

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DESARROLLO, VALIDACIÓN Y APLICACIÓN DEL SOFTWARE
TOMAAPP PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE BOCATOMAS
CONVENCIONALES**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Johan Alejandro Villanueva Anlas

ASESOR:

Miguel Angel Astorayme Valenzuela


Lima, Noviembre, 2025

Informe de Similitud

Yo, **Miguel Angel Astorayme Valenzuela** docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis de investigación titulado: **Desarrollo, validación y aplicación del software Tomaapp para el diseño hidráulico de bocatomas convencionales**, del autor **Johan Alejandro Villanueva Anlas** dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 22%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 11/11/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

San Miguel, Lima, miércoles 11 de noviembre de 2025

| | |
|---|---|
| Apellidos y nombres del asesor: Miguel Angel Astorayme Valenzuela | |
| DNI: 45516060 | Firma:  |
| ORCID: 0000-0002-9277-4286 | |

Dedicatoria

A mi mama Beatriz, mi papá Alejandro y mi hermana Katherine. Mi vida quedará demasiado corta para agradecerles por todo el amor, el apoyo y sacrificio que han hecho por mí. Este logro es de ustedes.

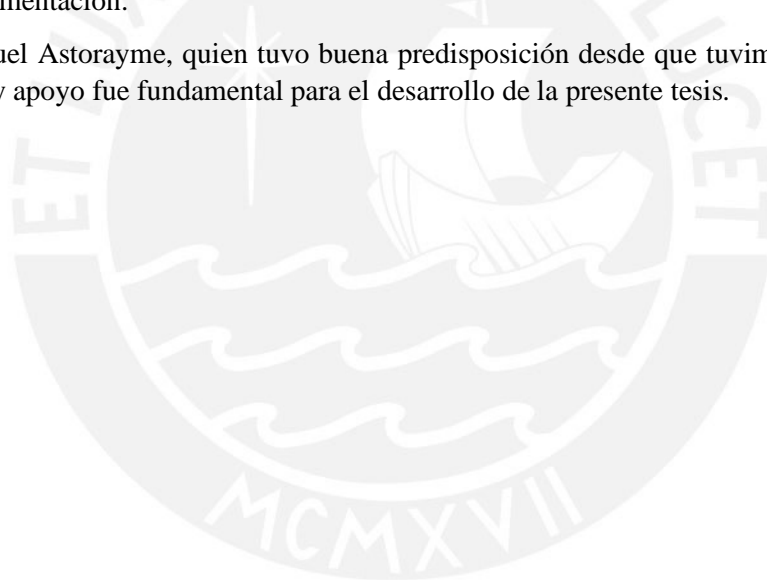


Agradecimiento

A mi alma mater, la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), por brindarme una formación integral y donde pasé momentos maravillosos. A pesar de los desafíos académicos, nunca dejé de persistir y cada experiencia contribuyó en mi crecimiento personal y profesional

A mis colegas del lugar donde laboro, quienes me apoyaron en la realización de la tesis y me brindaron su valiosa retroalimentación.

A mi asesor Miguel Astorayme, quien tuvo buena predisposición desde que tuvimos nuestra primera reunión. Su guía y apoyo fue fundamental para el desarrollo de la presente tesis.



Resumen

El Perú es un país con un alto potencial hídrico, donde la ejecución de obras de captación de agua de ríos y quebradas es fundamental para el abastecimiento de agua potable, proyectos de irrigación y generación hidroeléctrica. En la actualidad, el avance científico y tecnológico brinda herramientas que, a través de modelos y simulaciones, permiten sistematizar información y obtener resultados de manera inmediata o en tiempo real. En este contexto, la presente tesis propone el desarrollo de TomaApp, un software de automatización de cálculos para el diseño hidráulico de bocatomas tipo convencional mediante el uso del lenguaje de programación Visual Basic for Application. Para su implementación, se establecieron los principios fundamentales del diseño de bocatomas y, con base en ellos, se desarrolló la interfaz gráfica de TomaApp para el diseño hidráulico de la estructura de captación. Además, el software fue validado empleando información de tres proyectos de bocatomas ubicadas en las regiones de Lambayeque y La Libertad, Perú. Finalmente, se aplicó TomaApp en el diseño preliminar de una bocatoma en una zona tentativa con condiciones adecuadas para construcción.

Abstract

Peru is a country with a significant water resources potential, where the construction of water intake structures from rivers and streams is essential for supplying drinking water, supporting irrigation projects and generating hydroelectric power. Currently, advances in science and technology provide tools that, through modeling and simulations, facilitate the systematization of information and enable the immediate or real-time acquisition of results. In this context, this thesis proposes the development of TomaApp, a software tool designed to automate calculations for the hydraulic design of conventional intake structures using the Visual Basic for Application programming language. To achieve this, the fundamental principles of intake design were established, and based on these, the graphical interface of TomaApp was developed for the hydraulic design of the intake structure. Additionally, the software was validated using information from two intake projects in the regions of Lambayeque and La Libertad, Perú. Finally, TomaApp was applied in the preliminary design of an intake in a tentative area with suitable conditions for construction.

Índice

| | |
|--|----|
| Resumen | i |
| Abstract | ii |
| Lista de Figuras | iv |
| Lista de Tablas | vi |
| Lista de Anexos | vi |
| 1. Aspectos Generales | 1 |
| 1.1. Introducción | 1 |
| 1.2. Planteamiento del Problema | 3 |
| 1.3. Justificación | 3 |
| 1.4. Objetivos | 4 |
| 1.4.1. Objetivo general. | 4 |
| 1.4.2. Objetivos específicos. | 4 |
| 2. Marco Conceptual | 5 |
| 2.1. Antecedentes | 5 |
| 2.1.1. Análisis bibliométrico. | 5 |
| 2.1.2. Análisis crítico | 10 |
| 2.2. Generalidades | 12 |
| 2.2.1. Tipos de bocatomas. | 12 |
| 2.2.2. Elementos de una bocatoma. | 14 |
| 2.2.3. Criterios para el diseño de una bocatoma. | 19 |
| 2.2.4. Diseño hidráulico | 22 |
| 3. Materiales y Métodos | 47 |
| 3.1. Área de Estudio | 47 |
| 3.2. Metodología | 48 |
| 3.2.1. Algoritmo para diseño de bocatomas convencionales. | 49 |
| 3.2.2. Diagrama de flujo. | 55 |
| 4. Análisis y Discusión de Resultados | 56 |
| 4.1. Descripción y Validación del Aplicativo | 56 |
| 4.1.1. Proyecto 1: bocatoma de uso poblacional en la comunidad de Marripón. | 67 |
| 4.1.2. Proyecto 2: bocatoma para irrigación en el río Chicama. | 68 |
| 4.1.3. Proyecto 3: bocatoma para central hidroeléctrica en el río Vilca. | 68 |
| 4.2. Evaluación de Resultados | 68 |
| 5. Propuesta de Prediseño para un Caso de Estudio Empleando el Software TomaApp | 71 |
| 5.1. Ubicación Geográfica | 71 |
| 5.2. Análisis Hidrológico | 72 |
| 5.3. Diseño de Bocatoma Convencional en el Río Chancay | 78 |

| | |
|--|-----|
| 6. Conclusiones y Recomendaciones | 82 |
| 6.1. Conclusiones..... | 82 |
| 6.2. Recomendaciones..... | 82 |
| 6.3. Trabajos Futuros | 83 |
| 7. Bibliografía | 84 |
| 8. Anexos | 87 |
| 8.1. Anexo A: Validación del software TomaApp..... | 87 |
| 8.2. Anexo B: Código de programación del software TomaApp..... | 104 |
| 8.3. Anexo C: Manual de usuario del software TomaApp | 118 |
| 8.4. A continuación se muestra el flujograma del software TomaApp..... | 121 |
| 8.5. Anexo D: Link de video Youtube de uso de TomaApp..... | 123 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1.</i> Cantidad de artículos por país..... | 6 |
| <i>Figura 2.</i> Mapa de calor geográfico | 7 |
| <i>Figura 3.</i> Procedencia de artículos revisados..... | 9 |
| <i>Figura 4.</i> Lenguaje de programación de artículos revisados..... | 9 |
| <i>Figura 5.</i> Año de publicación de artículos revisados..... | 10 |
| <i>Figura 6.</i> Muro de encauzamiento | 15 |
| <i>Figura 7.</i> Barraje o azud..... | 15 |
| <i>Figura 8.</i> Poza disipadora..... | 16 |
| <i>Figura 9.</i> Compuerta de limpia | 17 |
| <i>Figura 10.</i> Desripiador | 17 |
| <i>Figura 11.</i> Aliviadero de demasías..... | 18 |
| <i>Figura 12.</i> Esquema de una toma convencional..... | 19 |
| <i>Figura 13.</i> Altura del barraje | 23 |
| <i>Figura 14.</i> Talud y pie del barraje..... | 24 |
| <i>Figura 15.</i> Perfil Creager..... | 24 |
| <i>Figura 16.</i> Componentes de las secciones de la cresta de barraje | 25 |
| <i>Figura 17.</i> Valores de k | 25 |
| <i>Figura 18.</i> Valores de n | 26 |
| <i>Figura 19.</i> Valores para r_1 , r_2 , x_c y y_c | 27 |
| <i>Figura 20.</i> Ventana de captación..... | 30 |
| <i>Figura 21.</i> Obras hidráulicas..... | 30 |
| <i>Figura 22.</i> Canal de limpia | 32 |
| <i>Figura 23.</i> Compuerta de limpia Tomado de Santos (2005)..... | 33 |
| <i>Figura 24.</i> Descarga sobre cimacio..... | 35 |
| <i>Figura 25.</i> Coeficiente de descarga | 37 |
| <i>Figura 26.</i> Coeficiente de contracción en estribos | 38 |
| <i>Figura 27.</i> Coeficiente de contracción por pila..... | 38 |
| <i>Figura 28.</i> Parámetros hidráulicos | 39 |
| <i>Figura 29.</i> Longitud del resalto hidráulico | 41 |
| <i>Figura 30.</i> Diseño de disipador tipo III | 42 |
| <i>Figura 31.</i> Longitud de colchón disipador para disipador tipo III..... | 42 |
| <i>Figura 32.</i> Dimensiones de disipador tipo III | 43 |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 33.</i> Diseño de disipador tipo IV | 43 |
| <i>Figura 34.</i> Longitud de colchón disipador tipo IV | 44 |
| <i>Figura 35.</i> Efecto de subpresión en colchón disipador | 44 |
| <i>Figura 36.</i> Escollera al final del colchón disipador | 45 |
| <i>Figura 37.</i> Bocatomas a nivel nacional en estado regular y bueno | 48 |
| <i>Figura 38.</i> Barraje | 51 |
| <i>Figura 39.</i> Ventana de captación | 52 |
| <i>Figura 40.</i> Diagrama de flujo | 55 |
| <i>Figura 41.</i> Pestaña: datos generales | 57 |
| <i>Figura 42.</i> Pestaña: barraje | 58 |
| <i>Figura 43.</i> Pestaña: ventana de captación | 59 |
| <i>Figura 44.</i> Coeficiente Cd | 59 |
| <i>Figura 45.</i> Pestaña: caudales en barraje | 60 |
| <i>Figura 46.</i> Caudales en canal de limpia | 61 |
| <i>Figura 47.</i> Coeficiente de descargar en cimacios | 61 |
| <i>Figura 48.</i> Pestaña: canal de limpia | 62 |
| <i>Figura 49.</i> Pestaña: perfil de la cresta | 63 |
| <i>Figura 50.</i> Pestaña: colchón disipador 1 | 64 |
| <i>Figura 51.</i> Pestaña: colchón disipador 2 | 64 |
| <i>Figura 52.</i> Pestaña: disipador tipo III | 65 |
| <i>Figura 53.</i> Pestaña: disipador tipo IV | 66 |
| <i>Figura 54.</i> Pestaña: Muro de encauzamiento | 66 |
| <i>Figura 55.</i> Manual de usuario | 67 |
| <i>Figura 56.</i> Ubicación de la toma en la cuenca Chancay-Lambayeque | 72 |
| <i>Figura 57.</i> Caudales máximos anuales y umbrales de caudales | 73 |
| <i>Figura 58.</i> Registros de caudales máximos | 76 |
| <i>Figura 59.</i> Tipos de distribuciones | 77 |
| <i>Figura 60.</i> Caudales mensuales del río Chancay | 79 |
| <i>Figura A-61.</i> Pestaña: datos generales | 87 |
| <i>Figura A-62.</i> Pestaña: barraje | 88 |
| <i>Figura A-63.</i> Pestaña: ventana de captación | 88 |
| <i>Figura A-64.</i> Pestaña: caudales en barraje | 89 |
| <i>Figura A-65.</i> Pestaña: caudales en canal de limpia | 89 |
| <i>Figura A-66.</i> Pestaña: canal de limpia | 90 |
| <i>Figura A-67.</i> Pestaña: perfil de la cresta | 90 |
| <i>Figura A-68.</i> Pestaña: colchón disipador 1 | 91 |
| <i>Figura A-69.</i> Pestaña: colchón disipador 2 | 91 |
| <i>Figura A-70.</i> Pestaña: disipador tipo IV | 92 |
| <i>Figura A-71.</i> Pestaña: muro de encauzamiento | 92 |
| <i>Figura A-72.</i> Pestaña: datos generales | 93 |
| <i>Figura A-73.</i> Pestaña: barraje | 93 |
| <i>Figura A-74.</i> Pestaña: ventana de captación | 94 |
| <i>Figura A-75.</i> Pestaña: caudales en barraje | 94 |
| <i>Figura A-76.</i> Pestaña: caudales en canal de limpia | 95 |
| <i>Figura A-77.</i> Pestaña: canal de limpia | 95 |
| <i>Figura A-78.</i> Pestaña: perfil de la cresta | 96 |
| <i>Figura A-79.</i> Pestaña: colchón disipador 1 | 96 |
| <i>Figura A-80.</i> Pestaña: colchón disipador 2 | 97 |
| <i>Figura A-81.</i> Pestaña: disipador tipo IV | 97 |
| <i>Figura A-82.</i> Pestaña: muro de encauzamiento | 98 |
| <i>Figura A-83.</i> Pestaña: datos generales | 98 |
| <i>Figura A-84.</i> Pestaña: barraje | 99 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura A-85. Pestaña: ventana de captación</i> | 99 |
| <i>Figura A-86. Pestaña: caudales en barrage</i> | 100 |
| <i>Figura A-87. Pestaña: caudales en canal de limpia</i> | 100 |
| <i>Figura A-88. Pestaña: canales</i> | 101 |
| <i>Figura A-89. Pestaña: perfil de la cresta</i> | 101 |
| <i>Figura A-90. Pestaña: colchón disipador 1</i> | 102 |
| <i>Figura A-91. Pestaña: colchón disipador 2</i> | 102 |
| <i>Figura A-92. Pestaña: disipadores</i> | 103 |
| <i>Figura A-93. Pestaña: muro de encauzamiento</i> | 103 |

Lista de Tablas

| | |
|---|----|
| <i>Tabla 1. Artículos relacionados a la hidráulica que emplean lenguajes de programación</i> | 8 |
| <i>Tabla 2. Tesis en Sudamérica relacionadas con la ingeniería hidráulica que emplean lenguajes de programación</i> | 10 |
| <i>Tabla 3. Tabla de Cowan, coeficiente de rugosidad</i> | 21 |
| <i>Tabla 4. Coeficiente ϕ recomendado</i> | 22 |
| <i>Tabla 5. Coeficiente de vertedero</i> | 29 |
| <i>Tabla 6. Coeficiente de Bligh</i> | 46 |
| <i>Tabla 7. Resultados - Proyecto 1</i> | 69 |
| <i>Tabla 8. Resultados – Proyecto 2</i> | 69 |
| <i>Tabla 9. Resultados - Proyecto 3</i> | 69 |
| <i>Tabla 10. Caudales máximos históricos registrados</i> | 73 |
| <i>Tabla 11. Logaritmo de caudales</i> | 74 |
| <i>Tabla 12. Valores de K_n</i> | 75 |
| <i>Tabla 13. Caudal de diseño</i> | 77 |
| <i>Tabla 14. Caudales mensuales</i> | 78 |
| <i>Tabla 15. Demanda hídrica de la cuenca Chancay-Lambayeque</i> | 79 |
| <i>Tabla 16. Resultados de prediseño</i> | 80 |

Lista de Anexos

- Anexo A: Validación del software TomaApp
- Anexo B: Código de programación del software TomaApp
- Anexo C: Manual de usuario del software TomaApp
- Anexo D: Link de video Youtube de uso de TomaApp

1. Aspectos Generales

1.1. Introducción

El agua es el recurso natural máspreciado que tienen los seres vivos. De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el 97.5% del agua se encuentra en los océanos y el 2.5% es agua dulce (Sevila, 2014). De este último, 0.5% se ubican en depósitos subterráneos y el 0.01% en ríos y lagos. Siendo este último de suma importancia para el desarrollo del ser humano; debido a que, desde antiguas civilizaciones este recurso natural fue bien empleado por el hombre, optimizando su utilidad y con ello demostrando su capacidad de gestión de los recursos hídricos. Asimismo, estas antiguas civilizaciones fueron capaces de afrontar la problemática de cambios climáticos, sequías, inundaciones y paralelamente el crecimiento demográfico (Ancajima, 2013).

En el Perú, específicamente la cultura Inca destacó por sus grandes obras hidráulicas, las cuales contribuyeron al desarrollo de un sistema de almacenamiento, que a través de canales y acueductos permitía recaudar agua para la producción agrícola y consumo humano (Ancajima, 2013). En general, desde tiempos remotos, los seres humanos adoptaron medidas para controlar el agua, y emplearla para su beneficio y desarrollo social.

Actualmente, a una estructura de recaudación de agua, ya sea de un lago, río o mar, se le denomina “bocatoma”. El reto para la ingeniería hidráulica es realizar los cálculos técnicos para su diseño, evaluando sus condiciones de acuerdo con el caudal requerido. Debido a que la construcción de una bocatoma depende de distintos factores climatológicos y estructurales, es necesaria la integración de diversas especialidades como la ingeniería ambiental, ingeniería civil, ingeniería geotécnica, entre otras. Gracias al avance tecnológico, actualmente se tienen

herramientas informáticas, tales como Hcanales¹, Rápidas², Hydrognomon³, entre otros, que permiten automatizar procesos dando como resultado el diseño adecuado de obras hidráulicas en el menor tiempo posible. Sin embargo, para el uso de estas herramientas informáticas se precisa tener conocimientos técnicos y teóricos de la materia, a fin de que los resultados sean los adecuados.

De acuerdo con Vinelli (2021), existe una brecha de infraestructura para proyectos de abastecimiento de agua y de irrigación. Con la construcción de bocatomas se pueden cubrir dichas necesidades para beneficio social. En este contexto, la presente tesis propone el desarrollo de un software denominado TomaApp para el diseño de bocatomas convencionales empleando Visual Basic for Application como lenguaje de programación. La base teórica para desarrollo comprendió el manual de criterios de diseños de obras hidráulicas (Autoridad Nacional del Agua, 2010), diseño de bocatomas (Mansen, 2006) y los fundamentos de bibliografía técnica como los propuestos por la United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (1984) y la United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (1987). Se espera que el software sea de utilidad para la comunidad técnica y científica, y ayude a cerrar la brecha de infraestructura hidráulica en el país.

La tesis se divide en los siguientes capítulos: i) aspectos generales, que explica el desarrollo, justificación y objetivos del presente trabajo; ii) marco conceptual, donde se presenta las bases teóricas empleadas; iii) materiales y métodos, que describe el área de estudio y metodología utilizada; iv) análisis y discusión de resultados, donde se valida el uso del software empleando tres proyectos de diseño de bocatoma; v) propuesta de prediseño para un

¹ Software desarrollado en la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

² Software para el diseño hidráulico de estructuras de disipación de energía en canales elaborado por Walter Huatuco.

³ Software desarrollado por la National Technical University of Athens.

caso de estudio empleando el software TomaApp. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, bibliografía y anexos.

1.2. Planteamiento del Problema

Para el diseño adecuado de una bocatoma convencional se debe tener en cuenta las medidas de prevención ante la contaminación del agua y las estructuras necesarias para coleccionar, regular y derivar el caudal. Un mal diseño impediría optimizar el uso del agua o generaría el colapso de la estructura por no contar con las dimensiones correctas para el abastecimiento y, además, un incremento del costo del sistema por ser imperfecto. Por ejemplo, en el año 1998 se produjo un desborde del río Ica por efectos del Fenómeno de “El Niño” que ocasionó serios daños en la bocatoma La Achirana debido, posiblemente, a un mal diseño del muro de encauzamiento (Guevara et al., 2014). Por ello, se debe tomar en cuenta que para obtener un diseño efectivo y productivo se requiere del apoyo de herramientas tecnológicas.

1.3. Justificación

Actualmente, el avance de la ciencia y tecnología nos brinda herramientas que, a través de modelamientos o simulaciones, sistematizan la información para obtener resultados de manera inmediata o en tiempo real. En proyectos de ingeniería, la programación es muy usada y se debe potenciar usando diferentes tipos de lenguaje.

Las bocatomas convencionales son las que mejor se adaptan a los ríos costeros, dado que en esta región puede funcionar a lo largo de todo el año (tanto en épocas de avenidas como de estiajes). Asimismo, la pendiente en la costa es menor que en la sierra y esto genera que el flujo en la costa tenga menor velocidad y se dificulte el transporte de los sedimentos; considerando estas características, la construcción de un barraje fijo (componente de una bocatoma convencional) permite la retención de los sedimentos y que periódicamente se pueda realizar la limpieza del río.

Ante la poca existencia de herramientas técnicas que permitan desarrollar el diseño de una bocatoma convencional se planteó la implementación de TomaApp, software desarrollado en Visual Basic for Application en Excel como lenguaje de programación. La aplicación de este software influenciará de manera positiva las decisiones que se adopten para la construcción de bocatomas convencionales puesto que los resultados tendrán menores márgenes de error debido a que los procesos serán automatizados. Además, el software permitirá ser más eficiente al profesional proyectista en la evaluación de la alternativa de diseño debido a que la toma de decisiones acertadas en proyectos de gran envergadura implica el adecuado funcionamiento durante su vida útil.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

- Implementar y validar el uso de un software que permita el diseño de las principales componentes de una bocatoma convencional.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Elaborar una herramienta computacional en el lenguaje de programación Visual Basic para automatizar los procesos de diseño de las principales componentes de una bocatoma convencional.
- Validar el software con tres proyectos anteriores y contrastar los resultados de las dimensiones de la bocatoma a diseñar.
- Proponer un prediseño hidráulico de una bocatoma convencional en un río de la costa peruana.

2. Marco Conceptual

En principio, en este capítulo se detallan otras investigaciones en las cuales se utilizaron distintos lenguajes de programación para aplicaciones en ingeniería hidráulica mediante un análisis bibliométrico y crítico. Posteriormente, se explica la definición de bocatoma y cuál es el objetivo para construir esta estructura hidráulica. Se listan los tipos de bocatomas; entre los cuales se encuentra la bocatoma mixto o convencional (materia de estudio en la presente tesis). Luego, se identifican las partes de la bocatoma, ya que de ello depende el diseño o dimensionamiento de las componentes de la obra de captación.

Con los conceptos ya mencionados, se procede a detallar los criterios básicos para el diseño de una bocatoma según cálculos hidráulicos realizados de acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua (ANA) o textos técnicos científicos, a saber: Mansen (2006); Rocha (2003); Krochin (1986); Rojas (2014); entre otros. Estos libros contienen información especializada en estructuras hidráulicas y son estudios certificados para poder aplicar en el diseño de bocatomas.

2.1. Antecedentes

A continuación, se presentan artículos y tesis que desarrollaron herramientas, aplicativos o softwares para optimizar cálculos hidráulicos. Dichas investigaciones fueron analizadas a nivel bibliométrico y crítico en el ámbito nacional e internacional.

2.1.1. Análisis bibliométrico.

Según información de Scopus, respecto del total de 215 artículos relacionados con la presente investigación para proyectos de recursos hídricos, cuyos boleanos fueron los siguientes: *hydraulic*, *programming* y *languages*, la mayoría proviene de China (52), Estados Unidos (28), Estonia y Rusia (11 cada uno) e Italia (10). En tanto que en el resto de los países mencionados en la Figura 1 se elaboraron entre 1 y 9 de dichos artículos. Asimismo, se presenta

un mapa de calor (Figura 2) de estas investigaciones a fin de poder ubicar geográficamente en qué regiones se elaboraron con mayor o menor frecuencia los estudios en mención.

