

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD MÁXIMA DE DESFOGUE DE UN VERTEDOR TIPO ORIFICIO DE UN DESARENADOR TIPO BIERI

Carlos Hugo Loaiza Schiaffino

Docente Principal a D.E. de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
E-mail: carloshugoloaiza@yahoo.com

Introducción

El presente proyecto se realizó inicialmente en función a la evaluación hidráulica del sistema de los vertederos de las naves desarenadoras, los alabes de encauzamiento y las estructuras adyacentes en la necesidad de optimizar una mayor cantidad de caudales de captación en la represa de la CCHH de Machupiccu.

Metodología

Los trabajos realizados inicialmente fueron, los de evaluación de estudios similares, el levantamiento topográfico, la evaluación de un sistema de optimización, los cálculos hidráulicos y el diseño definitivo de un sistema de optimización para los sistemas de vertedores de los desarenadores. La información de evaluación se sustentó en los proyectos "Control Hidráulico y Control de Gasto Solido en la Central Hidroeléctrica de Machupicchu" y "Evaluación Hidráulica del Sistema de Vertedores, Alabes y Estructuras Adyacentes de la I Fase de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu". Seguidamente se realizaron análisis, cálculos y diseño de dos estructuras: Un Perfil Cimacio en la parte inferior a la Salida del Vertedor y Un Alabe de Encauzamiento a la entrada del Vertedor en la parte superior. Finalmente se realizaron tres modelamientos con el HEC-RAS 5.0.1

Características de las naves desarenadoras

Las principales características de las naves desarenadoras son las siguientes: 4 naves, los canales de aducción tienen una altura de 5,50 m., 2,20 m. de ancho y conducen un caudal de 10,0 m³/seg. Las dimensiones de los tanques son de 78,60 m. de longitud, 6,56 m. de altura y conducen un caudal de diseño de 7,4 m³/seg., el caudal máximo por nave es de 9,25 m³/seg. y el caudal total de 37,00 m³/seg.. El Sistema de purga es del tipo Bierí, el nivel de embalse se encuentra en la cota 2069,45 m.s.n.m. La velocidad media es de 0,26 m/seg., la pendiente de fondo es de 2 %. La Eficiencia de remoción es del 32% ($\phi > 0,02\text{mm}$) para caudales de 7,40 m³/seg.

Funcionamiento de las naves desarenadoras

Cada una de las cuatro naves tiene en su fondo 3 elementos provistos de una serie de orificios de 200 x 200 mm, mandados por servomotores hidráulicos, los cuales pueden abrirse automáticamente cuando el peso de los sedimentos acumulados en el fondo acciona un mecanismo electro – mecánico que efectúa la purga con el menor consumo de agua posible; todo este proceso no afecta en absoluto el funcionamiento de la nave.

Existen dos vertedores en cada nave desarenadora cuya cresta permite el paso de la capa de agua más superficial, que es la más limpia.

El desarenador está dividido en cuatro naves principales I, II, III y IV. La nave I está ubicada adyacente a la ladera izquierda y la nave IV adyacente al río. Las longitudes totales incluyendo los canales de aducción, en el eje de las naves del desarenador son: 91,00 m en la nave I, 101,00 m en la nave II, 108,75 m en la nave III, 93,90, en la nave IV y 88,50 m en la nave V. El ancho de la parte rectangular superior de las naves es de 6,20 m y la altura media de 3,45 m. El fondo de las naves del desarenador consta de dos planos inclinados 1:1 hacia una ranura central de 0,50 m de ancho, donde se ha dispuesto

elementos tipo "Bierí" con el fin de evacuar los sedimentos hacia los conductos de purga. Estos conductos tienen sección rectangular de 1,00 m de ancho y altura aproximada de 1,50 m. Los Elementos Bierí que conforman el sistema de purga, es un equipo para la evacuación de la arena sedimentada en el fondo de las naves que posibilita la purga de los sólidos sin la interrupción del funcionamiento de la nave.

Después del último tramo del desarenador se han ubicado un aliviadero con cresta en la cota 2068,40 m.s.n.m. y aguas abajo los muros de separación y el canal de salida haciendo un giro de aproximadamente 90° para conectarse con el nuevo tramo del túnel de conducción que se inicia en la cota 2065,64 m.s.n.m. y se prolonga hasta empalmarse con el túnel de derivación existente en la cota 2064,99 aguas abajo del aliviadero de la futura quinta nave.

