

## APLICACIÓN DE UNA VALVULA MARIPOSA COMO REGULADOR DE CAUDAL EN UNA TURBINA HIDRAULICA DE FLUJO TRANSVERSAL<sup>1</sup>

Ariel R. Marchegiani<sup>2</sup>, Victor H. Kurtz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Trabajo de Investigación, Proyecto Código 04/I229 U.N.Co. y 16/I142 – U.Na.M

<sup>2</sup> Director del Proyecto (04/I229) e Integrante de Proyecto (16/I142), Ingeniero Industrial, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Comahue, Neuquén – Argentina,  
[ariel.marchegiani@fain.uncoma.edu.ar](mailto:ariel.marchegiani@fain.uncoma.edu.ar)

<sup>3</sup> Integrante de Proyecto (04/I229), y Director del Proyecto (16/I142), Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Misiones, [kurtzvh@gmail.com](mailto:kurtzvh@gmail.com)

### Resumen

En el presente trabajo se exponen los resultados de una investigación experimental de la regulación del caudal en una turbina de flujo transversal o Michell-Banki. A tal fin se utilizó una pequeña turbina hidráulica desarrollada en el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Universidad Nacional del Comahue, a la cual se le acopló aguas arriba una Válvula Mariposa con acople tipo *wafers* para cañería de 6 pulgadas de diámetro. Se buscó cuantificar de manera experimental la influencia que tiene, en cuanto a la eficiencia de la turbina, la utilización de esta válvula para la regulación del caudal turbinado.

La rutina de trabajo consistió en regular el caudal mediante la válvula y relevar los parámetros resultantes. Una vez procesados los mismos, se contrastaron con los resultados del ensayo de la turbina sin regulación aguas arriba. Se ha podido constatar que la regulación realizada mediante dicha válvula tiene un comportamiento aceptable para aperturas superiores al 50 %.

### Introducción

La turbina de flujo transversal es una máquina utilizada principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Esta turbina consiste en un rotor de forma cilíndrica que descansa sobre un eje horizontal. Los álabes del rodete están sobre la periferia de éste; una tobera de sección rectangular guía el agua hacia el rodete, ya sea vertical u horizontalmente. Existen varias geometrías de inyectores y sistemas de regulación como el que se aprecia en la figura 1. En este diseño, el álabe regulador divide el flujo en dos partes, una superior y otra inferior, que se van reduciendo a medida que se cierra el álabe. En definitiva, este álabe regulador actúa como una válvula que controla el caudal, pero este diseño encarece la construcción de la turbina ya que la geometría del álabe es complicada y laboriosa de fabricar.

Generalmente la regulación de la apertura de este álabe se realiza en forma manual o servoasistida, mediante un mecanismo de tornillo sin fin y manivela o caja reductora, y por lo tanto la regulación del caudal será discreta y no responderá a una variación instantánea de la potencia, sobre todo si se trata de una turbina de muy baja potencia donde no existe mecanismo de regulación automática.

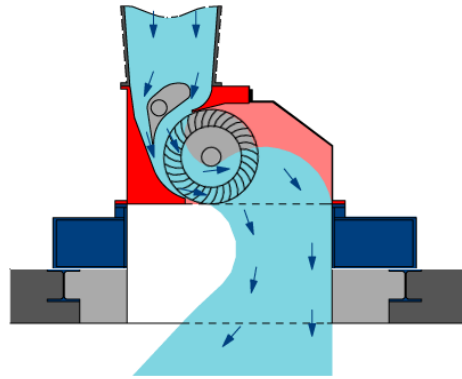


Figura 1

Una alternativa a este ábame regulador podría ser una turbina sin este dispositivo de control y regular el caudal con una válvula mariposa a la entrada de la turbina, de la misma manera que se hace con el ábame regulador mencionado.

En el presente trabajo se exponen los resultados de una investigación experimental respecto a la regulación primaria que se hace sobre el caudal en una turbina de flujo transversal o Tipo Michell-Banki.