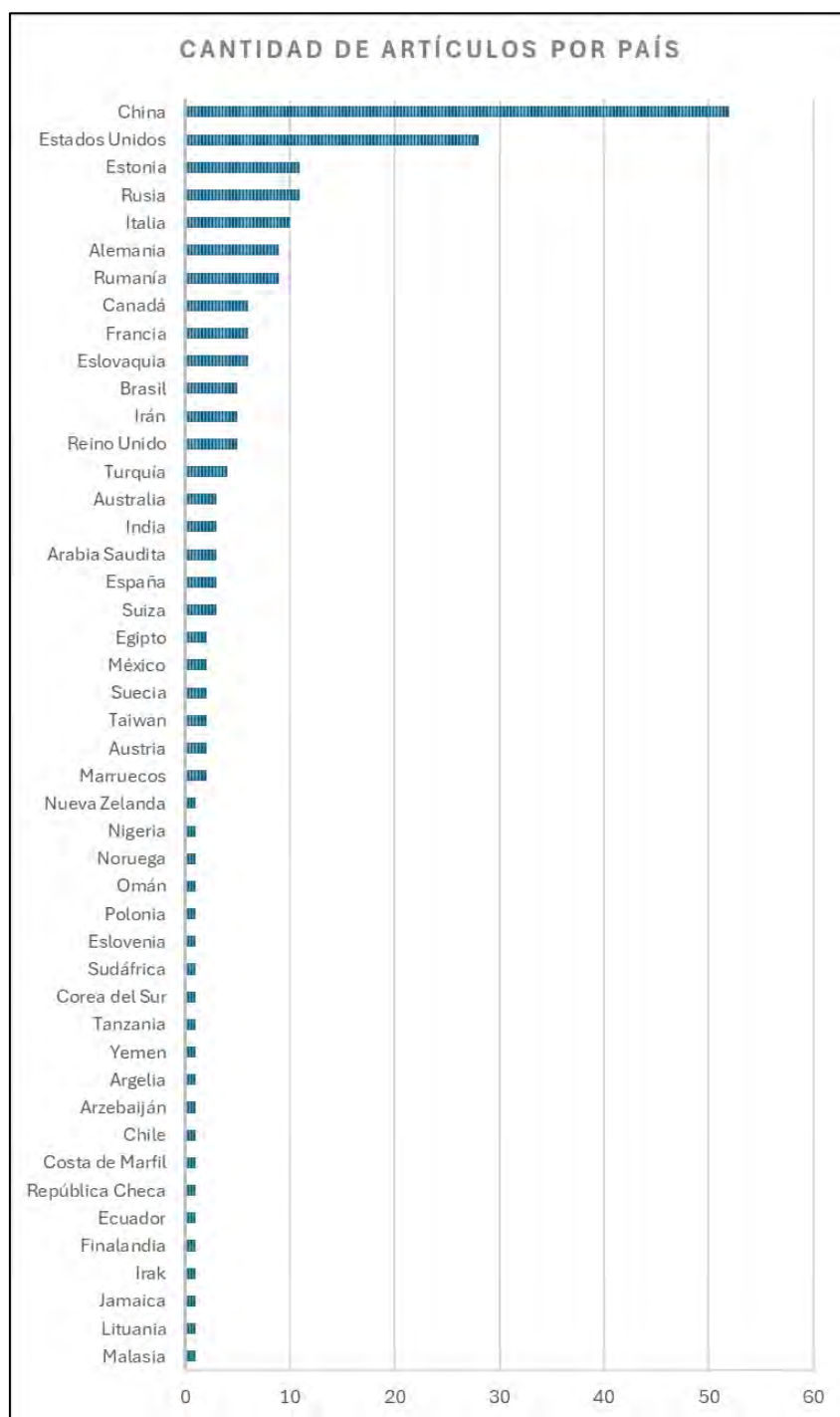


Figura 1. Cantidad de artículos por país

Tomado de Scopus

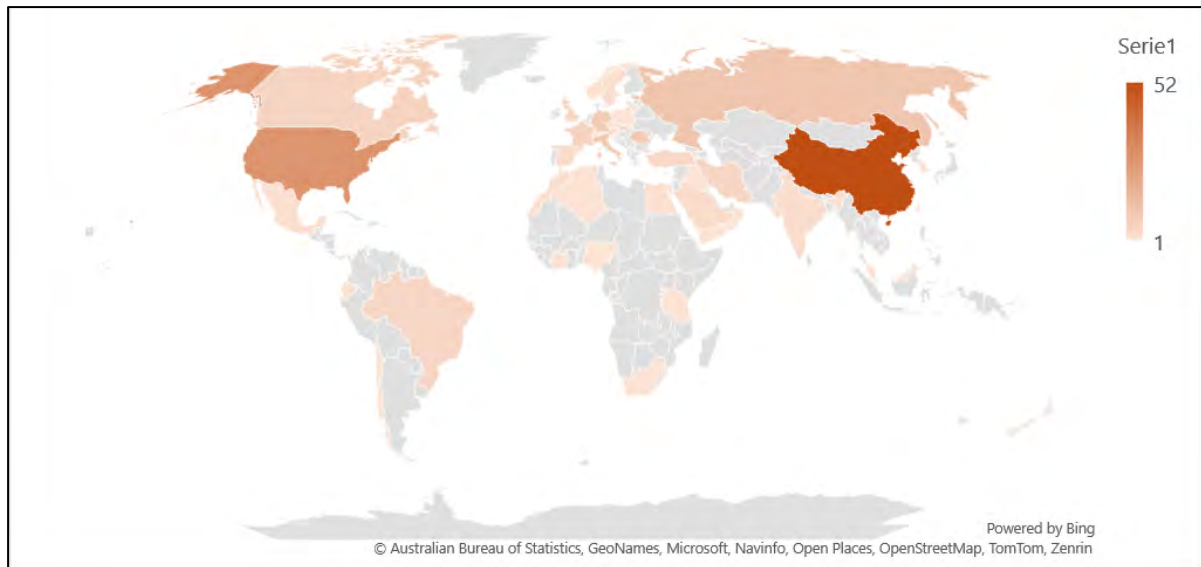


Figura 2. Mapa de calor geográfico
Tomado de Scopus

Por otro lado, en cuanto a los antecedentes más relevantes para esta investigación (ver Tabla 1), es decir, ocho artículos que desarrollaron aplicaciones de apoyo para proyectos hidráulicos; se encontró que la mayoría de los artículos provienen de Estados Unidos, en tanto que los demás proviene de Rumanía, China, Italia, Brasil, España y Australia (uno de cada país), como puede observarse en la Figura 3.

Asimismo, se encontró que la mayoría (dos investigaciones cada uno) se desarrolló empleando los lenguajes de programación Java, Python y Visual Basic; mientras que para el resto se empleó Fortran u otro (una investigación cada uno), tal como se muestra en la Figura 4. Es preciso indicar que dos de estos artículos fueron elaborados en 2022, mientras que los restantes fueron desarrollados en los años 2000, 2004, 2005, 2010, 2017 y 2020, como se aprecia en la Figura 5.

Tabla 1.
Artículos relacionados a la hidráulica que emplean lenguajes de programación

| Referencia | Descripción | Lenguaje de programación | País |
|--------------------------|---|--------------------------|-----------|
| Rakib et al. (2022) | Se propone una metodología de clasificación de flujo basada en dinámica de fluidos computacional para estructuras hidráulicas en el sur de Florida con el objetivo de reducir los tiempos de simulación y mejorar la eficiencia del análisis de clasificación de flujo. | Visual Basic | EE. UU. |
| Zhu et al. (2022) | Se desarrolló un sistema de medición de profundidad en flujos de agua poco profundos en taludes para calcular parámetros hidrodinámicos que permitan simular la erosión del suelo. | Python | China |
| Amicarelli et al. (2020) | Se presenta el software Sphera, el cual es un código de dinámica de fluidos computacional que se desarrolla en los siguientes campos: inundaciones, transporte de sedimentos, reservorios, etc. | Fortran | Italia |
| Oliveira et al. (2017) | Se desarrolla una aplicación móvil para mejorar el diseño y la eficiencia de los sistemas de riego de pivote central. | Java | Brasil |
| Omer (2010) | Se desarrolla un software para el cálculo del fenómeno de choque hidráulico, el cual permitirá evaluar el comportamiento en un sistema de tuberías obteniendo valores de velocidad y carga hidráulica de los tramos a lo largo de la tubería. | Java | Rumanía |
| Nielsen O. et al. (2005) | Se desarrolla una herramienta de modelación de inundaciones hidrodinámicas llamada AnuGA que permita comprender el impacto económico y social de fenómenos como inundaciones fluviales, marejadas ciclónicas y tsunamis. | Python | Australia |
| Davis & Brawn (2004) | Se desarrolla un asignador de demanda para establecer un modelado hidráulico en una red de distribución de agua en Phoenix. De esta manera se puede predecir las demandas instantáneas en cualquier punto del sistema. | Visual Basic | EE. UU. |
| Linaza et al. (2000) | Se desarrolla una herramienta de simulación de sistema integrado de drenaje urbano. La herramienta permite la simulación de alcantarillados hidráulicos, así como también la evaluación de flujos y niveles de agua en casos reales. | otros | España |

Nota: Tomado de Scopus.

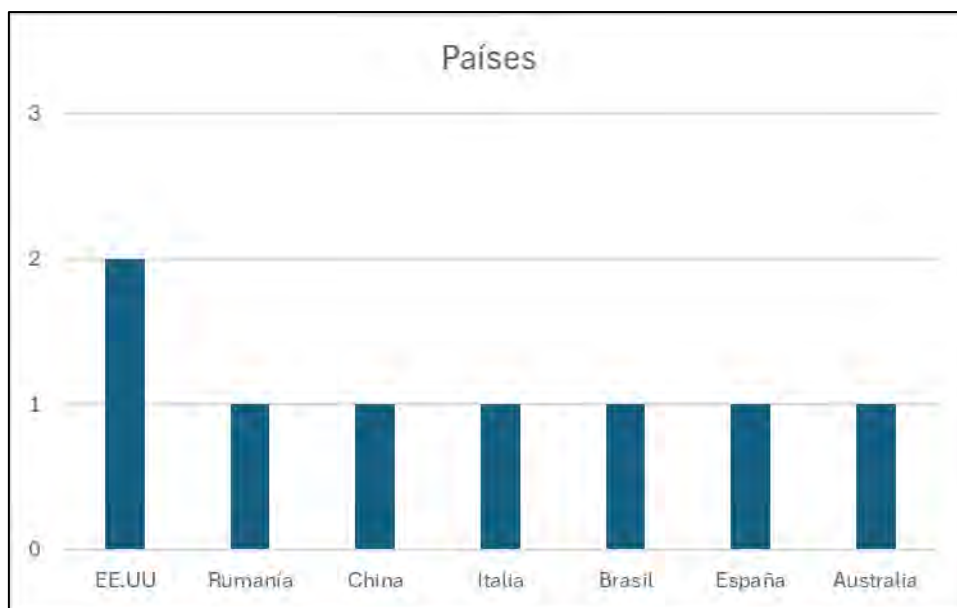


Figura 3. Procedencia de artículos revisados

Tomado de Scopus

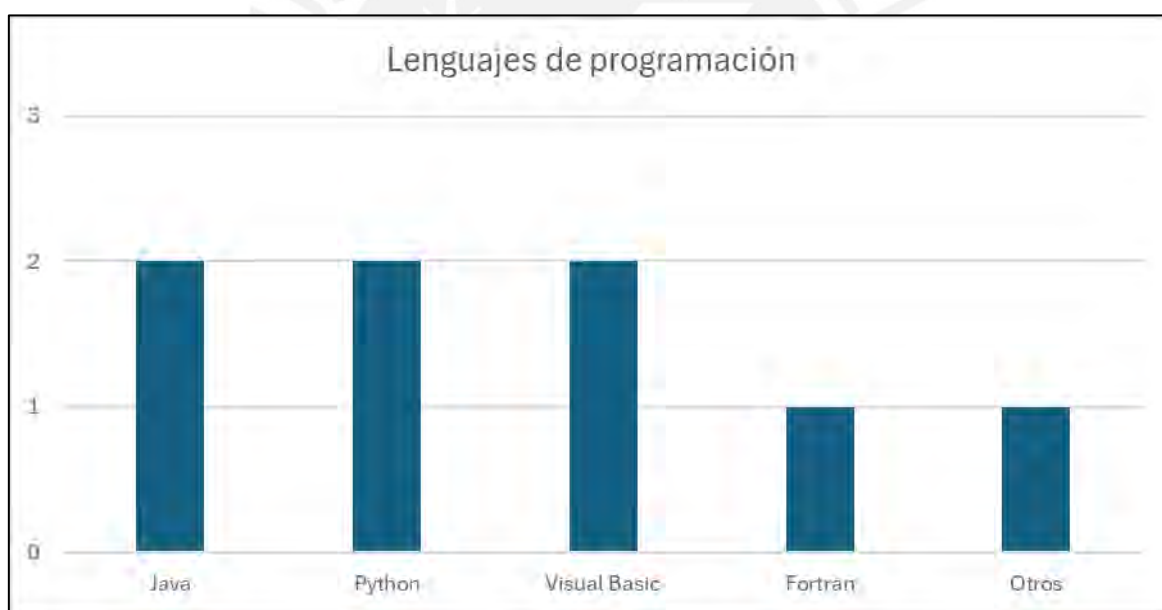


Figura 4. Lenguaje de programación de artículos revisados

Elaboración propia



Figura 5. Año de publicación de artículos revisados

Adicionalmente, en cuanto a las tesis a nivel de Sudamérica, dentro de las más relevantes en la rama de la ingeniería hidráulica, se tomaron en cuenta tres proyectos de Perú, Colombia y Ecuador, que contemplan soluciones automatizadas mediante el uso de lenguajes de programación.

Tabla 2.

Tesis en Sudamérica relacionadas con la ingeniería hidráulica que emplean lenguajes de programación

| Referencia | Descripción | Lenguaje de programación | País |
|--------------------------|--|--------------------------|----------|
| C. Gutierrez (2014) | Se desarrolla un software para realizar el diseño hidráulico y estructural de bocatomas tipo barraje empleando Visual Studio 2010. | Visual Studio | Perú |
| Torres & Villegas (2023) | Se desarrolla un software para diseñar sistemas de alcantarillado pluvial en flujos no permanente. | Visual Basic | Colombia |
| Regalado & Vera (2023) | Se desarrolla un software para optimizar los diseño de canales abiertos. | Python | Ecuador |

Nota: Elaboración propia.

2.1.2. Análisis crítico.

Entre las investigaciones mencionadas en la Tabla 1, los autores Oliveira et al. (2017) y Linaza et al. (2000) tuvieron como objetivo desarrollar herramientas computacionales y automatizar tareas que permitan resolver cálculos hidráulicos de manera inmediata. El primero

buscó mejorar la eficiencia en el diseño de sistemas de riego de pivote central mediante la creación de una aplicación que automatice los cálculos necesarios para dimensionar el pivote central; asimismo, los resultados que arrojó la aplicación fueron comprobados y verificados con hojas de cálculo académicos y comerciales, evidenciando la eficiencia y confiabilidad del programa. El segundo desarrolló una herramienta que simula un sistema integrado de drenaje urbano, en el cual a través del lenguaje de programación C++ despliega un simulador de alcantarillado hidráulico. La herramienta fue verificada con un caso de estudio en una ciudad de América del Norte que abarca una red de alcantarillado que cubre 25.9 km² aproximadamente. Los resultados dan como válido el modelo hidráulico desarrollado.

Asimismo, en la Tabla 2 se presentan tesis que proponen el desarrollo de softwares para la automatización en el desarrollo de cálculos hidráulicos. La primera es un proyecto base para la presente tesis, aunque el lenguaje de programación propuesto es distinto y solo se aplica a bocatomas de barraje fijo. El software desarrollado para dicha tesis también puede ser empleado para bocatomas de barraje mixto; además fueron desarrollados nuevas maneras de automatizar los cálculos hidráulicos para su uso y fácil entendimiento por parte de cualquier usuario.

Cabe precisar que los estudios de la Tabla 2 fueron realizados dentro y fuera del Perú, con lo que se puede notar que existe un interés por desarrollar este tipo de investigaciones no solo a nivel local, sino que también en el extranjero. Asimismo, resulta relevante indicar que estudios similares a la presente tesis fueron desarrollados a partir del año 2000, en simultáneo con el avance de la informática. Por lo tanto, los ejemplos descritos anteriormente evidencian que el desarrollo de herramientas o aplicaciones que emplean lenguajes de programación para buscar la eficiencia y automatización de cálculos numéricos permite una mejora en la toma de decisiones y el progreso en conjunto de la informática con la ingeniería.

2.2. Generalidades

Se define bocatoma como “una estructura hidráulica construida sobre un río o canal con el objeto de captar, es decir extraer, una parte o la totalidad del caudal de la corriente principal” (Rocha, 2003). Es una obra hidráulica que capta agua proveniente de ríos, lagos o mares con el fin de generar centrales hidroeléctricas, proyectos de irrigación o abastecimiento para consumo humano.

Diseñar bocatomas implica lograr sinergias entre métodos analíticos e investigación en modelos hidráulicos. Principalmente, se debe partir del caudal máximo de captación, ya que bajo este gasto máximo se podrá saber cuánto es el caudal que admitirá la obra hidráulica y con ello cumplir un buen funcionamiento. Asimismo, estas estructuras deben ser reforzadas debido al fuerte intemperismo al que están expuestas.

Rocha (2003) clasifica a las bocatomas según su finalidad de acuerdo con las características propias del proyecto. Las obras de toma se desarrollan para los siguientes casos:

- a) Abastecimiento público
- b) Irrigación
- c) Centrales hidroeléctricas
- d) Industria y minería
- e) Uso múltiple
- f) Otros propósitos

2.2.1. Tipos de bocatomas.

Según Mansen (2006) existen cuatro tipos de bocatomas tomando en cuenta los elementos que conforman la estructura.

2.2.1.1. Toma directa.

Toma que capta el agua directamente mediante un canal lateral. Suele ser un brazo fijo del río y esto permite captar mayor caudal que lo previsto. Esta es un tipo de bocatoma menos costoso, puesto se evita construir un barraje. Sin embargo, en épocas de crecida del caudal, puede ser obstruida fácilmente y permitir el paso de sedimentos hacia el canal de derivación (Mansen, 2006).

2.2.1.2. Toma mixta o convencional.

La captación de agua en este tipo de bocatomas se da por un orificio o vertedero lateral en el cual un barraje cierra el cauce del río. El barraje evitará que entre excesiva cantidad de agua a la conducción de la bocatoma cuando el río presente caudales máximos. El barraje puede ser fijo o móvil, de acuerdo con el material: será fijo si es de concreto armado, sino será móvil si es de acero o madera. (Krochin, 1986).

2.2.1.3. Toma móvil.

Este tipo de bocatoma necesita de un barraje móvil para regular la carga hidráulica. Los barrajes móviles son compuertas que regulan el paso del caudal requerido y con un tirante adecuado del agua. La mayor ventaja está relacionada con el tránsito de los materiales de arrastre sobre la cresta del barraje vertedero o azud (Mansen, 2006).

2.2.1.4. Toma tirolesa o caucasiana.

El agua es captada mediante una rejilla de fondo que se encuentra en la parte inferior del escurrimiento. Además, las rejillas deben tener una pendiente necesaria para evitar la filtración de materiales gruesos (Rocha, 2003).

Este tipo de toma no es recomendado en ríos donde el arrastre de materiales sólidos es intenso debido a que puede obstaculizar el paso del caudal. Cabe destacar que muchos de ríos del Perú presentan características jóvenes por lo que transportan grandes volúmenes de sedimentos en épocas de avenidas, por lo que la implementación de este tipo de toma debe realizarse si las condiciones son favorables. (Mansen, 2006).

En suma, la elección del tipo de bocatoma más adecuado para captar de un caudal determinado depende de la altura del vertedero, de las condiciones de la cimentación, del flujo en el río, remanso aguas arriba, de la disponibilidad de los materiales de construcción y del presupuesto (Mansen, 2006).

2.2.2. Elementos de una bocatoma.

Las tomas convencionales están constituidas por diversos componentes (ver Figura 6), los cuales se describen a continuación.

2.2.2.1. Muros o diques de encauzamiento.

Tiene como objetivo encauzar el río y controlar un potencial desborde del máximo nivel del agua. Además, protege los terrenos ribereños aguas arriba y evita que la erosión dañe las estructuras de captación (Rojas, 2014), ver Figura 6.

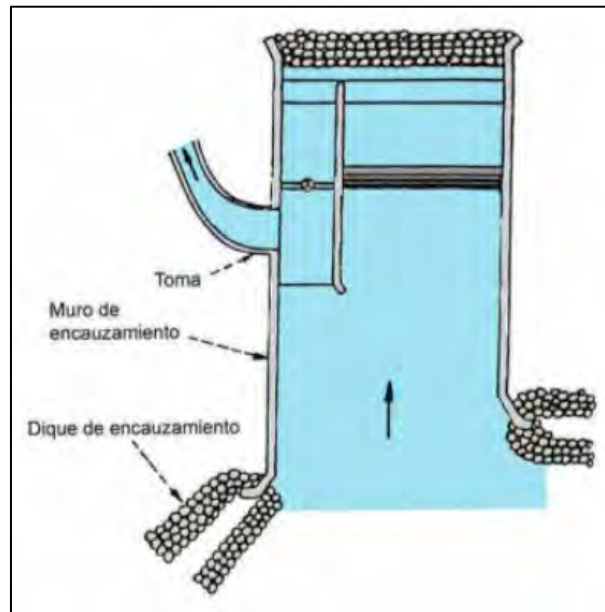


Figura 6. Muro de encauzamiento
Tomado de Mansen (2006)

2.2.2.2. Barraje o azud.

Es una represa que tiene como objetivo incrementar o mantener el tirante del río que permita la captación suficiente del agua. La forma varía según estos criterios: geometría, disposición dentro del cauce, materiales de construcción y presupuesto (Rojas, 2014), ver Figura 7.

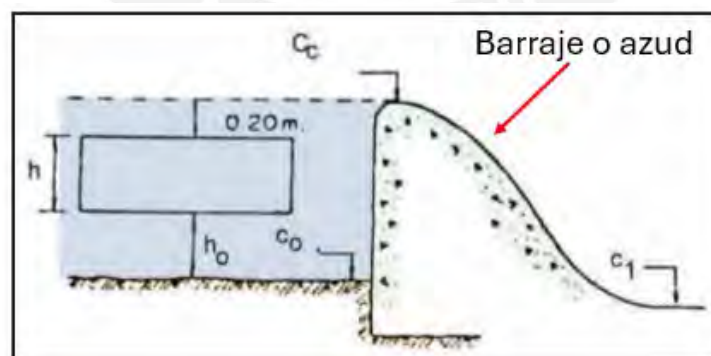


Figura 7. Barraje o azud
Tomado de Mansen (2006)

2.2.2.3. Colchón o poza disipadora.

Producto de la instalación del barrage en el cauce del río, este componente incrementa la energía potencial y causa erosión. Con la finalidad de mitigar dicho efecto, se construyen estructuras de disipación, como solados, colchón disipador, etc. Estos buscan generar un resalto hidráulico que disipe la energía cinética (Rojas, 2014), ver Figura 8.

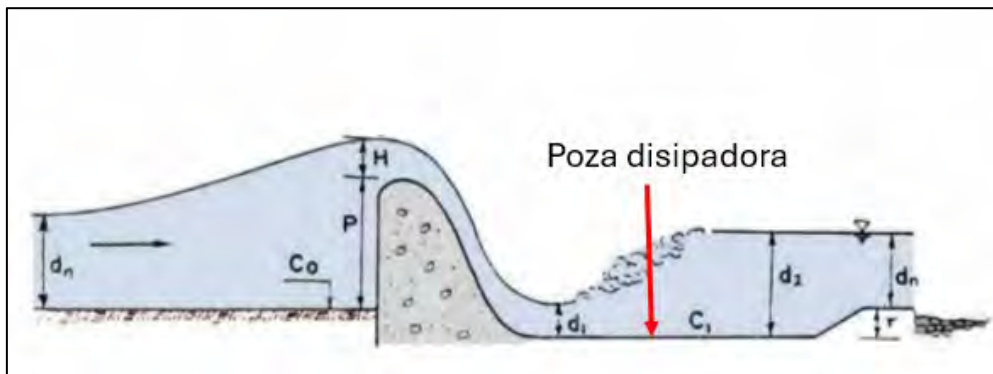


Figura 8. Poza disipadora
Tomado de Mansen (2006)

2.2.2.4. Rejilla.

Impide que pase material sólido flotante por la ventana de captación. Esta se coloca a determinada altura sobre el fondo del río y con espaciamiento entre barrotes que no supere los 20 cm (Krochin, 1986).

2.2.2.5. Canal de limpia.

Estructura que permite reducir los sedimentos que se depositan al ingreso del canal de derivación. Se recomienda ubicarla perpendicular al eje del barrage, y formando un ángulo entre 60 y 90 grados con el eje de la captación (Mansen, 2006).

2.2.2.6. Compuerta de limpia.

Se ubica en el extremo del barrage. Por lo general, el agua que se capta de los ríos trae consigo sedimentos, que se acumulan aguas arriba del barrage, por lo que el caudal de captación

puede ser reducido. La compuerta sirve para eliminar el material grueso y regular el ingreso del caudal de diseño hacia el canal de desfogue (Mansen, 2006), ver Figura 9.

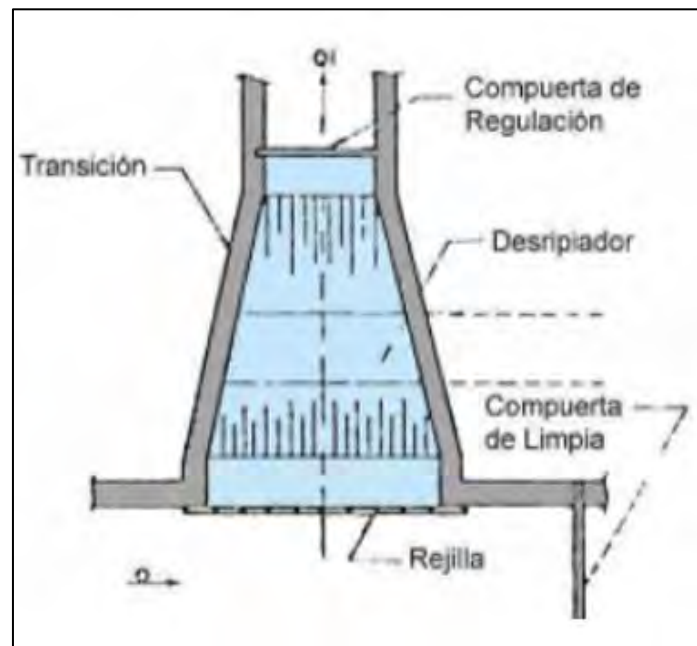


Figura 9. Compuerta de limpia
Tomado de Mansen (2006)

2.2.2.7. Desripiador.

El agua captada por la ventana contiene materiales sólidos que pudieron haber pasado a través de la rejilla. Esta estructura permite decantar los materiales sólidos que han podido ingresar por la rejilla (Mansen, 2006), ver Figura 10.

