

# Optimización Hidroenergética. Estudio del Sistema de los Ríos Las Cañas - Gastona – Medina

## Hydropower Optimization. Study of the System of the Rivers Las Cañas - Gastona - Medina

Santiago Reyna, PhD., Dr. Teresa Reyna, J. Lande, Ing., F. Fulginiti, Mag., María Lábaque, Mag.  
 Universidad Nacional de Córdoba - Lande y Asociados SA  
 santiagoreyna@gmail.com, teresamariareyna@gmail.com

**Resumen** — La generación hidroeléctrica ofrece ventajas importantes en término de costos totales y se presenta hoy como una alternativa ambientalmente sustentable. El desarrollo actual de numerosos proyectos hidroeléctricos muestra que en Argentina existe un muy alto potencial de fuentes energéticas renovables, con grandes ventajas ambientales sobre los demás modos de generar energía. El carácter renovable de estas fuentes contrasta con la naturaleza finita de los recursos fósiles nacionales. En este contexto, la energía hidroeléctrica se muestra como una opción madura, accesible y eficiente para hacer frente a la creciente demanda de servicios energéticos en el país. La optimización aplicada a los diseños hidroeléctricos permite que se adopten soluciones hidroeléctricas adecuadas para cada aprovechamiento. En este artículo se presenta la optimización hidroenergética del Complejo Hídrico Multiprósito de los Ríos Las Cañas, Gastona y Medina.

**Palabras Clave** — aprovechamientos hidroeléctricos, central, Potrero del Clavillo, Tucumán, Catamarca, energía hidráulica, optimización, renovable

**Abstract** — Hydroelectric power generation offers significant advantages in terms of total costs and stands today as an environmentally sustainable alternative. The current development of numerous hydroelectric projects in Argentina shows that there is a high potential for the development of renewable energy sources, with major environmental advantages over other ways of generating energy. The renewable nature of these sources contrasts with the finite nature of domestic fossil resources. In this context, hydropower is a mature, accessible and efficient option to meet the growing demand for energy services in the country. Optimization applied to hydroelectric designs allows for adequate solutions for each power system. This article presents hydropower optimization for the Multi-purpose Rivers System of Las Cañas, Gastona and Medina.

**Keywords**— hydroelectricity, Potrero del Clavillo, Tucumán, Catamarca, hydraulic power, Hydroelectric optimization, sustainable.

### 1. INTRODUCCIÓN

La crisis energética de 1973 y 1979, originada por la brusca subida de los precios del petróleo, propició la explotación de los recursos renovables autóctonos e inextinguibles, en contraposición a los recursos fósiles, limitados en el espacio y en el tiempo. [1]

Más tarde, las predicciones pesimistas respecto al agotamiento de los recursos fósiles, la preocupación general por el fenómeno del calentamiento global del planeta y las incertidumbres planteadas por el futuro de los residuos nucleares, volvieron a poner de relieve las ventajas de generar electricidad con recursos renovables.

#### 1.1 Consideraciones Ambientales

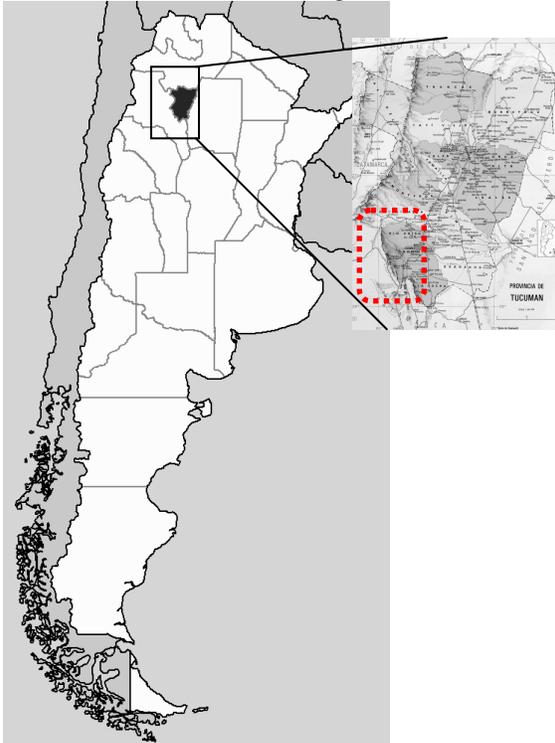
La energía hidroeléctrica ofrece ventajas significativas con respecto a otras fuentes de energía, entre las que se destacan: Tecnología madura, Disponible en Argentina, "No contamina" o "contamina menos", Produce energía a la temperatura ambiente, Permite realizar actividades de recreación, Evita inundaciones por regular el caudal, No se consume la fuente, Experiencia y tecnología accesibles a los países en vías de desarrollo. Los impactos ambientales que produce la hidroelectricidad varían con la ubicación del aprovechamiento y con la solución tecnológica escogida.