El programa de trabajo fue elaborado a fin de poder cuantificar de manera experimental la influencia que tiene, en cuanto a la eficiencia de la turbina, la utilización de una Válvula Tipo Mariposa en la regulación primaria o "Regulación Gruesa" del caudal de entrada.

La turbina utilizada es del tipo de flujo transversal o Michell-Banki, de un diámetro de 200 mm (Marchegiani et.al., 2003) a la cual se le acoplo aguas arriba de la misma una Válvula tipo Mariposa con acople tipo Wafer para cañería de 6 pulgadas de diámetro (figura 2).

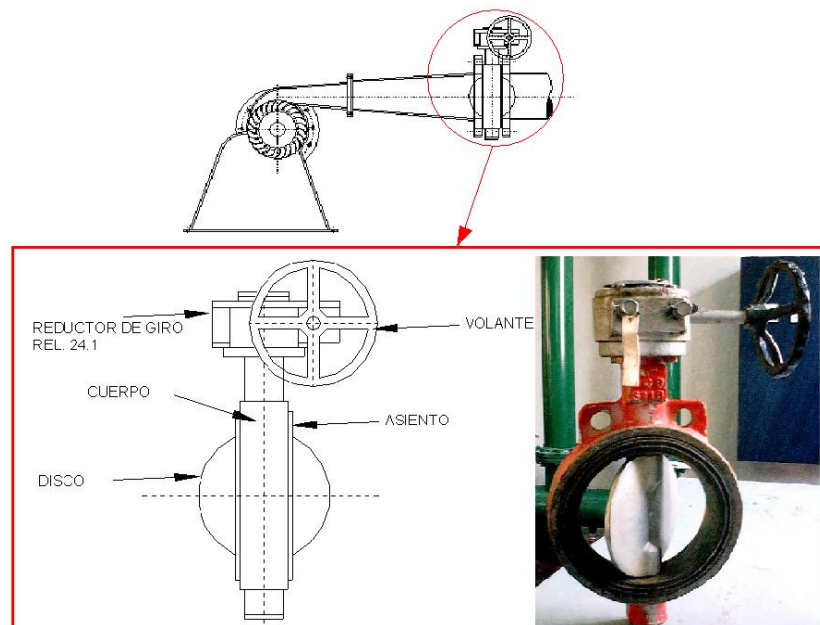


Figura 2: Esquema y vista de la Válvula Mariposa acoplada a la Turbina

Como objetivo de la investigación se buscó, no solo ponderar lo mencionado, sino analizar la posibilidad de utilizar estos resultados en el diseño de equipos de regulación electrónicos

tipo mixto (kurtz et al 2005a), es decir control de tensión generada por variación de caudal y compensación por carga balasto en derivación (kurtz et al 2005b).

### Procedimiento Experimental

La rutina de trabajo consistió en hacer la regulación del caudal que ingresa a la turbina mediante el movimiento de la válvula. A partir de ello se fueron relevando los distintos parámetros resultantes. Una vez procesados los mismos se contrastaron con los resultados que arrojó la turbina para el caso sin regulación aguas arriba.

Los ensayos de la turbina fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue. En la figura 3 puede observarse la turbina durante el ensayo.

El ensayo se realizó para una altura neta de 13,5 m y un rango de caudales a fin de determinar la influencia de la regulación mediante la válvula mariposa. Los métodos de medición fueron aplicados conforme a las reglas de la IEC, la BSI, y la DIN.