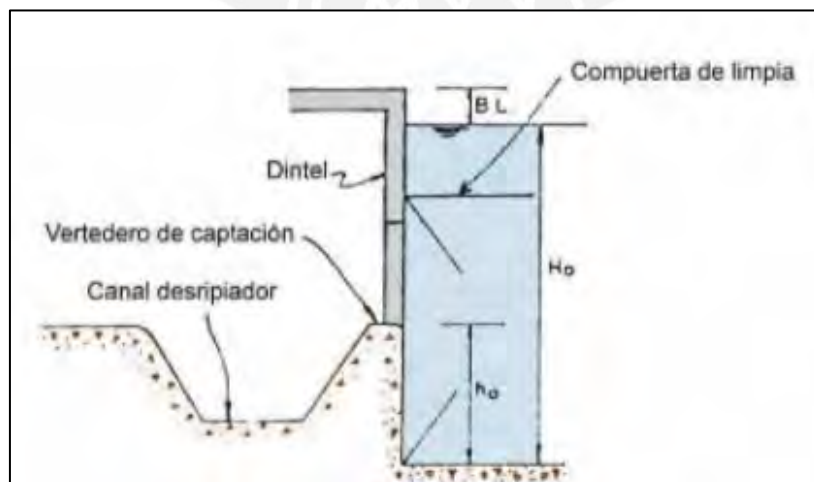


Figura 10. Desripiador
Tomado de Mansen (2006)

2.2.2.8. *Ventana de captación.*

Forma parte de la entrada del caudal de derivación. Se recomienda una altura de al menos 50 cm para evitar el ingreso de materiales gruesos y una altura máxima de al menos 10 cm del nivel superior del agua (Rojas, 2014).

2.2.2.9. *Aliviadero de demasías.*

Estructura que permite eliminar los excesos de caudal debido a fallas en la compuerta o por una avenida. El agua que pasa por el aliviadero es colectada a través de un canal y finalmente es derivada hacia el río (Rojas, 2014), ver Figura 11.

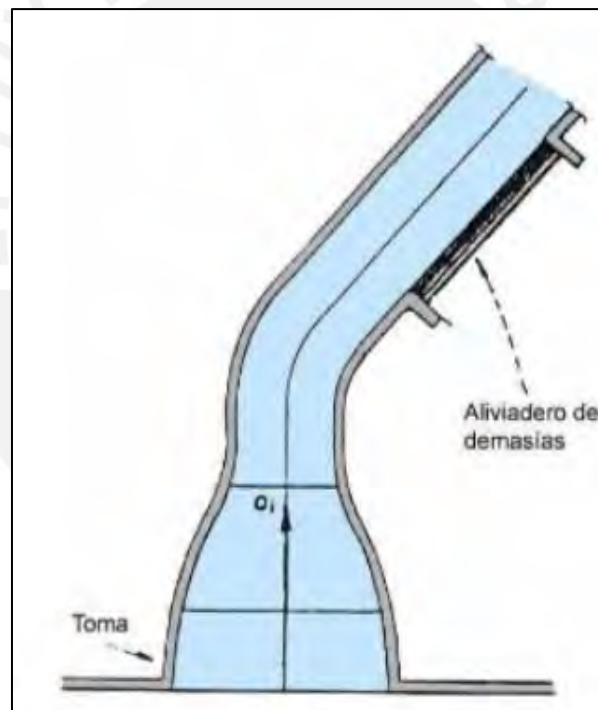


Figura 11. Aliviadero de demasías

Tomado de Mansen (2006)

A continuación, se muestra la ubicación de los componentes mencionados (ver Figura 12):

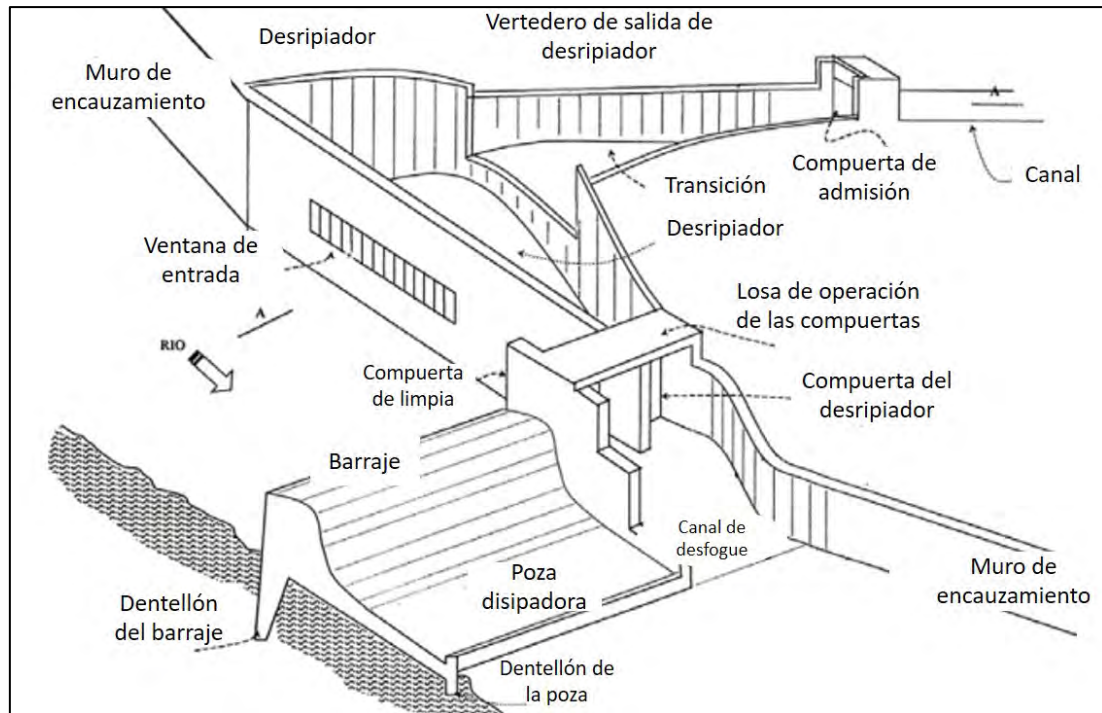


Figura 12. Esquema de una toma convencional
Tomado de ANA (2010)

2.2.3. Criterios para el diseño de una bocatoma.

Para el diseño de una bocatoma, se debe asegurar que el río conserve un caudal permanente y así posibilitar el funcionamiento de dicha estructura hidráulica. Para ello, se debe implementar un sistema que posibilite el tránsito de caudales máximos y evite daños a la bocatoma. Con respecto al material sólido, se debe impedir el ingreso de sedimentos. Esta acción puede ser difícil; no obstante, se debe buscar los medios apropiados para la evacuación, decantación y eliminación en caso estos materiales sólidos ingresen por la ventana de captación.

2.2.3.1. Ubicación.

Las bocatomas convencionales deben estar ubicadas en lugares donde los sedimentos puedan ser arrastrados por el flujo del río para tratar de evitar el ingreso de materiales sólidos

a la toma. Asimismo, en tramos de curvatura, la captación debe ubicarse en la parte externa, ya que existe mayor presencia de sedimentos (Krochin, 1986).

2.2.3.2. Comportamiento hidrológico.

Conociendo el nivel de precipitación a lo largo del tiempo en una cuenca se puede saber el caudal que se deriva al río para así estimar el dimensionamiento de las componentes de la bocatoma. Con dicha información se puede obtener i) los caudales de avenidas máximas que permitan establecer la altura máxima de los muros de encauzamiento y de los barrajes; ii) los caudales mínimos que permitan definir los niveles de los umbrales de las tomas; así como iii) los caudales medios para determinar las masas de agua posibles a ser captadas por la bocatoma.

2.2.3.3. Levantamiento topográfico.

Se requiere realizar un levantamiento topográfico de la zona de captación a fin de conocer la geometría del cauce. Esta debe comprender desde 1 km aguas arriba hasta 500 m aguas abajo del eje de captación. Se determinarán secciones transversales cada 20 m.

2.2.3.4. Estudios geológicos y geotécnicos.

El estudio de transporte de sedimentos es relevante para diseñar las componentes de la bocatoma y este depende de la pendiente, velocidad y morfología fluvial de los ríos. Se recomienda la obtención de la siguiente información para un correcto estudio geológico-geotécnico (Mansen, 2006):

- a) Curva de graduación del material conformante del lecho del río
- b) Sección transversal que muestre la geología de la zona de ubicación de la bocatoma
- c) Coeficiente de permeabilidad
- d) Capacidad portante
- e) Resultados sobre ensayos de hincado de pilotes o tabla, estacas

f) Cantidad de sedimento que transporta el río

2.2.3.5. Características hidráulicas del río.

Se debe considerar los siguientes parámetros para precisar y uniformizar el cauce de la zona de captación (Rojas, 2014):

- Coeficiente de rugosidad del cauce del río según el método de Cowan (Ver Tabla 3).
- Modelamiento hidráulico para obtener el caudal máximo
- Talud de los márgenes del río

El coeficiente de rugosidad se obtendrá a partir del método de Cowan con la Ec. 1.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot n_5 \quad \mathbf{1}$$

Tabla 3.
Tabla de Cowan, coeficiente de rugosidad

| CONDICIÓN INICIAL | | VALORES |
|---|---------------------------|-------------|
| MATERIAL CONSIDERADO | Tierra | 0.020 |
| | Roca Cortada | 0.025 |
| | Grava Fina | 0.024 |
| | Grava Gruesa | 0.028 |
| GRADO DE IRREGULARIDAD | Suave | 0.000 |
| | Menor | 0.005 |
| | Moderado | 0.010 |
| | Severo | 0.020 |
| VARIACIONES DE LA SECCIÓN TRANVERSAL DEL CANAL | Gradual | 0.000 |
| | Ocasionalmente alternante | 0.005 |
| | Frecuentemente alternante | 0.01-0.015 |
| | Insignificante | 0.000 |
| EFECTIVO RELATIVO DE OBSTRUCCIONES | Menor | 0.010-0.015 |
| | Apreciable | 0.02-0.030 |
| | Severo | 0.040-0.060 |
| | Baja | 0.005-0.010 |
| VEGETACIÓN | Media | 0.010-0.025 |
| | Alta | 0.025-0.050 |
| | Muy alta | 0.050-0.100 |
| CANTIDAD DE MEANDROS | Menor | 1.000 |
| | Apreciable | 1.150 |
| | Severa | 1.300 |

Tomado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018)

2.2.4. Diseño hidráulico.

Tomando en cuenta los criterios para diseñar una bocatoma; a continuación, se muestran los cálculos numéricos según autores para los dimensionamientos de las estructuras que componen la bocatoma.

2.2.4.1. Muro de encauzamiento.

La altura de muro de encauzamiento es igual al tirante de máxima avenida más un borde libre. El borde libre se calcula a partir de la Ec. 2 (Santos, 2005):

$$B_L = \frac{\phi * V^2}{2g} \quad 2$$

Donde:

ϕ : coeficiente (ver Tabla 4)

V: velocidad media del agua (m/s)

g: gravedad (m/s²)

Tabla 4.
Coeficiente ϕ recomendado

| Caudal Máximo m ³ /s | Coeficiente ϕ |
|---------------------------------|--------------------|
| 3000 – 4000 | 2.0 |
| 2000 – 3000 | 1.7 |
| 1000 – 2000 | 1.4 |
| 100 – 500 | 1.1 |

Fuente: Teran (1998)

2.2.4.2. Altura del barraje.

Como se observa en la Ec. 3, según Mansen (2006), se puede estimar la cota Cc de la cresta del barraje vertedero (ver Figura 13).

$$C_c = C_o + h_o + h + 0.20 \text{ (en metros)}$$

3

Donde:

C_o : Cota del lecho detrás del barraje vertedero (del plano topográfico)

h_o : Altura necesaria para evitar el ingreso de sedimentos (se recomienda $h_o \geq 0.60 \text{ m}$).

h : Altura de la ventana de captación para poder captar el caudal de derivación Q_d (asumir que funciona como vertedero.)

Nota: 20 cm es el valor recomendado de carga de seguridad con el fin de corregir efectos de oleaje.

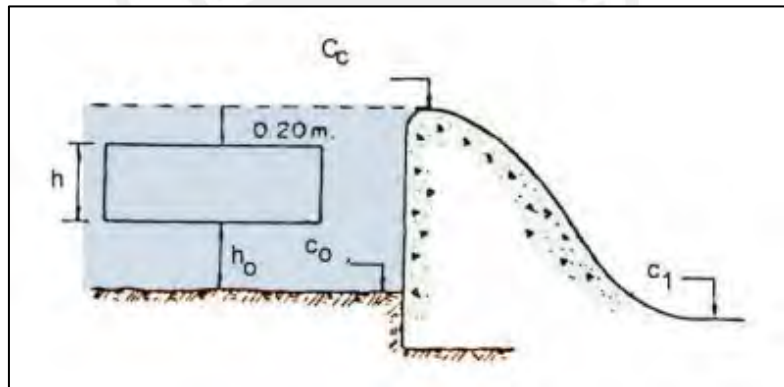


Figura 13. Altura del barraje

Tomado de Mansen (2006)

Asimismo, existen diferentes criterios para establecer la altura h_o :

$$h_o = 3\phi_m + b.l$$

Donde:

ϕ_m : Diámetro medio de los sedimentos más gruesos

$b.l$: Borde libre, aproximadamente 0.10 m.

2.2.4.3. Forma de cresta del barrage.

La forma de la cresta del barrage (Figura 14 y Figura 15) debe evitar la generación de presiones negativas que puedan causar cavitación y provocar daños al concreto. Se recomienda utilizar la fórmula del WES (U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station) pero dado que los resultados de las fórmulas dan secciones esbeltas es aconsejable dar mayor rigidez al barrage con la finalidad de evitar que la estructura sea dañada por la erosión del río (Mansen, 2006).

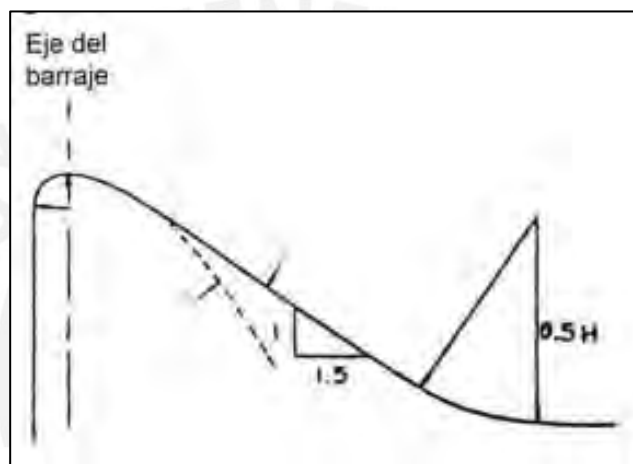


Figura 14. Talud y pie del barrage
Tomado de Mansen (2006)

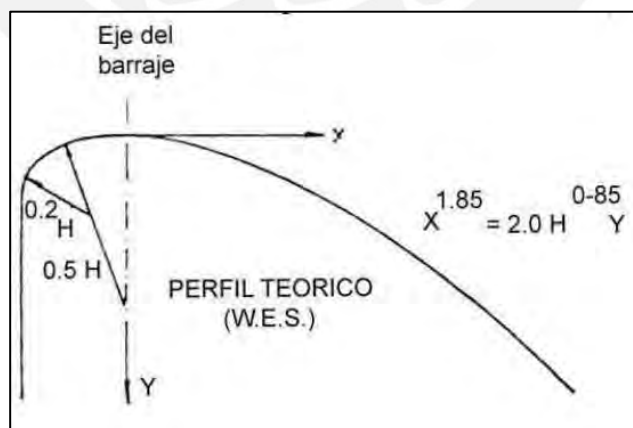


Figura 15. Perfil Creager
Tomado de Mansen (2006)

Asimismo, el USBR recomienda tomar de la Figura 16 la Ec. 4 general para el perfil de la cresta:

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

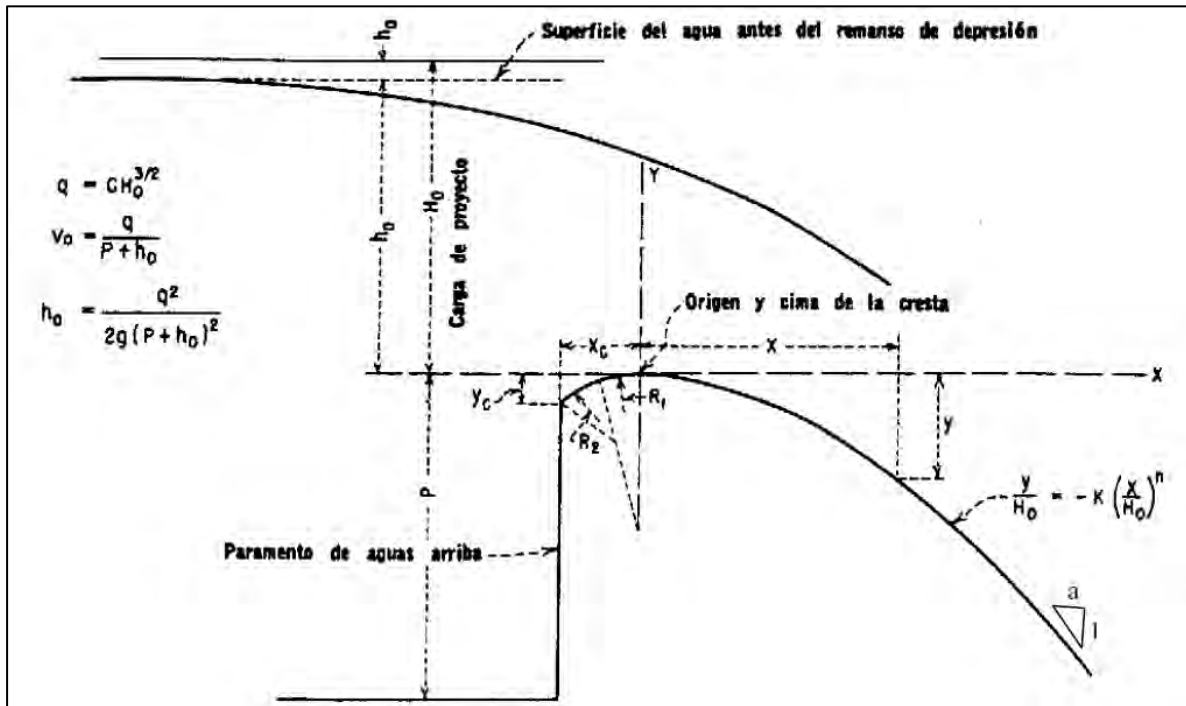


Figura 16. Componentes de las secciones de la cresta de barraje

Tomado de USBR (1987)

Donde:

x, y : coordenadas del sistema, desde el origen

n, k : coeficientes experimentales

Los valores de K y n son obtenidos de la Figura 17 y Figura 18.

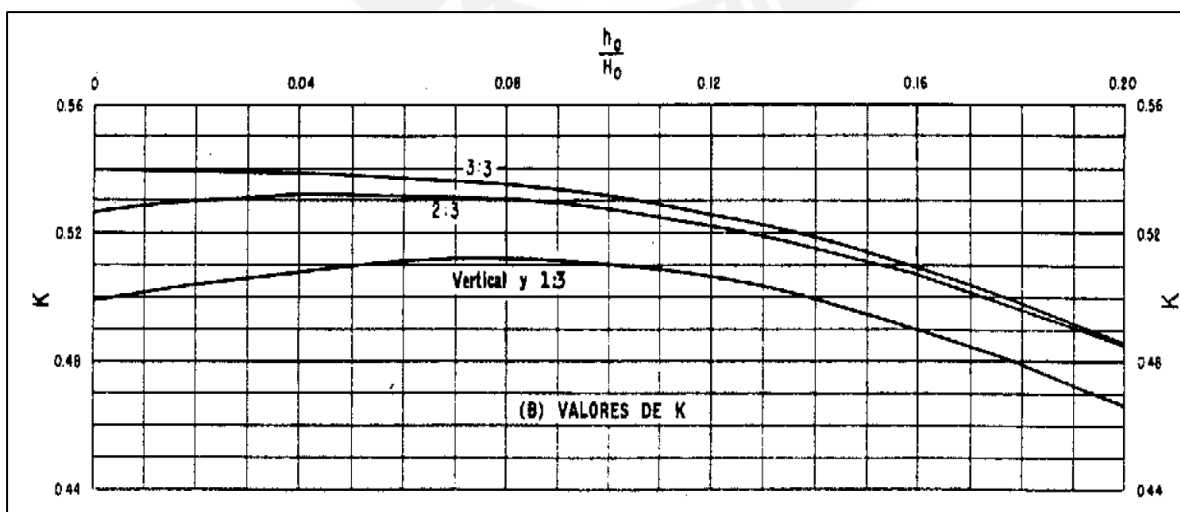


Figura 17. Valores de k

Tomado de USBR (1987)

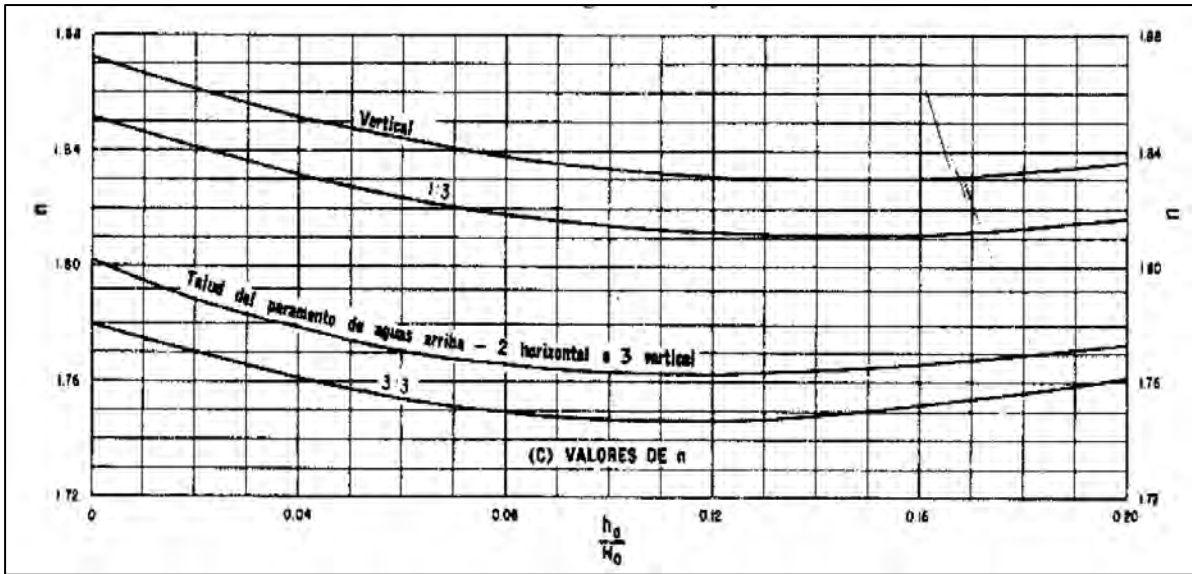
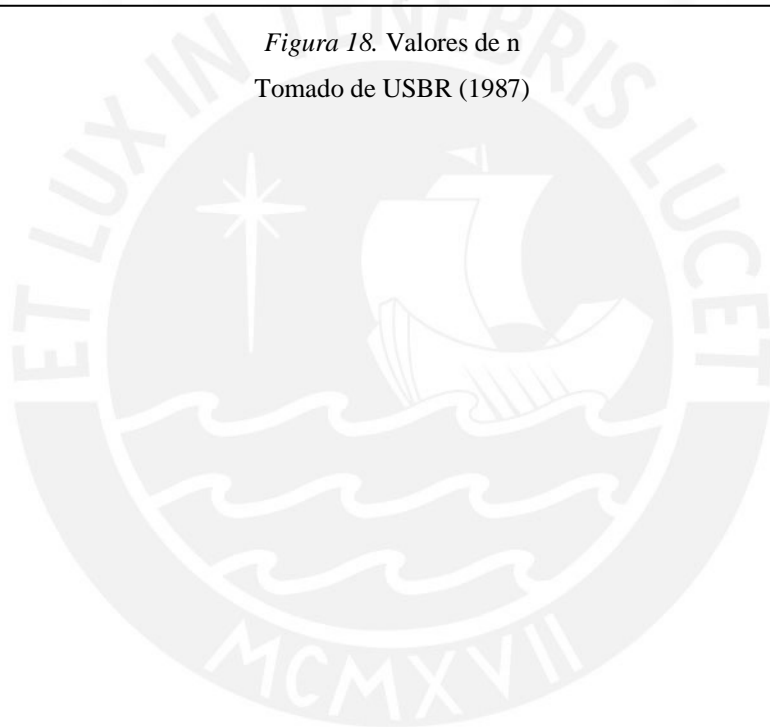


Figura 18. Valores de n
Tomado de USBR (1987)



Las dimensiones de R1, R2, Xc y Yc se pueden obtener de la Figura 19.

