

## EVALUACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL USBR PARA EL DISEÑO DE ALIVIADEROS TIPO CREAGER DE DESCARGA LIBRE

### EVALUATION OF GENERAL EQUATION OF USBR FOR SPILLWAYS DESIGN TYPE CREAGER OF FREE DISCHARGE

 Jorge Junior Vásquez Acosta <sup>1a</sup>  
 Andy Yamely Vasquez Sanchez <sup>1b</sup>  
 Jose Luis Piedra Tineo <sup>1c</sup>  
 Guillermo Gustavo Arriola Carrasco <sup>2d</sup>



Fecha de recepción : 21/12/2020

Fecha de aprobación : 15/01/2021

#### Resumen

En la actualidad el desarrollo de nuevas tecnologías para el diseño de aliviaderos tipo Craeger ha llevado a implementar modelos numéricos y físicos que permiten analizar la diversidad de formulaciones existentes y pues en ese sentido la presente investigación tiene por objetivo evaluar la ecuación general del United States Bureau Reclamation para el diseño de aliviaderos tipo Creager de descarga libre, escogiéndose como escenario de investigación el tramo de descarga del reservorio Tinajones en las inmediaciones del canal Taymi. La metodología de investigación fue del tipo cuantitativa y de diseño experimental, además fue necesario realizar mediciones de las estructuras hidráulicas existentes en la zona de estudio y se elaboró un registro de aforo del caudal en épocas de estiaje y de máximas avenidas. Los resultados que previamente fueron procesados en un modelamiento unidimensional indican que de las dos secciones propuestas para el diseño del aliviadero tipo Creager la que mejor comportamiento hidráulico desarrolla es la de sección rectangular respecto a una sección trapezoidal y también se concluye que las condiciones de diseño hidráulico se simplifican enormemente para la sección de óptimo desempeño.

**Palabras clave:** Aliviadero tipo Creager, descarga libre, diseño hidráulico, ecuación del USBR, evaluación.

#### Abstract

In Currently, the development of new technologies for spillways desing type Creager has led to the implementation of numerical and physical models that allow the analysis of the diversity of existing formulations and in this sense the present research aims to evaluate the general equation of the United States Bureau Reclamation for spillways desing type Creager of free discharge, choosing as the research scenario the discharge section of the Tinajones reservoir in the vicinity of the Taymi channel. The research methodology was of the quantitative type and experimental design, in addition to making measurements of the existing hydraulic structures in the study area and a record of flow capacity was prepared in times of low water and peak floods. The results that were previously processed in a one dimensional modeling indicate that of the two sections proposed for spillways desing type Creager, the one that develops the best hydraulic behavior is the rectangular section with respect to a trapezoidal section and also concluded that the hydraulic design conditions are greatly simplified for the optimal performance section.

**Key words:** Spillway type Creager, free discharge, hydraulic design, USBR equation, evaluation.

#### 1. Introducción

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Jaén, Jaén - Cajamarca, Perú

<sup>2</sup> Universidad Señor de Sipán, Pimentel – Chiclayo, Perú

<sup>a</sup> Bachiller en Ciencias con mención en Ingeniería Civil, [jorge031192@gmail.com](mailto:jorge031192@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9615-3575>

<sup>b</sup> Ingeniero Civil, [andyvassan@gmail.com](mailto:andyvassan@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-4139-5638>

<sup>c</sup> Magister en Gestión Pública, [jospie1@hotmail.com](mailto:jospie1@hotmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-2727-9692>

<sup>d</sup> Ingeniero Civil, [garricola@crece.uss.edu.pe](mailto:garricola@crece.uss.edu.pe); <https://orcid.org/0000-0002-2861-1415>

Hoy en día el desarrollo de nuevas tecnologías para el diseño de aliviaderos de descarga libre en las diversas obras hidráulicas implica el reto de escoger en una infinidad de tipos de vertederos la mejor opción en cuanto a funcionamiento y desempeño hidráulico; uno de estos tipos de estructuras son las del tipo Creager. Tal consideración se destaca sobre todo en los aliviaderos de descarga libre en presas, ya que Granados et al.(2016) sostienen que el aliviadero, vertedero, vertedor y/o cimacio es un órgano de desagüe fundamental por su relación directa con la seguridad de la presa en ese sentido se ha estudiado la capacidad de vertido en los aspectos que influyen en su seguridad y en la evacuación de crecidas del río.

A lo largo de los años se han desarrollado e implementado modelos numéricos y físicos que han permitido analizar la diversidad de formulaciones existentes, tal es el caso de Morais et al. (2020) que realizaron una investigación donde experimentaron con la dinámica de fluidos computacional para validar en cierta medida dichas formulaciones sin dejar de lado las mediciones experimentales a escala reducida. Además Zeng et al. (2017) presentan un enfoque para obtener datos generados numéricamente utilizando dinámica de fluidos computacional para evaluar, complementar y validar las mediciones de campo cuya finalidad es la de mejorar las fórmulas de clasificación de flujo de un aliviadero, contrastado los resultados con la experimentación en laboratorio.

En el contexto sobre modelos numéricos la investigación de Filho & Ota (2016) evaluaron la capacidad de una herramienta de modelado matemático con el software Flow 3D, que les permitió reproducir las principales características del flujo sobre aliviaderos ahogados aguas abajo concluyendo que las distribuciones de presión muestran resultados muy similares en comparación con otros modelos numéricos y a esto se agrega la investigación de Ghorbani et al.(2019) que además de aplicar el modelo numérico en mencionado también validaron un metamodelo del tipo red neuronal artificial Multi-Layer Perceptron para sustituir el modelo numérico Flow 3D, obteniendo de esta manera resultados favorables en cuanto a la reducción de la incertidumbre en el diseño de este tipo aliviaderos de descarga libre.

En cambio para Nóbrega et al.(2020) con respecto a las investigaciones de Filho & Ota (2016) y Ghorbani et al.(2019), aplicaron simulaciones numéricas bidimensionales usando el software DualSPHysics y se compararon sus resultados con datos experimentales validado por un método de hidrodinámica de partículas suavizadas que permitió simular el flujo sobre aliviaderos lisos y escalonados obteniendo profundidades de flujo y se compararon óptimamente con los datos experimentales y con las fórmulas empíricas disponibles basadas en el principio teórico de vertedores de descarga libre.

Según señalan Arreguín y Alcocer (2011) existen diversos tipos de diseños hidráulicos de aliviaderos muy usados en todo el mundo, tales diseño son los de la United States Bureau Reclamation (USBR), los que utilizan el criterio de velocidad de llegada despreciable con talud aguas arriba vertical y talud aguas arriba inclinado y los del criterio de la United States Army Corps Engineers (USACE) para diferentes taludes aguas arriba, pero todos parten desde el análisis de la ecuación genérica de la USBR, dicha ecuación relaciona directamente la carga de diseño, la carga de velocidad de llegada, las distancias horizontales y verticales de posición del perfil del aliviadero y parámetros adimensionales que están en función del talud aguas arriba de la descarga. Así mismo Arreguín y Alcocer (2011) indican que diversos investigadores se han preocupado por estudiar la forma que debe darse a las crestas vertedoras, desde Bazin en 1890 hasta Creager en 1929, sugirieron en que el cimacio debe evitar depresiones por acción de la carga hidráulica, reducir la erosión en el mismo y aumentar su eficiencia, por lo cual consideran que el perfil del aliviadero de descarga libre más aplicado en los diseños hidráulicos es el tipo Creager.

