

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXVI CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE CRECIDAS Y DISIPACIÓN DE ENERGÍA MODIFICADO, DEL EMBALSE ANCOA, RESPECTO AL VERTIMIENTO EN EL EVENTO METEOROLÓGICO DE JUNIO 2023, EN LA REGIÓN DEL MAULE

JUAN ALBERTO GONZÁLEZ.¹

RESUMEN

El embalse Ancoa, se construyó entre los años 2008 y 2013 y actualmente se encuentra en explotación provisional por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). El diseño del Sistema de Evacuación de Crecidas y Disipación de Energía (SECDE), no contó con el apoyo de modelación física y/o numérica. Es así como a base de observaciones de tres vertimientos producidos entre octubre de 2014 y agosto de 2015, con caudales entre 10 y 80 m³/s, la DOH decide realizar estudios de modelación física y numérica, en dicho Sistema. En un primer estudio se abordó el canal colector y luego en otro, el sistema de disipación de energía.

Los resultados del primer estudio, recomendaron la inclusión de bloques de impacto, en el canal colector. Respecto al sistema disipación de energía, entre el 2015 y 2016, se analizaron alternativas de modificación, modeladas numéricamente, seleccionando la mejor de ellas. La alternativa seleccionada, implicaba modificar el rápido de descarga, reubicando el salto de esquí a una cota más baja y próxima al cauce. Entre el 2018 y 2021, se realizó el diseño definitivo de la alternativa elegida, el que por razones de pandemia, concluyó anticipadamente, sin realizar la modelación física del foso de disipación de energía, privilegiando la urgencia de construir la modificación del rápido de descarga y salto de esquí. En este contexto, con la obra aún en construcción, el pasado mes de junio de 2023, ésta se vio expuesta a un vertimiento de gran magnitud, donde se pudo evaluar su comportamiento, concluyéndose que el canal colector se comportó de acuerdo a lo determinado en la modelación de 2015 y que la nueva disposición del salto de esquí, disminuyó notablemente el riesgo de afectación a las obras de entrega y presa. También se pudo constatar que el foso de disipación, adoptó una gran magnitud, formándose a partir una preexcavación somera, sujeta a los criterios adoptados por la urgencia.

¹Ing. Civil, Asesor Interno del DPR, Dirección de Obras Hidráulicas (MOP) – jago.gonzalez.jg@gmail.com

1. OBJETIVO DEL TRABAJO

Analizar el comportamiento que presentó el Sistema de Evacuación de Crecidas y Disipación de Energía, (SECDE), del embalse Ancoa, respecto al vertimiento de gran magnitud que provocó el evento meteorológico ocurrido en la zona del embalse, entre los días 23 y 26 de junio de 2023, en circunstancias que la modificación del rápido de descarga y salto de esquí, se encontraba aún en ejecución, para la fecha del evento.

2. PERTINENCIA DEL TEMA

La pertinencia del tema, se funda en dos aspectos; el primero es que las modificaciones del SECDE del embalse Ancoa, al momento del evento de junio 2023, se encontraban aún en ejecución, no estando completamente terminadas, por lo tanto se hace completamente pertinente una evaluación de su comportamiento en dichas circunstancias. Un segundo aspecto, es analizar para un vertimiento de una magnitud considerable como el ocurrido, si las obras diseñadas y construidas a la fecha, habían mejorado el funcionamiento global del SECDE, respecto a la situación original que ameritó su modificación.

3. GENERALIDADES DEL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL EMBALSE ANCOA

El embalse Ancoa es una obra ubicada a 42 km al oriente de Linares (Chile), en la Región del Maule. El año 2004 concluyó el diseño definitivo del embalse Ancoa y su ejecución concluyó el año 2013, entrando en operación provisional, en el marco del DFL 1.123 de 1981, hasta la fecha.