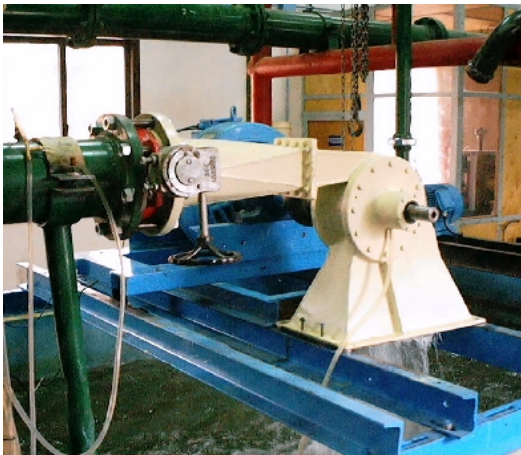


Figura 3: Ensayo de turbina Banki

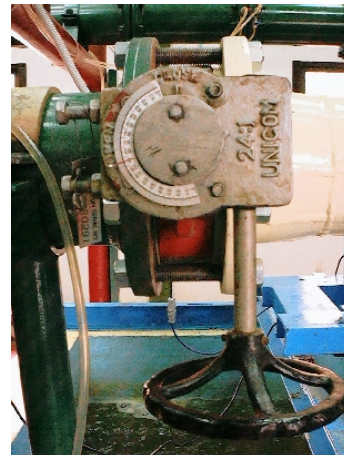


Figura 4: escala de regulación de la apertura

Se utilizó una válvula mariposa marca UNICOM con reductor de giro de relación 24 a 1, de 6 pulgadas de diámetro, a la que se dotó de una escala para la medición del ángulo de apertura, como se aprecia en la figura 4. Se realizaron ensayos para aperturas de la válvula del 20% al 100% con variación del 10%, y se determinaron el rendimiento óptimo y la potencia en el eje de la turbina con su correspondiente punto de operación para cada apertura de la válvula.

### Análisis de los Resultados Experimentales

Los resultados fueron analizados y combinados en distintos diagramas que dan un conocimiento acabado del funcionamiento de la turbina para cada apertura de la válvula.

La performance de una turbina hidráulica es medida por su rendimiento. En general el rendimiento es una indicación de que porcentaje de la potencia entregada por el agua a la turbina es transformada en potencia mecánica en el eje.

La potencia entregada por el agua fue medida a través de la presión a la entrada de la turbina y el caudal turbinado. Se relevaron los distintos parámetros y se analizaron

estadísticamente a fin de obtener las curvas de potencia en el eje y rendimiento versus el caudal. En la figuras 5 y 6 se observa lo antes dicho para una apertura del 70%.

Se observa que hasta una apertura de la válvula de 50% el comportamiento es bastante parejo para luego descender bruscamente en las sucesivas aperturas.

Lo mismo sucede con la potencia en el eje, como se observa en la figura 8.

Para las aperturas ensayadas de 20% y 40%, el rendimiento y la potencia caen significativamente. Esto es acompañado por una inestabilidad en el funcionamiento de la turbina y por una reducción en el rango de caudales utilizables.