Otro aspecto importante en cuanto a la geometría del perfil del cimacio es que su aplicación en vertederos de presas por ejemplo de concreto compactado ha llevado a que su geometría de trayectoria se haya visto modificada empleando un sistema de gradas ó escalones, estas características desarrolladas por Khanghah & Kavianpour (2020) en su investigación sugieren que una de las

soluciones a este problema es utilizar el perfil CEDEX, la cual se sustenta en cuatro estudios numéricos con diferentes geometrías del cimacio y evaluaron cómo influye en los diversos parámetros hidráulicos, en la pendiente y en el resalto a la descarga. A pesar de que la geometría del vertedor es totalmente diferente a la concepción inicial de la ecuación general del USBR aplicada en este tipo de perfiles CEDEX se puede concluir que se mantienen las condiciones iniciales del diseño de un aliviadero tipo Creager de descarga libre que determinan la trayectoria del flujo y su comportamiento hidráulico.

También otra consideración importante es lo que mencionan Aydin et al.(2020) en cuanto al incremento de la velocidad del caudal cuando éste descarga sobre el cimacio cuya geometría conserva teóricamente la ecuación general de la USBR, sobre todo en presas de gran altura de tipo concreto compactado con rodillo, ya que se encuentran expuestos a cambios constantes de cavitación, señalan además que la forma óptima y económico de protección contra este daño es la aireación cuya solución muy viable es el uso de aireadores.

Epicum et al.(2019) en su investigación estudiaron otro aspecto importante muy relacionado a la variación de las características hidráulicas de los vertederos con cresta conopial para alturas de aguas arriba superiores a las del diseño, considerando en sus análisis experimentales e instrumentados varios perfiles cuyas características teóricas se sustentan en la ecuación general de un cimacio típico.

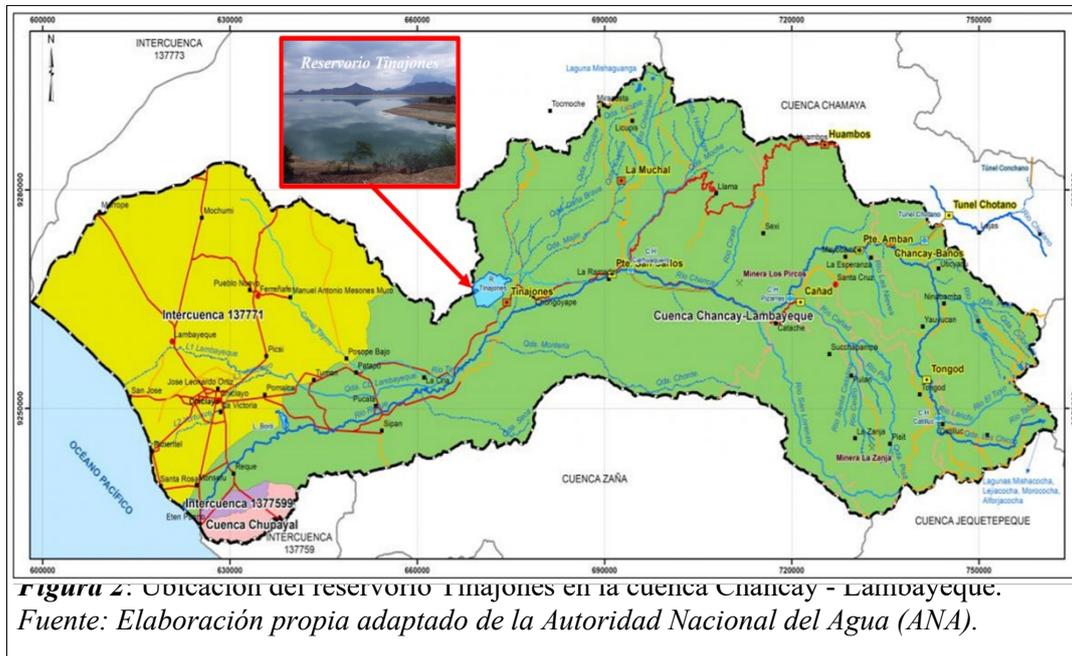
En el Perú los aliviaderos de descarga libre son los más usados en obras hidráulicas, desde pequeños canales de riego hasta presas de irrigación y/o generación de energía eléctrica, es por ello que los de aplicación práctica y eficiente son los del tipo Creager justificándose de esta manera esta investigación ya que permitirá evaluar la performance de dicho vertedero a partir de la obtención del perfil del cimacio desde la ecuación general del USBR. La presente investigación tiene por objetivo evaluar la ecuación general del United States Bureau Reclamation (USBR) para el diseño de aliviaderos tipo Creager de descarga libre escogiéndose como escenario de investigación el tramo de descarga del reservorio Tinajones en las inmediaciones del canal Taymi, pues ante una eventual descarga muy por encima del caudal máximo del registro hidrométrico disponible podría provocar problemas en el funcionamiento del canal Taymi y sus demás componentes.

## 2. Materiales y Métodos

La ubicación de la zona de estudio se enmarca en la cuenca Chancay – Lambayeque, perteneciente a la Unidad Hidrográfica Chancay – Lambayeque de la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) número cinco (V), denominada en la actualidad como Jequetepeque – Zarumilla (ver figura 1).



Específicamente el reservorio Tinajones está ubicado en una zona estratégica de la cuenca en mención permite irrigar 68,000 hectáreas en épocas de lluvias bajas y hasta 85,000 hectáreas en épocas de máximas avenidas (ver figura 2).



La población y la muestra fueron la zona de estudio correspondiente al punto de descarga del reservorio Tinajones en las inmediaciones del canal Taymi, distrito de Chongoyape, provincia de Chiclayo, Región Lambayeque (ver figura 3 y tabla 1).



**Tabla 1**  
Ubicación en coordenadas UTM del punto de descarga.

Estación	Coordenada Norte	Coordenada Sur	Cota (m.s.n.m.)
<b>BM-1</b>	674425.16	9268266.62	224.00

Fuente: Elaboración propia.

La presente investigación fue de tipo cuantitativa, ya que se orienta al cálculo de las velocidades y distancias en el canal Taymi. Asimismo, incorpora el uso de software para el diseño, verificación y comparación de las velocidades del flujo de agua. Por otra parte, su diseño fue experimental, ya que incorpora el trabajo de campo y gabinete. El primero enfocado en la toma de datos en el canal Taymi y el segundo basado en el manejo de software Hec-Ras v.4.0. La metodología desarrollada consistió en el reconocimiento de campo de la zona de estudio y la toma de mediciones geométricas en el canal Taymi (ver figura 4), como la base del canal, los taludes izquierdo y derecho, la pendiente del canal.

Luego se procedió hacer el análisis de las distribuciones teóricas de mejor ajuste para estimar el caudal máximo, después la etapa del dimensionamiento del aliviadero, posteriormente se realizó la simulación hidráulica determinada por la ecuación de los vertederos y finalmente la evaluación que consistió en la comparación de las secciones del tipo rectangular y del tipo trapezoidal.



**Figura 4:** Reconocimiento de campo y toma de mediciones en el canal Taymi.  
*Fuente: Elaboración propia.*

Las variables que se abordaron estuvieron en función a la ecuación de vertedero y al diseño del aliviadero tipo Creager en el canal Taymi. Lo anterior mencionado, pudo ser medido gracias a la aplicación de técnicas de observación y análisis de documentos y el empleo de instrumentos tales como guías de observación y formatos de recolección de datos. En cuanto a los registros del caudal máximo, éstos se recolectaron de la información disponible gratuitamente en la página virtual del Proyecto Especial Olmos Tinajones (PEOT), donde se encuentra los registros de los caudales máximos completos aforados a nivel diario desde el 2007 hasta la actualidad indicando como referencia al Canal Alimentador como punto de aforo por el PEOT, sin embargo estos caudales están condicionados a una descarga máxima de 70.00 m<sup>3</sup>/s desde la descarga del mismo reservorio Tinajones hasta el punto de medición del canal Taymi, a pesar de ello se aplicaron las distribuciones de mejor ajuste para el análisis de extremos de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años cuya finalidad fue la de establecer la distribución de mejor ajuste respecto al registro histórico de caudales máximos.