Desde el punto de vista de la ubicación, un aprovechamiento de montaña genera diferentes

impactos que uno de llanura. Desde el punto de vista tecnológico, los aprovechamientos con embalse regulador generan impactos, cuantitativa y cualitativamente, diferentes a los generados por los aprovechamientos de agua fluyente, dentro de los cuales cabría aun distinguir, a estos efectos, entre los que derivan el agua y los que no la derivan. [2].

## 2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA REGIÓN

El área de implantación de las obras se localiza en la cuenca del río Medina y abarca territorio de las provincias argentinas de Tucumán y Catamarca. En la porción superior del río Medina, geográficamente denominada “Las Estancias” y, en particular, en el paraje llamado “Campo del Pucará”. En la **Figura 1** se presenta la ubicación de la zona de análisis a nivel regional.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la zona del Sistema del Complejo Hídrico de los Ríos Las Cañas - Gastona -Medina

La red hidrográfica general se extiende en la vertiente Este de los Nevados del Aconquija, entre las cotas 4.500 a 5.000 msnm y la curva de nivel 500 msnm. La región se caracteriza por la existencia de áreas localizadas donde las precipitaciones superan los 2.000 mm por año en coincidencia con los 1.500 msnm a 2.000 msnm aproximadamente.

Las condiciones climáticas en la cuenca se caracterizan por presentar marcados gradientes térmicos y pluviométricos en su extensión.

La cuenca se ve expuesta a significativos procesos erosivos de transformación, principalmente en el sector por debajo de los 2500 msnm, ya que por arriba de ellos las formaciones geológicas son más estables, aunque los procesos de meteorización localizados en los faldeos superiores son muy activos.

### 2.1 Descripción del Sistema

El Sistema del Complejo Hídrico de los Ríos Las Cañas - Gastona -Medina es un proyecto multipropósito con el siguiente orden de prioridad:

1. Generación de energía hidroeléctrica estacional regularizada,
2. Protección contra inundaciones,
3. Abastecimiento de agua para consumo humano a diferentes comunidades, para industria y para riego y
4. Turismo y recreación.

El objetivo principal del emprendimiento es la generación hidroeléctrica la cual se basa en aprovechar los caudales estacionales del río Las Cañas y tras una obra de trasvase, los provenientes de los principales afluentes al río Cochuna. Ambos regímenes se muestran abundantes durante el verano con grandes desniveles topográficos. Los caudales son relativamente moderados pero los saltos son importantes.

Para la alternativa bajo consideración el desnivel total entre la captación superior en el río La Laguna a cota 1670 msnm y la entrega en la central N°2 en el Río Las Cañas a cota 785 msnm representa un desnivel total posible de intervención de 885m.

En la cuenca superior del río Cochuna se realizará la captación a través de diques derivadores a parrilla con sus respectivos desarenadores. En la alternativa considerada las captaciones secuenciales utilizarán los ríos de La Laguna, A° Bolsón, Casa de Piedra, Vallecito, Esquina Grande y A° La Quinta.

El agua será conducida a través de túneles cuya mínima pendiente deberá garantizar una capacidad de conducción igual o superior a la máxima

capacidad de diseño del sistema en dicho punto. La mayor parte de los túneles deberán ser excavados en roca.