Desde que el embalse Ancoa entró en operación, se han producido 3 vertimientos: uno de 11 m³/s y otro de 30 m³/s, ambos en octubre del año 2014 y otro de 80 m³/s en agosto del año 2015. El efecto causado por este último evento, provocó la alerta sobre el funcionamiento del sistema de disipación de energía, debido a que se detectaron una serie de anomalías, tal como el no despegue del chorro en el salto de esquí y un flujo altamente desuniforme y difuso, en la evacuación y proyección del chorro hacia el foso de disipación, provocando grandes erosiones en áreas de resguardo. Además, se pudo observar que el chorro, una vez en el aire y dada la gran altura que tenía la ubicación del salto de esquí, quedaba muy expuesto al efecto aerodinámico del viento, desviándose peligrosamente sobre un promontorio, que protege las obras de entrega y pie de presa.

Con relación a lo anterior, cabe señalar que para el diseño original del SECDE, no se contó con el apoyo de modelación física y/o numérica. Además los criterios de diseño de la época, no condicionaron la gran altura a que se había dispuesto el salto de esquí, en una condición cercana a la presa y perpendicular al cauce. En consecuencia, con los primeros vertimientos señalados anteriormente, se pudo observar que esta situación representaba una alta peligrosidad y riesgo de afectación, tanto a las obras de entrega como a la presa, lo quedó de manifiesto con el vertimiento ocurrido a fines de agosto del año 2015, donde con un caudal de 80 m³/s, que correspondía a un periodo de retorno inferior a los dos años, se tuvo importantes afectaciones y daños, que en

definitiva hicieron que la DOH realizara una serie de acciones y estudios, para modificar el SECDE, con carácter de urgencia.

Las adecuaciones propuestas y adoptadas a la fecha son:

- a) Disponer bloques de impacto alineados y distribuidos a lo largo del canal colector. Esto fue modelado numérica y físicamente en el Instituto Nacional de Hidráulica (INH), donde se encontró una gran correspondencia del flujo entre el modelo físico a escala 1:40 y el modelo numérico en Open Foam a escala 1:1, para todo el rango de caudales experimentados. Actualmente se encuentran contruidos
- b) Agregar un tramo adicional al rápido de descarga, que permita ubicar el salto de esquí más próximo cauce principal, a 56 m más bajo en cota, respecto al salto de esquí original, con el objetivo de disminuir la peligrosidad y riesgo de afectación a las obras de entrega y la presa, aspecto que fue relevado a partir del vertimiento de agosto de 2015. En la actualidad dicha modificación se encuentra en ejecución cercana al 100%, faltando concluir con el hormigonado del aireador y algunos muros laterales del nuevo tramo de rápido.

Tabla N° 1: Estudio realizados, relacionados con la modificación del SECDE.

FECHA	NOMBRE	OBJETIVOS/RESULTADOS
2015	Modelación Física y Matemática de las Obras de Evacuación del Embalse Ancoa, Región del Maule (DOH-INH)	Analizar a través de una modelación híbrida (física-numérica) el flujo en la parte alta del SECDE, en particular en el umbral, canal colector y canal de transición. Se concluyó incluir bloques de impacto en el canal colector para mejorar diversos aspectos del flujo tridimensional al interior de éste, especialmente el nivel de agitación turbulenta.
2017	Diagnóstico de la Adecuación al Sistema de Evacuación de Crecidas del Embalse Ancoa, VII Región. (DOH-SMI)	Estudiar apoyado con modelación numérica, alternativas de modificaciones al sistema de disipación de energía, para mejorar las características del flujo evacuado por el salto de esquí. Como resultado se determinó la mejor alternativa, para que un siguiente estudio realizara su diseño definitivo. El diseño sería apoyado con modelación física, para optimizar la disipación de energía al interior del foso de disipación. Se determinó que la mejor alternativa era reubicar el salto de esquí a una cota 56 metros más baja que la ubicación original.
2021	Diseño Sistema de Disipación de Energía, Embalse Ancoa, Región del Maule	Diseño definitivo con ingeniería de detalle para la modificación propuesta (2017), apoyada por una modelación numérica en el rápido de descarga y salto de esquí y una modelación física para el análisis del foso de disipación. Por temas de pandemia y por la premura de ejecutar la obra estructural lo antes posible, aprovechando la ventana climática estival, se optó por postergar la modelación física, para construir la obra estructural de disipación de energía, que relevaba una mayor urgencia.