### 3. Resultados

#### 3.1 Análisis de las distribuciones teóricas de mejor ajuste

Esta etapa correspondió a la aplicación de las diversas distribuciones teóricas de mejor ajuste (ver tabla 2) por medio del análisis de extremos versus el registro de caudales máximos a nivel diario (ver figura 6) cuya finalidad fue determinar el caudal máximo extremo (ver tabla 3 y figura 7) que podría producirse si se supera el valor máximo del registro, pues como se mencionó anteriormente están

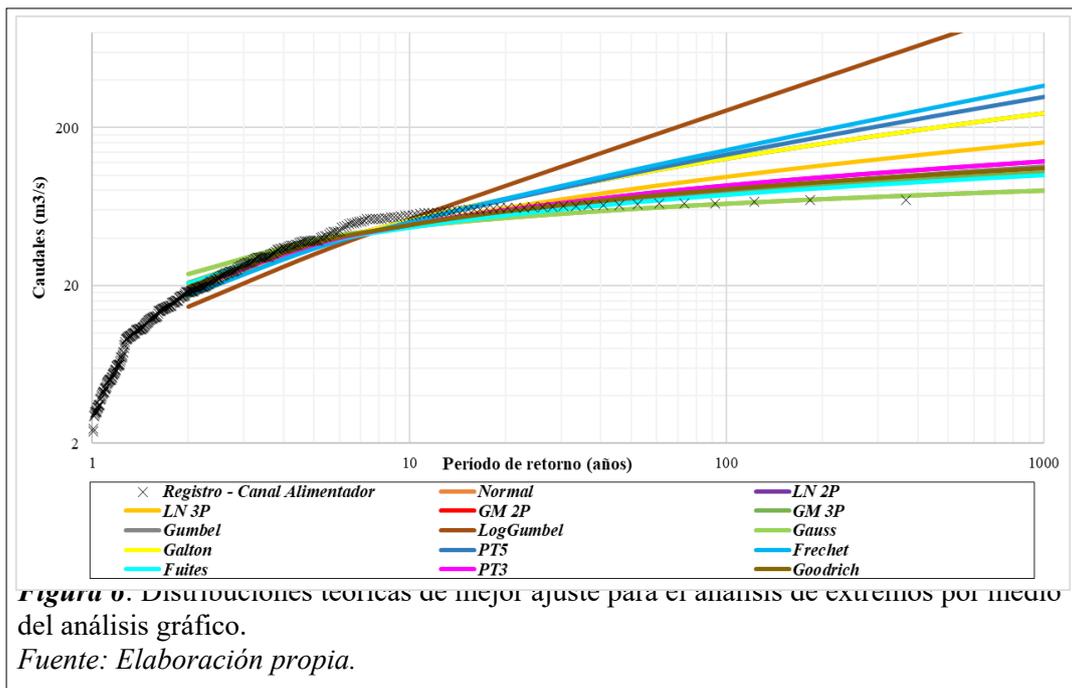
condicionados a una descarga máxima de 70.00 m<sup>3</sup>/s. En cuanto al análisis de extremos el procedimiento se sustenta en la investigación de Arriola et al.(2020) quienes indican que de las distribuciones teóricas aplicadas se debe escoger la que mejor ajuste tenga respecto al registro histórico de caudales máximos.

**Tabla 2**

*Distribuciones teóricas de mejor ajuste aplicadas al registro de caudales máximos versus período de retorno.*

Tr (años)	Distribuciones teóricas de mejor ajuste													
	Normal	LN 2P	LN 3P	GM 2P	GM 3P	Gumbel	LogGumbel	Gauss	Galton	Pearson	T5	Frechet	Fuites	Pearson 3
2	23.73	16.99	18.59	19.13	20.93	20.71	14.74	23.73	16.99	17.32	17.29	20.61	19.13	19.66
5	39.16	35.29	35.24	36.33	37.77	36.92	31.74	39.14	35.26	34.54	34.42	36.64	36.33	37.05
10	47.23	51.72	48.16	48.33	48.28	47.65	52.76	47.20	51.66	50.33	50.61	46.76	48.34	48.50
20	53.90	70.92	61.87	59.92	57.89	57.94	85.89	53.85	70.82	69.71	71.18	56.01	59.94	59.12
50	61.40	101.15	81.55	74.83	69.73	71.27	161.40	61.34	101.01	102.74	107.77	67.38	74.87	72.27
100	66.40	128.17	97.77	85.88	78.23	81.25	258.94	66.33	127.99	135.00	145.13	75.53	85.97	81.71
200	70.97	159.16	115.25	96.76	86.42	91.20	414.71	70.90	158.95	175.39	193.74	83.37	96.94	90.80
500	76.52	206.94	140.46	110.89	96.84	104.33	771.97	76.44	206.68	245.09	281.23	93.35	111.29	102.38
1000	80.41	248.77	161.23	121.89	104.38	114.24	1234.69	80.32	248.47	312.36	371.04	100.83	122.06	110.85

Fuente: Elaboración propia.



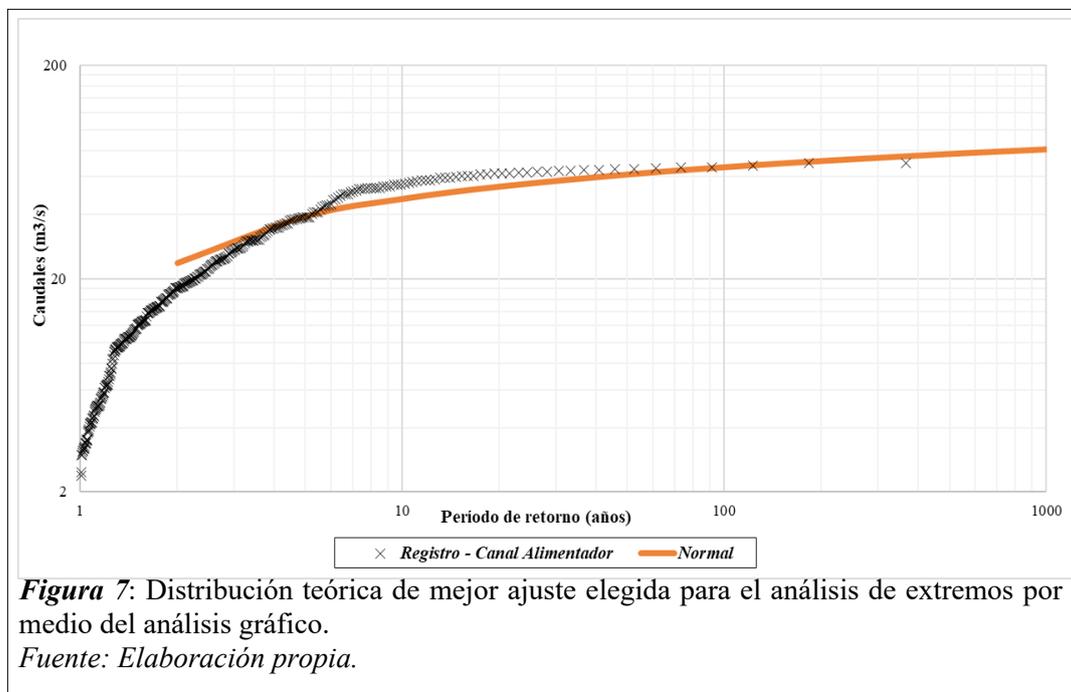
Tal y como se muestra en la tabla 2 y figura 6, se aplicaron catorce distribuciones teóricas al registro histórico para los diferentes períodos de retorno para determinar la elección de la distribución de mejor ajuste tanto en comparación con el período de retorno como con el uso del análisis gráfico respectivamente. También se puede apreciar de los resultados de la tabla 2 y del análisis gráfico realizado (ver figura 6), que de todas las distribuciones aplicadas al registro de aforos del Canal Alimentador existe una muy extrema que corresponde a la distribución teórica de Logaritmo Gumbel (LogGumbel), pues a partir de los 20 años de período de retorno en adelante supera enormemente el caudal máximo de descarga.