La Central N°1 se ubicará por arriba del nivel máximo del embalse previsto en la zona denominada Potrero del Clavillo. Este dique se ubicará en la misma posición del antiguo proyecto de Agua y Energía Eléctrica de la década del 70.



*Figura 2. Hidrografía Principal sobre imagen satelital 3D*

El embalse de Potrero del Clavillo se alimentará del agua turbinada por la central N°1 (alimentada por el caudal trasvasado) y con los aportes propios de la cuenca superior del río Las Cañas, alimentado entre otros por los ríos Del Campo, Potrero y Chacras. Permitirá ordenar los caudales que se conducirán por un conjunto de obras conformadas por un segundo túnel, Chimenea de equilibrio, tubería forzada hasta la Central N°2 ubicada sobre la margen derecha del río Las Cañas (Figura 2).

## 2. OPTIMIZACIÓN HIDROENERGÉTICA

La optimización de las centrales del Complejo Hídrico Multiprósito de los Ríos Las Cañas – Gastona – Medina se realizó bajo un esquema de simulación continua, empleando valores de caudal registrados en estaciones coincidentes con el sitio de implantación del embalse y sobre un cauce que totaliza los aportes de los cursos a ser trasvasados. Se obtuvo un planteo de operación óptima, que cumpliendo con las normas y restricciones impuestas, maximiza la generación, para cada uno de los años hidrológicos simulados que, en este caso, corresponden a la serie histórica.

El objetivo fue maximizar los ingresos asociados a la venta de la producción eléctrica de las centrales cumpliendo los requerimientos de caudales y volúmenes asociados a las restricciones ambientales.

El modelo permitió incorporar las adaptaciones a las dos variantes planteadas de máquinas hidráulicas y conductos, además de las restricciones indicadas anteriormente

## 3. METODOLOGÍA

En los sistemas de generación de potencia hidroeléctrica, la operación óptima del sistema se concibe como un problema complejo de optimización a gran escala, planteado como la toma de decisiones con respecto a la descarga de agua o caudal turbinado para la generación hidroeléctrica durante un determinado horizonte de tiempo.

Para poder realizar el modelo es necesario realizar primero los estudios estadísticos, hidrológicos e hidráulicos que permitan determinar la serie de aportes a los embalses, las características de las presas y las centrales y las turbomáquinas que se utilizarán.

Con respecto a los datos de caudales para el modelo se trabajó con las estaciones existentes de Potrero del Clavillo y los Hornitos.

La estación de aforo Potrero del Clavillo se ubica sobre el Río Las Cañas y aúna los caudales provenientes de sus tributarios (Río de Las Chacras, Río Potrero y Río del Campo). En la tabla 1 se transcribe la ubicación de las principales estaciones y su principal información.

Para el dimensionado del embalse se requieren de estudios hidrológicos, estudios topográficos y geológicos vinculados al sitio de ubicación de la presa y el futuro embalse. Los estudios previos, para definir la necesidad o no de regular artificialmente un río, se refieren por lo general, a las diferentes necesidades que tendrá la presa que se ejecute. En este caso al ser un aprovechamiento multipropósito fue necesario tener en cuenta además de la generación eléctrica el control de crecidas y demás usos debido a las consecuencias económicas y sociales que estas producen.

Para la optimización hidroenergética se utilizó la serie de caudales de la Estación Potrero del Clavillo. Se completó la serie de Q medios diarios registrados por EVARSA (Evaluación de Recursos S. A.), unificando la información con los obtenidos a partir de la SSRH (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación) a través del programa “Sistema Nacional de Información Hídrica”. La extensión de la información es de 58 años (20/02/1953 al 31/08/2011). (EVARSA/ Agua y Energía/ Subsecretaría de Recursos Hídricos) [3]. En la **Figura 3** se presenta la gráfica del registro de caudales diarios en la Estación Potrero del Clavillo junto a sus valores característicos.

El módulo obtenido para la serie de caudales medios diarios unificados para Potrero del Clavillo es de  $3.65 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para valorar de forma preliminar la generación de distintas alternativas se determinaron las curvas de duración de caudales en cada punto de análisis.

