

# DISEÑO DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA TIPO PELTON PARA FABRICACION EN LA INDUSTRIA LOCAL

Lucio PONZONI, Ariel Ricardo MARCHEGIANI  
Laboratorio de Maquinas Hidráulicas (L.A.M.HI.)  
Dpto. de Mecanica Aplicada  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE  
Calle Buenos Aires 1400  
(8300) NEUQUEN - ARGENTINA  
TE 54-299-4490300 Int. 404  
e-mail: [marchegi@uncoma.edu.ar](mailto:marchegi@uncoma.edu.ar)

## RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó una microturbina capaz de adaptarse a las regiones de la pre-cordillera de la provincia del Neuquén y aledañas. Los saltos y caudales frecuentes de encontrar en esas regiones rondan entre los 15 y 35 mts, y de 7 a 10 lts/s respectivamente. Luego de hacer un análisis crítico de las diferentes clases de microturbinas hidráulicas existentes se concluyó que la mejor opción era una microturbina tipo Pelton.

Se diseñaron desde sus principios todas sus partes empleando materiales y piezas estándares fáciles de conseguir en la región.

Además, se hace un análisis económico para analizar la viabilidad de producción de esta microturbina en la zona.

Este trabajo contempla la mayoría de las consideraciones que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar una microturbina hidráulica, intentando ser una guía para futuros desarrollos de máquinas similares en la región.

**Palabras clave:** Microturbina, Pelton, Microaprovechamiento hidroeléctrico, Diseño, turbina hidráulica, unidad hidroeléctrica .

## INTRODUCCIÓN

Una instalación hidroeléctrica se caracteriza, desde el punto de vista económico-financiero, por su elevado costo de inversión inicial y su bajo costo operativo frente a su alternativa de comparación, en general una central térmica convencional, la que posee un elevado costo de funcionamiento y mantenimiento.

Este elevado costo inicial y un real sentido de la disponibilidad de los recursos, hizo que en un principio solo los sitios que ofrecían condiciones óptimas desde los puntos de vista hidráulicos, hidrológicos, geológicos, etc., fueran aprovechados como emplazamientos para generar hidroelectricidad. Sin embargo, el agotamiento de estos lugares, la conciencia de que los recursos no renovables realmente no se renuevan y por último, unas escaladas de costos en el precio de los combustibles líquidos, cuyo tope no se vislumbra, han hecho revertir las premisas iniciales y así actualmente, recursos que anteriormente eran desechados, son nuevamente analizados a la luz de elementos cambiantes de evaluación económica.

La República Argentina, y en especial la zona cordillerana de ésta, posee recursos hídricos de gran potencial para ser desarrollados a través de pequeños aprovechamientos hidroenergéticos, como una alternativa para la producción de energía eléctrica confiable y a bajo costo en sitios aislados. En este contexto juegan un papel fundamental las máquinas de fabricación local (Marchegiani y Audisio, 2004).

## PLANTEO DEL PROBLEMA:

El diseño y desarrollo de este pequeño grupo generador estará circunscrito a tener en cuenta las siguientes premisas básicas:

- a).- Diseño sencillo y económico.
- b).- Rendimiento aceptable.
- c).- Posibilidades de fabricación en establecimientos industriales locales.
- d).- Fácil montaje, mantenimiento y operación de la misma.

Todas estas pautas se encuadran dentro del concepto de "Tecnología Apropiada"; este término fue tomado en cuenta seriamente y como objetivo básico es el de un diseño apropiado y adaptado a la capacidad de los pequeños talleres industriales de la zona.

## PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO:

En la zona cordillerana de Río Negro y Neuquén existen recursos hídricos donde alturas que oscilan entre 15 y 35 metros y caudales disponibles de hasta 50 l/s son fácilmente obtenibles y además existen costos de transmisión que pueden ser muy altos en comparación del costo de producción.

Para llegar a obtener el valor límite del campo de aplicación se debió realizar, previamente, un relevamiento de los recursos hídricos de la zona de posible aplicación de la máquina.