**Tabla 3**

*Distribución teórica de mejor ajuste elegida para el análisis de extremos versus período de retorno.*

Tr (años)	Distribución teórica de mejor ajuste
	Normal
2	23.73
5	39.16
10	47.23
20	53.90
50	61.40
100	66.40
200	70.97
500	76.52
1000	80.41

Fuente: Elaboración propia.



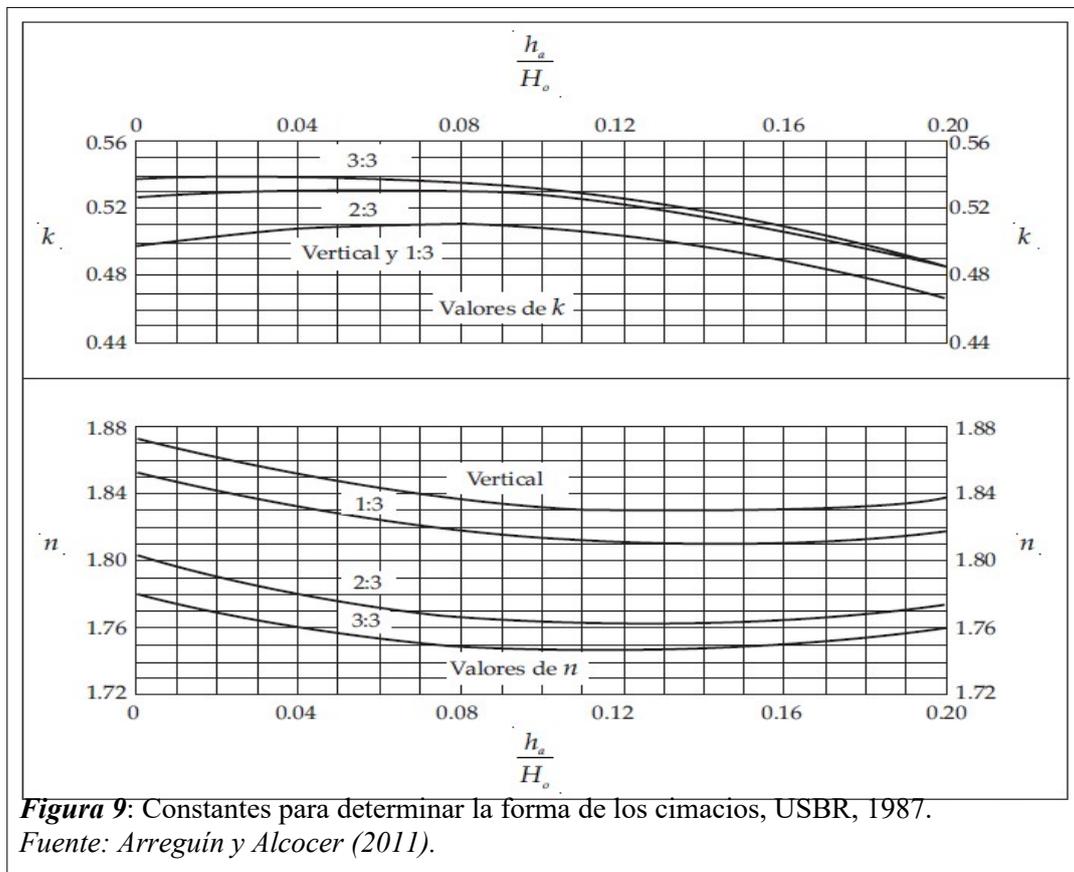
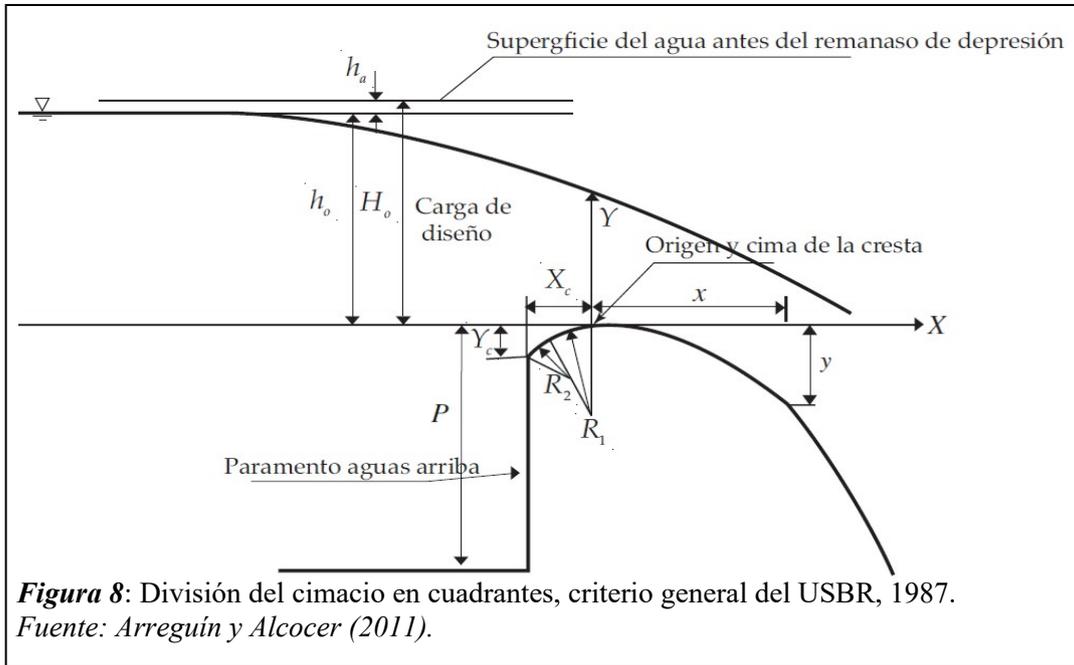
Finalmente, en esta etapa se eligió a la distribución de mejor ajuste la cual por medio de los análisis de extremos tanto en comparación con el período de retorno (ver tabla 3) y gráficamente (ver figura 7) se obtuvo que la distribución teórica Normal es la que presenta mejor ajuste respecto al registro histórico de caudales máximos.

