

## REGULADOR ELECTRONICO PARA TURBINAS

**Pedro Antonio Pérez Anaya**

Ingeniero Mecánico M.s. Departamento de Fluidos y Térmicas

**Miguel Correa**

Ingeniero Mecánico

**Carlos Cristancho**

Ing. Mecánico

Universidad Francisco de Paula Santander

### Resumen

Como es sabido en todos los sistemas existen mecanismos reguladores de las variables que en un determinado momento pueden presentar problemas. En una Central Hidroeléctrica, la turbina hidráulica es la encargada de transformar la energía hidráulica en energía mecánica. Acoplada a ella se encuentra el Generador de corriente eléctrica, el cual transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Ambas máquinas deben girar a una velocidad constante, para que la frecuencia producida, también permanezca constante. Luego debe existir un regulador de la velocidad de la rueda de la turbina. Estos reguladores pueden ser: oleo-mecánicos, electro-mecánicos, mecánicos e hidráulicos con mando electrónico.

regulador electrónico para turbinas, para acoplarlo a la turbina Peltón.

### Parámetros de la turbina Peltón

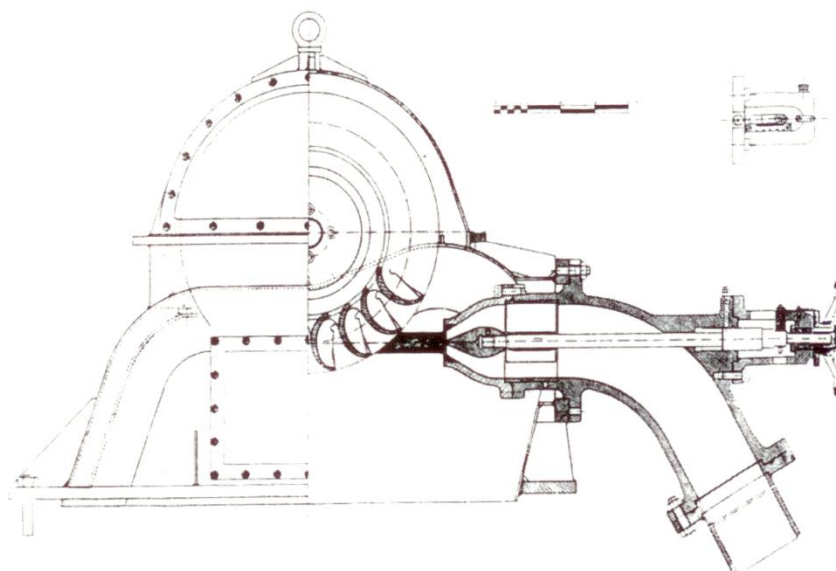
La base del estudio del regulador electrónico, son datos que arrojan el funcionamiento de la turbina Peltón. Estos datos son:

- Caudal  $Q = 12,5 \text{ l/s}$
- Cabeza  $H = 30 \text{ m}$ .
- Velocidad  $V = 23,77 \text{ m/s}$
- Potencia  $P = 5 \text{ kw}$

En la turbina Peltón, la regulación de la velocidad se hace a través de la regulación del caudal que le llega a la rueda abriendo o cerrando el inyector. (de forma muy parecida a la regulación que se hace en las mangueras), solo que aquí el movimiento se hace sobre

### Generalidades

La regulación de velocidad de turbinas hidráulicas representa uno de los problemas esenciales en el desarrollo de las CENTRALES HIDRAULICAS: El obtener un sistema de regulación para lograr un equipo seguro y de bajo costo, constituye el principal objetivo de los investigadores. La Universidad Francisco de Paula Santander, a través de los docentes que imparten sus enseñanzas a nivel de laboratorios, ha patrocinado la construcción de bancos didácticos para la enseñanza de sus alumnos y la asistencia a la comunidad. En el laboratorio de máquinas hidráulicas, se han construido entre otras: la TURBINA PELTON, y la TURBINA MICHELL-BANQUI, DE ÁLABES ORIENTALES. El presente estudio se centra en el diseño y construcción de