Además, para llegar a estos parámetros límites tuvo en cuenta que para una casa ubicada en un lugar aislado de la zona cordillerana antes mencionada y habitada por una familia tipo, se tiene un consumo promedio de 1,5 Kw; a esto habría que agregarle la posibilidad de que exista algún motor eléctrico que acciona ya sea una máquina para aserrar leña, una bomba de agua, etc.

Como conclusión de este análisis se llega a los siguientes parámetros operativos límites:

Rango de Altura: 15 a 20 metros  
Rango de Caudales: 7 a 15 l/s.

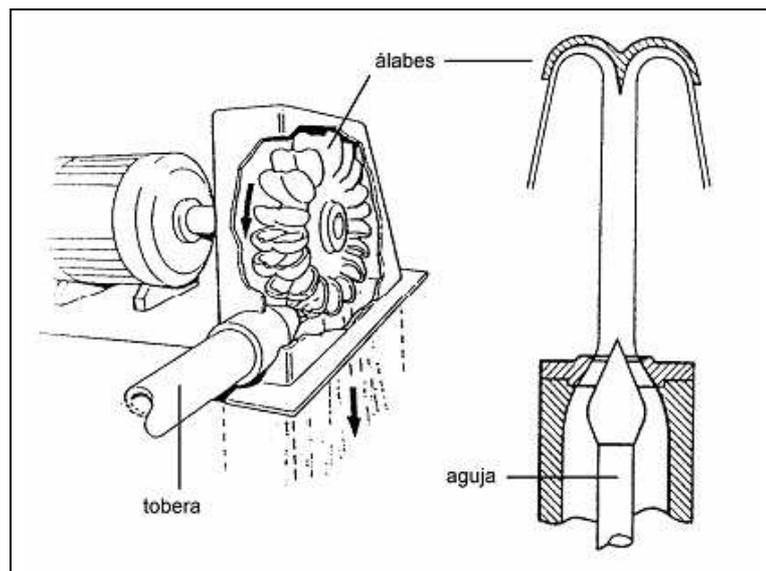
Estos rangos de operación cubren un gran espectro de los pequeños recursos hídricos existentes de la zona de estudio.

## DISEÑO DE LA TURBINA

De acuerdo al análisis de caudales y alturas y de la baja potencia necesaria, y siempre teniendo en cuenta las premisas básicas expuestas anteriormente, se determinó que dentro de los distintos tipos de máquinas que podrían cubrir estos rangos, la más conveniente por su simplicidad de construcción, principalmente, es la turbina tipo Pelton.

La turbina Pelton es una máquina utilizada principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Consiste fundamentalmente en un rotor que descansa sobre un eje horizontal. Los álabes del rodete están sobre la periferia de este; una tobera de sección circular guía el agua hacia el rodete (figura 1).

El torque es generado por la deflexión del chorro en las cucharas del rotor. Es por esto que la turbina Pelton es también llamada Turbina de Chorro Libre. La turbina Pelton es una máquina de acción y por lo tanto la transformación de la energía se hace a presión atmosférica, por lo que su carcasa solo cumple la función de evitar salpicaduras y enviar el agua a la descarga.



**Figura 1: Turbina Pelton**

## DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA DISEÑADA

El proyecto consistió en el desarrollo de una microturbina hidráulica que se adapte a las características mencionadas anteriormente, es decir que se adapte a bajos caudales (tomando como valor de referencia de 7 l/s) y alturas medias (tomando como valor de referencia 22 m). La microturbina fue concebida para generar una potencia de 1.2 a 2 kW. Los parámetros medios de diseño que se tomaron para esta microturbina fueron inferidos en función de las condiciones geográficas, (cuencas, ríos, arroyos, precipitaciones, etc.) del interior (precordillera) de la provincia del Neuquén.

El objetivo de esta máquina fue asociarla con un generador eléctrico que pueda producir una potencia suficiente como para satisfacer las necesidades básicas eléctricas de viviendas rurales de la provincia del Neuquén y/o alrededores, que no estén provistas de este servicio básico. Se quiere de esta forma mejorar la calidad de vida de las personas que vivan en esas zonas.

El diseño fue llevado a cabo según la bibliografía tradicional (Mataix Claudio, 1975), (Shigley, J & Mischke, C. 1990). La selección del concepto solución se llevó a cabo teniendo en cuenta distintas soluciones planteadas.

