona usado para este control automático que se ha diseñado, se convierte en una alternativa viable para cumplir las acciones de apertura y cierre de una válvula de aguja, controlando así el caudal que va a la turbina.

En Colombia, se han presentado varios planes para desarrollar programas de Pequeñas Centrales Hidráulicas (P.C.Hs), entre los cuales se pueden citar los siguientes: [1].

Plan de microcentral del Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (I.C.E.L) (1979-1982).

Plan Japan International Cooperation Agency (1987), (ICEL- JICA).

Plan Corporación Eléctrica de la Costa Atlántica (CORELCA) –Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica (PESENCA) (1985). Hoy como fundación Sociedad Alemana Para la Cooperación Técnica (GTZ), Corelca, Instituto Agropecuario ICA, Andi, Acofi, Confecámara, Camacol, Atlantico, Fedemetal.

Plan del ICEL (1995-1997):

Plan del Instituto de Ciencias Nucleares y Energía Alternativas (INEA) 1995- 1997

Plan del Instituto de Planificación y promoción de Soluciones Energéticas para la Zonas no Interconectadas 1997- 2013, (IPSE).

Todos estos planes están o estaban encaminados a dar

soluciones a la demanda de energía eléctrica a numerosas poblaciones, fincas o empresas con pequeñas plantas eléctricas o soluciones no convencionales de energía.

II. TIPOS DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDRAULICAS

En Colombia, Según la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CRG), las pequeñas centrales Hidroeléctricas pueden clasificarse en Micro centrales, Mini centrales y pequeñas centrales. [2]

A. Microcentrales. Son plantas de una capacidad instalada hasta y 100 kilovatios (kw).

B. Mini centrales. Son plantas de una capacidad instalada entre 100 y 1000 kw.

C. Pequeñas centrales.- Son plantas de una capacidad instalada entre 1000 y 10000 kw.

III. SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD EN MICROCENTRALES

Las Pequeñas Centrales Hidráulicas (P.C.Hs), poseen niveles de potencia muy inferiores comparadas con las grandes centrales, lo que se traduce en un control más simple.

Actualmente existen dos formas de regular la velocidad de generación en microcentrales:

A. Disipación del exceso de corriente eléctrica: En donde se utilizan bancos de resistencia y de bombillos incandescentes para disipar la diferencia de energía entre la generada y la consumida, puede ser automática o manual.

La Fig.1, es una fotografía del banco de resistencia de la micro central de Terales de Santa Rosa de Cabal en el departamento de Risaralda Colombia. Tomada con permiso de la administración.

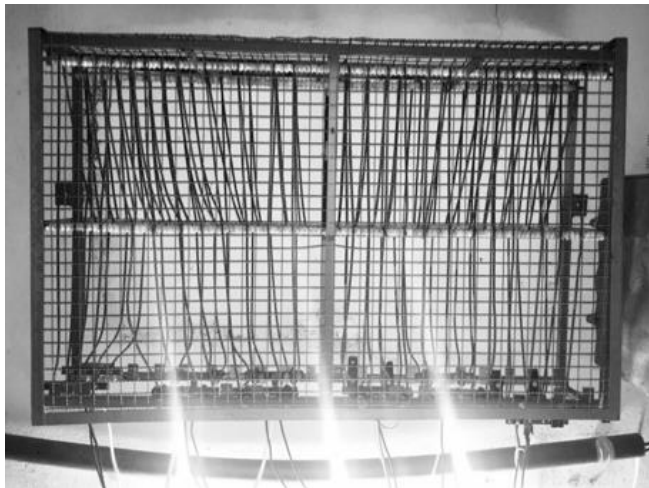


Fig.1

B. Variación del caudal de agua de entrada a la turbina:

Es la más convencional, y consiste en variar el caudal de entrada a la turbina utilizando un regulador de velocidad que consta de un sensor que al detectar cualquier desviación de la velocidad de la turbina con respecto a la velocidad de referencia, envía una señal al mecanismo encargado de controlar el flujo de agua hacia la turbina, manteniendo así la velocidad de la turbina y la frecuencia de generación constante. Este es el sistema que se ha tratado de implementar en este proyecto pero con un sistema electromecánico-automático cuyo funcionamiento se explica más adelante, en el numeral 5. También puede ser manual, cerrando manualmente compuertas para controlar el caudal que va a la turbina.

La Fig.#2, es una fotografía del mecanismo del control manual de caudal en la micro central de termales de Santa Rosa de Cabal en el departamento de Risaralda Colombia. Tomada con permiso de la administración.