4. DESCRIPCIÓN DEL SECDE ORIGINAL

El SECDE original consta de un canal colector con un perfil tipo USBR deprimido de 45 m de longitud. Dicho canal está excavado en roca con un ancho que varía desde los 10 m hasta los 12 m, con sección trapezoidal, talud 2:3 (H:V) en el muro derecho, talud 1:4 (H:V) en el muro izquierdo y pendiente longitudinal 0,01. El canal está revestido en hormigón y termina en una transición que da paso a un canal de pendiente nula, de sección trapezoidal de 12 m ancho basal y 15 m de largo. El rápido de descarga es de sección trapezoidal excavado en roca con un ancho basal de 12 m y taludes 1:4 (H:V), con dos tramos de distinta pendiente. El primer tramo tiene una longitud de 85,7 m con una pendiente de 0,055 y el segundo tiene una longitud de 86,63 m con pendiente 0,25. El salto de esquí tiene una sección trapezoidal con un ancho basal de 12 m, un radio de curvatura de 14 m y un ángulo de lanzamiento de 20°, ubicado a la cota 707 msnm. A continuación se presenta un perfil del SECDE diseñado y construido originalmente.

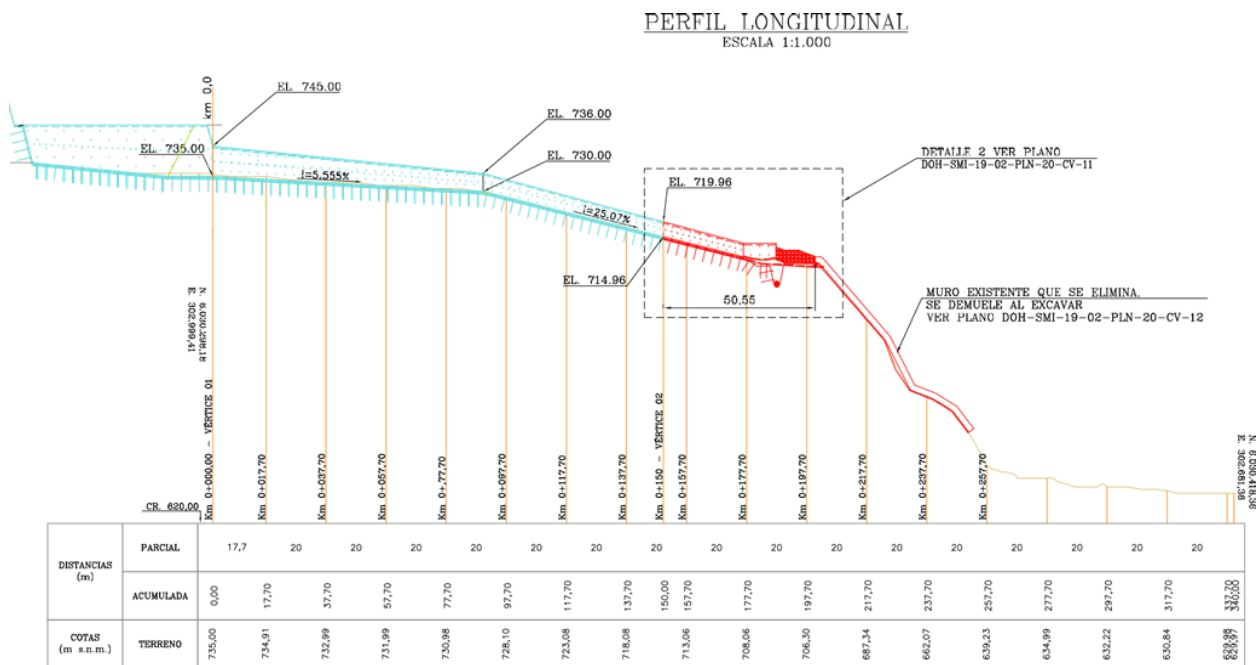


Figura N° 1: Perfil del SECDE original.

5. DESCRIPCIÓN DEL SECDE MODIFICADO

La modificación del SECDE del embalse Ancoa, surgió del análisis de los vertimientos que se produjeron entre el año 2014 y 2015, con un caudal máximo de 80 m³/s. Su diseño y construcción, se basó en tres estudios consecutivos encargados por la DOH, indicados en la Tabla N°1.