Luego, en función de las ventajas y desventajas de cada solución y su relación con las especificaciones expuestas en los puntos anteriores, se optó por:

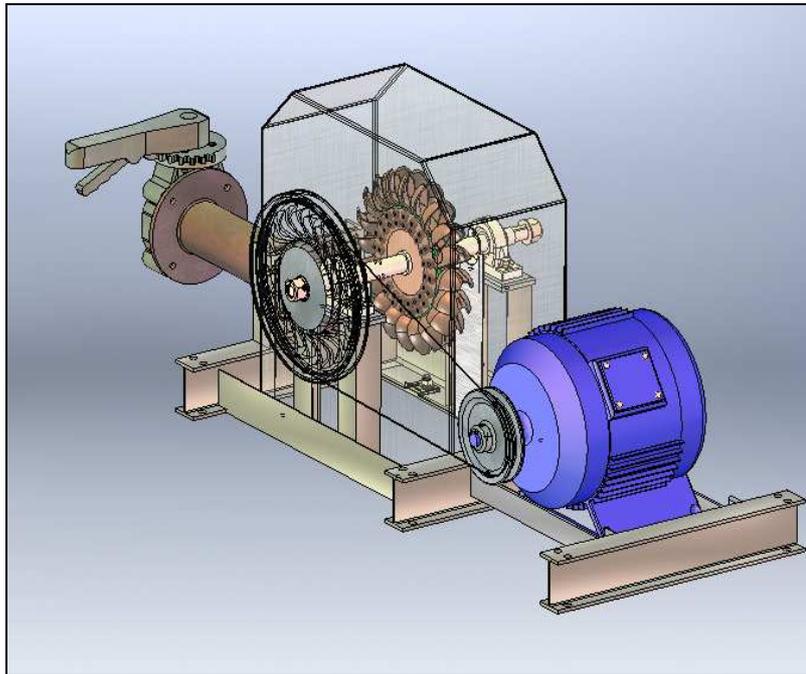
- Sistema de admisión parcial
- Sin tubo de aspiración
- Posición del eje de la máquina horizontal
- Cantidad de inyectores: 1 (uno)
- Regulación del caudal, manual por intercambio de boquillas.
- Entrada del agua a la máquina axial.
- Acople del generador en forma indirecta, por medio de poleas y correas.

Así se llegó a una máquina de las siguientes características (tabla 1):

Parámetro	Valor
Altura Neta $H_n$	22 m
Caudal $Q$	7 l/s
Potencia en el eje	1.5 kW
Velocidad Específica ( $ns_0$ )	22.8
Velocidad de rotación $n$	750 rpm
Diámetro Característico $D$	220 mm
Diámetro de la Boquilla $d$	25 mm
Nº de álabes	20
Relación de Transmisión	1:2

**Tabla 1:** características de la máquina diseñada

A continuación se muestra un vista general del conjunto/máquina armada (figura 2), en ella se puede observar una máquina de aspecto robusto pero a la vez atractivo en el diseño. La mayoría de sus componentes son estándar y de fácil construcción, incluso las cucharas si se dispone del molde para fabricarlas. Su diseño compacto y de bajo peso permite un cómodo traslado de la misma. Esta máquina se diseñó para que su mantenimiento sea lo bastante fácil como para que no se requiera de personal calificado, además todas las piezas se pueden cambiar en forma sencilla y sin herramientas especiales.



**Figura 2:** diseño de la unidad Turbina - Generador

La turbina está pensada para acoplar a un generador estándar de 2 kW o bien puede acoplarse a un motor asíncrono utilizado como generador, en el cual habrá que prever el banco de capacitores correspondientes.

### REGULACIÓN DE LA TURBINA

La regulación de la generación será realizada mediante un sistema electrónico que trabaja en el modo de derivación de cargas en forma automática hacia el banco de resistencia que lleva incorporado. El banco de resistencias disipa la energía al medio ambiente calentando el aire circundante o agua para uso doméstico. Se basa en un dispositivo electrónico microcontrolado destinado a regular frecuencia por absorción de carga. El regulador de frecuencia mide la frecuencia de línea y adecua el valor de la carga secundaria (resistencias) para mantener la frecuencia constante. Es posible programar diferentes parámetros

del regulador en función del comportamiento global del sistema generador e incorporar dispositivos auxiliares (indicadores, instrumentos de medición, alarmas).