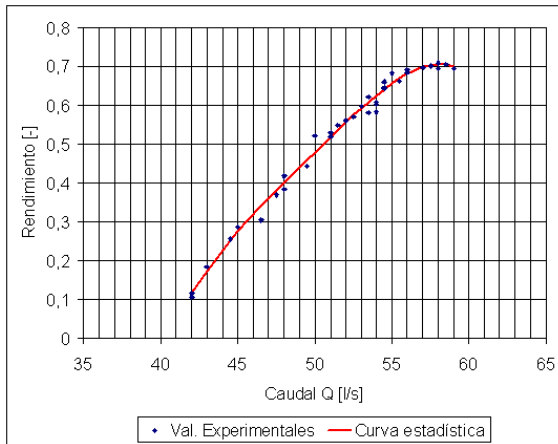


Figura 5: rendimiento vs. Caudal para  $A_0=70\%$

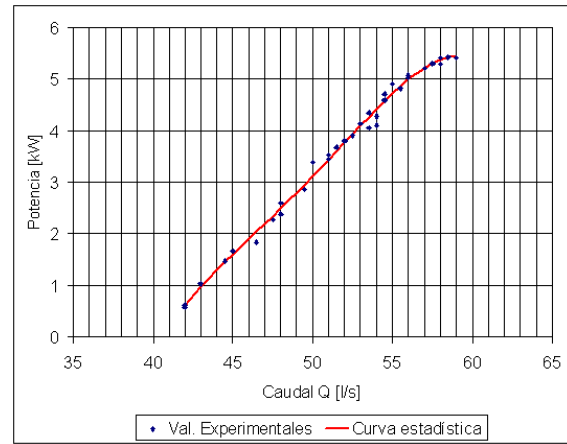


Figura 6: Potencia vs. Caudal para  $A_0=70\%$

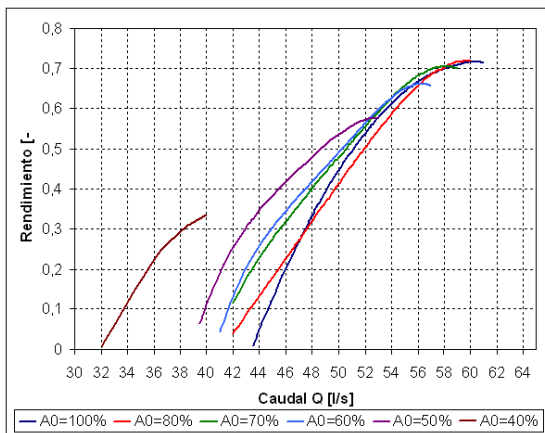


Figura 7: Rendimiento. vs. Caudal para distintas aperturas de la válvula.

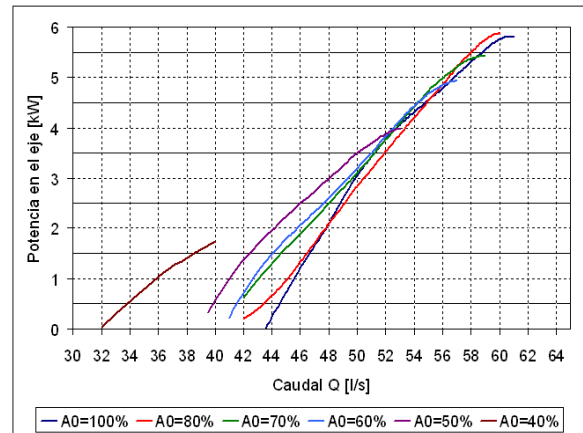


Figura 8: Potencia vs. Caudal para distintas aperturas de la válvula

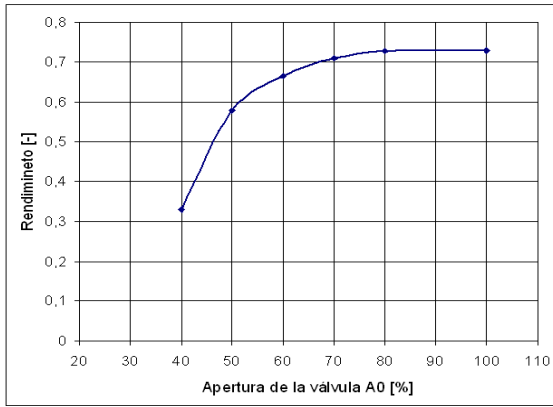


Figura 9: rendimiento vs apertura de la válvula  $A_0$

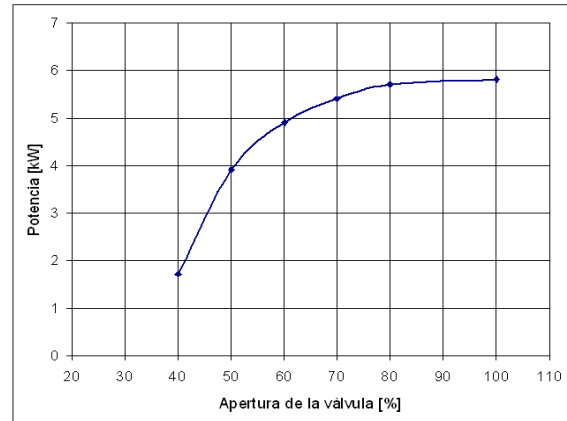


Figura 10: Potencia vs. Apertura de la válvula  $A_0$

En la figura 10 se observa el mismo comportamiento para la potencia de la turbina en sus puntos de óptimo rendimiento. Además de este comportamiento, se analizó como influye la apertura de la válvula en la velocidad de rotación de la turbina. Aquí vuelve a evidenciarse el mismo comportamiento que en los otros parámetros, el número de revoluciones óptimo se mantiene prácticamente constante hasta un 50% de la apertura del regulador, para luego caer rápidamente, como se observa en la figura 11.