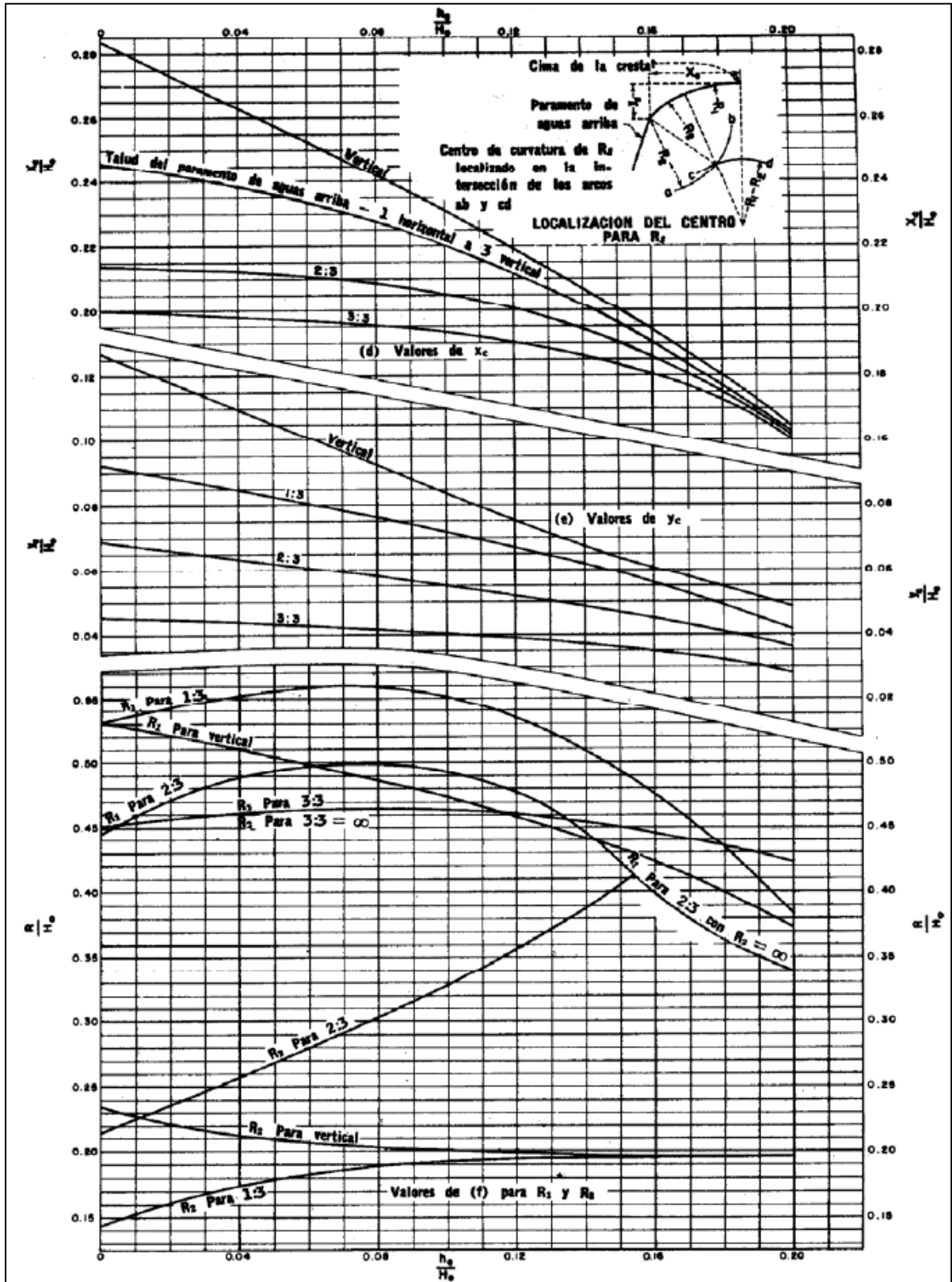


Figura 19. Valores para r1, r2, xc y yc

Tomado de USBR (1987)

2.2.4.4. Ventana de captación.

a. Diseño en estiaje

El cálculo del vertedero en estiaje supone un vertedero ahogado (ver Figura 20). La Ec. 5 permite obtener la altura de ventana de captación. Para dimensionar dicho elemento se debe tomar en cuenta lo siguiente (Krochin, 1986):

$$Q = K.S.C_d.L.H^{3/2} \quad 5$$

Donde:

Q: Caudal a derivar más caudal necesario para operación del sistema de purga.

H: Altura de carga hidráulica sobre la cresta del vertedero (m)

K: Coeficiente de contracción lateral

C_d: Coeficiente de vertedero (ver Tabla 5)

L: Ancho de la ventana de captación

S: Coeficiente de sumersión según el criterio de Bazin de la Ec. 6

$$S = 1.05 * \left(1 + 0.2 * \frac{hn}{y2} \right) * \sqrt[3]{\frac{Z}{H}} \quad 6$$

Tabla 5.
Coeficiente de vertedero

| Tipo de vertedero | Forma | C_d |
|-------------------------|-------|-------|
| Corona ancha | | 1.476 |
| Corona ancha redondeada | | 1.55 |
| Canto afilado | | 1.89 |
| Canto afilado | | 1.83 |
| Cima redondeada | | 2.333 |
| Tipo Creager | | 2.21 |

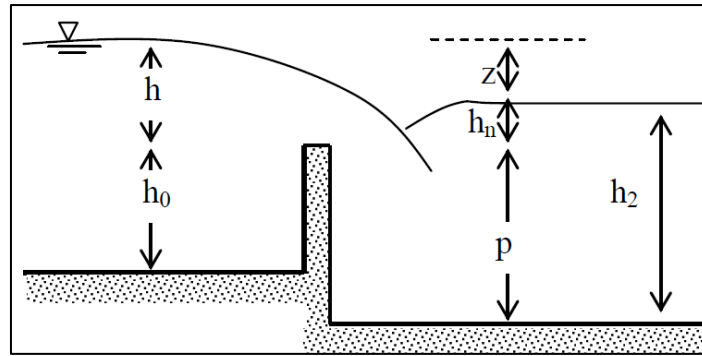


Figura 20. Ventana de captación
Tomado de Santos (2005)

b. Diseño en avenida

Para caudales de avenida, la ventana se comporta como orificio de descarga sumergida (ver Figura 21), el cual se calcula por la Ec. 7.

$$Q = C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{2g\Delta h} \quad 7$$

Donde:

C_d : Coeficiente de descarga para orificios de pared delgada = 0.675

A_o : Área del orificio

Δh : Diferencia de niveles

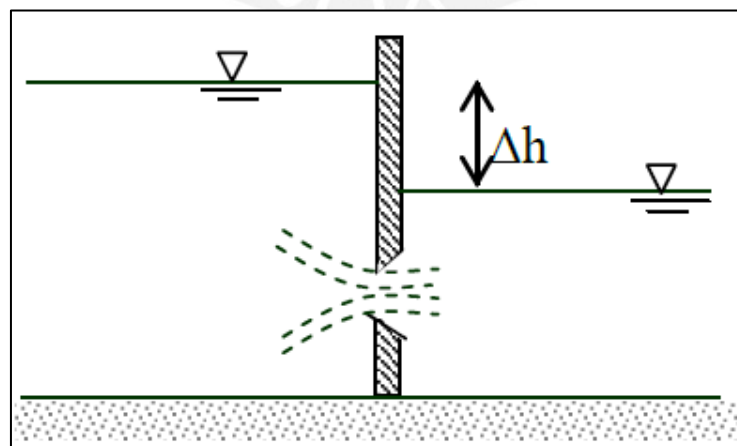


Figura 21. Obras hidráulicas
Tomado de Santos (2005)

2.2.4.5. Desripiador.

Según Santos (2005), la longitud del desripiador se puede obtener igualándola a la longitud de un resalto sumergido, cuya ecuación es la transición que une los anchos de la reja y el vertedero (ver Ec. 8).

$$L = 2.5 (d'_2 * d_2 - d_1)$$

8

Donde:

d1: tirante conjugado menor del resalto hidráulico

d2: tirante conjugado mayor del resalto hidráulico

d'2: tirante aguas abajo del resalto hidráulico

2.2.4.6. Canal de limpia.

a. Ancho del canal de limpia

Según Mansen (2006), el ancho del canal de limpia estima a partir de la Ec. 9 y Ec. 10:

$$B = \frac{Q_c}{q} \quad 9$$

$$q = Vc3g \quad 10$$

Donde:

B: Ancho del canal de limpia, en metros

Qc: Caudal a discurrir en el canal de limpia para eliminar sedimentos, en m³/s.

q: Caudal por unidad de ancho, en m³/s/m.

Vc: Velocidad en el canal de limpia para eliminar el material de arrastre, en m/s.

g: Aceleración de la gravedad, en m/s²

En ríos del Perú, se sugiere que el ancho mínimo sea de 5 m o múltiplo de este valor cuando se tienen varios tramos; situación recomendable para normar el ancho del canal de limpia Mansen (2006).

b. Velocidad para el canal de limpia

El flujo del canal (ver Figura 22) debe tener una velocidad apropiada de tal forma que no se acumulen sedimentos que puedan obstruir el canal de limpia. Esta velocidad se obtiene de la Ec. 11.

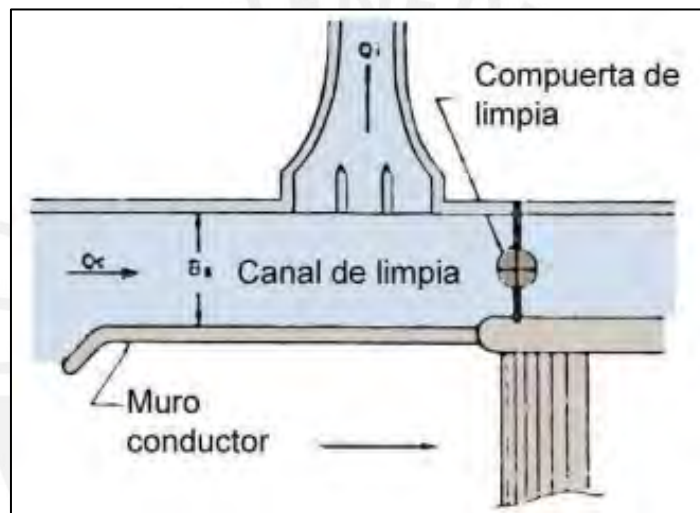


Figura 22. Canal de limpia

Tomado de Mansen (2006)

$$V_0 = 1.5c \cdot d^{1/2} = 1.5V$$

11

Donde:

V_0 : Velocidad requerida para iniciar el arrastre.

C : Coeficiente en función del tipo de material; siendo 3.2 para arena y grava redondeada y 3.9 para sección cuadrada; de 4.5 a 3.5 para mezcla de arena y grava.

d : Diámetro del grano mayor.

V : Velocidad de arrastre.

Compuerta de limpia

De acuerdo con Santos (2005), las consideraciones a tomar en cuenta para la compuerta de limpia son las siguientes:

- Altura: El nivel de la corona de la compuerta debe estar a 0.20 m por encima de la cresta del vertedero.
- Altura de izaje: 1.5 m a 2.0 m más alto que el máximo nivel de agua con la avenida de diseño.
- Velocidad de izaje: Se recomienda 30 cm/min. Considerar que los costos aumentan cuando aumenta la velocidad de izaje.
- Coeficiente de seguridad del acero: Se puede asumir entre 3 y 4.
- Plancha: El espesor mínimo debe estar entre 6 y 10 mm. Tomar en cuenta siempre el efecto de corrosión.

A continuación, en la Figura 23 se muestra un esquema de la compuerta de limpia.

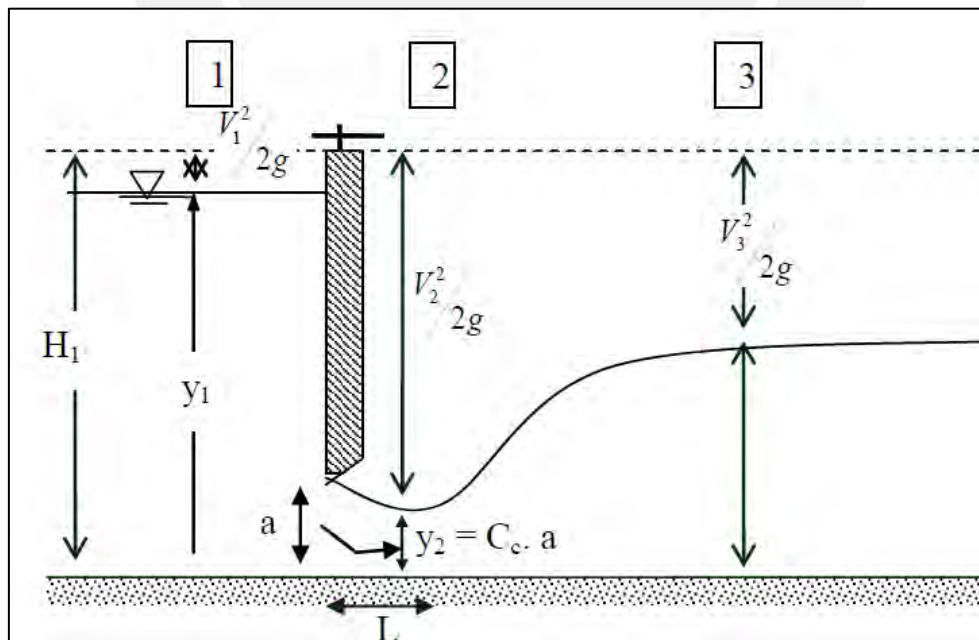


Figura 23. Compuerta de limpia
Tomado de Santos (2005)

Donde:

a: Abertura de la compuerta

b: Ancho de la compuerta

L: Longitud desde la compuerta hasta y2

y1: Tirante aguas arriba de la compuerta

y2: Altura de vena contracta aguas debajo de la compuerta

y3: Tirante aguas debajo de la compuerta

La descarga se calcula con la ecuación general de orificios:

$$Q = C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{2g(y_1 - C_c \cdot a)}$$

$$A_o = a \cdot b \quad \text{área del orificio}$$

$$C_D = \frac{C_c}{\sqrt{1 + \frac{C_c \cdot a}{y_1}}}, \quad C_D [0.50 \text{ a } 0.57]$$

$$C_c \approx 0.61$$

Pendiente del canal de limpia:

La fórmula propuesta para estimar la pendiente crítica fue propuesta por Mansen (2006) y se muestra la Ec.12.

$$I_c = n^2 \cdot g^{10/9} / q^{2/9}$$

Donde:

Ic: Pendiente crítica.

g: Aceleración de la gravedad, en m/s^2

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

q: Descarga por unidad de ancho (caudal unitario), en m^2/s .

2.2.4.7. Altura del agua sobre la cresta del barraje.

La ecuación general para calcular el caudal en vertederos libres se muestra en la Ec. 13.

$$Q = C * Le * Ho^{3/2}$$

13

Donde:

C: Coeficiente de descargar $m^{1/2}/s$

Le: Longitud efectiva de la cresta en m.

Ho: Carga total (ver Figura 24)

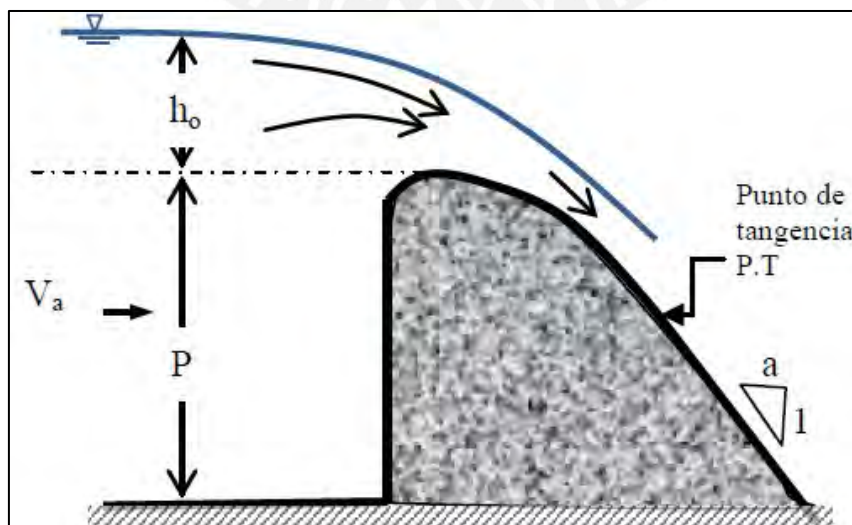


Figura 24. Descarga sobre cimacio

Tomado de Santos (2005)

De la Figura 24, se presentan las siguientes ecuaciones:

$$H_o = h_o + \frac{V_a^2}{2g}$$

$$V_a = \frac{q}{P + h_o}$$

Donde:

H_o : Tirante de diseño

V_a : Velocidad de llegada o de aproximación

q : Gasto unitario= Q/L

P : Altura del barraje

Asimismo, para obtener el coeficiente de descarga, los valores fueron calculados de manera experimental por la USBR, como se muestra en la Figura 25.

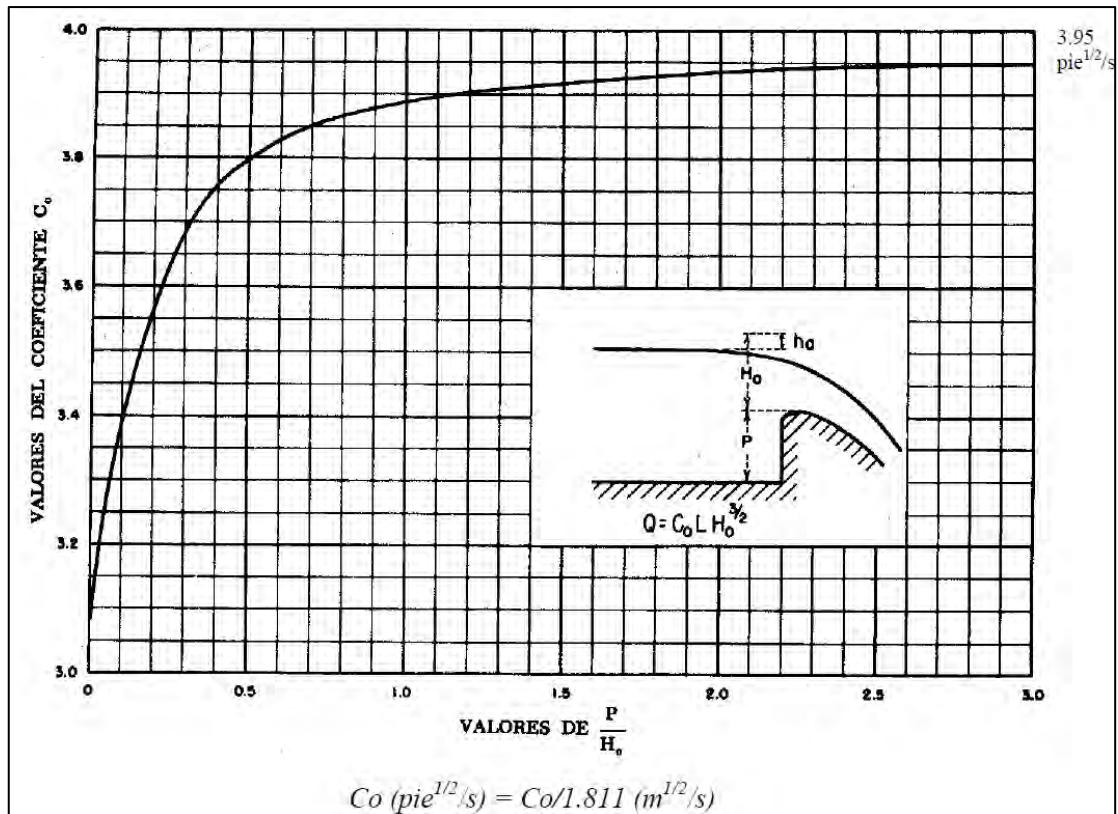


Figura 25. Coeficiente de descarga

Tomado de USBR (1987)

Dado que las pilas y los estribos de la cresta producen contracciones laterales sobre las descargas, la longitud efectiva será calculada de la siguiente manera:

$$L_e = L - 2(NK_p + k_a)H_0$$

Donde:

L_e : Longitud efectiva de la cresta

L : Longitud neta de la cresta

N : Número de pilas

K_p : Coeficiente de contracción de las pilas (ver Figura 27)

K_a : Coeficiente de contracción de los estribos (ver Figura 26)

H_0 : Carga total sobre la cresta

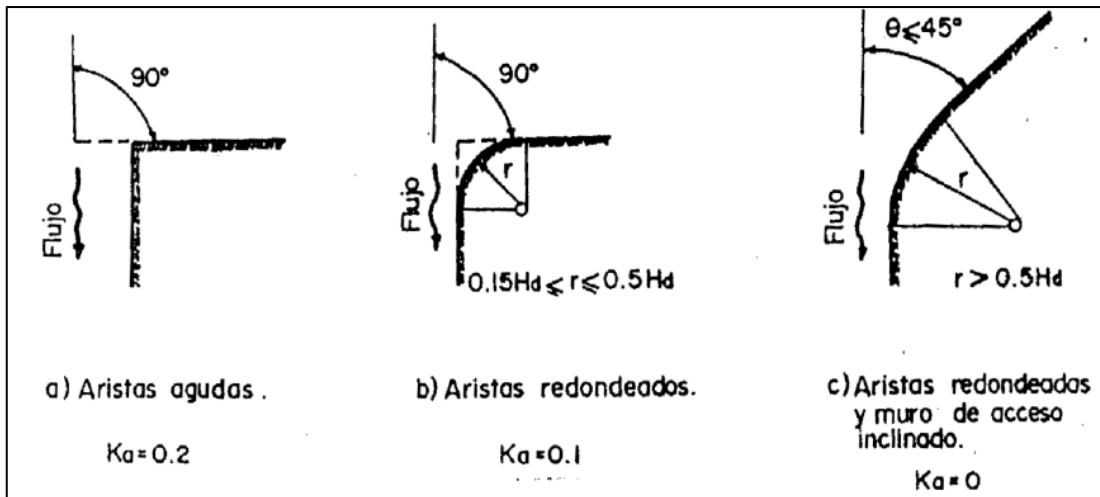


Figura 26. Coeficiente de contracción en estribos
Tomado de USBR (1984)

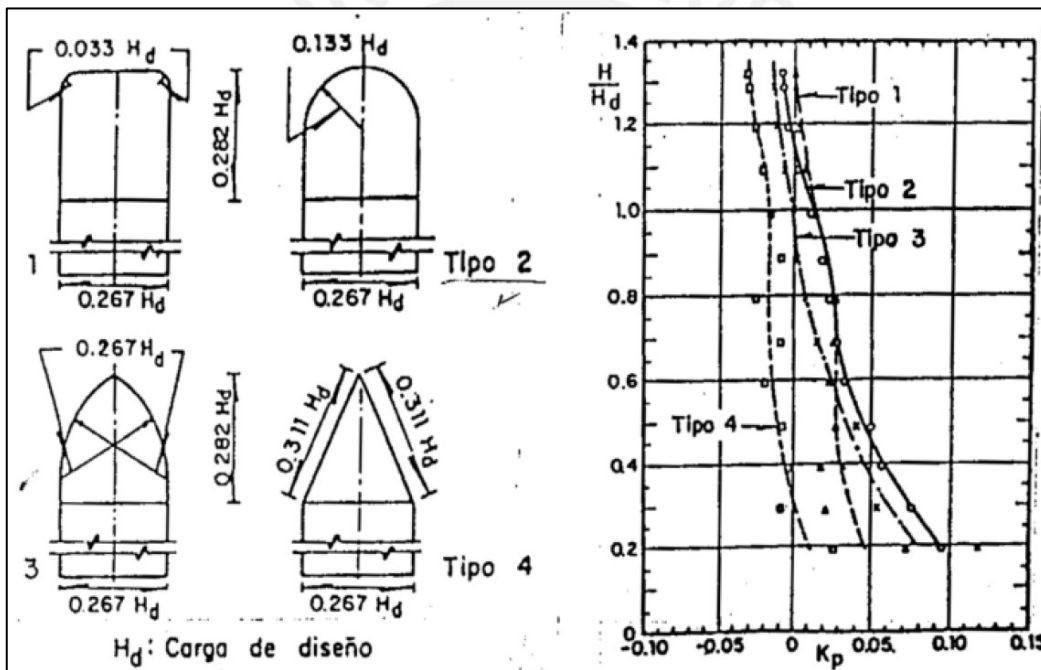


Figura 27. Coeficiente de contracción por pila
Tomado de USBR (1984)

2.2.4.8. Solado o colchón disipador.

2.2.4.8.1. Longitud.

Para estimar la longitud del solado o colchón disipador se debe partir hallando d_1 y d_2 , que son los tirantes conjugados dentro del resalto hidráulico que se puede observar en la Figura 28.