La primera modificación realizada, fue la construcción de 16 bloques de impacto, para disminuir la agitación turbulenta del flujo en el canal colector, según se muestra en la siguiente Figura N° 2. De izquierda a derecha; modelo digital del canal colector, canal colector “real” funcionando con bloques de impacto construidos y esquema del diseño geométrico de los bloques de impacto.



Figura N° 2: Bloques de impacto para disminuir la agitación turbulenta del canal colector.

La segunda modificación realizada, fue de mayor envergadura e incluyó los siguientes aspectos: Se agregó un tramo adicional al rápido de descarga, con una pendiente mayor que los dos tramos anteriores, incluyendo al comienzo de éste un aireador, dadas las velocidades que se producen para un amplio rango de caudales, que superan los 30 m/s. Además, se dispuso un nuevo salto de esquí, ubicado a 56 m más bajo en cota que la ubicación original, modificando su radio de curvatura de 14 m a 17 m y su ángulo de lanzamiento de 20° a 5°.

Por temas de pandemia, no se pudo realizar la modelación física del foso de disipación, la que fue postergada y se determinó realizar una preexcavación somera del foso de disipación, mientras que no se realizara dicha modelación, privilegiando la ejecución del tramo de rápido de descarga adicional y el nuevo salto de esquí, que representaban una mayor urgencia. Finalmente se dispuso protecciones de enrocados en el lado derecho del foso de disipación y en el lado opuesto del cauce.

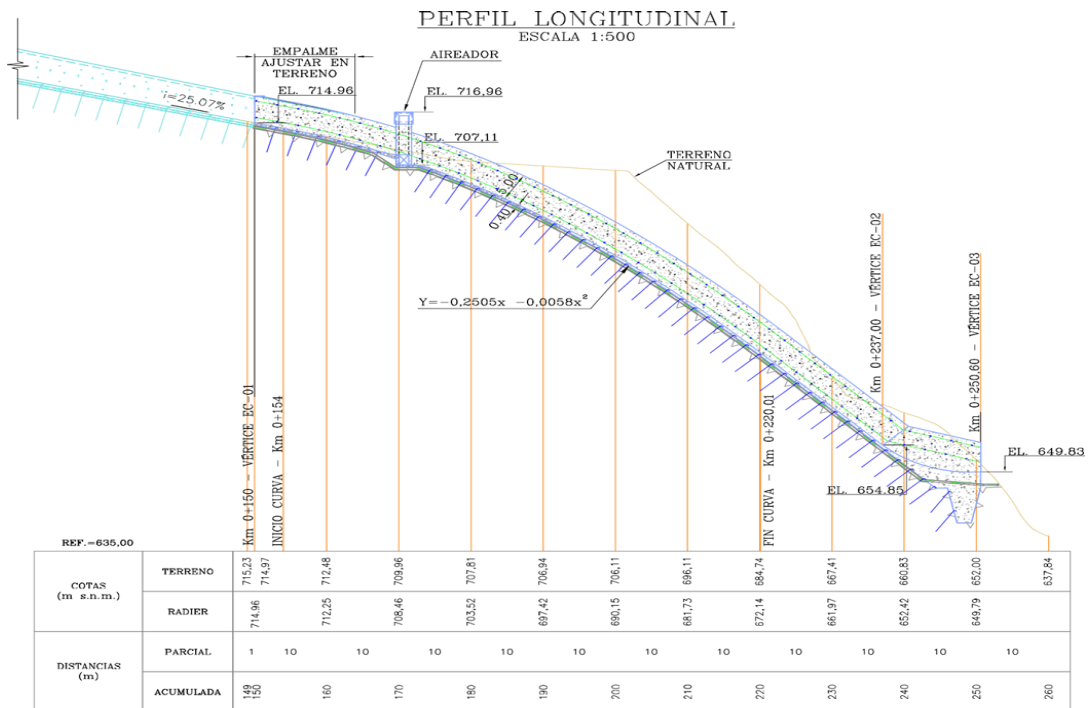


Figura N° 3: Perfil longitudinal del rápido de descarga y salto de esquí modificado.