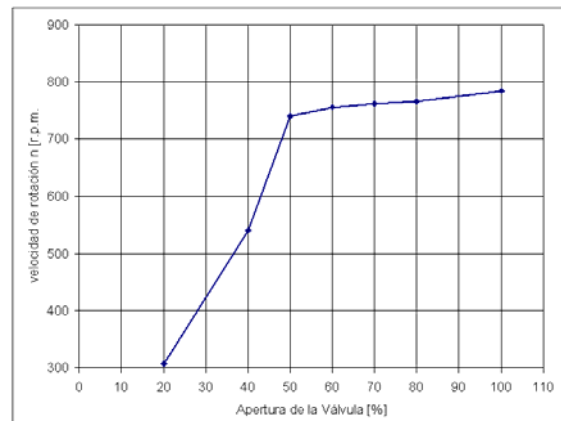


Figura 11: Velocidad de rotación vs. Apertura de la válvula  $A_0$ .

Esto es problemático desde el punto de vista de la regulación ya que no se podrá mantener la frecuencia para aperturas menores.

### Modelación Numérica

A fin de observar la influencia de la válvula en la distribución de presiones y velocidades se la modeló numéricamente.

A la entrada se impuso la presión dada por el salto que aprovecha la turbina. A la salida se impuso una presión relativa igual a cero. Las velocidades sobre las paredes sólidas se asumen igual a cero (Marchegiani et.al., 2003).

La simulación numérica se llevó a cabo mediante el software para aplicaciones de CFD, FLUENT 6.2.

Para la modelación de flujo turbulento se utilizó un modelo del tipo *eddy viscosity* (hipótesis de Boussinesq) donde la viscosidad turbulenta se obtiene a partir de dos cantidades, la energía cinética turbulenta y la disipación turbulenta resueltas mediante dos ecuaciones en derivadas parciales ( $\kappa$ - $\epsilon$ ). Las condiciones de contorno a aplicar sobre estos campos en las inmediaciones de contornos sólidos responden a la ley de pared.

Se simularon las distintas aperturas que se ensayaron experimentalmente desde 100% a 20% obteniéndose en cada una de ellas el desarrollo del flujo dentro del inyector y la transición.

La distribución de presión y velocidad fue calculada en cada punto de la malla computacional. El campo de presión resultante en el inyector ayuda a predecir el comportamiento del flujo frente a una maniobra de la válvula.

En las figuras 12, 13 y 14 se observan los campos de presiones, velocidades y líneas de corriente para una apertura del 60%.

Se observa que el flujo se estabiliza antes de llegar a la entrada del inyector, es decir que la longitud de la transición permite que el desarrollo del flujo se estabilice, como lo demuestran las líneas de corriente.

