

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO MOLINEROS – CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y ESTUDIOS EN MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO

J. R. M. Almeida¹, R. Grube¹, C. Vega², J. Orellano², M. Flores³ y D. Avila³

¹Intertechne Consultores S.A., Curitiba, Brasil.

²Instituto de Investigaciones Hidráulicas. FI. UNSJ, San Juan, Argentina.

³ENDE Valle Hermoso – Cochabamba – Bolivia.

E-mail: jrma@intertechne.com.br; rg@intertechne.com.br; cvega@unsj.edu.ar; orellano@unsj.edu.ar; marco.flores@evh.bo; diego.avila@evh.bo

Introducción

Este artículo tiene el objetivo de presentar las principales consideraciones hidráulicas de diseño adoptadas en el Aprovechamiento Hidroeléctrico Molineros y los estudios hidráulicos desarrollados en modelo reducido. El proyecto del A. H. Molineros, que quedará ubicado en el límite de los departamentos de Cochabamba y Potosí, fue gestionado a través de la ENDE Valle Hermoso S.A. (EVH).

En este proyecto, se resalta la importancia de la colaboración latinoamericana para proponer soluciones a los desafíos encontrados.

Marco teórico y fundamentación

El marco referencial en el que se inscribe el presente trabajo, es el estudio de la transformación de la Energía del agua para la generación de Energía eléctrica. Para que estas acciones se lleven a cabo, se hace necesario construir las obras civiles que conforman el aprovechamiento. El trabajo se afirma en el entendimiento de la necesidad de producir energía limpia aprovechando todas las potencialidades de la geografía, y de la presencia de cursos de agua económica y ambientalmente utilizables.

Es sabido que la hidráulica necesita y mucho de la experimentación, como se ha reconocido hace tiempo una buena combinación de métodos teóricos y experimentales, trae progresos sobre una base firme. Un modelo en el terreno práctico es un fenómeno hidráulico producido experimentalmente, de acuerdo a las leyes de la hidromecánica y de cuya observación puede inferirse, con aproximación suficiente para los fines técnicos, el comportamiento del prototipo. Los modelos constituyen uno de los instrumentos más difíciles de manejar de la técnica experimental, ya que se aplica para resolver problemas en los que las leyes conocidas no son aplicables o no ofrecen seguridad.

El Modelo Físico está basado en el criterio de similitud de Froude, construido y calibrado de tal manera que pueda reproducir el escurrimiento a lo largo del tramo de interés del río Caine, el escurrimiento por las obras de desvío, la validación de las descargas por las estructuras reguladas del aliviadero, el comportamiento del dissipador de energía y el control de la erosión en el lecho y márgenes del río.

Objetivos

El objetivo del Gobierno Boliviano, es lograr que la Consultora contratada obtenga un Proyecto Ejecutivo que satisfaga las necesidades de generación de energía eléctrica, al costo más razonable posible y con respeto al medio ambiente.

El objetivo de la Consultora Proyectista Intertechne, fue obtener el mejor proyecto de menor costo y máximo rendimiento en la venta de la energía, que se adecue a la geografía.

El objetivo del Laboratorio de Hidráulica, fue lograr los fenómenos hidráulicos producidos experimentalmente, de acuerdo a las leyes de la hidromecánica y de cuya observación se pudiera inferir, con aproximación suficiente para los fines técnicos el comportamiento del prototipo.

Descripción metodológica

El Aprovechamiento Hidroeléctrico de Molineros está ubicado en el río Caine cerca de 7 km aguas arriba de la unión con el río Molineros. El caudal medio anual es relativamente bajo, cuya magnitud es del orden de 48 m³/s y el caudal máximo estimado para el período de retorno de 5.000 años es 8.206m³/s. Figura 1.



Figura 1.- Angosto de Molineros.