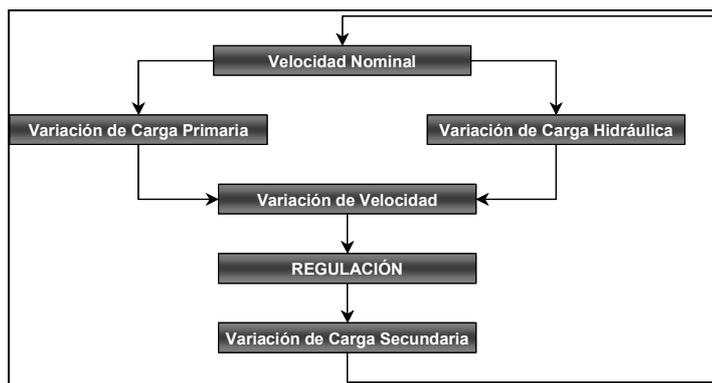


Figura 3: Esquema del Principio de Funcionamiento

El diagrama anterior ilustra el principio de funcionamiento del regulador de frecuencia a caudal constante. Como puede apreciarse, cualquier modificación en la carga primaria o en la carga hidráulica se traduce en una variación de la velocidad de la máquina. Es aquí donde actúa el sistema regulador, conectando carga secundaria si la frecuencia se encuentra debajo del límite inferior establecido (por ejemplo 49.5 Hz), o disminuyendo el valor de ésta si la frecuencia excedió el límite superior programado (por ejemplo 50.5 Hz). Si el valor de la frecuencia se encuentra dentro del rango mencionado, no se modifica la cantidad de carga secundaria conectada al sistema. Todas estas acciones tienen como objetivo mantener la velocidad de la máquina en su valor nominal y corregir las posibles variaciones en la frecuencia de la línea.

### EVALUACIÓN DE COSTOS

La operación de una micro central es más simple y barata que una instalación diesel. Una de las mayores desventajas de este tipo de aprovechamientos es su alto costo de capital.

LISTADO DE PARTES				
Partes	Características	Observaciones	Cant.	Costo \$
<b>Motor/generador</b>	Marca: MEZ-IESA, modelo 4APJC 71-4S	Rotor bobinado, 4 polos, 1500 rpm, monofásico.	1	260.00
<b>Regulador de Carga</b>	TRACE C-40	Cosφ 0.65, η=0.5 Electrónico	1	450.00
<b>Transmisión</b>	Poleas	Diámetro de la polea conductora 280 mm, conductora y 140 mm conducida	2	30.00
	Correa tipo V	N°64 Sección A	1	16.60
<b>Turbina/afines</b>	Materiales (rodete-cucharas)			166.00
	Válvula mariposa 3"		1	50.00
	Rodamiento FAG 60 05 2Z		2	20.00
	Soporte UCP 16005		2	46.60
	Pintura			20.00
	Bulones, tuercas arandelas		2 Kg	15.00
	Barra de acero 1030, Φ 35 mm		0.5 m	6.60
	Chapa 2mm (carcasa)		4 m2	96.60
	Perfil IPE 80		2 m	11.60
	Perfil L 45.6		1.5 m	8.00
Perfil L 60.5		2 m	0.10	
Planchuela 60 x 10		0.4 m	1.60	
<b>Mano de Obra</b>	En talleres de la zona		1	1000.00
<b>Ingeniería</b>	En fc. De horas de diseño		1	700.00
<b>Costo Total \$</b>				<b>\$2900.00</b>

Tabla 2: Costos totales de la unidad hidroeléctrica completa

Para obtener el costo de los materiales estándares utilizados, se consultó a los principales proveedores de la zona y se constataron sus precios con otras importantes empresas vía Internet. Los costos totales están dados en la tabla 2.