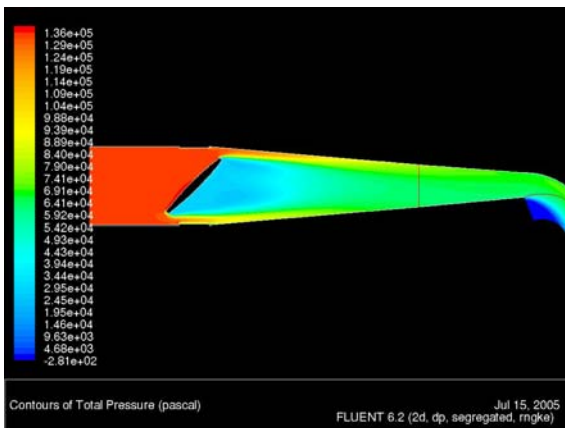


figura 12: campo de presiones –  $A_0=60\%$

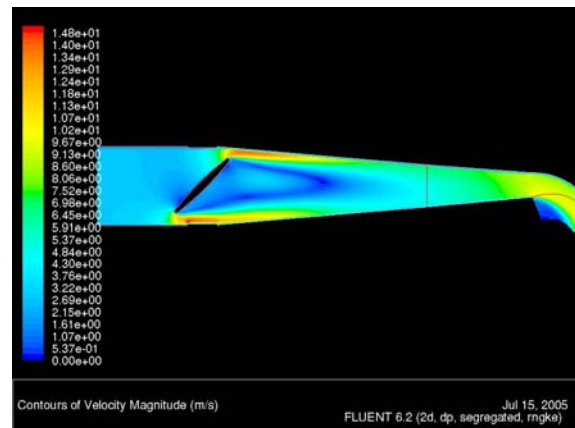


figura 13: campo de velocidades –  $A_0=60\%$

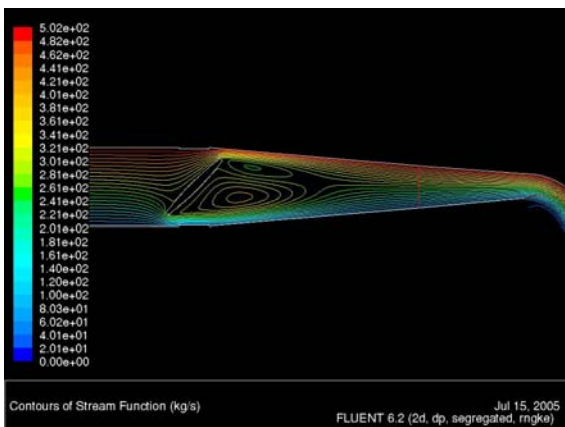


figura 13: líneas de corriente –  $A_0=60\%$

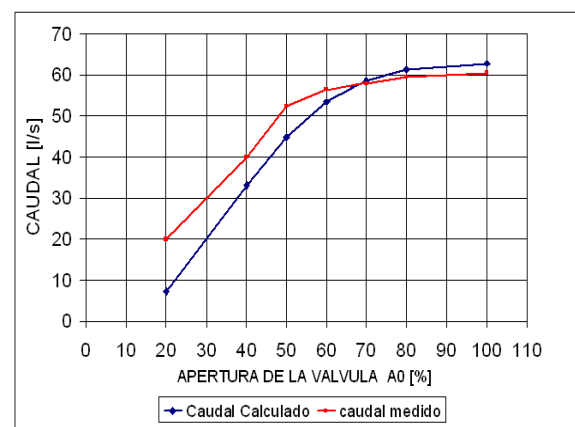


figura 14: comparación del caudal medido con el caudal calculado para distintas aperturas

La comparación de los valores experimentales con los resultados de la simulación arroja buenos ajustes para las aperturas hasta el 60%. Para aperturas menores el caudal medido es mayor al calculado, como se aprecia en la figura 14.

Tanto los resultados experimentales, como los caudales calculados por simulación computacional dan cuenta de una brusca disminución a partir del 50 % de apertura de la válvula.

En el caso de las presiones dentro del inyector también se evidencia una marcada disminución a partir de la misma apertura. En la figura 15 puede verse el desarrollo de las presiones a la entrada del inyector.

Este patrón de disminución vuelve a repetirse en los perfiles de velocidades a la entrada del inyector, donde, para aperturas desde el 100% hasta el 50%, los perfiles son similares, decreciendo en magnitud en forma gradual como se observa en la figura 16. A partir de este porcentaje la disminución de las velocidades se produce en forma rápida.

Desde el punto de vista de los esfuerzos intervinientes en la regulación, la utilización de la válvula mariposa presenta torques elevados para pequeños valores de apertura  $A_0$ , disminuyendo considerablemente a medida que se acerca a la apertura total. En la figura 17 se han representado los valores de momento en el eje de la válvula para las diferentes aperturas de ésta