El aprovechamiento será constituido con una presa de Hormigón Compactado a Rodillo (HCR) de 175 m de altura, 38m en la base y cerca de 240 m de ancho en el coronamiento. El Aliviadero sobre la presa, indicado en la Figura 2, es del tipo controlado con compuertas, con 3 vanos de 10,2 m de ancho y cresta en la elevación 1.941,00 msnm con capacidad de descargar la avenida con 5.000 años de recurrencia (caudal de salida de 5.661 m³/s). Los caudales vertidos son restituidos a través de las rápidas de fuerte pendiente en un cuenco amortiguador, revestido en hormigón armado y anclado en la roca, ubicado junto al pie de la presa.

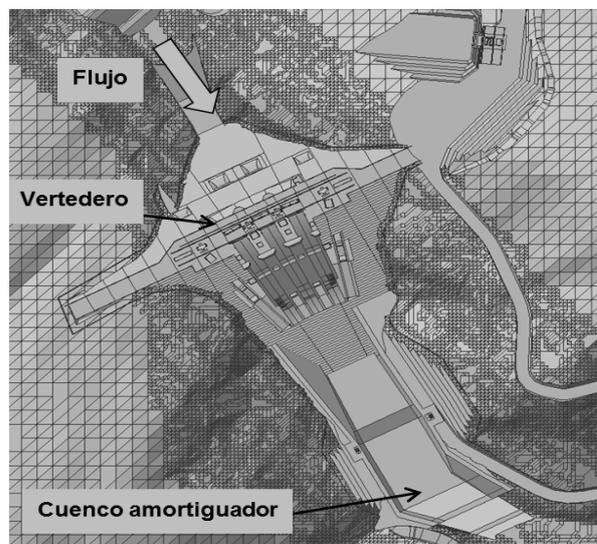


Figura 2.- Ubicación de la Presa, del Aliviadero y amortiguador.

Se dispone de cuatro conductos descargadores de medio fondo, controlados por compuertas radiales.

Para poder construir la presa se ha diseñado un túnel ubicado sobre el estribo izquierdo con cerca de 700 m de longitud y sección transversal típicamente circular con 11,8 m de diámetro y piso en la elevación 1.804,00 msnm, revestido con hormigón y controlado con compuertas. El túnel de desvío, en su tramo final, sirve también como túnel de desfogue de la casa de máquinas.

El circuito de generación es subterráneo, siendo la aducción hecha por un túnel hacia la casa de máquinas que es provista con cuatro unidades tipo Francis eje horizontal con una caída bruta del orden de 156 m, de 25 MW de potencia unitaria..

Resultados obtenidos en los estudios en modelo hidráulico

Los estudios hidráulicos en modelo reducido fueron realizados por el Instituto de Investigaciones Hidráulicas "Ing. Manuel S. García Wimer" de la Universidad de San Juan – Argentina.

Se realizó la verificación del comportamiento hidráulico de las estructuras principales mediante la utilización de modelación física. Dichos estudios tuvieron los siguientes objetivos específicos:

Evaluación del comportamiento hidrodinámico de las principales estructuras del Aprovechamiento Hidroeléctrico Molineros: obras de desvío, vertedero de excedencias bajo condiciones de diseño y sobre las variantes que se produjeron al comprobar que se podían lograr mejoras en su comportamiento.

Evaluación del proceso de erosión aguas abajo del vertedero.

Resultados de las pruebas del desvío del río

El escurrimiento en el túnel de desvío se produce para los caudales inferiores a 600 m³/s a superficie libre, hasta los 1700 m³/s en su mayor longitud a presión, con un último tramo en régimen gradualmente variado regido por la condición de salida y para el caudal máximo de $Q = 2398 \text{ m}^3/\text{s}$ en toda su longitud a presión. Debido a la conformación geométrica en planta, el flujo acelerado, en todos los casos abandona la estructura sesgado hacia la margen derecha, con velocidades importantes.



Figura 3.- Geometría de las obras de ingreso.