Fig. 2

IV. PLANTA A AUTOMATIZAR

Como se muestra en la Fig. 3 la planta a automatizar consta de un prototipo de micro-central hidráulica ubicada en el laboratorio de Fluido y máquinas hidráulica de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira- Colombia, cuyas componentes principales, se describen a continuación: [3], [4].

A. Estructura metálica.

Construida en ángulo y platina soldada para sostener cada una de las partes del modelo micro central.

B. Válvula de Compuerta.

Este tipo de válvula se emplea o utiliza totalmente cerrada o abierta, debido a que no están diseñadas para regular, lo que indica que deben estar completamente abiertas o completamente cerradas para que sus interiores (asiento y cuña) no sean desgastados prematuramente por el fluido y su presión, y así evitar que tenga fugas. Esto motivado a que la compuerta y el asiento se erosionan con rapidez en cualquier posición que no sea la apertura o cierre totales. Dado que este prototipo, es para uso didáctico, y no estará trabajando de manera permanente, se utiliza la válvula estrangulada para colocar una velocidad de giro de referencia de la turbina. Este tipo de válvula, facilita la protección y el mantenimiento de la turbina.

C. Tanque.

Es un tanque de fibro-cemento de almacenamiento de agua con una capacidad de 250 litros, que se utiliza para ir almacenando el agua que ya ha hecho su trabajo en la turbina, y se descarga por medio de una tubería a un tanque de almacenamiento. En la fig. 3, está identificado con el #1.

D. Tobera

Fue construida de bronce para evitar su corrosión y diseñada para reducir el diámetro de la tubería que conduce el agua hacia la turbina de 38 mm a 15 mm a. [4].

E. Válvula de aguja

La válvula de aguja es llamada así por el vástago cónico que hace de obturador sobre un orificio de pequeño diámetro en relación al diámetro nominal de la válvula. El desplazamiento del vástago en esta válvula es lento, según la geometría y el tipo de rosca en la que fue diseñada por tanto convierte a esta en una buena reguladora de caudal, por su estabilidad, precisión y el diseño del obturador que facilita un buen sellado metálico, con poco desgaste. [4].

F. Carcasa.

Evita que el agua que impacta la turbina, salpique el exterior y se construyó en acrílico para que se pueda observar el flujo de agua desde la salida de la tobera hasta que impacta los álabes de la turbina. Identificada con el # 3 en la Fig. #3.

G. Prototipo de turbina Pelton.

Consta de 17 cucharas o cangilones, se encuentra debajo de la carcasa.

La **cabeza o salto** se simula mediante una bomba centrífuga, diámetro de succión y descarga de 2 pulgadas, motor eléctrico a 3450 rpm, 220/240 v 60 ciclos trifásica de cuerpo de hierro fundido sello mecánico en acero inoxidable que suministra 200 litros por minuto.

H. Generador.

Para el desarrollo del proyecto se adquirió un generador de dos Kwatts. Con las siguientes características: Marca KAIJIELI, Referencia ST-2 de 4 polos principales características. Identificado con el #2 en la Fig. #3.

La tabla #1, muestra las características de corriente y voltaje del generador

Tabla 1

Corriente (A)		Voltaje (VAC)	
Conexión en serie	Conexión en paralelo	Corriente en serie	Corriente en Paralelo
8.7	17.4	230	115

I. Acople Turbina Generado. La Fig.4, muestra que el acople se hizo por medio de dos poleas en. “ V ” y una correa tipo A 48.

I. Motor Eléctrico.

La tabla # 2, muestra las características de corriente y voltaje del motor.

Tabla 2

Voltaje (V dc)	Corriente (A)	
	En arranque	En régimen permanente
12	2	1.5



Fig. 3

Las Fig.3; Fig. 4; Fig.5; y Fig. 6, son fotografías tomadas del prototipo de micro central del laboratorio de fluidos y máquinas hidráulicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

En la Fig.4, debajo de la carcasa se puede apreciar el modelo de turbina pelton utilizado.