6. ANTECEDENTES HIDROLÓGICOS DEL DISEÑO DE LA MODIFICACIÓN DEL SECDE DEL EMBALSE ANCOA

Respecto a los estudios hidrológicos realizados a la fecha, en el ámbito de la modificación del SECDE, a continuación se presenta el estudio más reciente (SMI, 2021), el cual se basa en métodos empíricos y de trasposición de caudales máximos instantáneos, para crecidas menores e iguales a 100 años de periodo de retorno. Para periodos mayores se utilizó el H.U.S.

Tabla N° 2: Parámetros geomorfológicos de la cuenca del embalse Ancoa (DOH-SMI, 2021)

Parámetro	Valor
Cota máx (m.s.n.m.)	3.088
Cota mín (m.s.n.m.)	640
Desnivel (m)	2.449
Long Cauce (m)	21.376
Long Centroide (m)	7.314
Área cuenca (km ²)	123
Área cuenca pluvial (km ²)	95
Cota de Línea de nieves (m.s.n.m.)	1.900
Área Nival (km ²)	28

Tabla N° 3: Caudales máximos instantáneos para distintos períodos de retorno (DOH-SMI, 2021)

Periodo T (años)	Trasposición	Caudales Métodos Empíricos (m ³ /s)			Adoptado
		DGA-AC	Verni King Mod	Racional	
2	106	113	111	159	159
5	180	184	191	237	237
10	229	230	249	290	290
20	277	274	296	328	328
50	338	334	355	377	377
100	383	377	415	429	429

7. INFORMACIÓN LEVANTADA EN TERRENO, ASOCIADA AL FLUJO MÁXIMO EVACUADO POR EL SECDE DEL EMBALSE ANCOA, EL DÍA 24 DE JUNIO DE 2023

La tarde del 23 de junio de 2023, dada la inminente pérdida de la conectividad vial en el área del embalse Ancoa y estando el embalse próximo de llegar a la cota de vertimiento 745 msnm, se determinó desalojar todo el personal del embalse, donde sólo algunos de ellos incluido su administrador, pudieron retornar la mañana del día 24, cuando ya se había tenido el peak del vertimiento durante la madrugada. En dicha mañana del 24, se pudo estimar a la distancia, que se tenía un vertimiento del orden de los 300 m³/s y constatar en el foso de disipación, una importante dimensión adoptada durante la madrugada del 24, como también constatar la pérdida de la conectividad interna del embalse.

Cabe señalar, que el vertimiento producido en la madrugada del día 24, sin haber contado con personal, no dejó registro instrumental alguno del flujo, ya que el embalse a la fecha no contaba con un sistema de registro para ello. Además, como se había perdido la conectividad interna del embalse, durante el día 24 no se pudo visitar la presa y obras anexas, por lo tanto sólo se pudo registrar el flujo a distancia, mediante fotografías y videos en; el rápido de descarga, salto de esquí, caída sobre el foso de disipación y el cauce principal.

En los días siguientes al evento del día 24, ya recuperada parcialmente la conectividad interna del embalse, profesionales del nivel central de la DOH que visitaron la obra, al constatar la inexistencia de registros del flujo durante la madrugada del día 24, instruyeron rastrear las trazas del nivel de aguas máximas en la periferia del vaso inundado cercana al vertedero y muros laterales del umbral USBR. De esta actividad se obtuvieron dos registros relevantes; el primero fue la cota de la traza de inundación máxima, en la ladera del vaso cercano al vertedero, cuyo valor promedio fue determinado topográficamente en 747,68 msnm. El segundo valor fue inferido de la traza del eje hidráulico máximo dejada en el muro lateral del umbral USBR, determinándose una cota de 747,63 msnm. Se observa sobre línea la punteada la traza de agua que oscurece al hormigón del muro.



Figura N° 4: Traza del flujo máximo en muro lateral del umbral USBR

8. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO EVACUADO POR EL SECDE DEL EMBALSE ANCOA, EL DÍA 24 DE JUNIO DE 2023

El SECDE embalse Ancoa, incluye un umbral tipo USBR que descarga a un canal colector conectados al rápido de descarga, finalizando en un salto de esquí. Originalmente fue diseñado para un caudal de $761 \text{ m}^3/\text{s}$ que corresponde a la crecida milenaria laminada.