Aunque el precio a la venta pueda parecer elevado, éste no lo es tanto si se compara con el precio de una microturbina importada de características similares, cuyos valores en el mercado (precio FOB) ronda los U\$S 5000,-, es decir unos 15000 pesos.

Por otra parte, el costo del kilowatt instalado es de U\$S 1930,-. Estos costos son competitivos con la generación diesel, además del beneficio que trae aparejado la sencillez de operación y mantenimiento de esta instalación.

### Rentabilidad y Punto de Equilibrio de Producción

En este punto se proyecta el nivel de producción mínimo de microturbinas para que el proyecto sea sustentable en el tiempo.

A partir de la modelización de los costos, se enfoca el análisis de la determinación del nivel de actividad mínimo de producción para que los costos sean iguales a los ingresos. Desde dicho punto el proyecto comienza a ser rentable.

Hipótesis:

- Precio de venta no cambian en los períodos.
- No se acepta la ventaja de la economía de escala, es decir, no se contempla mejoras tecnológicas en la producción.

Para hallar el punto de equilibrio se debe encontrar la expresión matemática de las curvas de Costo Total y de Ingresos, y luego encontrar la intersección de ambas curvas. Las curvas tienen las siguientes expresiones:

$$C_T = C_F + C_V \cdot q$$

$$I = p \cdot q$$

$$B = I - C_T$$

Para este proyecto:

$$p = 2900 \text{ \$/microturbina}, C_v = 1200 \text{ \$/microturbina}, C_F = 1000 \text{ \$/mes}$$

Graficando las expresiones anteriores en un mismo gráfico obtenemos el punto de equilibrio (figura 4).

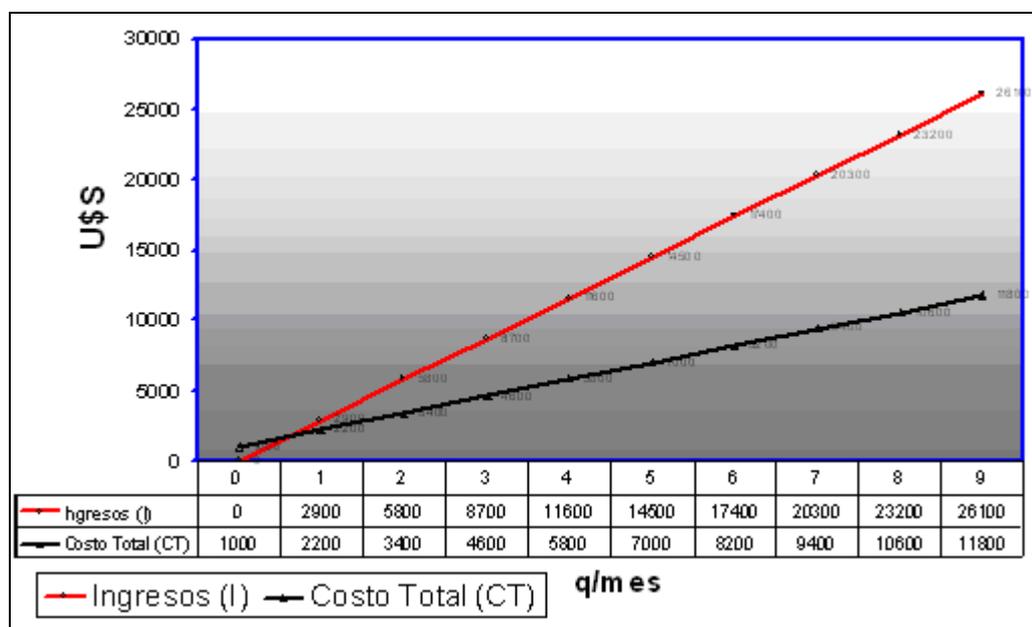


Figura 4: Punto de equilibrio

El punto de equilibrio se obtiene cuando se alcanza una producción de 0.43 microturbinas al mes, esto se interpreta que si se produce por encima de 0.43 microturbinas mensuales la producción es rentable. En la tabla 3 se muestra el beneficio que se obtiene para una producción de 1 microturbina por mes.