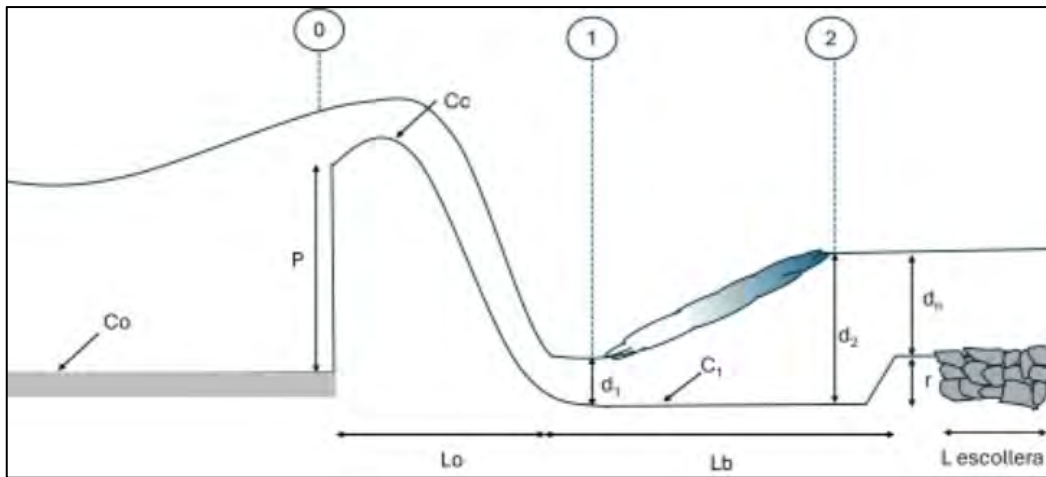


Figura 28. Parámetros hidráulicos

Tomado de Mansen (2006)

Cálculo de d_1 :

$$E_0 = C_0 + P + H + V_0^2/2g \quad 14$$

$$E_1 = C_1 + d_1 + V_1^2/2g \quad 15$$

Por Bernoulli:

$$E_0 = E_1 + hf_{0-1} \quad 16$$

Se asumen ciertos valores tales como:

$$r = (C_0 - C_1), \text{entre } 0.5 \text{ y } 1m \quad 17$$

$$hf_{0-1} = 0.1 * \frac{V_H^2}{2g}, \text{ en metros} \quad 18$$

$$d_1 \geq 0.1m \quad 19$$

$$d_1 = q_1/V_1 \quad 20$$

Donde:

C_0 : Cota del terreno en 0

C_1 : Cota del colchón disipador

P : Altura del barraje

H: Altura de lámina vertiente

d_1 : Tirante del río al pie del talud

hf_{0-1} : Pérdida por fricción entre 0 y 1

V_0 : Velocidad en la cresta del barraje vertedero

V_1 : Velocidad al pie del talud

E_0 : Energía en el eje cero

E_1 : Energía en el eje uno

a. Cálculo de d_2

$$d_2 = \frac{d_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1)$$

21

$$d_n + r = 1.15 * d_2$$

22

Donde:

Fr: Número de Froude

d_n : Tirante normal en el río

r: Profundidad del colchón disipador

Se debe verificar la relación de la Ec. 22.

b. Cálculo de la longitud del colchón disipador

Existen fórmulas empíricas y experimentales que se indican a continuación, y que resultan en valores un poco conservadores, que no obstante, orientan las decisiones para el diseño final (Mansen, 2006).

$$L = (5 \text{ a } 6) * (d_2 - d_1) \text{ (Schoklitsch)} \quad 23$$

$$L = 6d_1 * F_1 \text{ siendo } F_1 = V_1/(g * d)^{1/2} \text{ (Safranez)} \quad 24$$

$$L = 4d_2 \text{ (U. S. Bureau of Reclamation) ver Figura 29} \quad 25$$

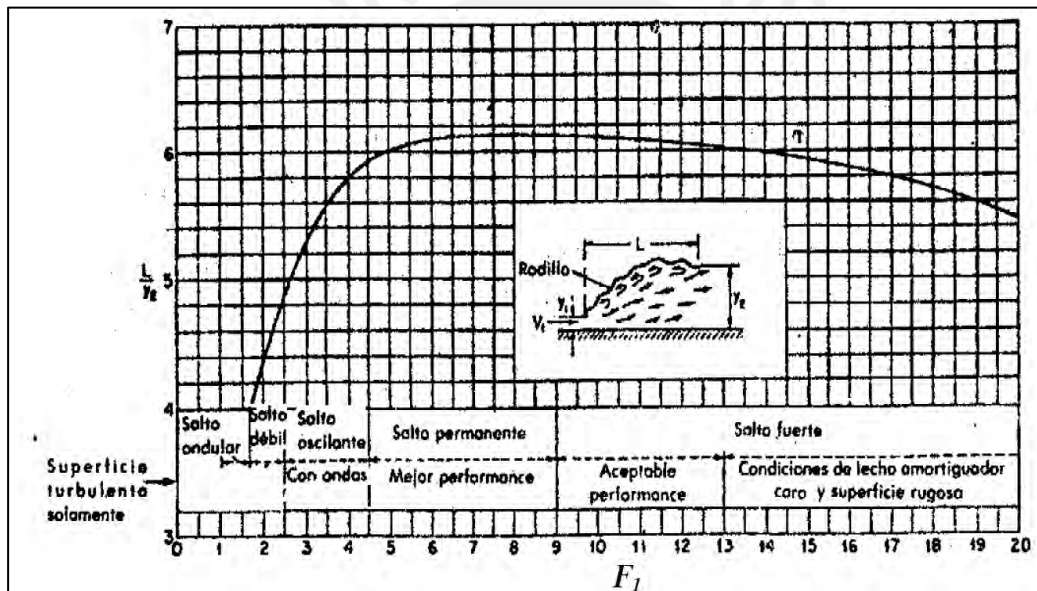


Figura 29. Longitud del resalto hidráulico
Tomado de USBR (1987)

De estos valores se elige el promedio. Asimismo, existen criterios adoptados por el USBR para acortar la longitud del colchón disipador de acuerdo con el tipo de disipador. El disipador tipo III es desarrollado cuando el número de Froude es mayor a 4.5, y el diseño se realiza de acuerdo con lo indicado la Figura 30.

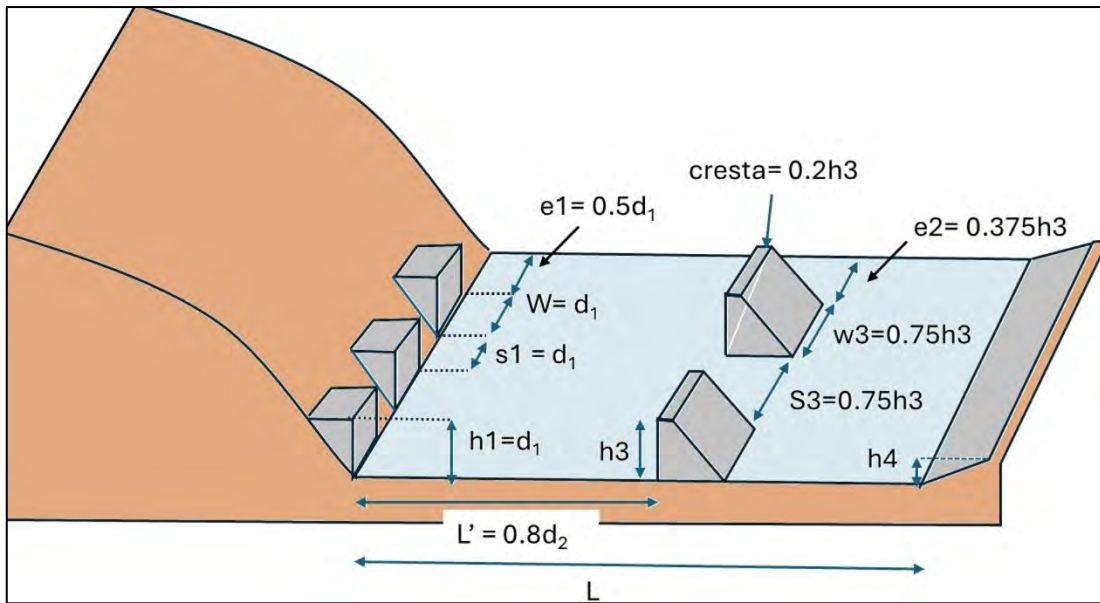


Figura 30. Diseño de dissipador tipo III
Tomado de USBR (1987)

Por lo tanto, la longitud del colchón dissipador (ver Figura 31) se obtiene a partir de la siguiente gráfica:

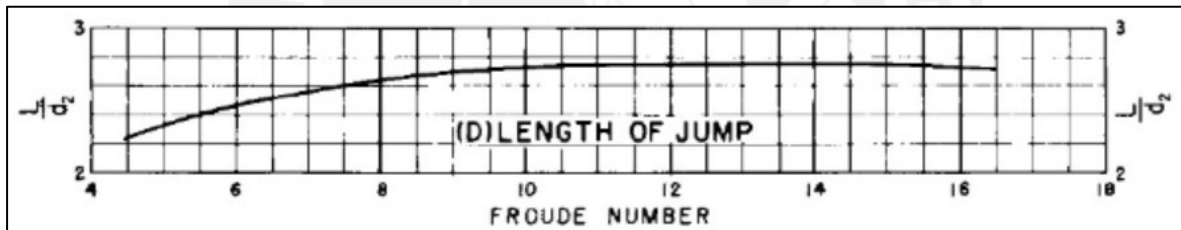


Figura 31. Longitud de colchón dissipador para dissipador tipo III
Tomado de USBR (1987)

Los valores h_3 , D_1 y h_4 se obtienen a partir de la Figura 32.

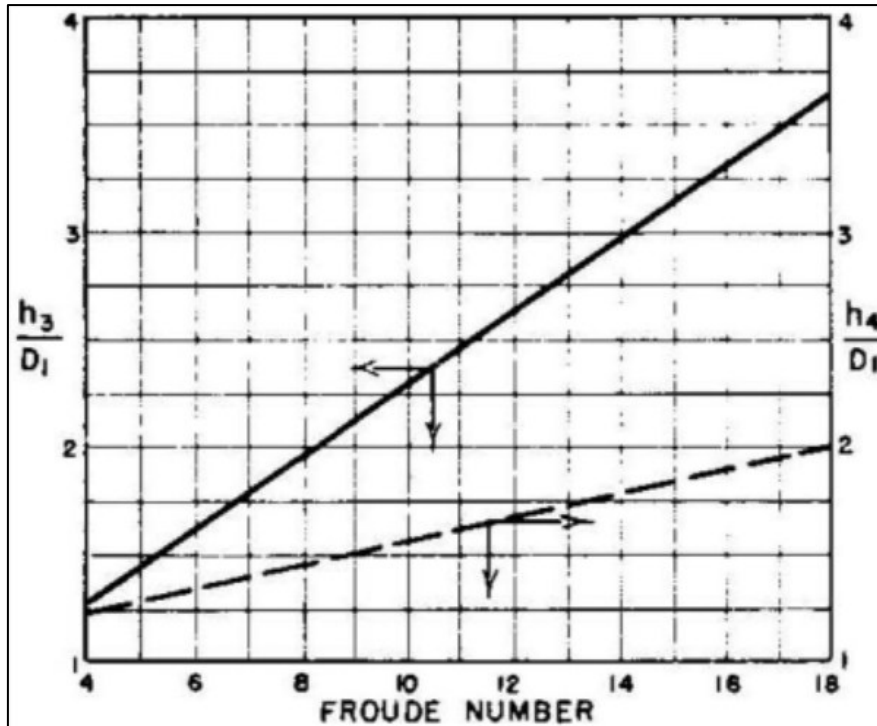


Figura 32. Dimensiones de dissipador tipo III
Tomado de USBR (1987)

Por otro lado, el dissipador tipo IV es desarrollado cuando el número de Froude es mayor a 2.5 y menor 4.5, y el diseño se realiza de acuerdo con lo indicado en la Figura 33.

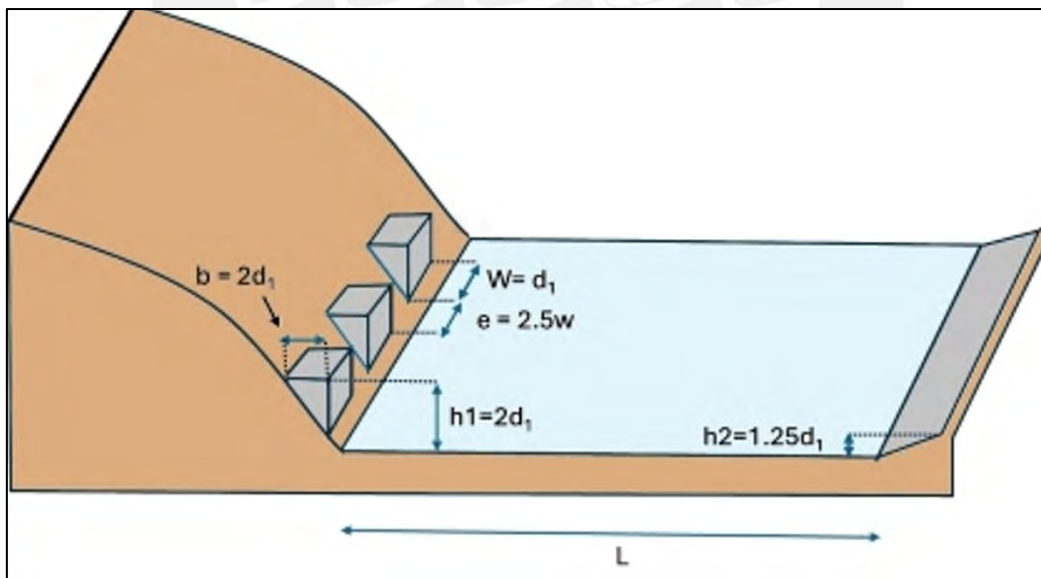


Figura 33. Diseño de dissipador tipo IV
Tomado de USBR (1987)

Por lo tanto, la longitud del colchón dissipador se obtiene a partir de la Figura 34.

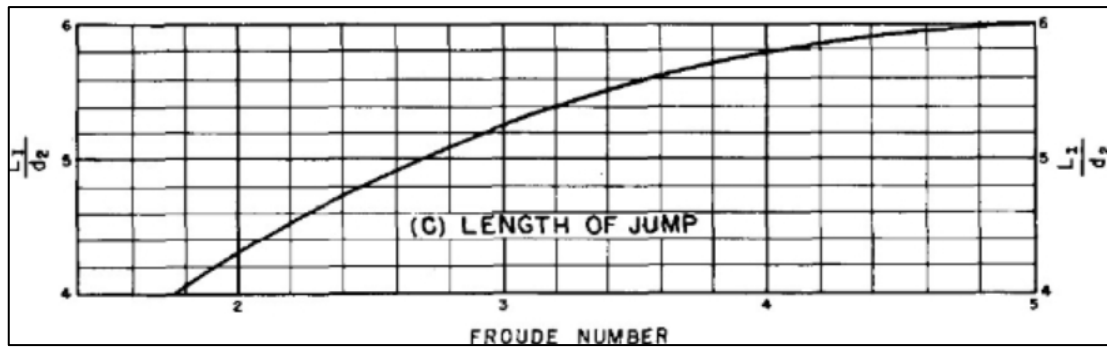


Figura 34. Longitud de colchón disipador tipo IV
Tomado de USBR (1987)

2.2.4.8.2. Espesor

Según Masen (2006), el espesor debe ser diseñado de tal manera que permita resistir el efecto de subpresión ocasionado por el empuje (ver Figura 35).

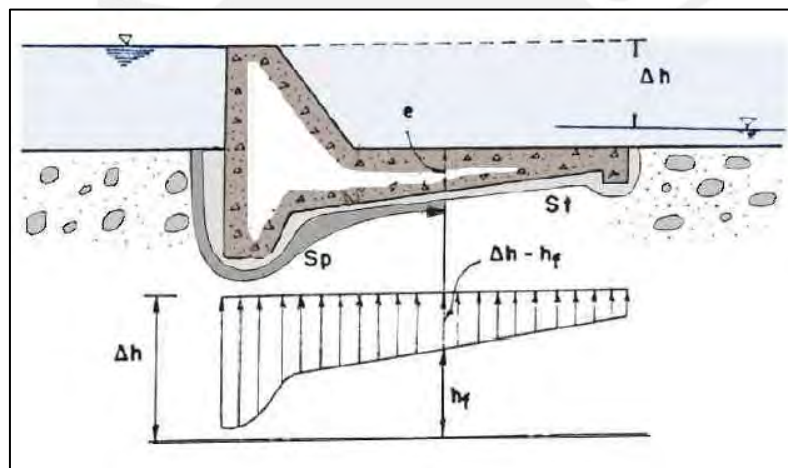


Figura 35. Efecto de subpresión en colchón disipador
Tomado de Mansen (2006)

El espesor se calcula de la siguiente manera:

$$e = \frac{\gamma h}{\gamma_s - \gamma} = \frac{h}{SG_s - 1}$$

26

Donde:

SG_s : gravedad específica del solado

γ : peso específico del agua

γ_s : peso específico del material del solado

Además, el tirante de subpresión es por las siguientes expresiones:

$$h = \Delta h - h_f \quad 27$$

$$h_f = \Delta h * \frac{S_p}{S_t} \quad 28$$

Donde:

h : tirante de subpresión

S_p : longitud de percolación parcial

S_t : longitud de percolación total

2.2.4.9. Longitud del enrocado de protección o escollera.

Es de suma importancia la colocación de un enrocado al final del colchón disipador para reducir la erosión y minimizar el arrastre del material fino debido a la filtración (Ver Figura 36).

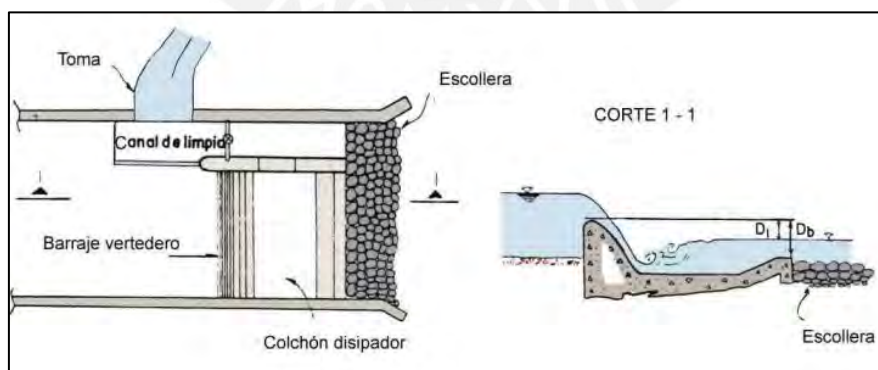


Figura 36. Escollera al final del colchón disipador
Tomado de Mansen (2006)

Según Bligh, la longitud de escollera recomendada es:

$$L_s = 0.60CD_1^{\frac{1}{2}}(1.12(q \cdot D_b/D_1)^{\frac{1}{2}} - 1) \quad 29$$

Donde:

Db: altura comprendida entre la cota del extremo aguas abajo el colchón disipador y la cota de la cresta del barraje vertedero, en m.

D1: altura comprendida entre el nivel de agua en el extremo aguas abajo del colchón disipador y la cota de la cresta del barraje vertedero, en m.

q: avenida de diseño por unidad de longitud del vertedero.

C: coeficiente de Bligh. (Ver Tabla 6).

Tabla 6.
Coeficiente de Bligh

| Lecho del cauce | Tamaño de grano (mm) | C (Bligh) |
|-----------------|----------------------|-----------|
| Arena | 0.005 a 0.01 | 18 |
| Fina y Limo | 0.1 a 0.25 | 15 |
| Arena Fina | 0.5 a 1 | 12 |
| Arena Gruesa | - | 9 |
| Gravas Arena | - | 9 |
| Bolonería | - | 4-6 |
| Gravas y Arena | - | 4-6 |
| Arcilla | - | 6-7 |

Tomado de Mansen (2006)

3. Materiales y Métodos

3.1. Área de Estudio

A partir de información de la Autoridad Nacional de Agua (ANA) se identificaron las bocatomas construidas en el Perú. Estas obras hidráulicas, en su mayoría, fueron edificadas sobre ríos cercanos a la costa peruana. Por ende, para la validación del software se escogieron tres proyectos de bocatomas convencionales, cuya ubicación se encuentre en los ríos que desemboquen en la vertiente del Pacífico, en los que se comprobó el correcto diseño de las dimensiones de los elementos de la bocatoma. Asimismo, para la propuesta de prediseño se planteó un proyecto sobre un río principal de la costa peruana. En la Figura 37 se muestran las bocatomas de concreto a nivel nacional en estado regular y bueno; así como las zonas donde se plantearon los proyectos empleados para la validación del software TomaApp.

Asimismo, se identificó la cuenca Chancay-Lambayeque, específicamente su curso principal, el río Chancay, donde es factible la construcción de una bocatoma. Para tal fin, se recopiló información acerca del caudal histórico registrado, demanda hídrica de la cuenca y las bocatomas en funcionamiento pertenecientes a dicha cuenca.

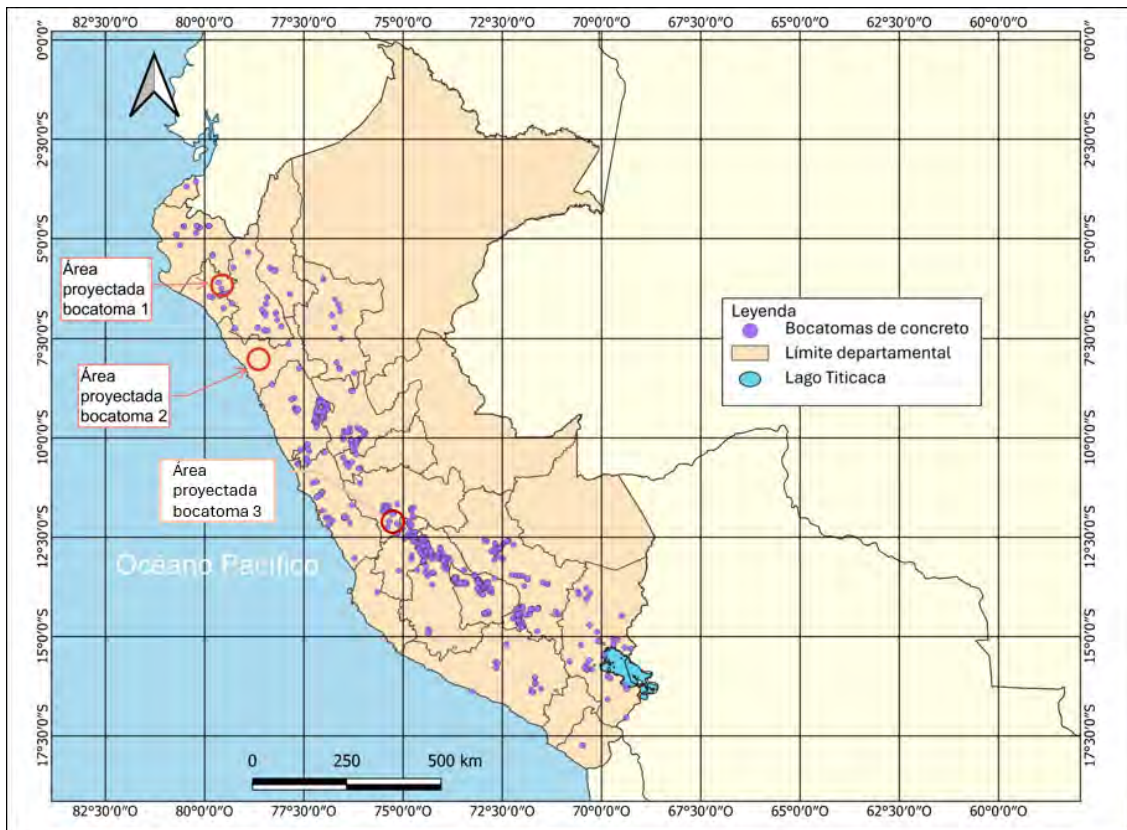


Figura 37. Bocatomas a nivel nacional en estado regular y bueno
 Elaboración propia con base en Autoridad Nacional del Agua (2025)

3.2. Metodología

Para aplicar una metodología de trabajo, esta debe definirse en una secuencia de pasos sistemáticos que permitirán dar una solución a un problema. De acuerdo con A. Gutierrez & Lopez (2017), es importante la identificación y análisis del problema en donde se establezcan los datos de entradas necesarios para solucionar el problema. Además, es indispensable la realización de un algoritmo que permita planificar lógicamente y secuencialmente, los pasos a seguir para establecer una solución al problema. Definido todo ello, se podrá decidir qué tipo de lenguaje de programación emplear para obtener la solución teniendo en cuenta el algoritmo planificado,

En lo concerniente a la programación existen varios tipos de lenguaje. No obstante, el lenguaje de programación Visual Basic for Application (en adelante, VBA) es una de las

opciones más sencillas de aplicar puesto que integra el diseño e implementación de formularios de Windows; es de fácil acceso y es frecuentemente utilizado para desarrollar cálculos iterativos (Esteban, 2019). En consecuencia, VBA fue seleccionado como lenguaje de programación del software TomaApp, cuya codificación automatiza los cálculos numéricos e iterativos en el diseño de las principales componentes de una bocatoma convencional. Para esto, se insertó un formulario y se utilizó la herramienta de página múltiple. En la primera página del formulario se digitan manualmente los datos de entrada para calcular las dimensiones de las principales componentes de una bocatoma convencional. Además, se realizó un código para automatizar el diseño de la estructura hidráulica.

Con el objetivo de validar el software TomaApp, se procesaron los datos de proyectos de tesis para el diseño de bocatomas convencionales de dos ríos costeros del Perú. Esto con la finalidad de verificar la eficiencia del software y comprobar que los cálculos realizados en el diseño son los correctos.

Finalmente, se propone el prediseño de una bocatoma convencional en el río Chancay para validar el software. Para ello, se tomó información de caudales máximos, se calcularon los caudales promedios mensuales del río y realizando un análisis de la demanda hídrica se pudo calcular el caudal de captación para el diseño de la bocatoma. Asimismo, con la ayuda del programa ArcGIS se importaron los “shapefiles” correspondientes a cuencas, departamentos y ríos del Perú. Para ello, se ubicó una zona en Google Earth donde se trazó una zona de construcción de la propuesta tentativa. Seguidamente, se insertaron los datos de entrada al aplicativo propuesto para obtener los resultados de un prediseño de bocatoma convencional.

3.2.1. Algoritmo para diseño de bocatomas convencionales.

3.2.1.1. Algoritmo del software TomaApp

El algoritmo para el diseño de bocatomas convencionales es el siguiente:

- Definir datos generales (ingresar los siguientes datos del río: caudal máximo del río, longitud del barrage y caudal de diseño de captación)
- Diseño del barrage
- Diseño de la ventana de captación
- Cálculos de caudales según la compuerta abierta o cerrada
- Diseño del canal de limpia
- Diseño del perfil de la cresta
- Diseño del colchón dissipador
- Diseño de dissipadores de energía
- Manual de usuario

3.2.1.2. Algoritmo para diseño del barrage.

Proceso realizado:

- Definir las siguientes dimensiones: altura desde ventana de captación hasta la parte más alta del barrage (H_{cota}), altura de la ventana de captación ($h_{rejilla}$), diámetro medio de los sedimentos más grueso (D_m) y borde libre.

Resultados obtenidos:

- Altura del umbral del orificio (H_{fondo})
- Altura del barrage (P)

En la Figura 38 se muestra el detalle de las dimensiones del barrage:

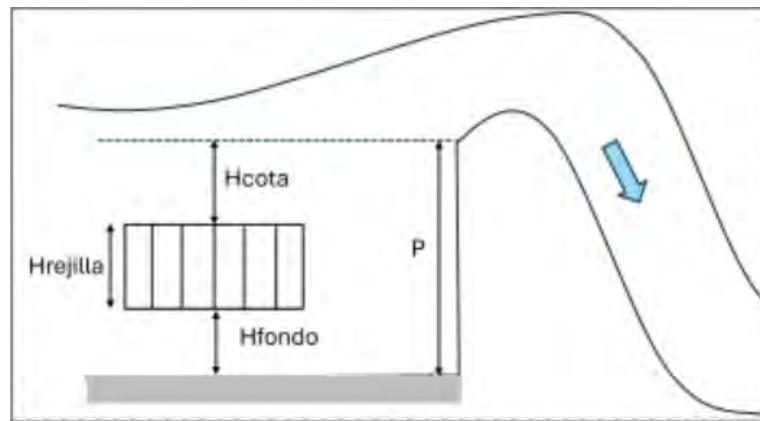


Figura 38. Barraje

Elaboración propia.