**Turbina Peltón**

**Figura No. 1 Turbina Peltón**

el penetrador en forma axial. Este movimiento hace que el paso del agua sea mayor o menor. El regulador trata de abrir o cerrar este inyector para regular el paso de agua a la rueda y así frenarla o acelerarla dependiendo de la demanda de energía. Al aumentar la demanda de energía la rueda trata de frenarse por la mayor resistencia que se crea en el generador, entonces se abre el inyector permitiendo un mayor flujo de agua y aumentando la velocidad de la rueda hidráulica. Si la demanda de energía se disminuye, la rueda trata de acelerarse lo que permite que el regulador actúe cerrando el inyector y disminuyendo el flujo de agua, a lo cual la rueda tenderá a pararse. Parte de la rueda y del inyector se aprecia en la figura No. 1

## Regulador electrónico

Un diagrama general del regulador electrónico, se puede apreciar en la figura No. 2, el cual consta de:

- Un dispositivo que toma la señal del eje de la turbina, el cual detecta el cambio de velocidad de la rueda.
- Un dispositivo amplificador que compara la señal recibida con una de control de velocidad y amplifica su respuesta.
- Un dispositivo activador que es el encargado de darle la señal bien sea a la derecha o a la izquierda, al motor.
- Un motor que es el que se encarga de hacer girar el inyector que cierre o abra el paso del agua a la rueda.

## El funcionamiento general del regulador electrónico, es el siguiente:

La energía mecánica tomada del eje de la turbina, se convierte en energía eléctrica en el dinamo de corriente continua, generando un voltaje de acuerdo a la velocidad de la turbina. Este voltaje es llevado al circuito de realimentación para introducirlo dentro de un rango fijo y compararlo con un voltaje preestablecido de acuerdo a la velocidad de trabajo de la turbina. Esta comparación la efectúa el set point.

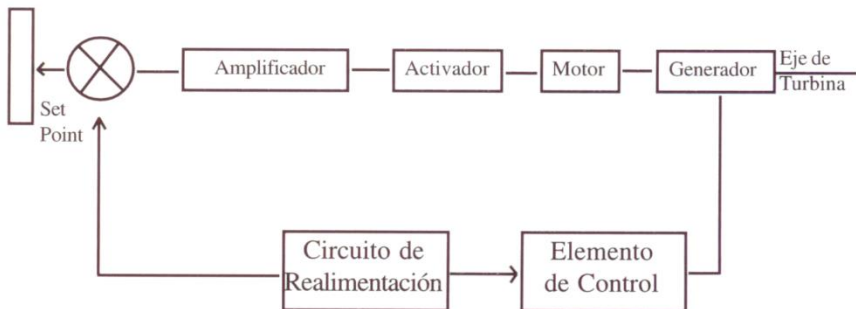


Figura No. 2. Esquema simplificado del regulador electrónico

La señal comparada pasa al circuito amplificador, que dará unas características especiales de intensidad al circuito activador. Este dará la orden al motor, para que mueva el inyector a la derecha o a la izquierda según sea la necesidad del caudal. Este proceso se ejecuta varias veces hasta que se consiga el valor seleccionado en el set point. La figura No. 3, ilustra la toma de la variable y su respuesta en la turbina Peltón.

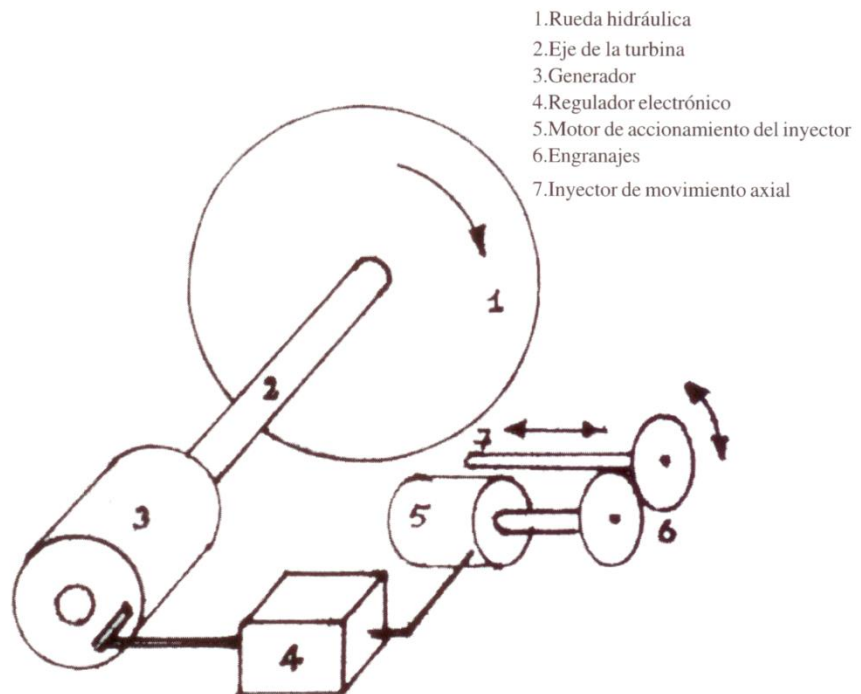
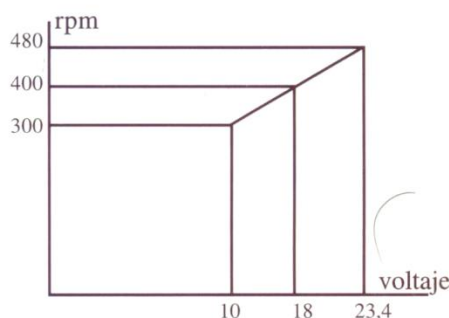