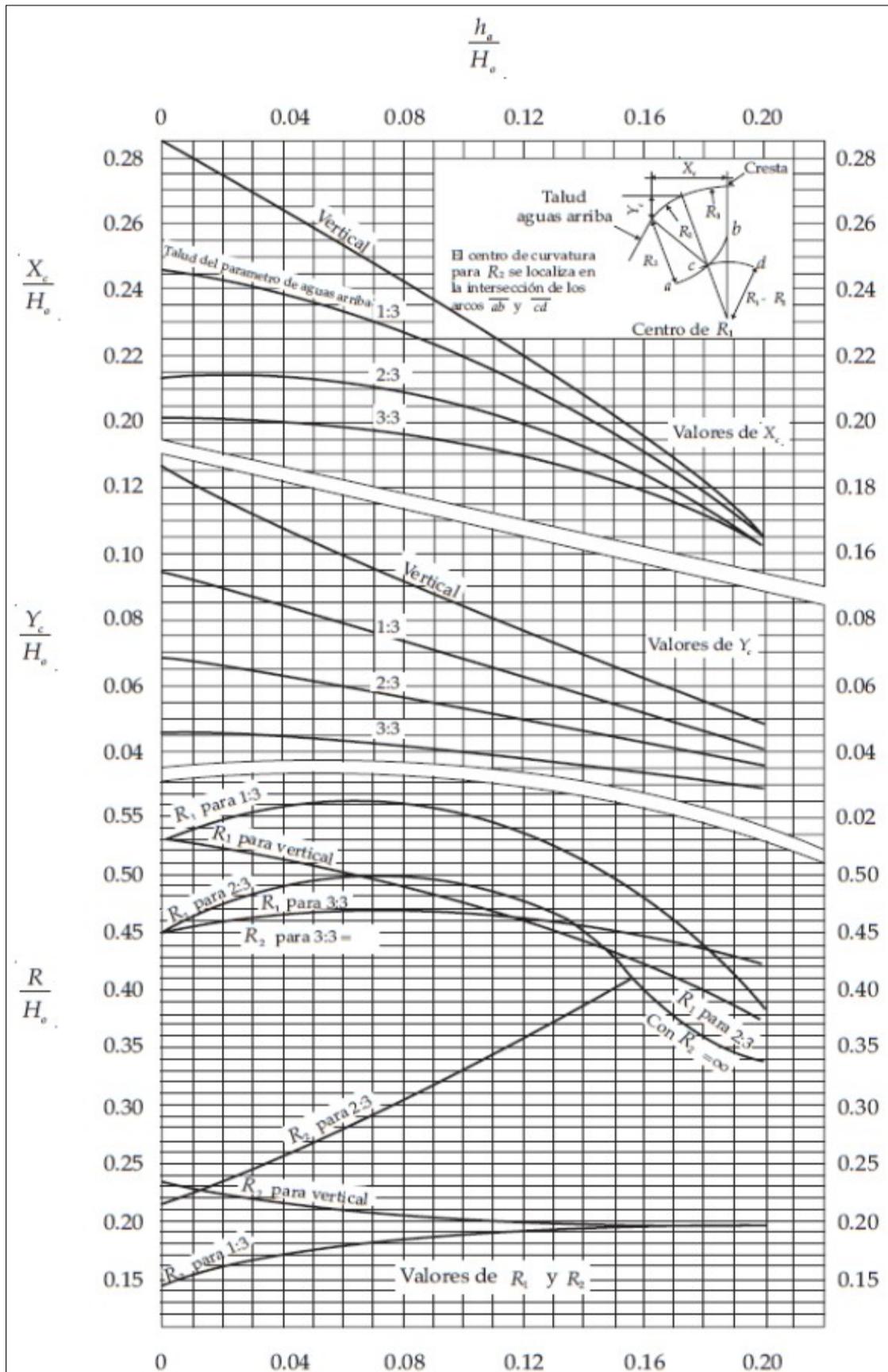
### 3.2 Diseño hidráulico

Con los parámetros obtenidos en campo y mediciones geométricas in situ, se comenzó a realizar el dimensionamiento del aliviadero tipo Creager de descarga libre (ver figura 8), cuya ecuación característica se basa en el criterio general de la USBR propuesta en 1987 (Arreguín y Alcocer, 2011) se muestra a continuación:

$$\frac{y}{H_0} = -k \left( \frac{x}{H_0} \right)^n$$

Donde  $y$  corresponde a la distancia vertical,  $x$  es la distancia horizontal,  $H_o$  se denomina carga total ó carga de diseño,  $K$  y  $n$  son parámetros adimensionales que están en función de la carga de velocidad de llegada y la carga total. Estos parámetros adimensionales  $K$  y  $n$  según lo mencionan Arreguín y Alcocer (2011) se obtienen según los gráficos propuestos por la USBR (ver figura 9).



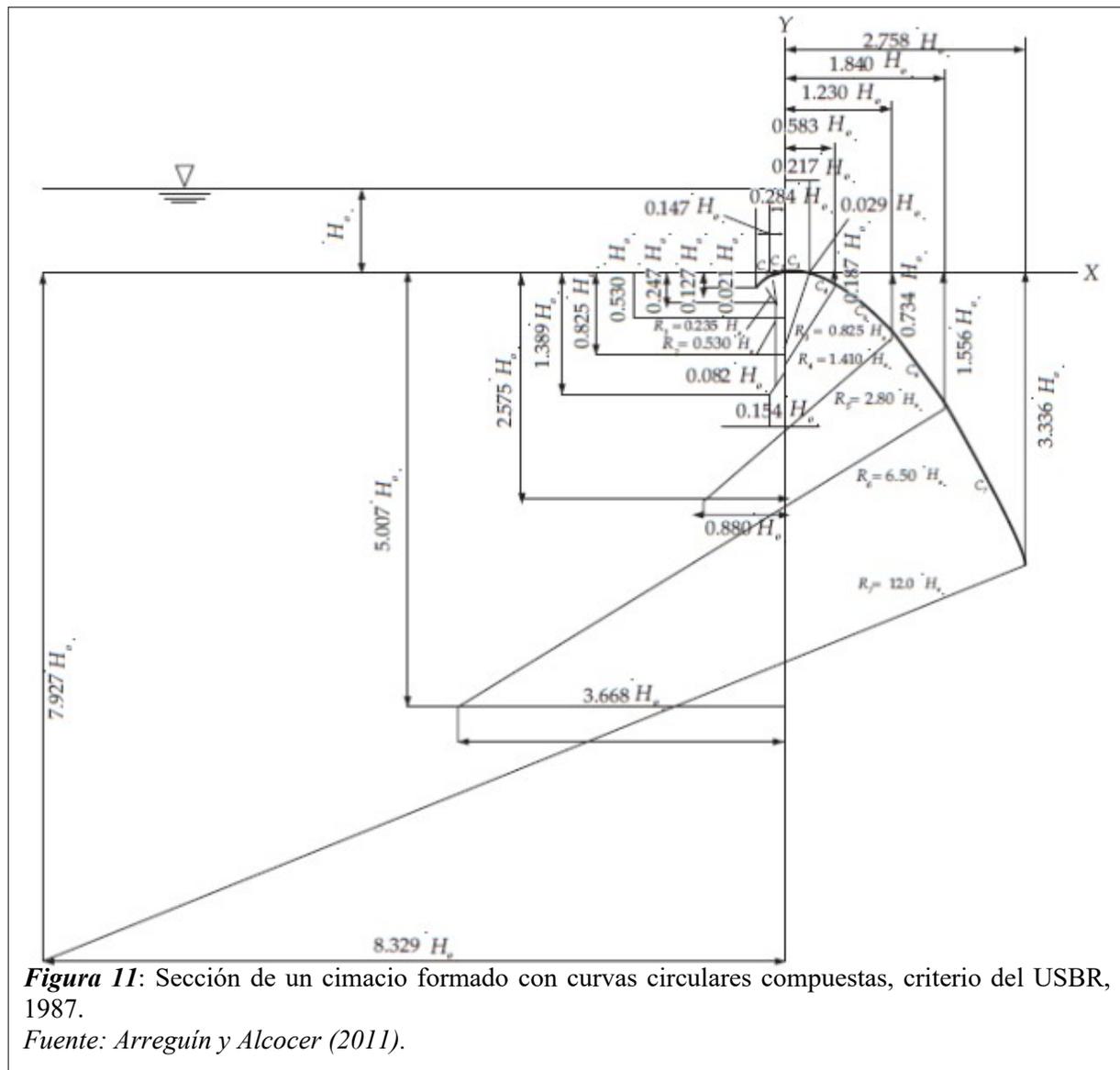


**Figura 10:** Constantes para calcular el sector aguas arriba en un cimacio de acuerdo al criterio general del USBR, 1987.