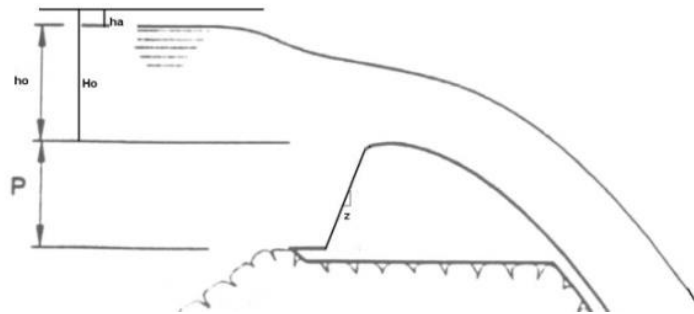


Figura N° 5: Esquema del Umbral USBR

H_o : Carga hidráulica estimada en 2,68 m para la madrugada del 24 de junio 2023.
 h_o : Altura de agua máxima sobre el umbral, estimada en 2,63 m el mismo evento anterior.
 P : Altura del paramento (3,0 m)
 Z : Inclinación del paramento 2:3 (H/V)

El Caudal Unitario q ($m^3/s/m$), evacuado por la obra, está dado por la ecuación:

$$q = C_o \cdot H_o \sqrt{2g \cdot H_o} \quad (1)$$

Si se considera los datos del diseño (DOH-SMI, 2004), se tiene lo siguiente:

H_o^* : Carga hidráulica de diseño = 3,10 m; C_o^* : Coef. de gasto para la carga de diseño = 0.4833

De las Figuras 190 y 191 de (USBR, 1966), se tiene que para $H_o/H_o^* = 0,86 \rightarrow C_o/C_o^* = 0,98$

Por lo tanto $C_o = 0,4736$. Si además se corrige por la inclinación del paramento 2:3 (H/V), resulta que: C (inclinado) / C (vertical) = 1,008. Por lo tanto el coeficiente C_o (corregido) = 0,4774

Remplazando las variables obtenidas para el flujo máximo del 24 de junio de 2023 y considerando el largo del vertedero ($L = 45$ m), se tiene:

$$Q = 0,4774 \cdot 2,68 \cdot 45 \sqrt{19,6 \cdot 2,68} = 417,3 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2)$$

Si además para el cálculo de la velocidad de aproximación (V_a) se aplica la siguiente relación:

$$V_a = \frac{q}{p + h_o} \quad (3)$$

Resulta que $V_a = 1,65$ m/s, para $h_o=2,63$ m, lo cual es razonable, toda vez que para la crecida de diseño ($Q = 761 \text{ m}^3/\text{s}$), el valor $V_a^* = 1,98$ m/s (SMI, 2004).

9. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CANAL COLECTOR MODIFICADO.

Respecto al comportamiento de canal colector, éste sólo se pudo registrar mediante videos y fotografías el día 26 de junio de 2023, estimándose un caudal del orden de $200 \text{ m}^3/\text{s}$, cabe señalar que dicho registro releva una gran importancia, ya que por primera vez se pudo observar un flujo importante en dicho canal colector, con los bloques de impacto construidos.

Según lo anterior, si se compara el registro obtenido el día 26 de junio 2023, para un caudal estimado del orden de los $200 \text{ m}^3/\text{s}$ y un registro similar que proviene de la experimentación a escala reducida, en el marco del estudio (DOH-INH, 2015), para un caudal que representa un flujo de $150 \text{ m}^3/\text{s}$, se puede observar que si se hace abstracción de las características bifásicas en la superficie libre del flujo, en ambos registros existe una gran correspondencia de las características generales del flujo, según se muestra en la siguiente Figura N° 6.



Figura N° 6: Comparación de las características del flujo entre el canal colector real (26-06-2023) y el modelo a escala reducida 1:40 (DOH-INH, 2015), para caudales comparables.

10. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL RÁPIDO DE DESCARGA Y SALTO DE ESQUÍ DEL EMBALSE ANCOA

Previo a realizar el análisis, cabe reiterar que para el evento de junio 2023, dicha obra no estaba 100% terminada. En particular faltaba ejecutar el aireador y algunos muros en la parte baja del rápido, que se encontraban con sus enfierraduras y moldajes al momento del vertimiento. No obstante, a continuación se comparan registros de dos vertimientos a través del rápido de descarga y salto de esquí. El primero para la situación original en agosto de 2015 y un caudal de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ y el segundo es el vertimiento a través del rápido de descarga y salto de esquí modificado, el 24 de junio de 2023, con un caudal estimado del orden de $300 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura N° 7: Comparación entre el vertimiento de 29-08-2015 con un caudal de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ y el vertimiento del 24-06-2023, con un caudal estimado del orden de $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Primeramente cabe señalar, que del análisis de los registros fotográficos y de videos disponibles del vertimiento de agosto del 2015, se pudo observar que el chorro evacuado a través del salto de esquí original, no despegaba. Además al producirse a una gran altura, aproximadamente unos 86 m sobre el nivel del cauce, sumada la componente aerodinámica del viento, provocaba una serie de afectaciones, donde una parte de dicho chorro, se desviaba hacia la zona de obras de entrega y presa, implicando un riesgo a la materialidad de éstas.

Según lo anterior, al comparar los registros de ambos eventos, pueden observarse varios aspectos: Lo primero es que el flujo en el rápido de descarga y salto de esquí modificado (2023), pese a portear un caudal más de 3 veces superior a la situación original (2015), es bastante más ordenado y menos difuso. También puede observarse, que en el salto de esquí original, para un caudal de $80 \text{ m}^3/\text{s}$, no se produce el despegue del chorro, en cambio en la situación modificada, si se produce el éste. Lo anterior, se debe a que en el diseño del cambio de posición del salto de esquí, además se realizó un rebaje a la estructura bajo el labio de éste, favoreciendo notablemente la aireación para el despegue, tal como fue sugerido por los análisis numéricos realizados.

Por otra parte, del análisis a los registros del 24 junio 2023, se puede afirmar que el riesgo de afectación a las obras de entrega y presa, que fue el motivo central de la modificación del salto de esquí, disminuyó considerablemente, ya que la zona de lanzamiento del chorro y disipación de energía, se desarrolló a una cota inferior y desplazada hacia el cauce, con lo cual el chorro una vez despegado, no representó peligro para dichas obras. Habría que considerar además, que la modificación no estaba completamente terminada, cuando se produjo el vertimiento, habiendo zonas con infraestructura en ejecución emplazadas en el perímetro mojado del escurrimiento. Esto hace inferir que en su condición 100% terminada, se podría haber tenido un mejor comportamiento aún.

11. ANÁLISIS DEL FOSO DE DISPACIÓN DE ENERGÍA

Para el análisis del foso de disipación, donde ocurrieron importantes cambios morfológicos, es necesario volver a mencionar que originalmente el diseño de la modificación del sistema de disipación de energía, contemplaba modelar dicho foso, físicamente en el INH, tanto para caudales operacionales, como de diseño y verificación, con el objetivo de poder definir de mejor forma la preexcavación y protección pertinente de este elemento disipador. También es pertinente reiterar que por temas de pandemia este objetivo no se pudo realizar, dado el impedimento de presenciabilidad laboral en el INH. Por tanto se decidió postergar dicha actividad, hasta que fuese posible su realización, privilegiando realizar lo antes posible, la ejecución del rápido de descarga y salto de esquí, que era de mayor urgencia en términos del funcionamiento global del SECDE, decisión que quedó plenamente justificada, tras el evento de junio de 2023.

En consecuencia, se determinó que mientras no se contara con la modelación física y en sintonía con los lineamientos económicos de (Chanson, 2015), se haría una preexcavacion somera y se esperaría que eventuales vertimientos contribuyeran a la excavación natural del foso de disipación, para posteriormente modelar la situación que se tuviera al momento de realizar ésta.

Por otra parte, como se mostró anteriormente, el caudal máximo estimado para vertimiento del 24 de junio de 2023, fue de $417 \text{ m}^3/\text{s}$, magnitud que si se contrasta con los más recientes estudios

hidrológicos realizados para la cuenca del embalse Ancoa, incluidos en Tabla N° 3, podría inferirse un periodo de retorno, asociado al caudal máximo estimado, del orden a 100 años.