Análisis de optimización de los vertedores

El Análisis se inició con el control de máximo caudal de carga que podría soportar cada vertedor, seguidamente para una operación más óptima se implementó un perfil Cimacio y finalmente un Alabe de Encauzamiento, cada uno de estos elementos hidráulicos estructurales para cada vertedor.

Características del diseño hidráulico del vertedor

En función a los análisis de las naves desarenadoras y a su eficiencia hidráulica y basándonos en la ecuación de vertedores rectangulares se tendrá:

$$Q = C * B * H^{3/2} \quad [1]$$

Dónde: Q = Caudal en m³/seg, C = Coeficiente, B = Ancho del vertedor en m. y H = Tirante máximo en el vertedor en m.

La máxima eficiencia hidráulica se obtuvo para un Caudal máximo de 4,625 m³/seg, un Ancho del vertedor de 2,20 m. un Tirante máximo de diseño de 1,6513 m. y un Coeficiente del vertedor de 0,9907.

Diseño del perfil Cimacio

Se ha establecido, que la turbulencia a la salida de los vertedores se puede reducir debido a que el diseño inicial del mismo hace que se genere un salto vertical con gran turbulencia en la zona de caída.

Diseño del U.S. Bureau of Reclamation

La máxima altura de carga h es la que debe entrar al vertedor, por lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$h_o = 0,88889 h \quad [2]$$

Se ha planteado la construcción de una plancha de acero de espesor igual a ¼ de pulgada, con bordes embonados con goma, para evitar las fugas o filtraciones de agua.

La altura de carga máxima calculada es de $h = 1,6513$ m. y la carga de diseño es de $h_o = 1,4678$ m.

Diseño del alabe de encauzamiento

Se ha calculado y diseñado el alabe de encauzamiento a la entrada de los vertedores con la finalidad de encauzar los caudales máximos, con la finalidad de evitar la operación del vertedor en caso de caudales máximos como "ahogado" y que opere en esta condición la ventana del vertedor como orificio.

Esta estructura se ha planteado en la entrada de cada ventana del vertedor, es decir cada nave desarenadora contará con dos alerones de encauzamiento.

Consideraciones iniciales del diseño del U.S. Bureau of Reclamation

La máxima altura de carga que debe entrar al vertedor es:

$$h_0 = 0,88889 h \quad [3]$$

La altura de carga máxima calculada es de $h = 1,6513$ m., la carga de diseño es de $h_0 = 1,4678$ m. Estos perfiles se han reajustado a las dimensiones de cada vertedor, generándose un ancho de 2,515 m., (cada vertedor presenta variaciones), una altura de 0,55 m. y un largo de 1,90 m.

Consideraciones hidráulicas para el diseño del alabe de encauzamiento

En función a los análisis de las naves desarenadoras y a su eficiencia hidráulica y basándonos en la ecuación de vertedores rectangulares se tendrá:

$$Q = C * B * H^{3/2} \quad [4]$$

Dónde: Q = Caudal en m³/seg, C = Coeficiente, B = Ancho del vertedor en m. y H = Tirante máximo en el vertedor en m.

La máxima eficiencia hidráulica se obtuvo para un Caudal máximo de 4,625 m³/seg, un Ancho del vertedor de 2,515 un Tirante máximo de diseño de 1,6513 m. y un Coeficiente del vertedor de 0,9907.

Características finales del diseño del alabe de encauzamiento

Las características de cada alabe de encauzamiento serán las siguientes: Forma: Sector circular, Ancho: 2,515 m. (en promedio que se ajustará a cada ventana de vertedor), Largo: 1,90 m., Alto: 0,55 m., Espesor: ¼ de pulgada y Material: Acero inoxidable.

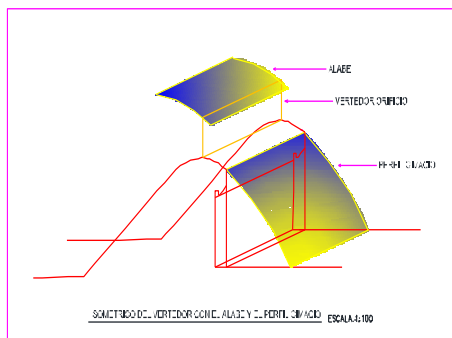


Figura 2.- Alabe de Encauzamiento y Perfil Cimacio en cada vertedor.