Fuente: Arreguín y Alcocer (2011).

Además el criterio de la USBR sugiere que se determinen los parámetros longitudinales  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $R_1$  y  $R_2$  del primer cuadrante (ver figura 10) para definir completamente la geometría del cimacio tal y como se mostró previamente en la figura 8.

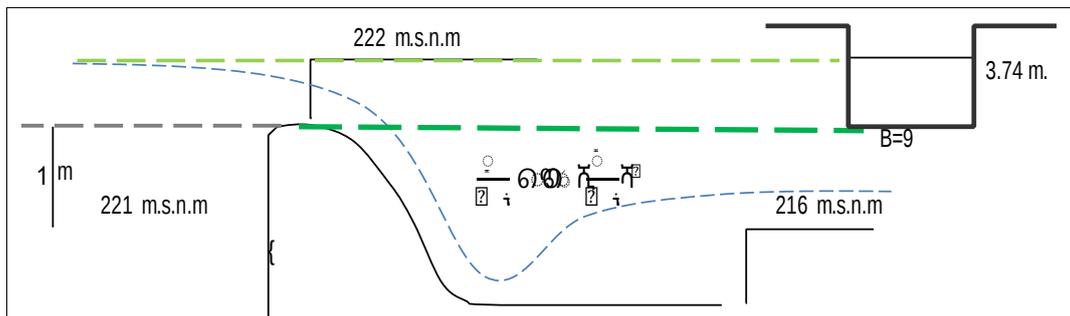
Por último, se muestra otro criterio de la USBR mencionado por Arreguín y Alcocer (2011) basado en la velocidad de llegada despreciable y talud aguas arriba vertical, cuya condición inicial establece que la altura del cimacio dividida entre la carga total sobre el cimacio sea mayor e igual a 1.00. Este criterio permite además diseñar la sección del perfil del aliviadero como una curva circular compuesta, donde los radios están expresados en función de la carga total sobre el mismo cimacio (ver figura 11).



De los dos criterios señalados se decidió emplear el primer criterio basado en la ecuación general de aliviaderos tipo Creager de descarga libre, consecuentemente se aplicaron para la sección rectangular (ver figura 12) y para la sección trapezoidal (ver figura 13) determinándose de esta manera los parámetros hidráulicos (ver tabla 4) en condiciones normales para las dos secciones transversales con la aplicación de la ecuación de Manning mostrada a continuación:

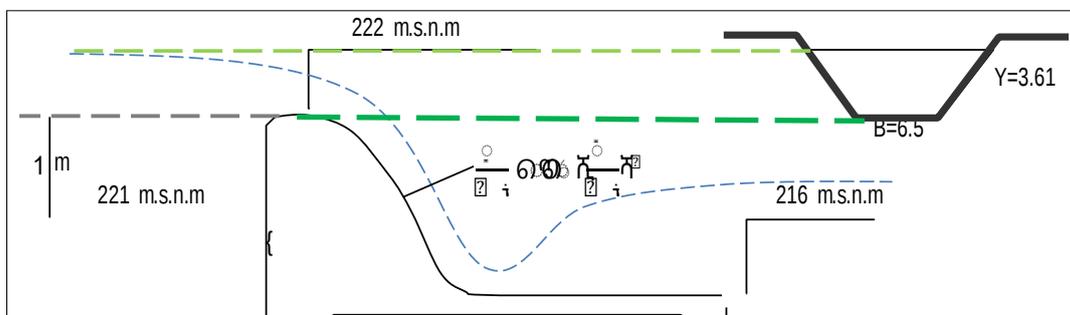
$$Q = \left( \frac{1}{n} \right) \left( \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \right) (S^{1/2})$$

Donde  $n$  es la rugosidad de las paredes de la sección transversal,  $A$  es el área hidráulica de la sección transversal,  $P$  es el perímetro mojado sección transversal y  $S$  es la pendiente del fondo.



**Figura 12:** Dimensionamiento hidráulico del aliviadero tipo Creager para la sección transversal rectangular.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 13:** Dimensionamiento hidráulico del aliviadero tipo Creager para la sección transversal trapezoidal.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4**

Parámetros hidráulicos en condiciones normales de las secciones transversales.

Parámetro	Indicador	Unidad	Tipo de sección	
			Rectangula r	Trapezoida l
Tirante	Y	Metros	2.807	2.709
Ancho de solera	B	Metros	9.000	6.500
Pendiente	S	Metro/metro	0.00125	0.00125
Talud	Z	Adimensional	0.000	1.00000
Rugosidad	n	Adimensional	0.016	0.016
Espejo de agua	T	Metros	9.000	11.918
Perímetro mojado	P	Metros	14.614	14.162
Área hidráulica	A	Metros cuadrados	25.263	24.948
Radio hidráulico	R	Metros	1.729	1.762
Velocidad	V	Metros/segundo	3.183	3.223
Energía Específica	E	Metros	3.323	3.238
Número de Froude	F	Adimensional	0.607	0.711
Tipo de flujo	Ninguno	Adimensional	Subcrítico	Subcrítico

Fuente: Elaboración propia.