Figura No. 3. Disposición del regulador electrónico.



## Variable a controlar

Existen varios métodos para seleccionar la variable a controlar. Para esto se deben tener en cuenta varios aspectos tales como: económico, facilidad de montaje, espacio, lectura más directa y mantenimiento. La variable a controlar es la corriente directa (CD), que pasa al circuito de realimentación para ser comparado con el seleccionado en el set point. Para esta variable sólo se necesita de un pequeño generador de corriente directa, que en pruebas anteriores generó los voltajes dados en la gráfica No. 1. La rotación para el generador se obtuvo del eje de la turbina a través de un juego de poleas de la siguiente relación, 1:4,26, acopladas de la siguiente manera: la polea de 8 inc acoplada al eje de la turbina, las otras dos de 3,75 y 6 inc montadas sobre un eje intermedio. La de 6 inc de diámetro impulsa al dinamo. Véase la figura No. 3



Gráfica No. 1.  
Revoluciones Vs. Voltaje

## Amplificador

Se utiliza una fuente de 13.8 v CD, con una intensidad de 7 amperios, de acuerdo a las características exigidas por el motor de CD, y por la facilidad de consecución en el comercio. Esta fuente alimentará el set point que es donde se seleccionarán las revoluciones respectivas del rodete o rueda de la turbina. Se seleccionó un **AMPLIFICADOR OPERACIONAL**

NAL, por el número tan grande de operaciones tanto lineales como no lineales, que tiene una alta ganancia, con dos terminales de entrada, una terminal de salida y un acoplamiento directo. De acuerdo con todo lo anterior se encontró en el mercado el circuito integrado cuadruplicador operacional, con una referencia de LM324, que tiene 14 pines.

## Activador

El circuito activador es el encargado de recibir una señal del circuito de realimentación. A través del set point compara la señal preestablecida con el voltaje que simula las revoluciones de la turbina y da la orden al motor para regular el caudal a través del movimiento de la aguja del inyector. Este circuito activador trabaja con dos comparadores de señal que se encuentran en el integrado LM 324, dos resistores y cuatro transistores. Según la señal de salida el motor girará hacia la derecha o hacia la izquierda.

## Motor

Los motores DC son importantes en el control industrial porque son más adaptables que los motores de AC de

campo rotatorio a sistemas de velocidad ajustable.

De acuerdo a las exigencias del trabajo, este motor tiene que girar a bajas revoluciones, tener doble giro, baja potencia, ya que solamente tiene que mover el inyector que tiene baja resistencia.

Las características del motor serán: Motor de 12 voltios de DC, con entradas independientes para cada giro, consumo nominal de corriente de 3,5 A, velocidad nominal de 200 r.p.m., consumo de potencia = 42 w.

## Circuito de realimentación

El circuito de realimentación se encarga de recibir el voltaje producido por la máquina dinamoeléctrica, el cual es de 10 a 25.5 voltios, rango para el cual estará trabajando el controlador electrónico.

El esquema general del regulador electrónico para turbina se puede apreciar en la figura No. 4

En la Foto No. 1 se puede apreciar el montaje del regulador electrónico en la turbina.