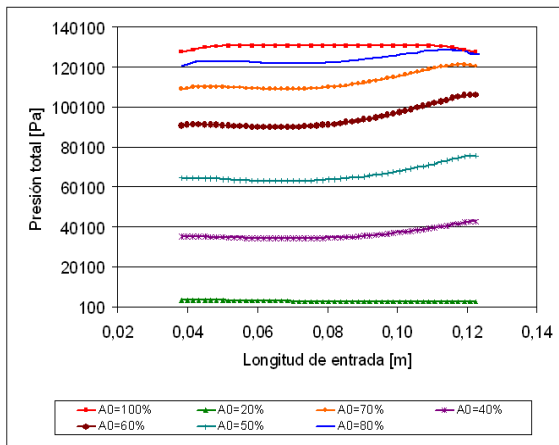


Figura 15: Presiones a la entrada del inyector para distintas aperturas

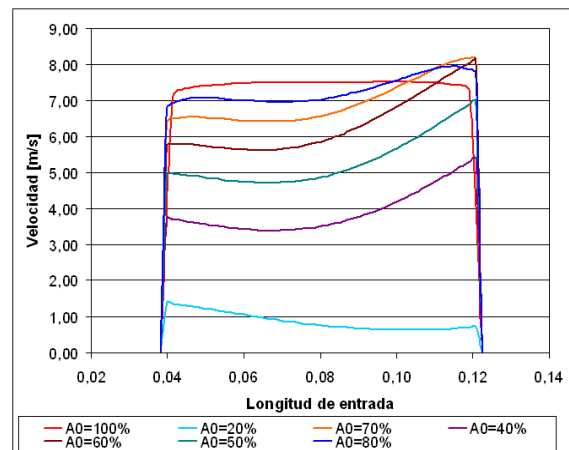


figura 16: Perfiles de velocidad a la entrada del inyector

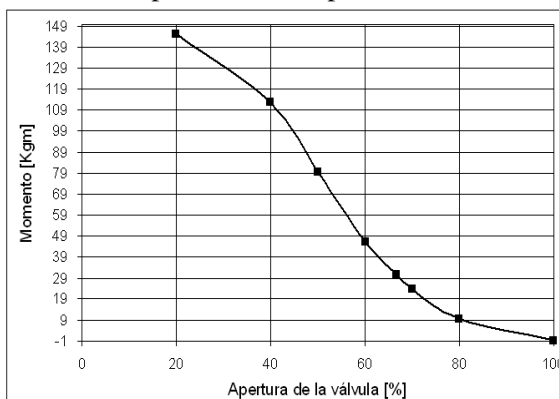


Figura 17: Torque en eje de la válvula para distintas aperturas

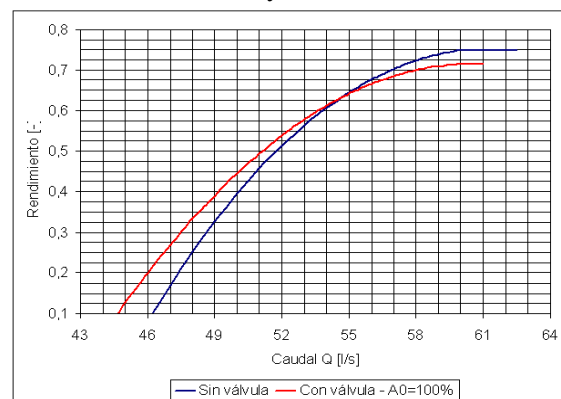


Figura 18: Comparación de rendimientos–  
 $A_0=100\%$

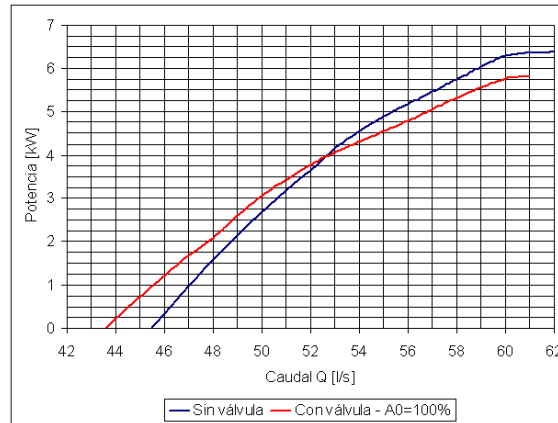


Figura 19: Comparación de potencias –  $A_0=100\%$ .