Correa-Acople

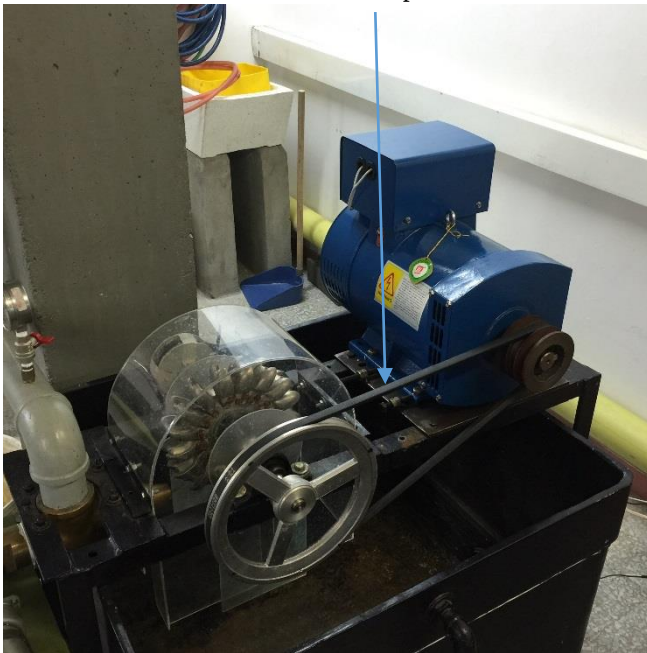


Fig. 4

La Fig.#5 muestra el banco de bombillos incandescentes para simular la carga en el prototipo de microcentral en el laboratorio de fluidos y maquinas hidraulicas.

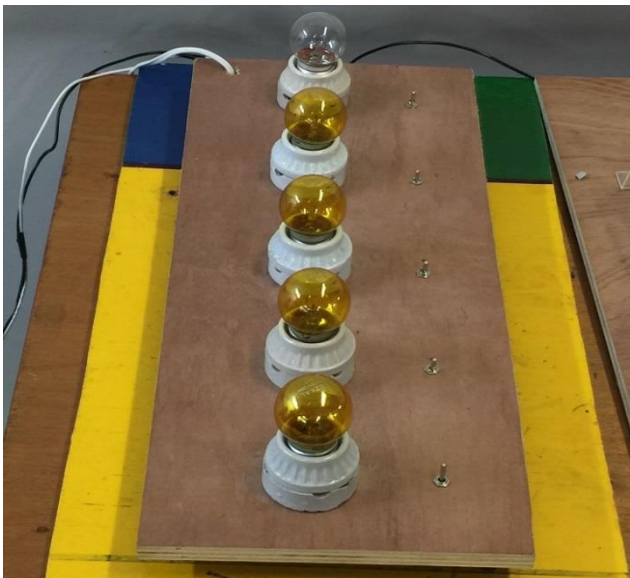


Fig. 5

V.PROTOTIPO DE CONTROL

El prototipo de control está constituido por un sistema de tornillo sin fin corona, [5]en donde el sinfin esta unido al eje del motor dc, y la corona va unida al vástago de la valvula de aguja, como se muestra en la Fig. 6.



Fig. 6

Los parametros del sinfin se determinaron mediante la aplicaci3n del Matlab, utilizando el programa Solid Edge V16.0 y CAD para su manufactura. Los resultados se muestran en las figuras siguientes. Los valores obtenidos est3n expresados en el SI ,las longitudes en mil3metros.