En instancias posteriores se estimó la degradación específica de la cuenca haciendo uso de distintas metodologías con el fin de su consideración en la definición del volumen útil del embalse y sus mecanismos de mantenimiento.

En la **figura 4** se presentan las obras de derivación de caudales a la presa Potrero del Clavillo.

Dentro de las obras de derivación de caudales se encuentra el embalse compensador ubicado en la cuenca del río Las Cañas que posibilita conducir el excedente de caudal derivado (y no turbinado) directamente por el cauce del arroyo La Quinta hasta el embalse Potrero del Clavillo.

Los puntos de toma para la conducción de caudales considerados en la alternativa analizada, poseen las siguientes cotas:

- Río La Laguna (Cota 1670 msnm)
- Río El Bolsón (Cota 1663 msnm)
- Río Vallecito (Cota 1655 msnm)
- Embalse compensador sobre el Arroyo La Quinta (1611 msnm)

Desde el Río La Laguna y hasta alcanzar el embalse compensador la conducción será de 1400mm de diámetro. El caudal captado en el Río Vallecito será conducido de forma independiente mediante un caño en paralelo de diámetro 1400mm para evitar incrementar de manera excesiva la conducción, a la vez que se disminuirá la vulnerabilidad del sistema posibilitando las tareas de mantenimiento en uno u otro ramal.

Se generó un modelo hidrológico de transformación lluvia-caudal, aplicando el software HEC-HMS, que fue calibrado en sus parámetros de escorrentía haciendo uso de los registros existentes. Mediante este modelo se determinaron los hidrogramas asociados a recurrencias extremas para el diseño de las obras de derivación y el embalse principal.

RÍO	ESTACIÓN	LATITUD		LONGITUD		SUP (km <sup>2</sup> )	ALTITUD (m.s.n.m.)	PERIODO	ORGANISMO
		grad	min	grad	min				
Cochuna	Los Hornitos	27	20	65	55	155	1000	1953-80 1981-84	Agua y Energía D.P.A.
Cañas	Potrero del Clavillo	27	24	65	59	1000	1300	1963-2010	Agua y Energía EVARSA
Cañas	Las Hachas	27	21	65	51	1100	600	1949-50 1953-69	Agua y Energía EVARSA