3.2.1.3. Algoritmo para diseño de la ventana de captación.

Proceso realizado:

- Definir las siguientes dimensiones y/o datos: número de ventanas de captación, coeficiente de descarga (C_d), diferencia de elevación de las superficies del agua (z), desnivel entre la toma de captación y el desripador (y_2), número de pilas (n), espesor de las varillas y espaciado entre varillas
- Evaluar el funcionamiento del vertedero sumergido, para ello debe cumplirse las siguientes condiciones: $h_2 > p$, $z/P < 2/3$
- Aplicar de la fórmula de la Ec. 6 para hallar el coeficiente de sumersión
- Aplicar la fórmula de la Ec. 5 para hallar el ancho de la ventana de captación
- Hallar la longitud corregida por contracción

Resultados obtenidos:

- Nivel de la cresta sobre el fondo aguas abajo (p)
- Nivel del agua bajo el vertedero sobre la cresta (h_n)
- Tirante aguas abajo (h_2)
- Número de barros

- Ancho de la ventana de captación
- Altura de la ventana de captación

En la Figura 39 se muestra el detalle de las dimensiones de la ventana de captación:

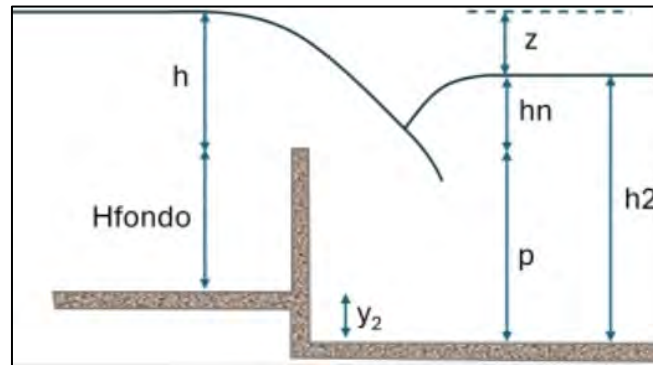


Figura 39. Ventana de captación

Elaboración propia

3.2.1.4. Algoritmo para el cálculo de caudales.

Proceso realizado:

- Cuando la compuerta del canal de limpia está totalmente cerrada:
 - Definir las siguientes dimensiones y/o datos: número de pilas, coeficiente de contracción de las pilas, coeficiente de contracción de los estribos, coeficiente de descarga para orificio de pared delgada, coeficiente de descarga según la USBR, tirante sobre la cresta aguas arriba del barraje
 - Calcular el caudal unitario que transcurre sobre el barraje
 - Calcular el área de la ventana de captación
 - Calcular la carga total sobre el barraje
 - Calcular la longitud efectiva de la cresta

Resultados obtenidos:

- Caudal que transcurre sobre el barraje
- Caudal que pasa por la ventana de captación

- Cuando la compuerta del canal de limpia está parcial o totalmente abierta:
 - Definir las siguientes dimensiones y/o datos: ancho de la compuerta del canal de limpia, coeficiente de contracción, número de canales de limpia, tirante sobre la cresta aguas arriba del barraje y coeficiente de descarga según la USBR.
 - Definir la abertura de la compuerta
 - Calcular el área del orificio
 - Calcular el caudal unitario que transcurre sobre el barraje
 - Calcular la carga total sobre el barraje
 - Calcular la longitud efectiva de la cresta

Resultados obtenidos:

- Calcular el caudal que transcurre sobre el barraje.
- Calcular el caudal que pasa por la ventana de captación.
- Calcular el caudal que transcurre por el canal de limpia.

3.2.1.5. Algoritmo para el diseño del canal de limpia.

Proceso realizado:

- Definir las siguientes dimensiones y/o datos: coeficiente C en función del tipo de material, diámetro del grano mayor, coeficiente de Manning para el canal de limpia.
- Aplicar la Ec 11 para calcular la velocidad de arrastre.
- Calcular el caudal de limpia con la fórmula de Manning.
- Aplicar la Ec. 12 para calcular la pendiente del canal de limpia.

Resultados obtenidos:

- Velocidad de arrastre
- Velocidad en el canal de limpia

- s_c : pendiente del canal de limpia

3.2.1.6. Algoritmo para el perfil de la cresta.

- Definir las siguientes dimensiones y/o datos: coeficiente k y n , cota en el nivel del terreno aguas arriba del barraje, cota en el nivel del terreno aguas abajo del barraje, factores para el cálculo de X_c , Y_c , R_1 y R_2 .

Resultados obtenidos:

- Dimensiones de X_c , Y_c , R_1 y R_2 .

3.2.1.7. Algoritmo para el diseño del colchón disipador.

Proceso realizado:

- Hallar la energía en el eje 0 sumando la altura del barraje, la carga sobre la cresta y la carga de agua
- Hallar la energía en el eje 1 (m)
- Hallar el tirante 1 igualando la energía en el eje 0 con la energía en el eje 1 sumando las pérdidas entre ambos ejes.
- Aplicar la fórmula de la Ec. 21 para obtener el tirante 2
- Aplicar el promedio de las ecuaciones 23, 24 y 25 para obtener la longitud del colchón disipador

Resultados obtenidos:

- Energía en eje 0 (m)
- Energía en eje 1 (m)
- Tirante conjugado 2 (m)
- Longitud del colchón disipador (m)

3.2.1.8. Algoritmo para el diseño tipos de disipadores.

Proceso realizado:

- Identificar el tipo de disipador según el número de Froude
- Hallar el valor de L/d^2 mediante las gráficas que se muestran en el software.

Resultados obtenidos:

- Longitud del colchón disipador
- Geometría del dado de concreto
- Altura de la poza disipadora

3.2.2. Diagrama de flujo.

En la Figura 40 se presenta el esquema general a considerar del diseño hidráulico de bocatomas tipo convencional y el diagrama de flujo general del software TomaApp.

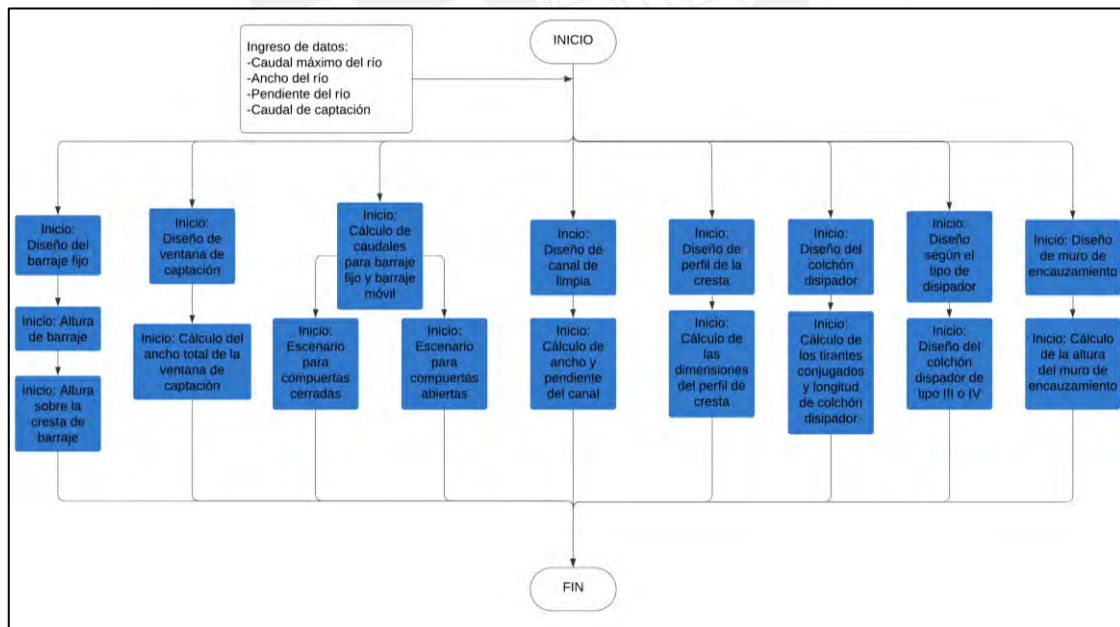


Figura 40. Diagrama de flujo

Elaboración propia

4. Análisis y Discusión de Resultados

4.1. Descripción y Validación del Aplicativo

El software TomaApp fue diseñado para calcular las dimensiones de los principales componentes de una bocatoma convencional, para lo cual se requiere contar con información hidráulica e hidrológica del río a captar; es decir, caudal máximo del río para un determinado tiempo de retorno, caudal de diseño de la ventana de captación, pendiente del río y ancho del río (datos fundamentales para el correcto dimensionamiento de la bocatoma). Considerando que es un software para realizar cálculos hidrológicos, es recomendable que el usuario cuente con conocimientos previos sobre el diseño de bocatomas para que pueda adoptar criterios adecuados. Cabe resaltar que TomaApp es un software de uso libre, disponible en su versión Beta.

De acuerdo con las figuras que se mostrarán más adelante, el software presenta diferentes pestañas: datos generales, barraje, ventana de captación, caudales, canal de limpia, perfil de la cresta, colchón disipador, disipadores y manual. En cada una de las pestañas debe insertarse, en los cuadros de color blanco, el valor numérico correspondiente a la información requerida. En los cuadros de color violeta se mostrará el resultado de la información requerida; mientras que, en los cuadros de color amarillo, mensajes de conformidad. Además, en algunas pestañas existe un botón de “Ayuda” (que presenta un símbolo de interrogación), el que muestra una nueva ventana donde se explica la terminología empleada.

Para el uso del software, en primer lugar, se debe insertar la información en la primera pestaña de datos generales, como se muestra en la Figura 41.

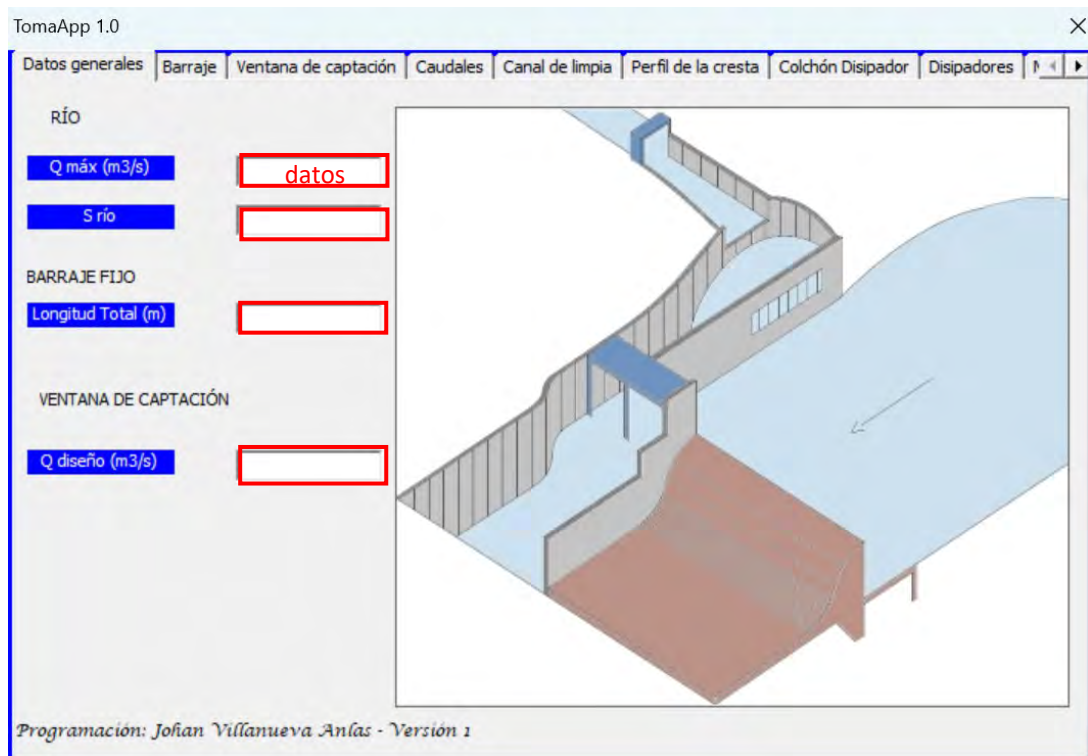


Figura 41. Pestaña: datos generales

Elaboración propia

Luego de insertar la información de datos generales, la siguiente pestaña permite realizar el cálculo automatizado del barraje. Para ello, se debe completar los datos requeridos en los espacios en blanco, tomando como referencia la figura que se encuentra en la pestaña. Los resultados aparecerán al hacer clic en el botón “calcular”, ver Figura 42.

TomaApp 1.0

Datos generales | **Barraje** | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpia | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

Altura del umbral

Dm (m)

Borde Libre (m)

H fondo

Altura del paramento

Hcota (m)

hrejilla (m)

P (m)

Hrejilla

Hcota

P

Hfondo

CALCULAR

?

Programación: Johan Villanueva Anlas - Versión 1

Figura 42. Pestaña: barraje

Elaboración propia

En la siguiente pestaña (ver Figura 43) se realiza el cálculo automatizado de la ventana de captación para obtener las dimensiones (largo y ancho) de dicha componente. De manera análoga que en la pestaña anterior, se debe completar la información solicitada en los espacios en blanco y se hace clic en el botón “calcular”. Es preciso indicar que el coeficiente de descarga se determina de acuerdo con el tipo de vertedero; los coeficientes para cada uno de estos se muestran al hacer clic en el botón Cd, tal como aparece en la Figura 44. Asimismo, el espesor de las varillas de la ventana de captación puede ser escogido entre las alternativas brindadas.

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpieza | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

Diseño en estaje

Nº de ventanas de captación

Cd **Cd**

Z (m)

y2 (m)

p

hn (m)

h2 (m)

Coefficiente de sumersión

S

h

Hfondo

z

hn

p

h2

y2

n

Espesor (m) 1/8" 1/2" 1"

1/4" 3/4"

Espaciamiento (m)

Nº de barrotes

B (m)

H (m)

CALCULAR

Programación: Johan Villanueva Anlas - Versión 1

Figura 43. Pestaña: ventana de captación

Elaboración propia

| TIPO DE VERTEDERO | FORMA | Cd |
|-------------------------|-------|-------|
| Corona ancha | | 1.476 |
| Corona ancha redondeada | | 1.55 |
| Canto afilado | | 1.89 |
| Canto afilado | | 1.83 |
| Cima redondeada | | 2.333 |
| Tipo Creager | | 2.21 |

Figura 44. Coeficiente Cd

Fuente: Adaptado de Santos (2025)

En la siguiente pestaña, que cuenta con una barra de desplazamiento, es posible calcular los caudales considerando dos tipos de funcionamiento: i) cuando la compuerta del barraje móvil se encuentra totalmente cerrada (ver Figura 45, correspondiente a la primera sección de la pestaña), y ii) cuando la compuerta del barraje móvil se encuentra parcial o totalmente abierta (ver Figura 46, correspondiente a la sección final de la pestaña). Los coeficientes de contracción de pilas y estribos pueden ser escogidos entre las opciones que se muestran al hacer clic en el botón “ver gráficas”. Por otro lado, el coeficiente de descarga es determinado por valores experimentales según el USBR (1987), los que se muestran al hacer clic en el botón C (cuya ventana resultante se muestra en la Figura 47).

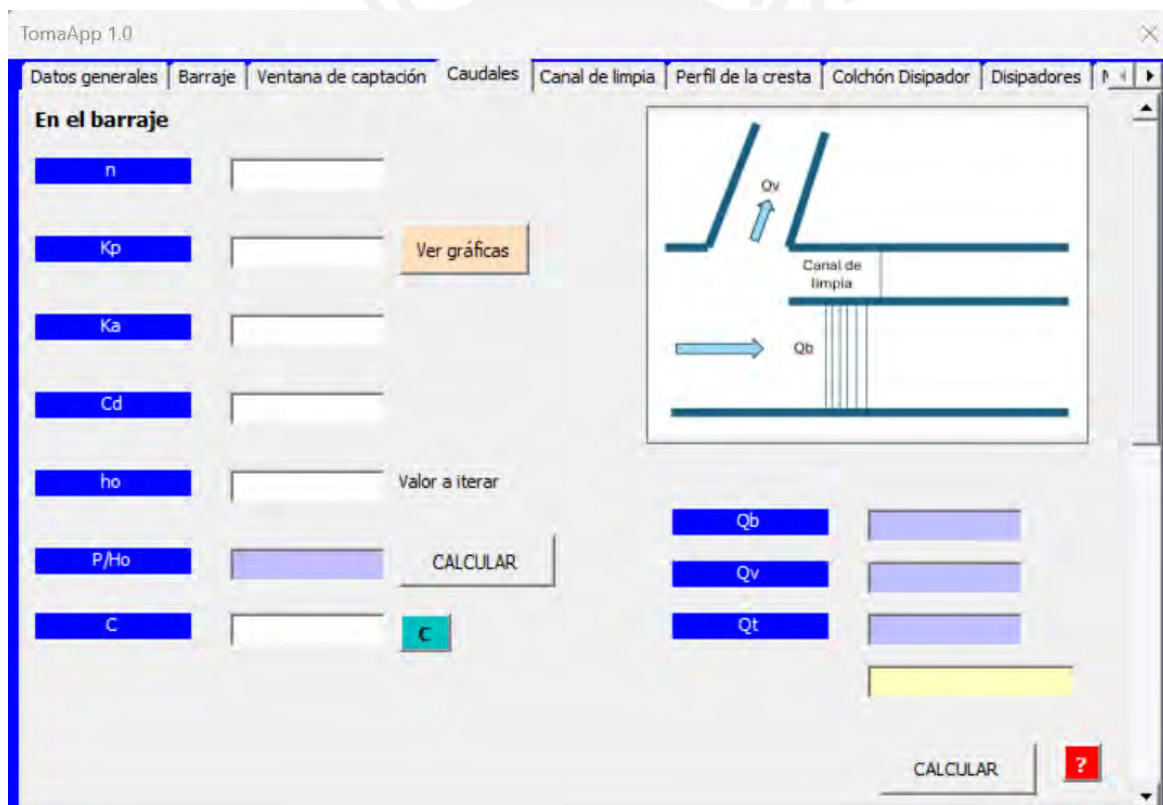


Figura 45. Pestaña: caudales en barraje

Elaboración propia

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpia | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

En el canal de limpia

b (m)

Cc

Nº de canales de limpia

ho

Valor a iterar

P/ho

C **C**

APLICAR

Qb

Qv

Qc

Qt

CALCULAR

Programación: Jofan Villanueva Anías - Versión 1

Figura 46. Caudales en canal de limpia.

Elaboración propia

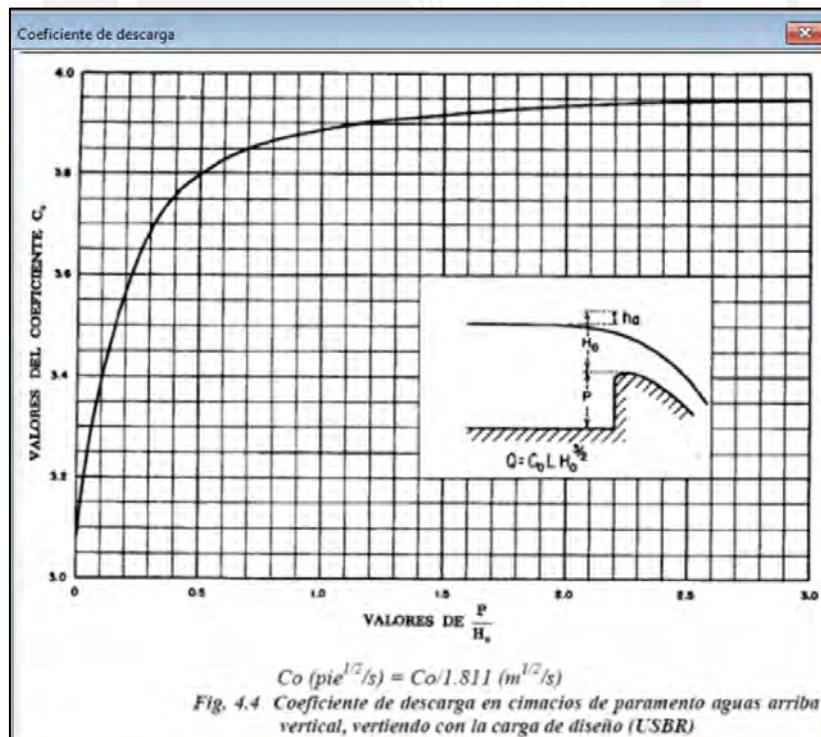


Figura 47. Coeficiente de descargar en cimacios

Tomado de USBR (1987)

En la siguiente pestaña, canal de limpia (Figura 48), es posible calcular la velocidad de arrastre, se evalúa si la velocidad del canal de limpia es mayor a la del arrastre, de tal manera que permita determinar la pendiente del canal de limpia.

The screenshot shows the 'Canal de limpia' tab in the TomaApp 1.0 software. The interface is divided into several sections:

- Velocidad de arrastre (Drag Velocity):** Includes input fields for 'C', 'Diámetro', and 'Vc(m/s)'. A table to the right lists material types and their corresponding 'C' values:

| Material | C |
|--------------------------|-----------|
| Arena y grava redondeada | 3.2 |
| Sección cuadrada | 3.9 |
| Mezcla de grava y arena | 4.5 a 3.5 |
- Velocidad en canal de limpia (Cleaning Channel Velocity):** Includes input fields for 'trante (m)', 'coeficiente maning', 'V (m/s)', 'Qlimp (m3/s)', and a checkbox for 'V > Vc'.
- Pendiente del canal de limpia (Cleaning Channel Slope):** Includes an input field for 'Sc'.

A 'CALCULAR' button is located at the bottom right of the interface. The footer text reads: 'Programación: Johan Villanueva Anías - Versión 1'.

Figura 48. Pestaña: canal de limpia
Elaboración propia

A continuación, en la pestaña perfil de la cresta (ver Figura 49), los valores de K , n , X_c , Y_c , R_1 y R_2 son obtenidos a partir de las gráficas que se muestran al darle clic al botón “ver gráficas”. Cabe señalar que se debe conocer la cota del nivel de fondo aguas arriba y aguas abajo del barraje para completar la última sección de la pestaña.

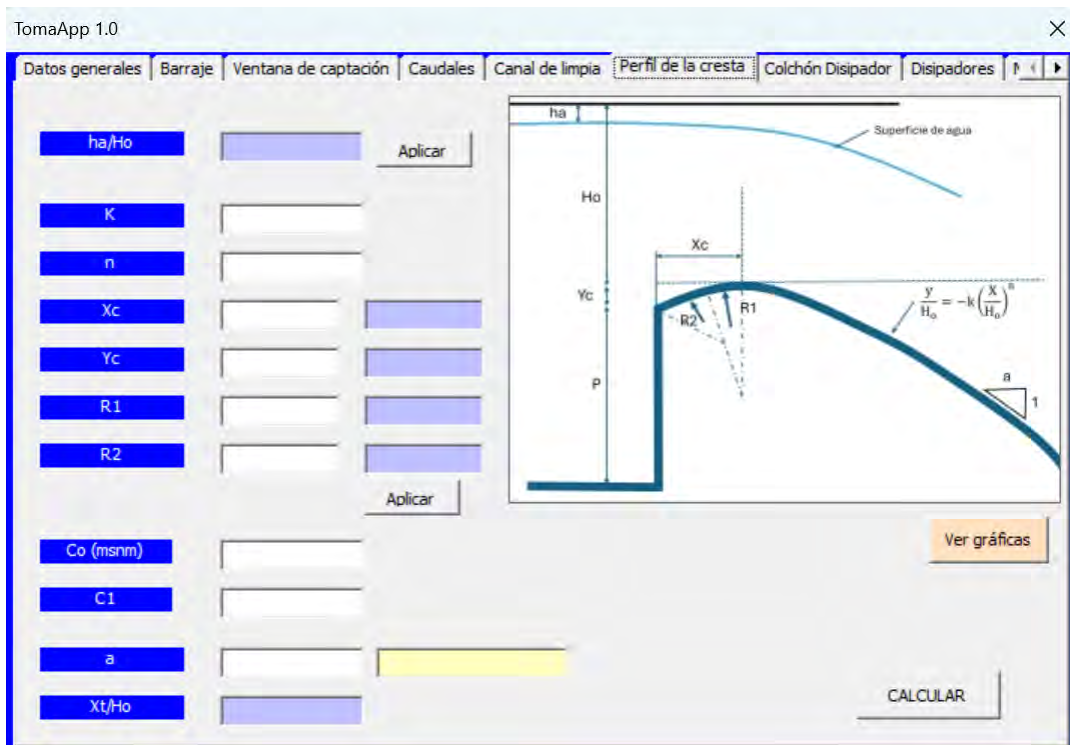


Figura 49. Pestaña: perfil de la cresta

Elaboración propia

La siguiente pestaña (Figura 50 y Figura 51), que cuenta con una barra de desplazamiento, permite realizar el cálculo automatizado del colchón disipador en donde se busca el valor de los tirantes conjugados, y la longitud del colchón disipador es posible calcularse con el promedio según Schoklitsch, Safranez y USBR. También, la pestaña permite calcular la altura de la poza disipadora y verificar si el resalto hidráulico es normal o sumergido. Finalmente, esta pestaña permite calcular la longitud de escollera.