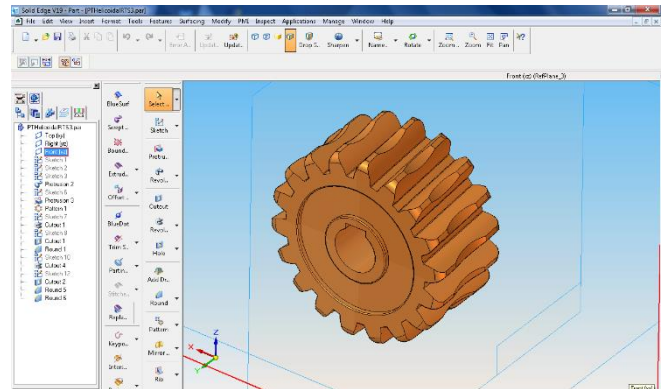


Fig. 7

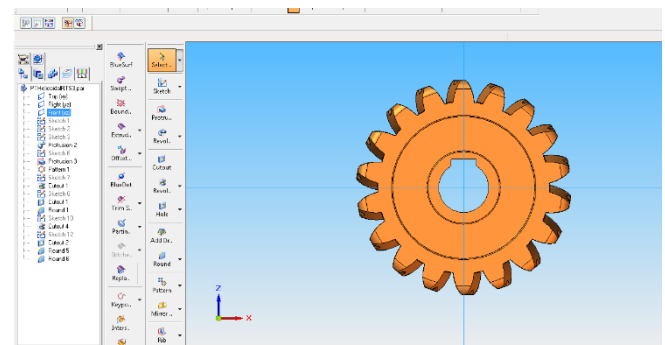


Fig. 8

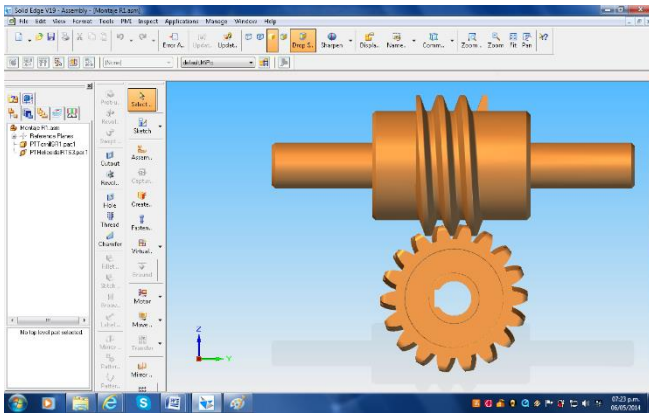


Fig. 9

5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

El principio de funcionamiento del sistema, se basa en la transformación de la energía hidráulica en energía mecánica que, será transformada en energía eléctrica y el funcionamiento es como sigue: el agua golpea las cucharas de la micro turbina tipo pelton, produciendo un movimiento rotacional que se transmite mediante, una conexión polea correa al generador, creando una diferencia de potencial para encender los cinco bombillos incandescentes de 25 W cada uno mostrados en la Figura#5.

Un transductor conectado al eje de la turbina mediante otro sistema polea correa, mide la velocidad de giro de la turbina, enviando una señal a un microcontrolador al que se le ha implementado un controlador Proporcional Integral Derivativo (P.I.D.) cuya ganancias proporcional $k_p = 42$, integral $T_i = 2$ y derivativa $T_d = 0.5000$, se determinaron aplicando la regla Ziegler-Nichols. [5] ,[6] previa generación de las funciones en Matlab., obteniendo la ecuación (1).

$$G_{PID}(s) = 42(1 + 1/2s + 0.50s) \quad (1)$$

El mecanismo usado para la apertura o cierre del inyector de la turbina, es el tornillo sin fin-corona que tiene como actuador, un motor de corriente directa, con conexión a un sistema que le permite inversión de su giro.

Cuando se abre la válvula que permite el flujo de agua hacia la turbina, la turbina gira hasta alcanzar aproximadamente 1000 rpm. Se genera entonces aproximadamente 70 V. al encender uno a uno LOS bombillos, se Observa que el generador tiende a frenarse, este cambio de velocidad en la turbina es detectado por el transductor quien envía una señal

al sistema de control y este a su vez envía una orden de control al motor para que la corona gire en la dirección de apertura de la válvula de aguja permitiendo así la llegada de un mayor caudal a la turbina aumentando su velocidad hasta alcanzar la velocidad de generación.

señal al sistema de control y este a su vez envía una orden de control al motor para que la corona gire en la dirección de apertura de la válvula de aguja permitiendo así la llegada de un mayor caudal a la turbina aumentando su velocidad hasta alcanzar la velocidad de generación.

actuador, un motor de corriente directa, con conexión a un sistema que le permite inversión de su giro.

Cuando se abre la válvula que permite el flujo de agua hacia la turbina, la turbina gira hasta alcanzar aproximadamente 1000 rpm. Se genera entonces aproximadamente 70 V. AL ENCENDER UNO A UNO LOS BOMBILLOS, se Observa que el generador tiende a frenarse, este cambio de velocidad en la turbina es detectado por el transductor quien envía una señal al sistema de control y este a su vez envía una orden de control al motor para que la corona gire en la dirección de apertura de la válvula de aguja permitiendo así la llegada de un mayor caudal a la turbina aumentando su velocidad hasta alcanzar la velocidad de generación.

Igualmente al ir apagando los bombillos, la turbina tiende a embalsarse, aumentando la velocidad de generación entonces la orden que llega al motor es la de girar en la dirección de cierre para regresar a la velocidad de generación, que debe permanecer constante.