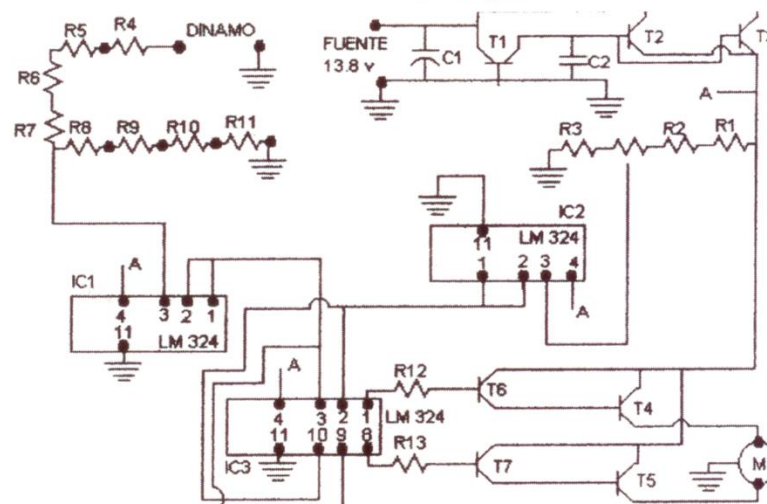


Figura No. 4. Esquema del regulador electrónico para turbina



## CONCLUSIONES

En los sistemas de regulación automática, no es posible mantener una velocidad de grupo rigurosamente constante. Es preciso admitir un *error*, ya que este error es el que se aprovecha para hacer la corrección. Este error relativo se denomina *estatismo*, *e*, y se define así:

$$\varepsilon = \frac{N_v - N_m}{N_p} \quad N_p = \frac{N_v + N_m}{2}$$

$N_v$  = Velocidad de marcha en vacío

$N_m$  = velocidad de marcha en carga mínima

$N_p$  = velocidad promedio

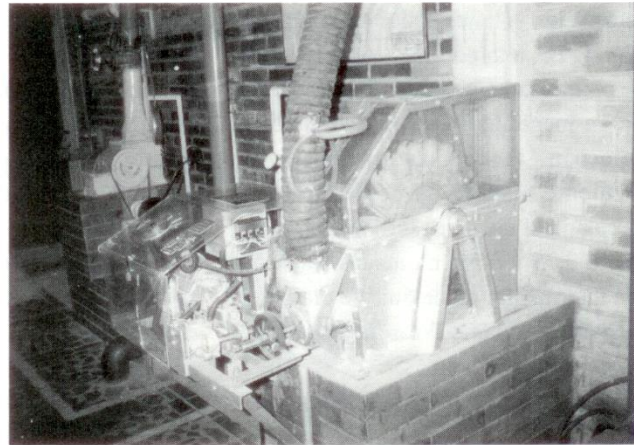
Normalmente para la turbina la regulación es  $e < 0.04$ . Cuanto mayor es el estatismo, el sistema es más estable, pero la marcha del grupo es menos uniforme.

Todos los sistemas de regulación para turbinas deben tener: la amplificación de la variable y retroalimentación para que su funcionamiento sea confiable.

Muchas de las regulaciones para turbinas, emplean una doble regulación para prevenir alguna falla, como por ejemplo: la falta de energía o mal funcionamiento de la bomba del aceite, cuando el sistema es hidráulico.

Con la construcción de este regulador se puede apreciar el campo tan inmenso que tiene la electrónica, pues a través de ella se resuelven de forma muy sencilla, problemas de mucha complejidad.-

La respuesta de este regulador electrónico fue la que se esperaba, pero no hay disponibilidad de compararla con otros sistemas tradicionales de regulación, pero que se cumplió con el objetivo propuesto al construir este regulador.



**Foto No. 1. Montaje del regulador electrónico en la turbina Pelton**

## BIBLIOGRAFIA

- COGOLLO, INOCENCIO. Tablero de control de aplicación en el laboratorio de contadores electrónicos. Proyecto de grado.
- CORTES, GERMAN y SANTANDER, JESUS E. Diseño y construcción de una turbina Pelton. Proyecto de grado UFPS.
- MALONEY, TIMOTHY. Electrónica industrial, dispositivos y sistemas. Edit. Prentice-Hall Hispanoamericana.
- MARTINEZ ALEJANDRO. Circuitos electrónicos integrados. Edit. Limusa.
- ZOPEETTI, GAUDENCIO. Centrales Hidroeléctricas. Edit. Gustavo Gili.
- CORREA, MIGUEL A. Y CRISTANCHO, CARLOS. Diseño, cálculo, construcción y montaje de un gobernador electrónico.