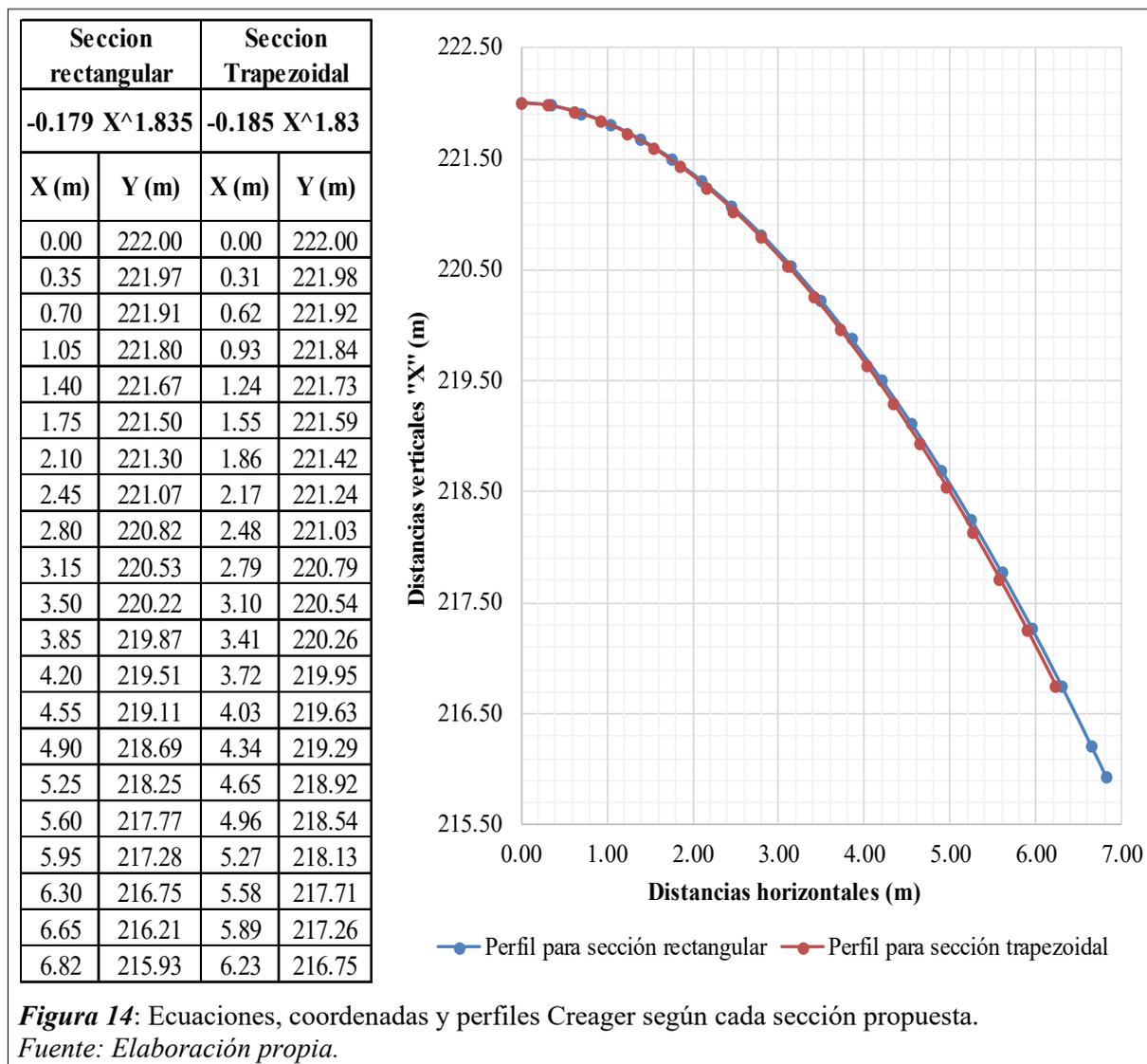
Luego continuando con el diseño del aliviadero tipo Creager se determinaron los parámetros geométricos (ver tabla 5) y los parámetros hidráulicos (ver tabla 6) para ambas secciones, luego se determinaron las ecuaciones y coordenadas para cada perfil Creager (ver figura 14) que permitieron realizar el modelamiento hidráulico unidimensional para los períodos de retorno señalados en el análisis de las distribuciones teóricas de mejor ajuste de la presente investigación, para lograr tal fin se empleó el programa Hec-Ras v.4.0 tal y como se muestra en las figuras 15 y 16.

**Tabla 5**

*Parámetros geométricos de las secciones transversales del aliviadero tipo Creager.*

Parámetro	Indicador	Unidad	Tipo de sección	
			Rectangular	Trapezoidal
Altura del vertedero	P	Metros	6.000	6.000
Longitud transversal del vertedero	L	Metros	9.000	6.500
Distancia centroidal horizontal	Xc	Metros	0.563	0.615
Distancia centroidal vertical	Yc	Metros	0.169	0.188
Radio mayor	R1	Metros	1.254	1.344
Radio menor	R2	Metros	0.627	0.632

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 14:** Ecuaciones, coordenadas y perfiles Creager según cada sección propuesta.

Fuente: Elaboración propia.

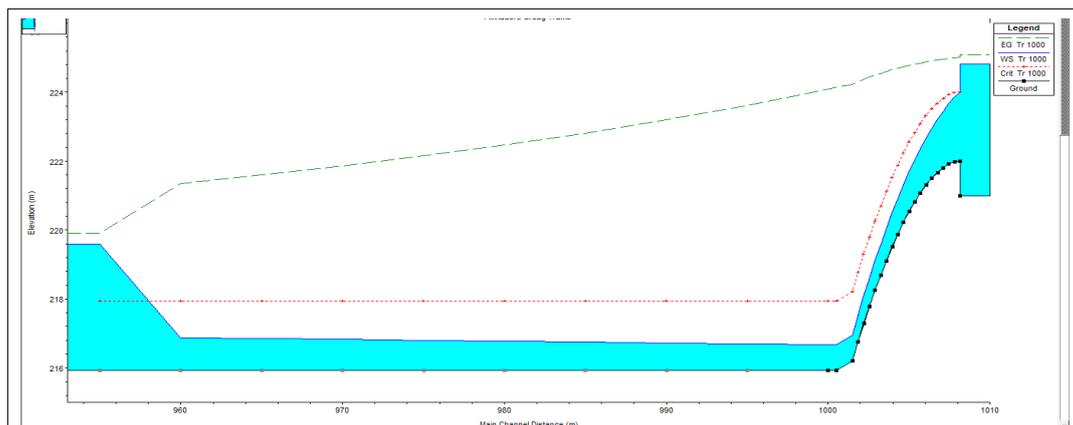
**Tabla 6**

Parámetros hidráulicos de las secciones transversales del aliviadero tipo Creager.

Parámetro	Indicador	Unidad	Tipo de sección	
			Rectangula r	Trapezoida l
Caudal máximo para 1000 años	$Q_{1000}$	m <sup>3</sup> /s	80.41	80.41
Velocidad*	V	Metros/ segundo	3.403	3.223
Coefficiente de descarga del aliviadero	Cd	Adimensional	2.100	2.100
Carga de diseño	ho	Metros	2.626	2.709
Carga de velocidad de llegada	ha	Metros	0.590	0.529
Carga total o Carga de proyecto	Ho	Metros	3.216	3.238
Relación ha/Ho	ha/Ho	Adimensional	0.184	0.163
Coefficiente k	k	Adimensional	0.475	0.490
Coefficiente n	n	Adimensional	1.835	1.830

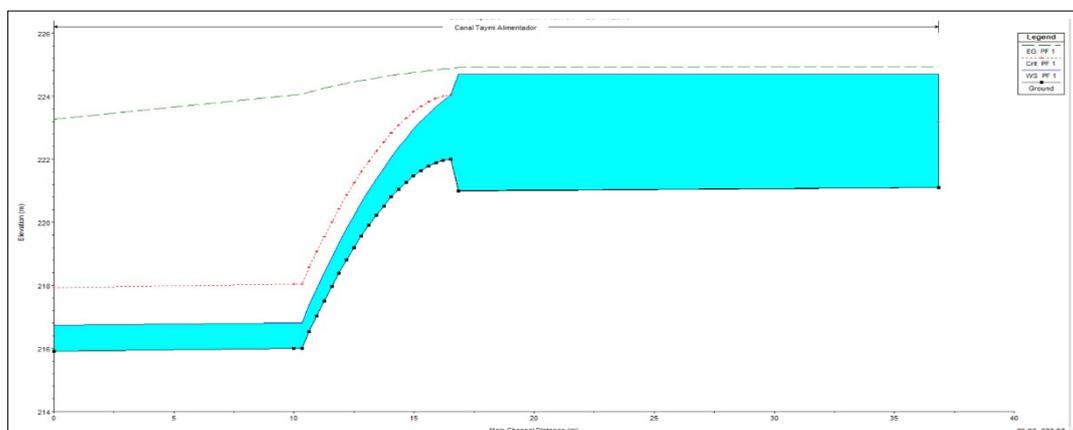
Nota: El parámetro velocidad para la sección rectangular fue calculado con la ecuación de un vertedero de descarga libre debido a que esta condición sólo es válida para secciones rectangulares, mientras que para la sección transversal trapezoidal fue la misma velocidad que la del canal.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 15:** Modelamiento hidráulico del aliviadero tipo Creager para la sección transversal rectangular (vista en perfil longitudinal).