Cabe señalar, que en el evento de junio 2023, la cuenca incrementó un 20% su área pluvial, dado que la isoterma cero (3.200 msnm), estuvo por sobre la cota más alta de la cuenca (3.088 msnm) y que incluso había algo de nieve residual de eventos anteriores, contribuyendo así a la especial característica que tuvo la relación precipitación escorrentía, para dicho evento.

En este contexto, durante la madrugada del 24 de junio de 2023, la gran energía del flujo superó la resistencia de las protecciones que se habían dispuesto en la ribera derecha del cauce, horadando y definiendo un foso de grandes dimensiones, acorde a la magnitud del flujo estimado, tal como se muestra en la siguiente Figura N° 8.



Figura N° 8: Vista del foso de disipación después (izq.) y durante (der.) el evento del 24 de junio 2023.

Según panel izquierdo de la figura N° 8 se observa la nueva morfología del foso de disipación, donde sólo se mantuvieron algunos enrocados, de las protecciones de aguas arriba. La línea roja segmentada, esboza la disposición de las protecciones de enrocados, que existían en la ribera derecha del cauce, antes de la madrugada del día 24. Por otra parte, en el panel derecho de la figura N° 8, se muestra una vista fotográfica del día 24 a la distancia y que pese a lo difusa de ella, por la bruma imperante, se aprecia el nivel de aguas del cauce, casi a nivel de las vigas del puente La Selva y evidenciando una gran disipación de energía al interior del foso de disipación.

12. CONCLUSIONES

La filosofía del diseño de la modificación del SECDE, gestionada por la DOH fue acertada, lo que quedó claramente demostrado con el vertimiento de junio 2023, evidenciando una disminución del riesgo de afectación a las obras de entrega y presa, pese a no estar la obra completamente construida.

La decisión de la DOH de postergar la modelación física, permitiendo la construcción anticipada de la modificación del vertedero y salto de esquí, también fue acertada, ya que se estima que con los vertimientos del evento de junio de 2023 y el vertedero y salto de esquí en la situación

original, se habría producido una gran afectación a las obras de entrega y presa.

Se debería retomar la modelación física postergada, con la situación actual, tal que permita analizar las protecciones más adecuadas para el largo plazo. Además, se plantea la oportunidad “académica” de ensayar la situación “ex ante” del evento y compararla con la actual.

Se debe propender a que en el mediano plazo, los embalses cuenten con una instrumentación que permita obtener registros automáticos y continuos, en particular en las obras de evacuación.

Otro aspecto a relevar, es la importancia de estudiar los Sistemas de Evacuación de Crecidas y Disipación de Energía, con apoyo de la modelación física-numérica, incluso si dichas obras se encuentran construidas, aprovechando las temporadas de baja probabilidad de vertimientos, para ejecutar las modificaciones que resulten de los estudios.

Finalmente cabe señalar la importancia que tiene en la actualidad, en el marco del cambio climático, revisar y actualizar los criterios de diseño de las obras hidráulicas, especialmente aquellas con potencial de afectación a la comunidad, que se encuentra aguas abajo de éstas.

REFERENCIAS

Chanson, Hubert. 2015. Energy Dissipation in Hydraulic Structures-(IAHR Monographs).CRC Press.

DOH-SMI. 2004. Construcción Diseños Complementarios Proyecto Embalse Ancoa VII Región.

DOH-INH. 2015. Modelación Física y Matemática de las Obras de Evacuación del Embalse Ancoa, Región del Maule.

DOH-SMI. 2017. Diagnóstico de la Adecuación al Sistema de Evacuación de Crecidas del Embalse Ancoa, VII Región

DOH-SMI. 2021. Diseño Sistema de Disipación de Energía, Embalse Ancoa, Región del Maule.

González, J.A, Balbontín J. Una Experiencia de Modelación Híbrida en la parte alta del Sistema Evacuador de Crecidas del Embalse Ancoa, Región del Maule. XXII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.

González, J.A, Balbontín J. 2016 Una Experiencia de Modelación Híbrida en el Sistema Evacuador de Crecidas del Embalse Ancoa, Región del Maule, Chile. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Lima, Perú.

Mery, Horacio. 2013. Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras. RIL Editores

USB. 1966. Diseño de Presas Pequeñas. Compañía Editorial Continental S.A.