Modelamiento hidráulico

El sistema desarrollado, se basa en las siguientes partes: Nave desarenadora, Rampa de Conexión de la parte final de la nave desarenadora con el vertedor, Alabe de Encauzamiento, Vertedor, Perfil Cimacio, Entrada a los alabes de conducción y Túnel de carga.

Programa del HEC-RAS 5.0.1

Se realizaron tres modelamientos: El Primero considerando el actual sistema sin la implementación de estructura alguna, El segundo considerando la implementación del Perfil Cimacio y el Tercero considerando la implementación del Perfil Cimacio y El Alabe de Encauzamiento.

Los resultados del modelamiento tridimensional para los tres

caudales sistemas en función a las superficies libres para las diferentes secciones a lo largo del sistema se muestran a continuación:

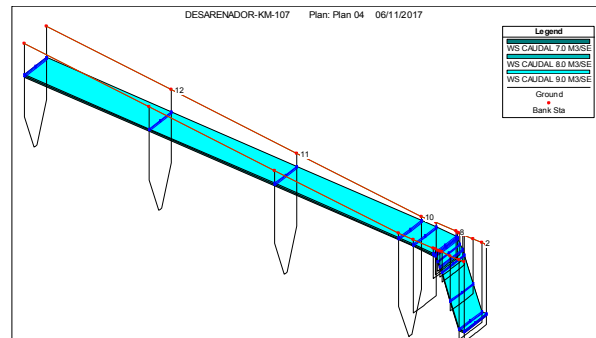


Figura 1.- Modelamiento Tridimensional del Sistema de Desarenadores y Vertedores.

Conclusiones

Se ha definido que el desfogue del flujo de agua a la salida de los vertedores es deficiente por cuanto la lámina vertiente inferior presenta una caída vertical por la forma a la salida de estos, formando una zona de vacío que genera cavitación y consecuentemente la formación de una zona altamente turbulenta.

La deficiencia de los vertedores está en la forma del vertedor a su salida (entrada al túnel), por lo que se ha diseñado un **perfil óptimo tipo cimacio**, el que se puede complementar con una placa de acero que tenga la forma del perfil inferior.

Se ha realizado un modelamiento integral del sistema considerando los cálculos computacionales desde la primera nave desarenadora hasta su entrada al túnel de encauzamiento. El Modelamiento se ha realizado para el estado de flujo Estacionario.

Se ha verificado que el sistema puede captar un caudal de hasta 9,00 m³/seg, sin llegar a inundar las naves desarenadoras, tomando en cuenta de acuerdo al modelamiento que no presentan partidores de sección, como es el caso real de que cada nave desarenadora tiene un partidor que divide el flujo principal en dos caudales.

Para evitar el problema del ahogamiento en caso de captar los caudales máximos críticos, se ha calculado, diseñado y construido para cada ventana de vertedor un **alabe de encauzamiento**, estructura que evita el ahogamiento a la entrada de cada vertedor.

El análisis, cálculo y diseño definitivo de la capacidad máxima de desfogue de un vertedor tipo orificio de un desarenador tipo Bieri, se ha realizado en base a la implementación de un Alabe de Encauzamiento a la entrada de cada ventana de vertedor y un perfil cimacio a la salida de cada vertedor.

Referencias bibliográficas

- American Society of Civil Engineers (1994). "Sedimentation Engineering". Mc Graw Hill. New York, U.S.A
- Bueno Galdo Jorge (1988). "Boundary Layer Theory". editorial Purdue University. Indiana, U.S.A
- Dayly (1982). "Dinámica de los Fluidos". editorial Trillas, México, Mexico.
- Henderson (1966). "Open Channel Flow". Mc Millan Series in Civil Engineering. London, U.K
- Loaiza S., Carlos (1990). "Método de Generación de Caudales". Unsaac. Cusco, Peru.
- Rocha Felices (2000). "Introduction a la Hidraulica Fluvial". Uni. Lima, Peru.
- Schroeder Wolfgang (1994). "Regularización y Control de Ríos". Concytec. Piura, Peru.