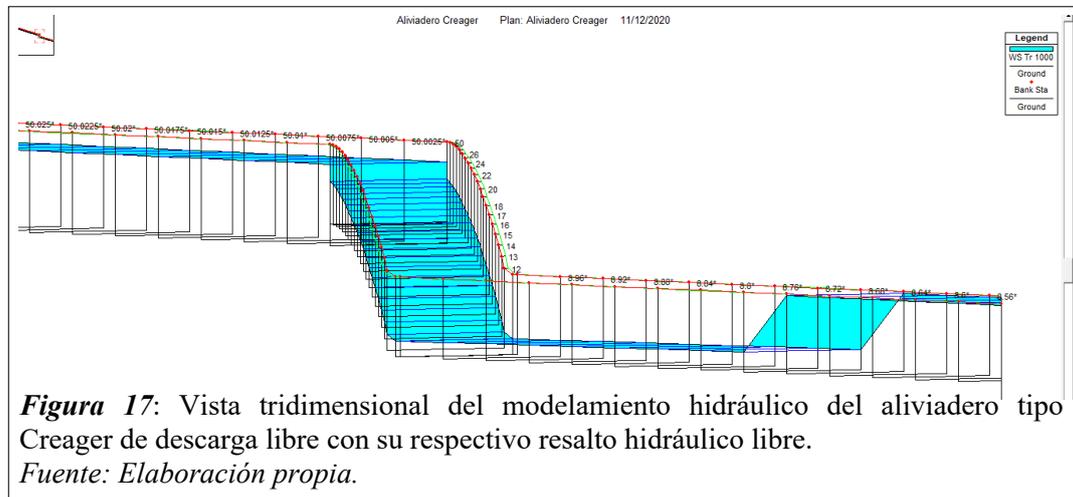
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 16:** Modelamiento hidráulico del aliviadero tipo Creager para la sección transversal trapezoidal (vista en perfil longitudinal).

Fuente: Elaboración propia.

Adecuando convenientemente la vista tridimensional para el perfil de flujo de diseño (ver figura 17), se puede observar que se desarrolló aguas abajo un resalto hidráulico libre del tipo oscilante según el criterio de clasificación de resaltos en la investigación de Pardo (2018), pues el número de Froude obtenido al pie del cimacio fue de 4.50 para la sección rectangular y 4.65 para la sección trapezoidal.



**Figura 17:** Vista tridimensional del modelamiento hidráulico del aliviadero tipo Creager de descarga libre con su respectivo resalto hidráulico libre.

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4. Discusión

De los resultados obtenidos se puede deducir que en cuanto al análisis de distribuciones teóricas de mejor ajuste para el análisis de extremos de los caudales máximos es el adecuado para este tipo de estructuras hidráulicas, esto en consideración a lo señalado por Arriola et al.(2020), sin embargo se recomienda en futuras investigaciones aplicar otros criterios comparativos tales como análisis probabilísticos con parámetros ordinarios, momentos lineales y con métodos estadísticos.

En cuanto a las simulaciones hidráulicas realizadas y los perfiles Creager obtenidos con esta investigación estamos de acuerdo que no son suficientes para un mayor alcance de los resultados obtenidos y sean aplicables a otras obras hidráulicas, pues lo señalado por Filho & Ota (2016), Véliz (2018) y Ghorbani et al.(2019) recomiendan que se empleen herramientas tecnológicas de mayor alcance como los programas que se basan en la dinámica de fluidos computacional, que sean validadas con mediciones de la zona de estudio y por último que se puedan contrastar con datos de laboratorio a escala reducida para diferentes condiciones de operación y funcionamiento.

#### 5. Conclusiones

Se realizaron las mediciones geométricas en la zona de estudio, específicamente en el canal Taymi y se determinaron los parámetros hidráulicos del canal concluyendo en que la situación actual del canal no presentaría problemas en su funcionamiento hidráulico hasta un caudal de 80.41 m<sup>3</sup>/s.

En cuanto al análisis de extremos empleando distribuciones teóricas de mejor ajuste se determinó que la más adecuada para el registro de aforos Canal Alimentador es la distribución Normal desde un período de retorno de 2 años hasta 1000 años.

De la evaluación realizada a la ecuación general del USBR para el diseño de aliviaderos tipo Creager de descarga libre y en base a los resultados obtenidos se concluye que para el caso estudiado la mejor sección transversal es la del tipo rectangular ya que se facilita su diseño y proceso constructivo, sin embargo no se descarta el uso de la sección trapezoidal pues hidráulicamente son semejantes en cuanto a los parámetros evaluados y finalmente las dos secciones funcionan muy bien.

## 6. Referencias

- Arreguín, F., & Alcocer, V. (2011). *Diseño hidráulico de vertedores* (Primera ed.). México, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Arriola, G., Villegas, L., & Sotomayor, G. (Julio de 2020). Análisis de las curvas de infiltración para determinar caudales máximos en zonas de escasa información ante eventos extremos. *Revista Científica Ingeniería: Ciencia Tecnología e Innovación*, 7(1). doi:10.26495/icti.v7i1.1352
- Aydin, M., Isik, E., & Ulu, A. (Enero de 2020). Numerical modeling of spillway aerators in high-head dams. *Applied Water Science*, 10(1), 1-9. doi:10.1007/s13201-019-1126-2
- de Moraes, V., Gireli, T., & Vatauvuk, P. (2020). Numerical and experimental models applied to an ogee crest spillway and roller bucket stilling basin. *Revista Brasileira de Recursos Hidricos*, 25(e18), 1-15. doi:10.1590/2318-0331.252020190005
- Erpicum, S., Piroton, M., Blancher, B., & Vermeulen, J. (Febrero de 2019). Effect of the geometry of the upstream quadrant and hydraulic behavior under high head of the ogee-crested weir. *Houille Blanche, Février 2019*(1), 40-47. doi:10.1051/lhb/2019006
- Filho, M., & Ota, J. (2016). Tridimensional computational modelling of a low-drop spillway. *Revista Brasileira de Recursos Hidricos*, 21(2), 360-376. doi:10.21168/rbrh.v21n2.p360-376
- Ghorbani, M., Nikoo, M., Bakhtiari, N., & Izady, A. (Mayo de 2019). Fuzzy multi-objective simulation-optimization of stepped spillways considering flood uncertainty. *Water Resources Management*, 33(7), 2261-2275. doi:10.1007/s11269-019-02263-2
- Granados, A., Granados, I., & Carrasco, F. (2016). Q.97. Aliviaderos. *Revista de Obras Públicas*, 163(3577), 66-81. Obtenido de [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2016/2016\\_junio\\_3577\\_08.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2016/2016_junio_3577_08.pdf)
- Khanghah, D., & Kavianpour, M. (Noviembre de 2020). Numerical investigation of the effect of CEDEX profile on the hydraulic parameters in the stepped spillway and the performance of this profile in various chute slopes. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 44(4), 1247-1254. doi:10.1007/s40996-019-00313-8
- Nóbrega, J., Matos, J., Schulz, H., & Canelas, R. (Agosto de 2020). Smooth and stepped spillway modeling using the SPH method. *Journal of Hydraulic Engineering*, 146(8). doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001776
- Pardo, R. (2018). Disipadores de energía -- parte I: el salto hidráulico. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(3), 108-118. Obtenido de <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/460/363>
- Véliz, J. (2018). *Evaluación de las características del perfil tipo Creager*. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/11372/1/Jared%20Alexander%20V%20C3%A9liz%20Arrecis.pdf>
- Zeng, J., Zhang, L., Ansar, M., Damisse, E., & González-Castro, J. (Enero de 2017). Applications of computational fluid dynamics to flow ratings at prototype spillways and Weirs. I: Data generation and validation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(1). doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001112