### Influencia de la Válvula en Apertura Total

Otra de las comparaciones realizadas es el comportamiento de la turbina con válvula instalada y sin ella. Se pudo observar una disminución del rendimiento para una apertura del 100% del orden del 0.05 %. Como consecuencia de esto también se produce una disminución de la potencia, lo que se puede observar en las figuras 18 y 19. Esto es una consecuencia lógica de interponer un cuerpo en la trayectoria de un flujo., aumentando las superficies de rozamiento y choque, con sus consecuentes pérdidas de carga.

### Conclusiones

A lo largo este trabajo, se ha analizado el comportamiento de una válvula mariposa como elemento regulador del caudal en una turbina de flujo transversal o Michell-Banki.

Se ha podido constatar que la regulación realizada mediante dicha válvula tiene un comportamiento aceptable para aperturas superiores al 50 %. Para estas aperturas, el flujo dentro de la turbina no es perturbado en gran medida, con lo que los rendimientos y las potencias correspondientes no se ven afectados de manera significativa. De las simulaciones numéricas surge que el flujo se estabiliza después de la válvula, en la transición que une la tubería con el inyector. Los resultados numéricos arrojan, a la entrada del inyector, un perfil de velocidades y un perfil de presiones acorde con un funcionamiento normal esperado en este tipo de máquinas.

A partir del 50% de apertura, y para aperturas menores se evidencia un marcado descenso del rendimiento y consecuentemente una reducción de la potencia. Todo esto es acompañado por una inestabilidad en el funcionamiento de la turbina, lo que se pudo constatar en el banco de ensayos.

Es significativo comprobar que hasta un 50% de la apertura de la válvula, la velocidad de rotación de la máquina se mantiene bastante estable en valores próximos a los de diseño, para luego caer bruscamente, cuando se reduce la apertura de ésta.

Como conclusión del mismo se puede mencionar que el comportamiento de esta válvula utilizada como regulación primaria de caudal en una turbina de flujo transversal, es bastante aceptable y que, dada la gama de potencias de aplicación en el rango de las pico turbinas, se puede inferir que si la misma es acoplada en un punto del circuito que permita una buena readecuación de las líneas de corriente al ingreso del inyector, prácticamente no



tendrá influencia en el rendimiento global de la turbina. Esta conclusión nos lleva a decir, que para una "regulación gruesa o primaria" del caudal tanto manual o automática, es factible utilizar válvulas mariposas de características standard y muy accesibles en el mercado.

La implementación de una válvula de entrada, permite interrumpir el flujo de agua para cesar la generación o efectuar mantenimiento en la turbina.

En el caso de un válvula de entrada electroservoasistida, no solo es posible implementar una regulación automática de la generación eléctrica generada, sino controlar el sistema a distancia (Kurtz 2003).

## Referencias

Arter A. Widmer R. Nakarmi K. (1993). The T3M Cross Flow Turbine. (SKAT).

Victor H. Kurtz y Fernando Botterón, (2005) *Alternativa para el Control de Cargas Balasto*, Anales del XI encuentro latinoamericano en pequeños aprovechamientos hidroenergéticos, XI ELPAH, noviembre 2005, <http://www.mec.utfsm.cl/elpahchile/es/index.php>.

Marchegiani A. Audisio O. (2003). *Diseño, Construcción y Ensayo de una Turbina de Flujo Transversal para Generación Eléctrica en Sitios Aislados. X ELPAH*. Poços De Caldas. Brasil.

Víctor H. Kurtz y Héctor R. Anocibar, (2005) *Sistema mixto para el control de la generación en micro centrales hidroeléctricas*, Anales del XI encuentro latinoamericano en pequeños aprovechamientos hidroenergéticos, XI ELPAH, noviembre 2005, <http://www.mec.utfsm.cl/elpahchile/es/index.php>

Victor H. Kurtz (2003) *Telemando para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*, Anais do X Encontro Latino-Americano e do Caribe em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos, X ELPAH – . Poços De Caldas, Minas Gerais Brasil