Tabla 1. Estaciones

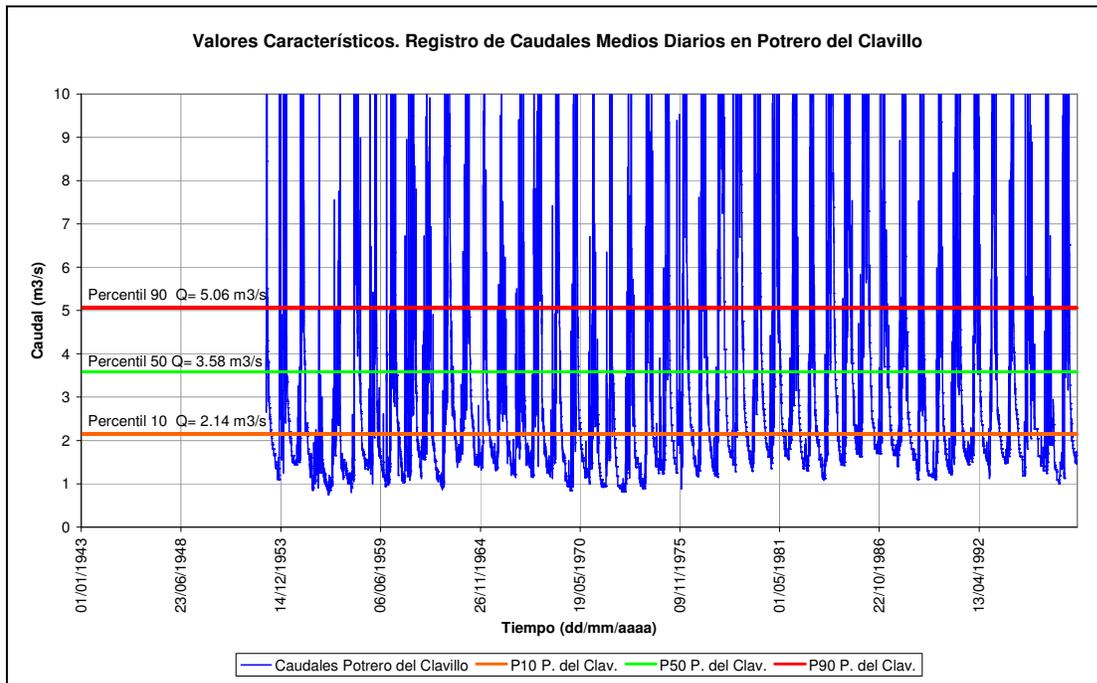


Figura 3. Serie de Caudales de la Estación Potrero del Clavillo



Todos los caudales fueron transformados al volumen correspondiente al respectivo paso de tiempo.

#### 4 RESULTADOS

Como resultado se obtuvieron, para cada una de las alternativas, las cotas y volúmenes en los embalses, la producción de energía media por central, y los Ingresos por venta de energía y por potencia operada. Los resultados avalaron la elección de máquinas Pelton para el embalse Compensador (Central 1) y Potrero del Clavillo (Central 2)

		Central 1	Central 2
Media de Caudal Derivado	m <sup>3</sup> /s	2.9	3.47
Caudal de Diseño por Turbina	m <sup>3</sup> /s	2	4.5
Cantidad de Turbinas		2	4
Máximo Caudal Turbinado en Resto / Valle	m <sup>3</sup> /s	4.00	18.00
Máximo Caudal Turbinado en Punta	m <sup>3</sup> /s	6.66	30.00
Volumen Embalse	Hm <sup>3</sup>	0.70	55.91
Potencia Media Ponderada	MW	3.81	31.63
Energía	Gwh /año	33.35	277.05

**Tabla 2.** Resultados de generación con máquinas Pelton para el embalse Compensador y Potrero del Clavillo

Los resultados de Potencia y Energía se presentan en la **tabla 3**.

Potencia Media Ponderada Total	MW	<b>35.4</b>
Energía Total	Gwh/año	<b>310.4</b>
Valor De La Energia Media Anual Generada	M u\$S	<b>52.1</b>

**Tabla 3.** Resultados potencia y energía con máquinas Pelton

#### 5. CONCLUSIONES

El estudio de optimización del sistema de las centrales del Complejo Hídrico Multipróspero de los Ríos Las Cañas – Gastona – Medina mostró que se puede optimizar la energía que genera el sistema de centrales sin incrementar los costos y que la aplicación de estas herramientas en la etapa de diseño facilita la toma de decisiones antes de avanzar en el desarrollo del proyecto ejecutivo final.

Los modelos de simulación utilizados representan en forma correcta el comportamiento de la cuenca constituyendo una herramienta útil en la determinación de los caudales de diseño. Esta información permite evaluar la aptitud de los proyectos existentes y disponer de información útil para la toma de decisiones y el futuro diseño de los elementos de operación y control.

El modelo de optimización hidroenergética permite disponer de un planteo de operación integral del sistema previo a la construcción del mismo. Esto posibilita realizar estudios de mercado más ajustados en la etapa de anteproyecto, ajustar los diversos diseños, contemplar el efecto de considerar variables ambientales que hoy son imprescindibles en obras de esta envergadura.

#### 6. REFERENCIAS

[1] ESHA, Association, European Small Hydropower. (1998). Guía para el Desarrollo de una Pequeña Central Hidroeléctrica. España, Unión Europea: Dirección General de Energía. Comisión Europea.

[2] ESHA, Association, European Small Hydropower. (2006). Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica. Unión Europea: Dirección General de Energía. Comisión Europea.

[3] Base de Datos Hidrológica Integrada – BDHI. [http://www.hidricosargentina.gov.ar/acceso\\_bd.php](http://www.hidricosargentina.gov.ar/acceso_bd.php)