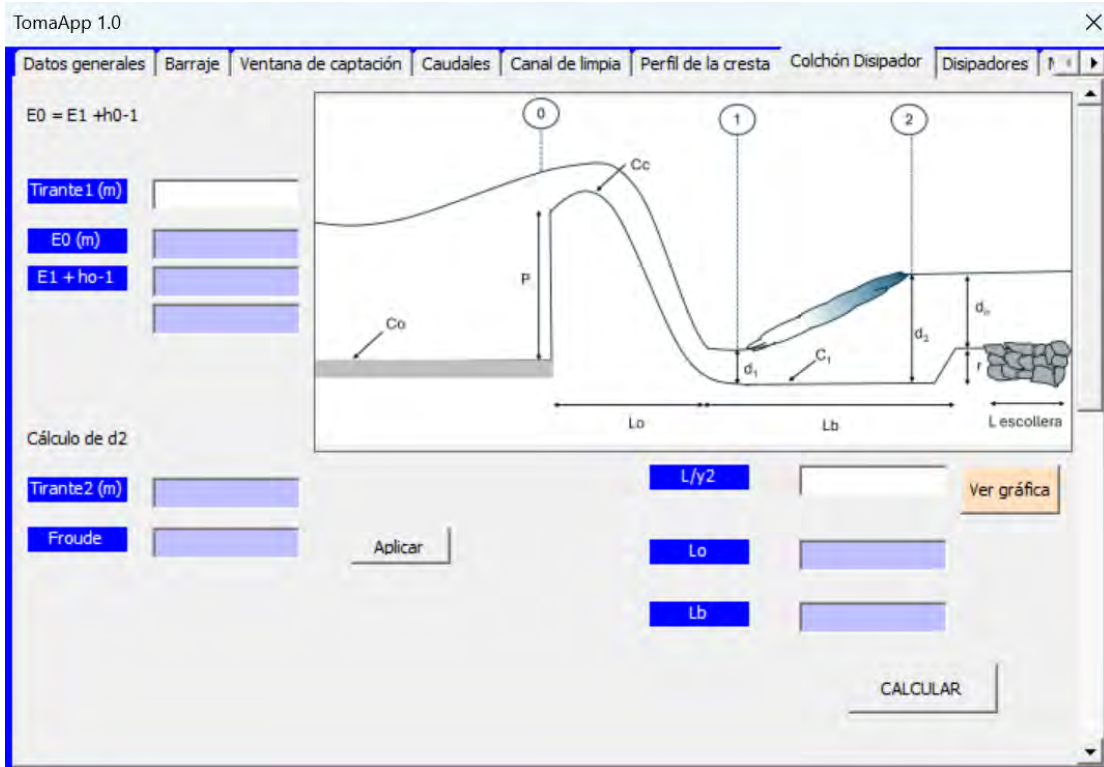


Figura 50. Pestaña: colchón disipador 1
Elaboración propia

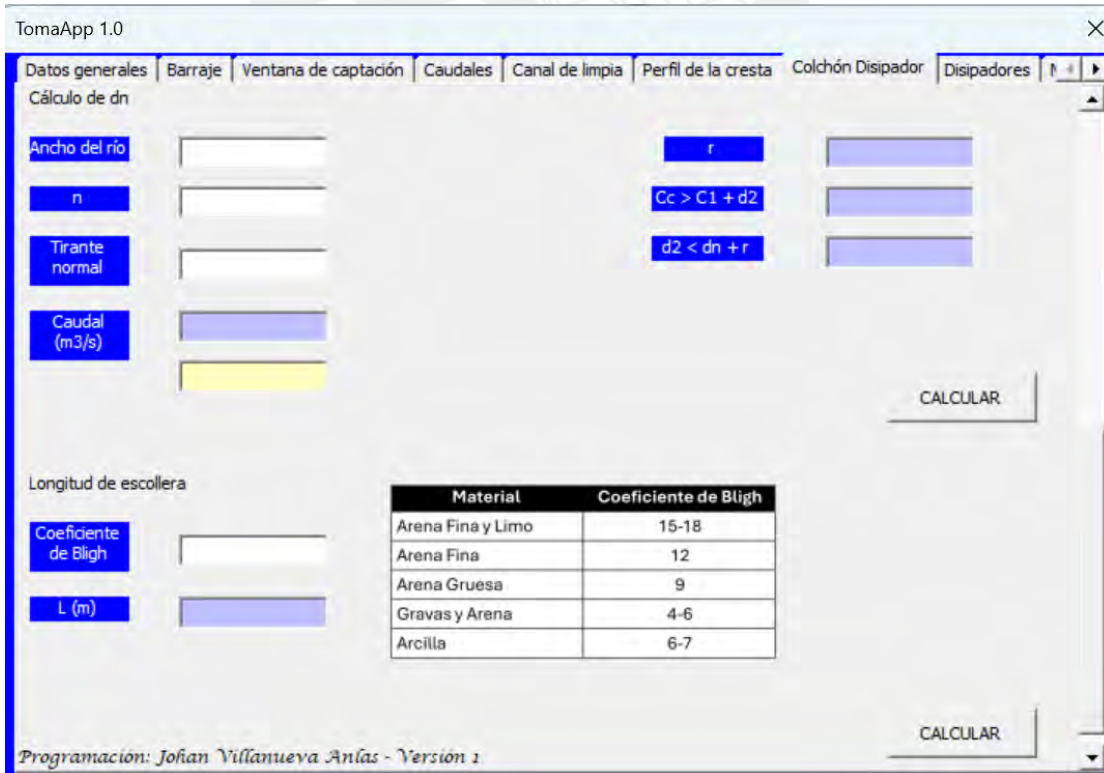


Figura 51. Pestaña: colchón disipador 2
Elaboración propia

La pestaña disipadores (Figura 52 y Figura 53) permite diseñar y calcular la geometría de estructuras de disipación de energía, así como modificar el diseño del colchón disipador. Cabe indicar que, de acuerdo con el USBR (1984), dichas estructuras de tipo III y IV son las que mejor se adaptan al colchón disipador. Los tipos de disipador serán tomados en cuenta según el número de Froude; si este es mayor a 4.5, se diseñará un disipador de tipo III, y si es mayor a 2.5 y menor a 4.5, se diseñará de tipo IV.

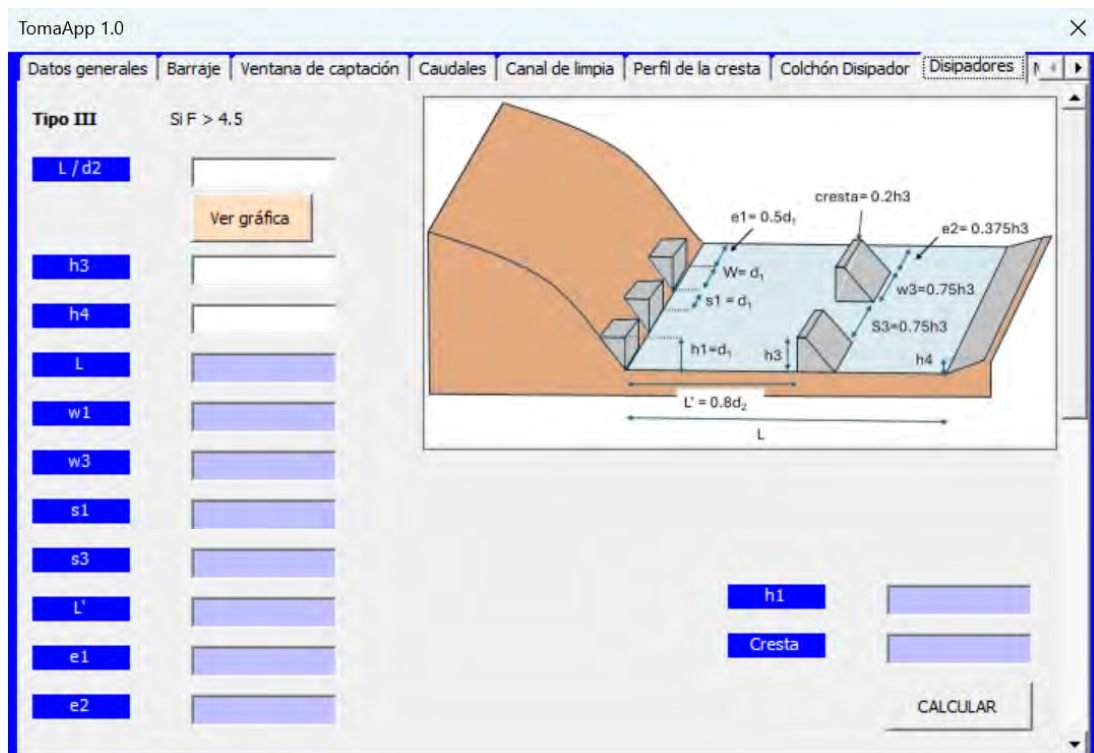


Figura 52. Pestaña: disipador tipo III

Elaboración propia

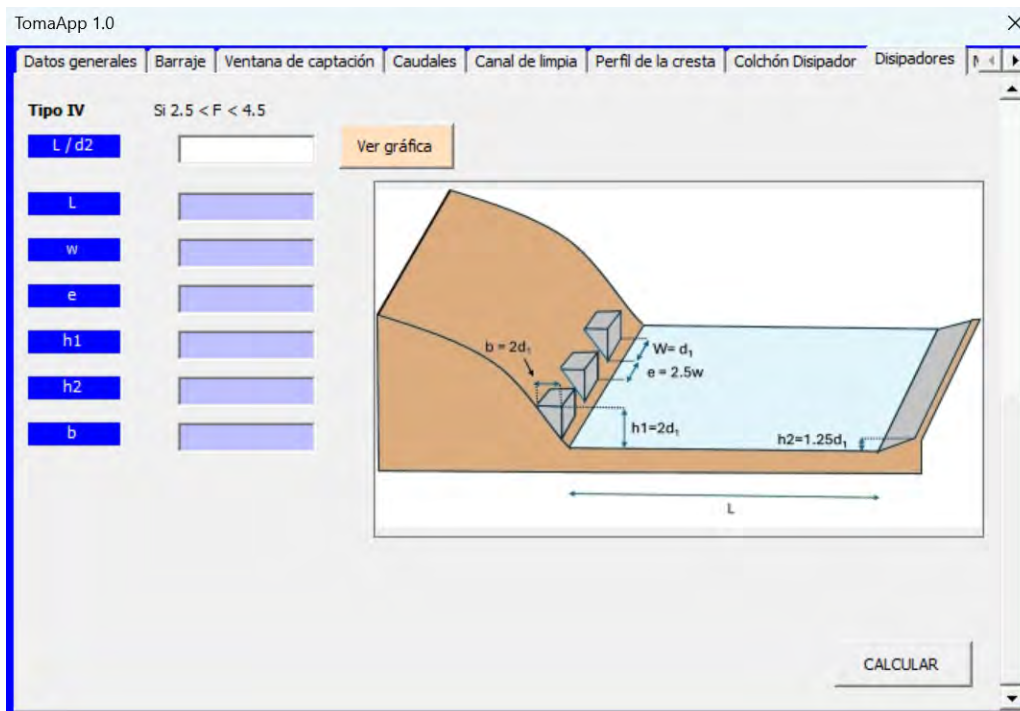


Figura 53. Pestaña: disipador tipo IV

Elaboración propia

La pestaña Muro de encauzamiento (ver Figura 54) permite calcular la altura del muro de encauzamiento considerando un borde libre y un tirante para un flujo de avenida en el río.

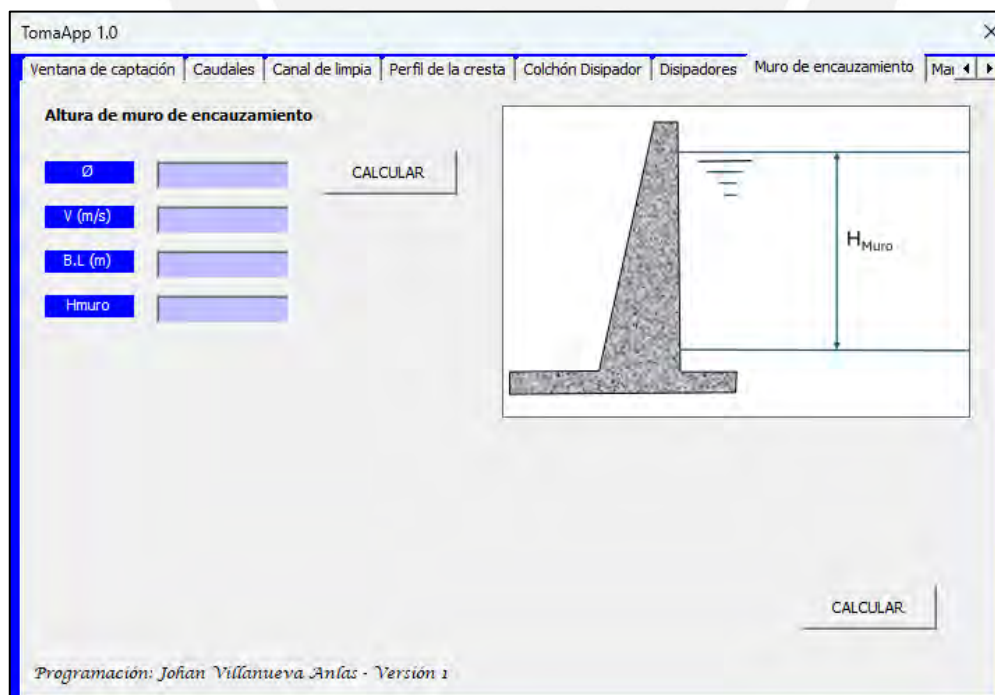


Figura 54. Pestaña: Muro de encauzamiento

Elaboración propia

En la última pestaña, correspondiente al manual de usuario (Figura 55), se explica detalladamente el procedimiento para emplear el software; de modo que un usuario con conocimientos previos en diseño de bocatomas pueda obtener los resultados esperados.



Figura 55. Manual de usuario

Elaboración propia

A continuación, a manera de ejemplo, se presentan tres proyectos de tesis sobre diseño de bocatomas convencionales con los cuales se realizó la validación del aplicativo. Cabe precisar que los resultados se presentan en la sección de Anexos.

4.1.1. Proyecto 1: bocatoma de uso poblacional en la comunidad de Marrisipón.

Como primer ejemplo demostrativo se tomó el caso de un proyecto de bocatoma diseñado en el año 2019. Este diseño hidráulico contempla captar agua del río Chiniama, departamento de Lambayeque, con el objetivo de derivar parte del caudal a través de un canal de tres kilómetros hacia zonas de cultivo. El río presenta un caudal máximo de diseño de $46.02 \text{ m}^3/\text{s}$

para un tiempo de retorno de 50 años y el ancho del cauce es de 32.0 metros. Además, se tuvo previsto captar $0.96 \text{ m}^3/\text{s}$ del caudal del río. Los resultados se presentan en la Tabla 7. (Julon, 2019)

4.1.2. Proyecto 2: bocatoma para irrigación en el río Chicama.

Como segundo ejemplo demostrativo se tomó el caso de un proyecto de bocatoma ejecutado en el año 2015. Este proyecto propone el diseño hidráulico de la bocatoma en el río Chicama, ubicado en el departamento de La Libertad y que busca captar agua para una zona de cultivo. El río presenta un caudal máximo de diseño de $469 \text{ m}^3/\text{s}$ para un tiempo de retorno de 75 años y el ancho del cauce es de 105 metros. Además, se tiene previsto captar $15.38 \text{ m}^3/\text{s}$ del caudal del río. Dicha información se inserta en la primera pestaña de datos generales tal como se puede apreciar en la sección de Anexos. Los resultados se observan en la Tabla 8. (Ponce, 2015)

4.1.3. Proyecto 3: bocatoma para central hidroeléctrica en el río Vilca.

Como tercer ejemplo demostrativo se tomó un estudio desarrollado a nivel de prefactibilidad que propone alternativas de ubicación de una bocatoma para captar y derivar el agua hacia una central hidroeléctrica. Este proyecto propone el diseño hidráulico de la bocatoma en el río Vilca, ubicado entre los departamentos Junín y Huancavelica. El río presenta un caudal máximo de diseño de $507 \text{ m}^3/\text{s}$ para un tiempo de retorno de 100 años y el ancho del cauce es de 38.5 metros. Además, se tiene previsto captar $35.1 \text{ m}^3/\text{s}$ del caudal del río. Dicha información se inserta en la primera pestaña de datos generales tal como se observa en la sección de Anexos. Los resultados se observan en la Tabla 9. (Salazar, 2025)

4.2. Evaluación de Resultados

En este ítem se busca contrastar los resultados de los cálculos hidráulicos que se obtuvieron en el desarrollo de los proyectos de tesis con los resultados que arroja el aplicativo

propuesto. En la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9 se presentan los principales resultados para cada proyecto para luego realizar un análisis sobre ello.

Tabla 7.
Resultados - Proyecto 1

| Componente | Resultado según el proyecto | Resultado según el software | Margen de error |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Altura del barraje (m) | 1.2 | 1.25 | -4.2% |
| Longitud del colchón dissipador (m) | 5.20 | 5.4 | -3.8% |
| Ancho de ventana de captación (m) | 1.60 | 1.7 | -6.2% |
| Pendiente del canal de limpieza | 0.0156 | 0.0155 | 0.6% |
| Longitud de escollera (m) | 2.70 | 2.6 | 5.6% |

Nota. Elaboración propia

Tabla 8.
Resultados - Proyecto 2

| Componente | Resultado según el proyecto | Resultado según el software | Margen de error |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Altura del barraje (m) | 2.425 | 2.4 | 1.0% |
| Longitud del colchón dissipador (m) | 12.19 | 12.3 | -0.9% |
| Ancho de ventana de captación | 3 | 6 | - |
| Pendiente del canal de limpieza (m) | 0.01246 | 0.0125 | -0.3% |
| Longitud de escollera (m) | 17 | 17 | - |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9.
Resultados - Proyecto 3

| Componente | Resultado según el proyecto | Resultado según el software | Margen de error |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Altura del barraje (m) | 4.31 | 4.33 | -0.5% |
| Longitud del colchón dissipador (m) | 22.42 | 20.7 | 7.7% |
| Ancho de ventana de captación (m) | 5.3 | 5.6 | -5.7% |
| Longitud de escollera (m) | 34.9 | 37.7 | -8.0% |

Nota. Elaboración propia

Existen cálculos intermedios, como, por ejemplo, el cálculo de la altura del agua sobre la cresta, cuyos resultados pueden diferir tanto en el valor del coeficiente de contracción como en el valor de coeficiente de descarga. En consecuencia, se genera una ligera variación en los cálculos de los tirantes conjugados en el resalto hidráulico producido aguas abajo del barraje. Asimismo, existen diversas formas para calcular la longitud del colchón disipador, el software calcula el promedio de la longitud según proponen diferentes autores; mientras que, en otros proyectos, el resultado de la longitud puede estar referenciado a un autor en específico. En lo concerniente al ancho de la ventana de captación, algunos proyectos de diseño de bocatoma toman el valor de coeficiente de vertedero de acuerdo con valores empíricos. Sin embargo, para la codificación del software se optó por calcular el coeficiente de vertedero propuesto por Santos (2009). Además, existe un ligero margen de error en la pendiente del canal de limpia debido a que los resultados del software permiten como máximo 3 decimales en dicho componente.

Como se evidencia, existe un pequeño margen de error en los resultados de algunas componentes de la bocatoma que no excede el 10% (ver Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9), lo que refleja la veracidad del software y que este puede ser utilizado como herramienta de apoyo para trabajos profesionales.

5. Propuesta de Prediseño para un Caso de Estudio Empleando el Software TomaApp

Realizadas las dos validaciones correspondientes a proyectos de bocatoma convencionales, se propuso un prediseño para obtener las dimensiones de las componentes de una bocatoma que pueda construirse en el futuro. Con dicha finalidad, se buscó un río de la costa en donde se garantice el flujo del agua permanentemente. Si bien es cierto, para diseñar una bocatoma se tendría que realizar un estudio de campo a detalle con las características hidráulicas del río. No obstante, lo que se busca en este capítulo es corroborar la veracidad del software, pues el dato principal —para que se ejecuten los demás cálculos hidráulicos— es el caudal de avenida de un río para un determinado tiempo de retorno. Para ello, se hizo un análisis hidrológico con caudales históricos máximos registrados, información que se obtuvo del portal web de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2025). Finalmente, se calculó el caudal de captación considerando el caudal ecológico y las tomas realizadas aguas arriba pertenecientes al mismo río.

5.1. Ubicación Geográfica

La propuesta de prediseño se ubica en el río Chancay, en el departamento de Lambayeque. Esta propuesta tentativa se eligió debido a que las bocatoma convencionales se adaptan mucho mejor en ríos de la costa, pues la pendiente es mucho menor que en zonas de mayor altitud. En la Figura 56, se observa que la zona de captación sería ubicada en un tramo recto del río. Este es un criterio importante ya que si se diseñara sobre un tramo curvo se dificultaría el transporte de sedimentos del río, lo cual perjudica el funcionamiento de la bocatoma. Además, la zona es un área de cultivo, por lo que poder construir una estructura de captación sería beneficioso para el desarrollo de la actividad agraria.

Las características de la ubicación son las siguientes:

- Región: Lambayeque
- Provincia: Chiclayo
- Cuenca: Chancay-Lambayeque
- Zona tentativa: entre las coordenadas UTM WGS 84-654339.8 m E, 9249541.9 m S y 655154.8 m E, 9249598.3m S
- Zona: 17 M
- Altitud: 80 m

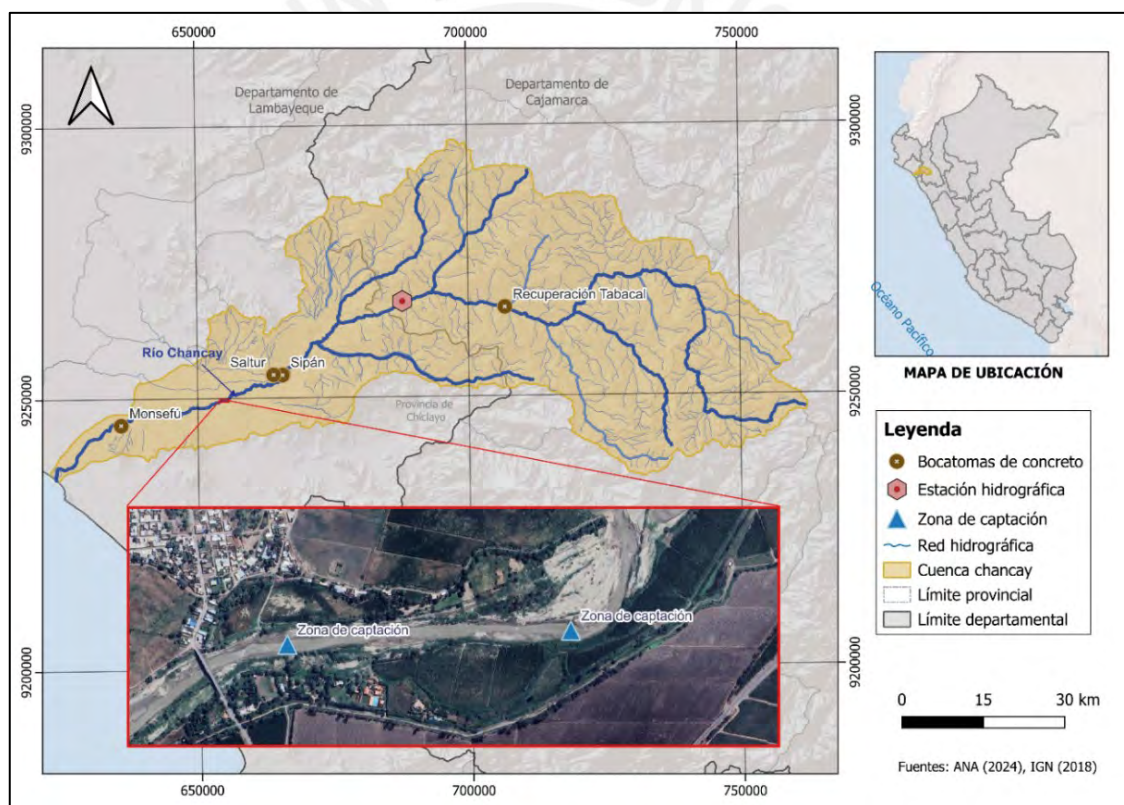


Figura 56. Ubicación de la toma en la cuenca Chancay-Lambayeque

Elaboración propia.

5.2. Análisis Hidrológico

En la Tabla 10 se presentan los registros de caudales máximos a partir del año 1998 hasta el 2018.

Tabla 10.
Caudales máximos históricos registrados

| Año | Caudal (m ³ /s) | Año | Caudal (m ³ /s) |
|------|----------------------------|------|----------------------------|
| 1998 | 662 | 2009 | 514 |
| 1999 | 342 | 2010 | 389 |
| 2000 | 324 | 2011 | 283 |
| 2001 | 450 | 2012 | 568 |
| 2002 | 316 | 2013 | 526 |
| 2003 | 188 | 2014 | 301 |
| 2004 | 193 | 2015 | 386 |
| 2005 | 377 | 2016 | 403 |
| 2006 | 541 | 2017 | 471 |
| 2007 | 344 | 2018 | 323 |
| 2008 | 573 | | |

Nota. Tomado de Callañaupa (2019)

La información obtenida acerca de los caudales registrados no ha pasado por un control de calidad. Es por ello que se realizó un análisis de datos que permita verificar la tendencia de la información registrada. Para dicho proceso se siguió el método del Water Resources Council, elaborado en 1981, el cual establece límites superiores e inferiores en donde ningún dato debería estar fuera del rango de los límites a calcular (ver Figura 57).

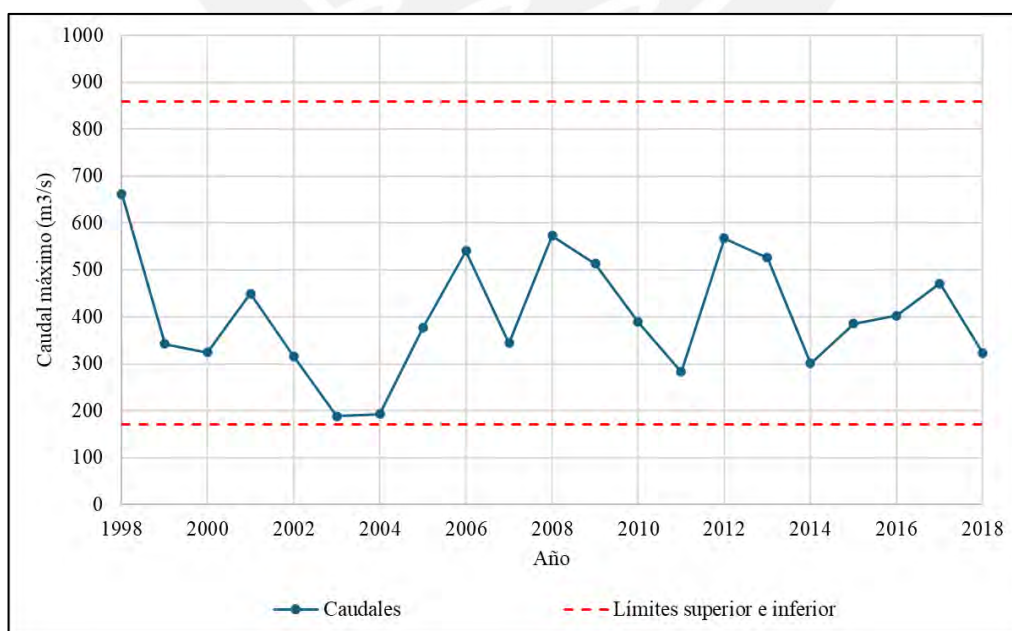


Figura 57. Caudales máximos anuales y umbrales de caudales

Elaboración propia

Se calcularon los umbrales superiores e inferiores siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$y_H = \bar{y} + K_n * S_y \quad 30$$

$$y_L = \bar{y} - K_n * S_y \quad 31$$

Donde:

YH : umbral superior en unidades logarítmicas

YL : umbral inferior en unidades logarítmicas

\bar{y} : media de logaritmos de los caudales

K_n : valores para la prueba de datos dudosos

S_y : desviación estándar de logaritmos de los caudales

De acuerdo con los datos de la Tabla 11 se calcularon la media y la desviación estándar para cada logaritmo de los caudales. Adicionalmente, se escogió el valor de $K_n = 2.563$ según la Tabla 12.