DIAGRAMA DE BLOQUES MICROCENTRAL AUTOMATIZADA

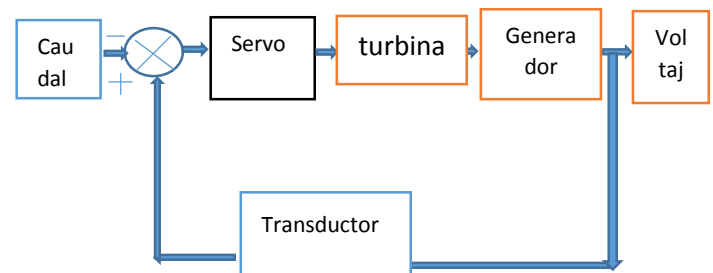


Fig. 10

Comportamiento de la planta con el controlador PID

La Fig.11, muestra que la turbina alcanza la velocidad de referencia en 85 ms y la acción controladora tiende a estabilizarla.

Se continúa haciendo prácticas de control con la planta Se dispone de un video de aproximadamente 25 segundo donde se puede apreciar el comportamiento inicial de la planta automatizada.

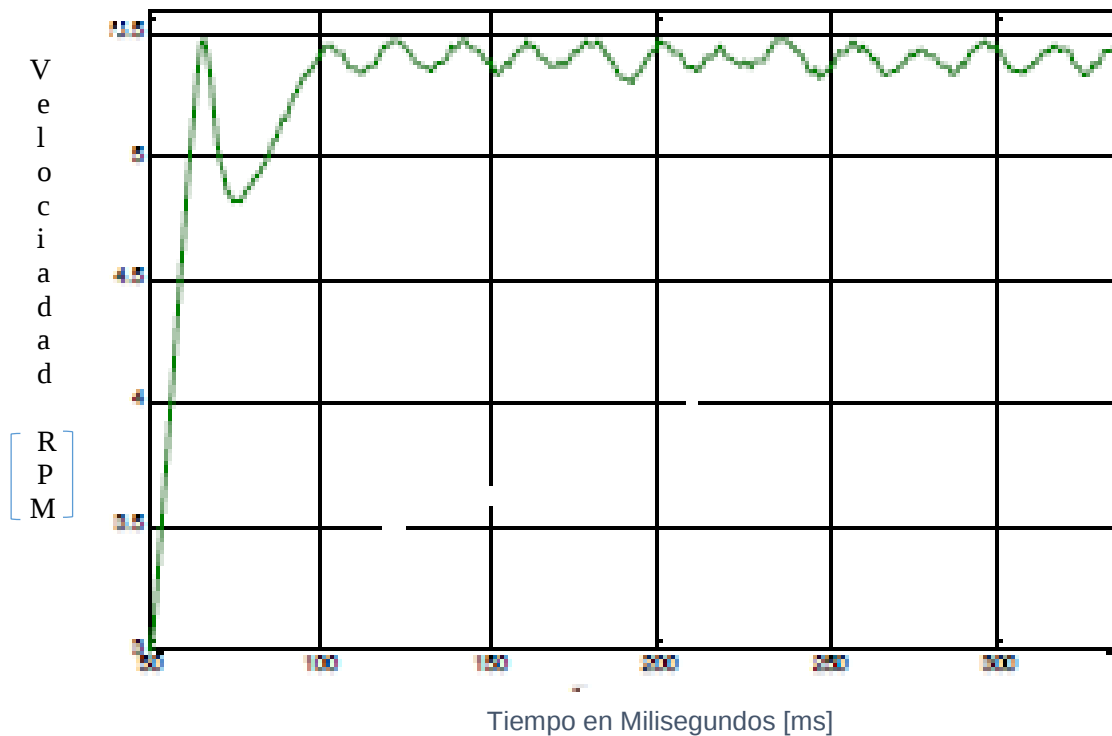


Fig. 11

REFERENCIAS

[1]. Investigación en pequeñas centrales en Colombia – Universidad Libre. Torres Quintero Ernesto
 Disponible en www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf

[2]. Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica.
 Disponible en:
revista.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/viewfile/22/27

[3]. V. German, V. Carlos,” Diseño y Construcción de un Modelo didáctico de una Micro central Hidroeléctrica”, trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Mecánica, 1985.

[4]. A. Mora,” Diseño del elemento final de control de potencia y puesta en marcha del módulo de micro central hidroeléctrica”, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2009.

[5]. GONZALO GONZALEZ, Rey. Calculo de Engrane cilíndricos, Ciudad Habana 2001.

[6]. OGATA, Katsuhito Ingeniería de control moderna, quinta edición España 2010.

[7]. DORF, Richard C. BISHOP Robert H. Sistemas de control moderno, España 2003.