Resultados de las pruebas del aliviadero y dissipador

La hidrodinámica del flujo de llegada y la circulación en los vanos muestra una marcada uniformidad y no se observan sobreelaciones ni separaciones de los muros de ala y las pilas. Los niveles de embalse, marcan que el flujo para el caudal de diseño circula por el vertedero con coeficiente de descarga 2,18. La sección transversal del canal en rápida, permite el flujo seguro en todo su desarrollo. El aireador funciona sin mostrar

signos de ahogamiento. El comportamiento del salto de esquí es adecuado, entregando un flujo totalmente libre y se proyecta a más de 50 m del pie de la presa.

El flujo entregado por los tres vanos de rápidas impacta totalmente en el interior del cuenco amortiguador, quedando margen a ambos costado de los muros. El rendimiento del cuenco amortiguador y su entrega al cauce del río resulto según lo esperado, ya que la energía es disipada adecuadamente en el cuenco y el resalto hidráulico se establece en su interior.

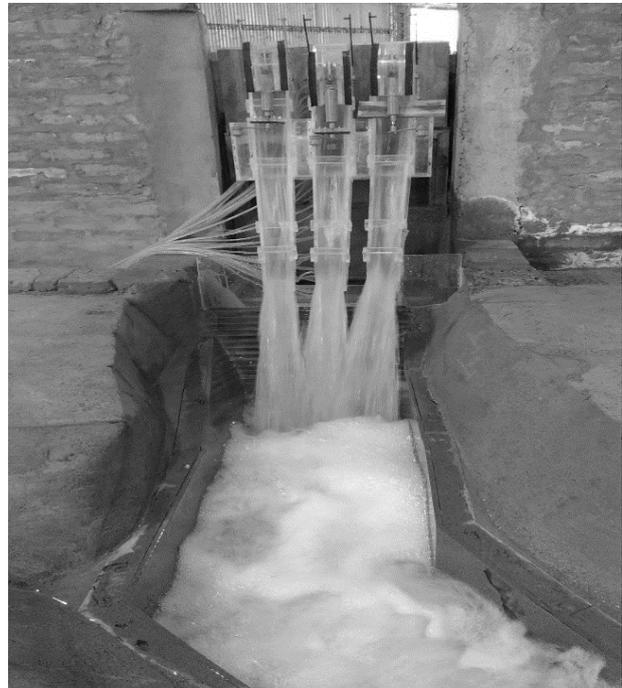


Figura 4.- Funcionamiento del Aliviadero para $Q = 5661 \text{ m}^3/\text{s}$.

Conclusiones

Los ensayos relativos al desvío del río indicaron que, en general, la estructura funciona de acuerdo a lo diseñado. La hidrodinámica del ingreso, el conducto en toda su extensión y la salida resultan adecuadas, sin formación de vórtices ni despegamientos en los bordes sólidos, tanto para los caudales que escurren a superficie libre como los que escurren a presión. Para el caso del aliviadero se comprobó que la configuración de diseño original resulto adecuada y se realizaron modificaciones al cuenco amortiguador hasta obtener la mejor solución posible.

Aportes originales relevantes

Se ha logrado un diseño altamente satisfactorio, en un río muy encajonado. Con presa de HCR, estructuras de alivio reguladas por compuertas con tres rápidas y salto de esquí, descargando dentro del ancho del río y un dissipador de energía, muy eficiente.

Referencias

- Orellano, J.A.; Gutiérrez, G.; Meissl, A.; Vega, C. (2011). Informe Construcción modelo físico "El Tigre" y "Tortugo". IDIH, UNSJ, San Juan, Argentina.
- Orellano, J.A. (2005). Modelación Física de Obras Hidráulicas.
- Vega, Cristian. (2017). Informe1. Modelo físico Proyecto Hidroeléctrico Molinero. INTERTECHNE. Informe2. Modelo físico Proyecto Hidroeléctrico Molinero. Asociación Intertechne –PCA.
- ENDE Valle Hermoso, Asociación Accidental Intertechne PCA. (2017). Aprovechamiento hidroeléctrico Molineros – Estudio de diseño Final – Grupo 1 – Informe Técnico Final.