Los cálculos anteriores se hicieron en base a las siguientes hipótesis:

- Se estimó vender 1 microturbina mensual (12 anuales) durante la vida del proyecto.
- Se estimó que las ventas se mantengan constantes a lo largo del año.
- No se consideró inflación.
- Se supuso que todos los insumos y mano de obra serán locales.
- Se consideraron desperdicios nulos.

	q (microturbinas por mes)	Ct (\$)/mes	Ing (\$)/mes	Beneficio \$/mes
Punto de Equilibrio	0.59	1705.00	1705.00	0.00
Punto de Producción	1	2200.00	2900.00	700.00

Tabla 3: Beneficios de Producción

## CONCLUSIONES

En base a resultados logrados puede decirse que la turbina Pelton presenta una alternativa favorable en cuanto a su aplicación a pequeños aprovechamientos hidroenergéticos.

Se puede ver que desde el punto de vista de la rentabilidad, este proyecto es bastante atractivo, sí bien el análisis es bastante somero y solamente estimativo, no deja de ser un punto más a favor para analizar su desarrollo como condición de emprendimiento.

Las ventajas inherentes a su concepción y diseño hacen factible su fabricación en industrias locales que no posean tecnologías de producción complejas; además, esto otorga una seguridad respecto de la disponibilidad de repuestos, lo cual puede definir, en muchos casos, la aplicación del equipamiento propuesto.

En situaciones de aplicación como las expuestas, donde los equipos deben brindar un servicio confiable en condiciones de trabajo continuo y escaso mantenimiento, el equipamiento empleado debe tener robustez y confiabilidad.

La situación actual, muestra claramente que las posibilidades de un país de acceder a niveles acordes en la calidad de vida, está íntimamente ligada a la condición indispensable de marchar hacia una tecnificación creciente de los procesos, de manera tal de permitir a través del mayor valor agregado de la producción y la educación, el saneamiento de su economía y la generación de trabajo y recursos para la sociedad.

## REFERENCIAS

$H_n$ :	Altura Neta (m)
$Q$ :	Caudal ( $m^3/s$ )
$P$ :	Potencia en el eje (kW)
$ns_q$ :	Velocidad específica ( $m\text{-}m^3/s\text{-}r.p.m$ )
$n$ :	Velocidad de rotación (r.p.m)
$D$ :	Diámetro Característico (mm)
$d$ :	Diámetro de la Boquilla (mm)
$C_T$ :	Costo Total (U\$\$/mes)
$C_v$ :	Costo Variable unitario (U\$\$/unidad de producción)
$C_F$ :	Costo de mano de obra (U\$\$/mes)
$I$ :	Ingreso por ventas (U\$\$/mes)
$q$ :	Nivel de Producción en unidades de producción por mes (unidades/mes)
$p$ :	Precio (U\$\$/unidad de producción)

## BIBLIOGRAFIA

Ariel R. Marchegiani, Orlando A. Audisio. (2004). Diseño, Construcción y Ensayo de una Turbina de Flujo Transversal para Generación Eléctrica en Sitios Aislados. Pch Noticias & Sph News. Año 6 N°21. Cerpch, Brasil.

Mataix Claudio.(1975) Turbomáquinas Hidráulicas Edit:ICAI. Madrid. Cap: 13-7.

Shigley, J & Mischke, C. (1990). Diseño en Ingeniería Mecánica. Edi: McGraw- Hill: España.

## ABSTRACT

In the present work, a micro turbine capable of being adapted to the mountain region of Neuquén and the nearby provinces has been designed. The falls and flow found in these regions round between 15 to 35 meters, and 7 to 10 liters per second respectively. After some deep analysis on the existing hydraulic micro turbines types, it has been concluded that a Pelton type of micro turbine is the best option.

Every conforming part was designed, starting from its beginnings made of standardized pieces and materials easily found in the region.

Furthermore, an economical analysis is done in order to study the production viability of this micro turbine in the mentioned region.

This work contemplates most of the main considerations to be taken when the hydraulic micro turbine is designed, so that it constitutes a useful guide for future development of similar turbines in this region.

**Keywords:** Pelton Microturbine, Micro hydro, Design, Hydraulic Turbine, Hydroelectric Unit.