Tabla 11.
Logaritmo de caudales

| Año | Logaritmo de caudales | Año | Logaritmo de caudales |
|------|-----------------------|------|-----------------------|
| 1998 | 2.821 | 2009 | 2.711 |
| 1999 | 2.534 | 2010 | 2.590 |
| 2000 | 2.511 | 2011 | 2.452 |
| 2001 | 2.653 | 2012 | 2.754 |
| 2002 | 2.500 | 2013 | 2.721 |
| 2003 | 2.274 | 2014 | 2.479 |
| 2004 | 2.286 | 2015 | 2.587 |
| 2005 | 2.576 | 2016 | 2.605 |
| 2006 | 2.733 | 2017 | 2.673 |
| 2007 | 2.537 | 2018 | 2.509 |
| 2008 | 2.758 | | |

Nota. Elaboración propia

Tabla 12.
Valores de K_n

| Tamaño de la muestra | K_n | Tamaño de la muestra | K_n |
|----------------------|-------|----------------------|-------|
| 10 | 2.036 | 24 | 2.467 |
| 11 | 2.088 | 25 | 2.486 |
| 12 | 2.134 | 26 | 2.502 |
| 13 | 2.175 | 27 | 2.519 |
| 14 | 2.213 | 28 | 2.534 |
| 15 | 2.247 | 29 | 2.549 |
| 16 | 2.279 | 30 | 2.563 |
| 17 | 2.309 | 31 | 2.577 |
| 18 | 2.335 | 32 | 2.591 |
| 19 | 2.361 | 33 | 2.604 |
| 20 | 2.385 | 34 | 2.616 |
| 21 | 2.408 | 35 | 2.628 |
| 22 | 2.429 | 36 | 2.639 |
| 23 | 2.448 | 37 | 2.650 |

Nota. Adaptado de United States Water Resources Council (1981).

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- $\bar{y} = 2.6$
- $K_n = 2.408$
- $S_y = 0.1$
- $Y_H = 2.934$
- $Y_L = 2.234$

El valor del caudal inferior y superior se obtuvieron a partir del antilogaritmo de Y_H y Y_L . Donde Q_L y Q_H es igual a $171.4 \text{ m}^3/\text{s}$ y $858.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Figura 58). De aquella figura, ningún resultó estar fuera de los límites superiores e inferiores. Por lo tanto, los registros de caudales máximos son validados estadísticamente.

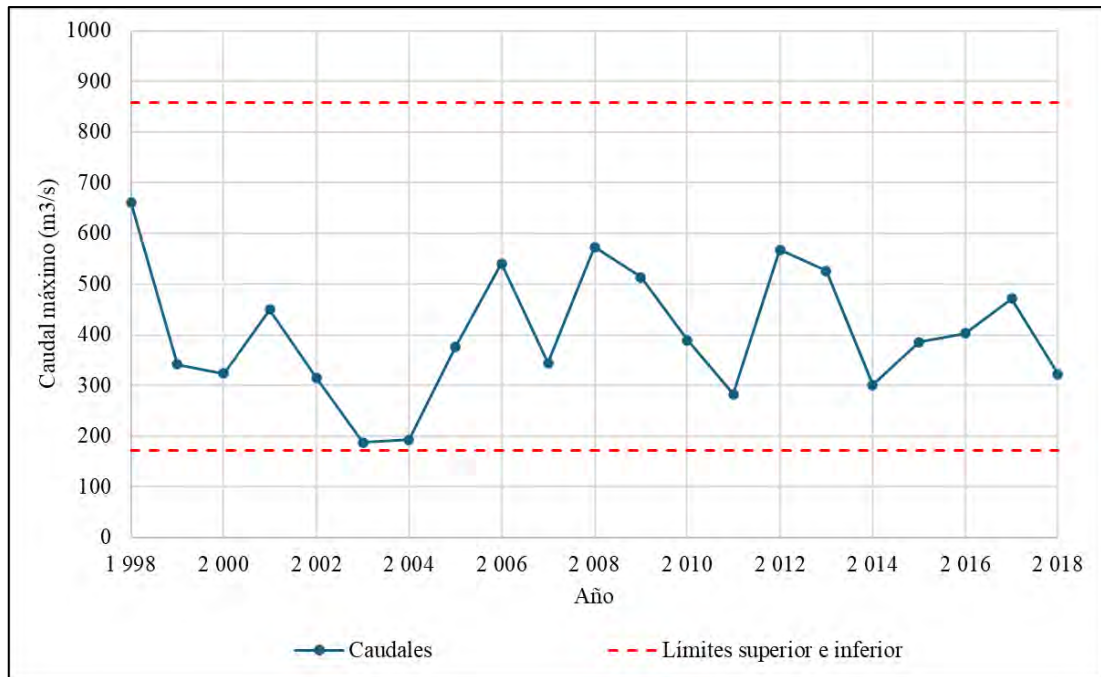


Figura 58. Registros de caudales máximos

Elaboración propia

Para la obtención del caudal de diseño se siguieron los lineamientos con base en métodos de distribuciones de probabilidad. Se utilizó el software Hydrognomon, como herramienta de apoyo para la prueba de bondad de ajuste. Se diseñó la estructura para un periodo de retorno de 50 años. Gráficamente, en la Figura 59, se observan las distribuciones que guardan mejor relación con los caudales máximos registrados. Estadísticamente, se obtuvieron los caudales de diseño y delta teórico para cada tipo de distribución, mostrados en la Tabla 13.

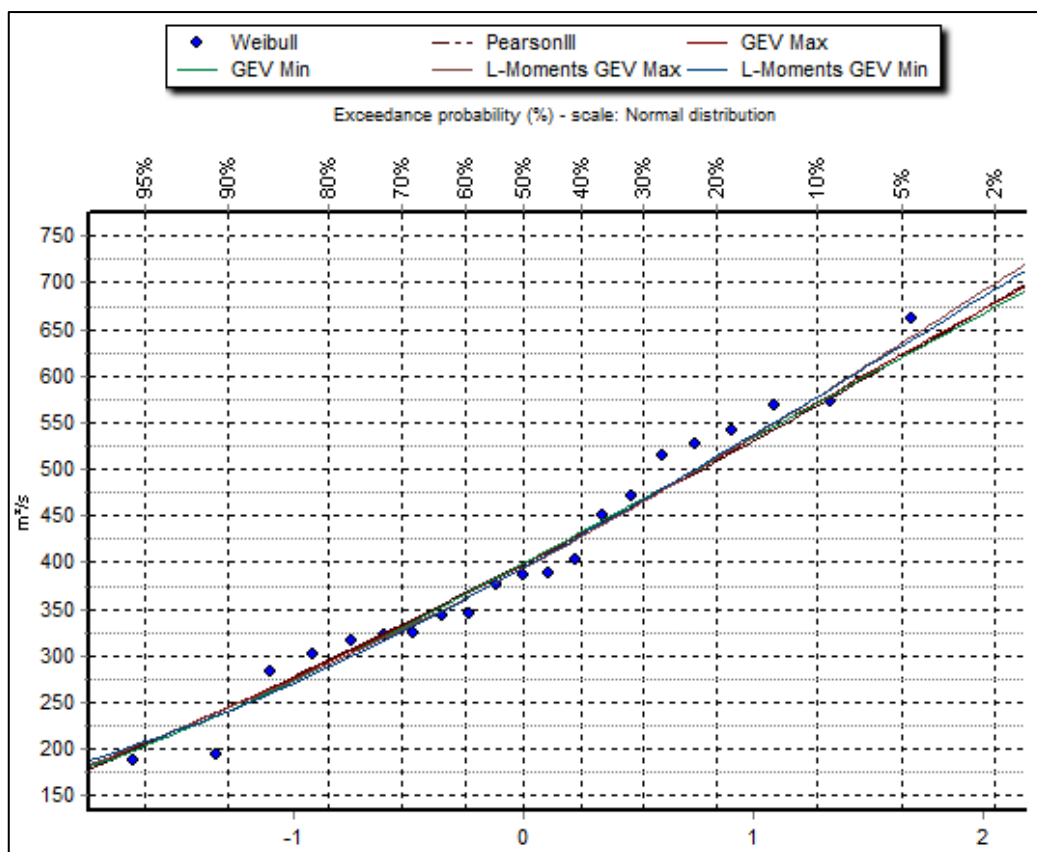


Figura 59. Tipos de distribuciones

Elaboración propia

Tabla 13.
Caudal de diseño

| Tipo de distribución | Caudal máximo (m ³ /s) | Delta teórico |
|----------------------|-----------------------------------|---------------|
| GEV-Min (L-Moments) | 693.0 | 0.074 |
| GEV-Max (L-Moments) | 699.4 | 0.079 |
| GEV-Min | 674.0 | 0.079 |
| GEV-Max | 678.4 | 0.080 |
| Pearson III | 678.7 | 0.084 |

Nota. Elaboración propia

El valor de delta teórico resulta de la prueba de “bondad de ajuste” en donde se mide el cambio estadístico de los datos. El delta teórico se obtiene según de la prueba de ajuste de Smirnov-Kolmogorov y determina si los datos se ajustan a la distribución especificada corroborando que el valor de delta teórico sea menor al delta tabular. Consecuentemente, el valor obtenido de la distribución Valor Extremo Generalizado-Min será tomado en cuenta

como caudal máximo de diseño ($693 \text{ m}^3/\text{s}$) para un periodo de retorno de 50 años ya que presenta el delta teórico más pequeño y a su vez este valor es menor que el delta tabular que fue de 0.074.

5.3. Diseño de Bocatoma Convencional en el Río Chancay

Como se mencionó, el caudal máximo nos permite diseñar una bocatoma. Sin embargo, para hacer uso del programa es necesario conocer la longitud del cauce del río y el caudal de captación. Para conocer la longitud se midió la distancia usando Google Earth, mientras que, para obtener el caudal de captación de forma preliminar se consideró el caudal ecológico del río y los caudales captados por las demás bocatomas existentes de la cuenca Chancay-Lambayeque.

A partir de la información recogida por el portal web de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2025), acerca de los caudales mensuales registrados en el río, se calcularon los caudales promedios mensuales (Ver Tabla 14), cuyos valores se muestran en la Figura 60. Dicha información permitió calcular el caudal ecológico, el cual fue equivalente al 15% del caudal promedio anual de acuerdo con la Resolución Jefatural N.º 267-2019-ANA. Entonces, considerando lo registrado, el caudal ecológico es de $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabla 14.
Caudales mensuales

| Promedio de caudales mensuales (m^3/s) | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic | Anual |
| 23.34 | 43.87 | 66.33 | 59.59 | 34.92 | 17.70 | 10.50 | 6.24 | 7.26 | 13.52 | 17.45 | 18.68 | 26.62 |

Nota. Tomado de ANA (2025).

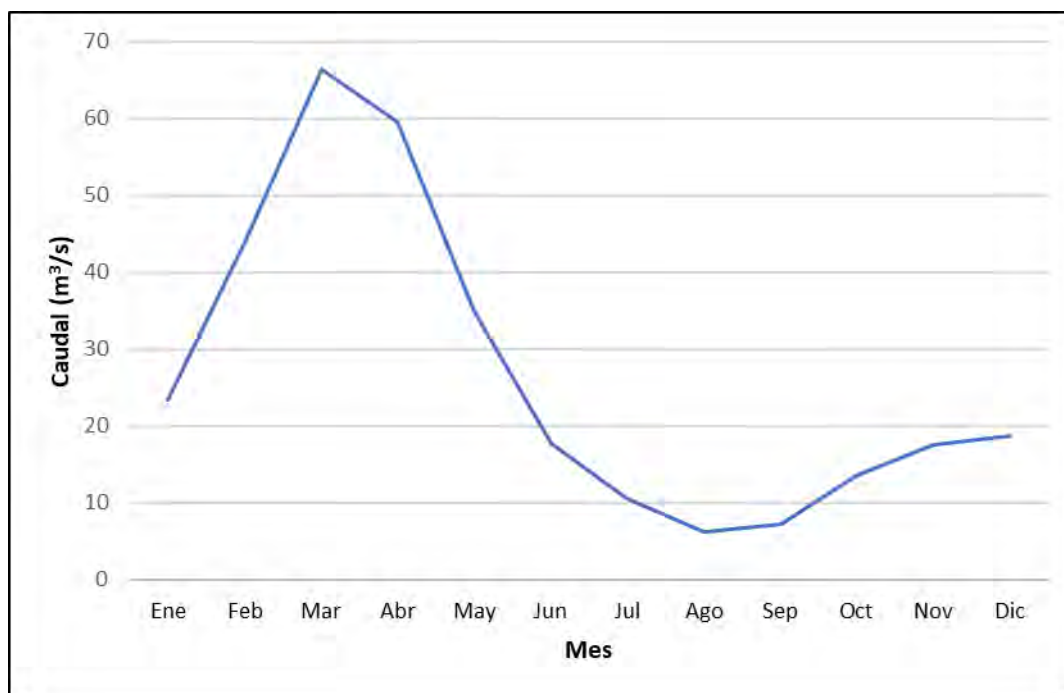


Figura 60. Caudales mensuales del río Chancay
Tomado de ANA (2025)

Adicionalmente, según lo observado en la Figura 56, en la cuenca se cuenta con 4 bocatomas en funcionamiento. La bocatoma Monsefú presenta un diseño de captación de $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$; la bocatoma Saltur, de $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$; la bocatoma Sipán, de $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$, y la bocatoma Recuperación Tabacal, de $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$. Es decir, en total se captan $7.0 \text{ m}^3/\text{s}$ del caudal del río Chancay. Asimismo, como se mencionó que la zona de la propuesta tentativa es un área de cultivo, se precisa que la demanda hídrica de la cuenca Chancay para la zona de agricultura es de 1123 Hm^3 al año (ver Tabla 15), lo que equivale a $36.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabla 15.
Demanda hídrica de la cuenca Chancay-Lambayeque

| Descripción | Volumen de agua en Hm^3 anual |
|-------------|--|
| Agrícola | 1021.9 |
| Población | 78.6 |
| Otros usos | 22.5 |
| Total | 1123 |

Nota. Adaptado de Taner M.Ü. et al. (2019)

Tomando como referencia que i) para la zona de agricultura se tiene una demanda hídrica de 36.1 m³/s; ii) las bocatomas existentes que captan en total 7.0 m³/s, y iii) se debe dejar como mínimo 4.0 m³/s que corresponde al caudal ecológico, se opta por captar un caudal de 4.0 m³/s como capacidad máxima. De esta manera, se deja la posibilidad para que aún se proyecten otras obras de infraestructura hidráulica. Adicionalmente, tomando en cuenta que aguas abajo de la estación hidrográfica hasta llegar a la zona de la propuesta tentativa existen dos bocatomas en funcionamiento, el valor del caudal de diseño (de la bocatoma propuesta) corresponde a la diferencia del caudal máximo hallado y los caudales ya captados.

Cabe resaltar que para una verdadera estimación del caudal de captación se debe realizar un estudio de la demanda hídrica de la zona teniendo la información del área a irrigar. También, para tener certeza de la ubicación exacta a construir la bocatoma, se debe realizar un estudio de suelo, levantamiento topográfico de la zona y los estudios necesarios para obtener los parámetros hidráulicos del río. Sin embargo, como se explicó anteriormente, el objetivo del prediseño es corroborar que el software nos puede brindar las dimensiones de las componentes de una bocatoma a partir de información de caudal máximo, caudal de captación y longitud del cauce.

A continuación, los datos de entrada: caudal máximo igual a 485.22 m³/s, longitud total igual a 30 m y caudal de captación igual a 4 m³/s se insertaron los datos en el software para obtener los resultados del prediseño que se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16.
Resultados de prediseño

| Componente | Resultados |
|---------------------------------|------------|
| Altura del barraje | 1.3 m |
| Altura del agua sobre la cresta | 3.92 m |
| Longitud del desripiador | 2.56 m |
| Longitud del colchón disipador | 12.6 m |

| Componente | Resultados |
|---------------------------------|------------|
| Ancho de ventana de captación | 4 m |
| Ancho del canal de limpia | 2 m |
| Pendiente del canal de limpia | 0.018 |
| Altura de muro de encauzamiento | 6.3 m |

Nota. Elaboración propia



6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

- La elaboración de un código en el lenguaje de programación Visual Basic permitió implementar un software que automatiza el cálculo para el diseño de bocatomas convencionales. A la luz de los resultados, TomaApp tiene el potencial para ser una herramienta de apoyo tanto en proyectos profesionales como en actividades educativas.
- Los resultados en la validación del software muestran una ligera variación con el dimensionamiento de los proyectos evaluados debido a que existen diferentes metodologías propuestas por autores nacionales e internacionales para el dimensionamiento de las componentes de las bocatomas. Sin embargo, el margen de error fue menor a 7%, evidenciando que los resultados que arroja el software tienen un buen nivel de confiabilidad.
- Según la estadística de la Autoridad Nacional del Agua⁴, más del 64% de las bocatomas en el Perú se encuentra en mal estado, por lo que urge la necesidad de incentivar proyectos para el mejoramiento e implementación de nuevas bocatomas. Consecuentemente, el software implementado potencialmente servirá para la revisión y planeamiento de dichas bocatomas (convencionales).
- Partiendo de un estudio técnico profesional según la zona de estudio para un proyecto tentativo de bocatoma, el software está diseñado para utilizarse a partir de datos conocidos como caudal máximo del río, longitud del cauce del río y caudal de captación.

6.2. Recomendaciones

- Se puede emplear el software TomaApp como herramienta de apoyo tanto en instituciones estatales como en empresas consultoras que se dedican al rubro de la ingeniería hidráulica. Sin embargo, es preciso considerar que el software se encuentra en su versión beta,

⁴ Dato obtenido del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos (<https://snirh.ana.gob.pe/onrh/>).

por lo que podrían realizarse mejoras en versiones posteriores. Contactar al autor para cualquier sugerencia o duda sobre el software mediante el siguiente correo: villanueva.johan@pucp.edu.pe.

- A fin de comprender los datos de entrada y salida, se recomienda revisar el manual de usuario, así como las secciones del software y emplear el botón de “ayuda” Además, para un mayor detalle sobre el uso de programa revisar el video-tutorial sobre el uso del software, a saber: TomaApp: <https://www.youtube.com/watch?v=003O3ghvUhI>
- Se recomienda visitar el portal web de la Autoridad Nacional del Agua (<https://snirh.ana.gob.pe/ObservatorioSNIRH/>), donde se cuenta con información valiosa y de libre acceso acerca de registro de caudales, precipitaciones, estudios hidrológicos, etc. Aquella información se encuentra disgregada por unidad hidrográfica del Perú.

6.3. Trabajos Futuros

- Se sugiere implementar, más adelante, un módulo dentro del software que contemple el diseño de bocatoma de tipo directo o tirolesa.
- En una nueva versión del software se puede implementar la codificación para el cálculo del diseño estructural del barraje y otras mejoras para el diseño de bocatomas.

7. Bibliografía

- Amicarelli, A., Manenti, S., Albano, R., Agate, G., Paggi, M., Longoni, L., Mirauda, D., Ziane, L., Viccione, G., Todeschini, S., Sole, A., Baldini, L. M., Brambilla, D., Papini, M., Khellaf, M. C., Tagliaferro, B., Sarno, L., & Pirovano, G. (2020). SPHERA v.9.0.0: A Computational Fluid Dynamics research code, based on the Smoothed Particle Hydrodynamics mesh-less method. *Computer Physics Communications*, 250, 107157. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2020.107157>
- Ancajima, R. (2013). Tecnologías Ancestrales - Sistemas Hidráulicos Pre Incas e Incas. *Diversidad Biológica*.
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Manual: Criterios de diseños de obras hidraulicas para la formulacion de proyectos hidraulicos multisectoriales y de afianzamiento hidrico*.
- Autoridad Nacional del Agua. (2025). *Observatorio del Agua*. <https://snirh.ana.gob.pe/onrh/>.
- Callañaupa, O. (2019). *Medición de caudales máximos en los ríos Chancay y Piura y, su influencia en el dimensionamiento de estructuras hidráulicas*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Davis, A. L., & Brawn, R. C. (2004). General Purpose Demand Allocator (DALLOC). *Building Partnerships*, 1–10. [https://doi.org/10.1061/40517\(2000\)190](https://doi.org/10.1061/40517(2000)190)
- Esteban, L. (2019). *Administración de recursos y materiales eléctricos en el proceso de mantenimiento con ayuda de un software computacional en la zona San Cristóbal*. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO.
- Guevara, A., Dominguez, I., Muñoz, I., Urteaga, P., Grados, C., Geng, D., Pacheco, E., Milla, M., & Navas, S. (2014). *¿Escasez de agua? Retos para la gestión de la cuenca del río Ica* (M. Oré & G. Damonte, Eds.).
- Gutierrez, A., & Lopez, J. (2017). *Desarrollo y programación en entornos web*. Alfaomega.
- Gutierrez, C. (2014). *Programa para el diseño hidráulico y estructural de bocatomas tipo barraje con el Visual Basic 9.0 - Huamanga - Ayacucho -2011*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Julon, J. (2019). *Diseño de la bocatoma y canal de derivación de Pueblo Escondido, sector Marrisón, distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Krochin, S. (1986). *Diseño hidráulico* (3rd ed.). Escuela Politécnica Nacional.
- Linaza, M. T., Carrasco, E., Saiterain, A., & Ayesa, E. (2000). Towards the simulation of integrated urban drainage systems. *Environmental Studies*, 4, 505–513.
- Mansen, A. (2006). *Diseño de bocatomas*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*.
- Nielsen O., Roberts S., Gray D., McPherson A., & Hitchman A. (2005). Hydrodynamic modelling of coastal inundation. *MODSIM05 - International Congress on Modelling and*

Simulation: Advances and Applications for Management and Decision Making, Proceedings.

- Oliveira, L. V. de, Oliveira, F. G., & Figueiredo, F. P. (2017). APLICATIVO MULTIPLATAFORMA PARA DIMENSIONAMIENTO DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL. *IRRIGA*, 1(1), 40–47. <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p40-47>
- Omer, I. (2010). Software implementation of hydraulic shock numerical computation in the pressure hydraulic systems without protection devices. *WSEAS Transactions on Computers*, 9(8).
- Ponce, R. (2015). *Diseño hidráulico de bocatoma caso: bocatoma en el río Chicama, en la zona de Facalá*. Universidad San Martín de Porres.
- Rakib, Z., Zeng, J., Ansar, M., & Hajimirzaie, S. (2022). Application of Semiautomated CFD-Based Flow Rating Approach to Hydraulic Structures in South Florida. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 148(9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001700](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001700)
- Regalado, J., & Vera, E. (2023). *Desarrollo de un software de hidráulica para calcular canales abiertos mediante Python*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Rocha, A. (2003). *La bocatoma, estructura clave en un proyecto de aprovechamiento hidráulico*.
- Rojas, H. (2014). *Lineamientos para el diseño de captación de captación*.
- Salazar, P. (2025). *Alternativas de ubicación de bocatoma para una pequeña central hidroeléctrica forzada en la cuenca del río Mantaro*. Pontificie Universidad Católica del Perú.
- Santos, S. (2005). *Diseño hidráulico*.
- Sevila, J. C. (2014). *Usos del agua*. Autoridad Nacional del Agua.
- Taner M.Ü., Hunink J.E., Contreras, S., Hajar A., Hamed R., Morales D., Wasti A., & Ray, P. (2019). *El Marco del Árbol de Decisión: Aplicación a la Cuenca de Chancay-Lambayeque, Peru. Informe final*. Deltares, FutureWater, INSIDEO and University of Cincinnati para el Banco Mundial.
- Teran, R. (1998). *Diseño y construcción de defensas ribereñas*. Escuela Superior de Administración de Aguas “CHARLES SUTTON.”
- Torres, M., & Villegas, M. (2023). *Desarrollo de un aplicativo en Excel bajo el lenguaje de programación de Visual Basic para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial considerando flujo no permanente*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- United States Department of the Interior Bureau of Reclamation. (1984). *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators* (8th ed.). A Water Resourcer Technical Publication.
- United States Department of the Interior Bureau of Reclamation. (1987). *Design of Small Dams* (3rd ed.). A Water Resourcer Technical Publication.

- United States Water Resources Council. (1981). *Guidelines for Determining Flood Flow Frequency*.
- Vinelli, M. (2021). La brecha de infraestructura de riego en el sector agropecuario. *ConexiónEsan*.
- Zhu, Y., Luo, Q., Tian, Y., Lai, J., Jiang, F., Zhang, Y., Ge, H., Huang, Y., & Lin, J. (2022). Development of the depth measurement system for shallow flow on slopes using an edge-detection algorithm. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 38(2).



8. Anexos

8.1. Anexo A: Validación del software TomaApp

I-1. Bocatoma de uso poblacional en la comunidad de Marripón

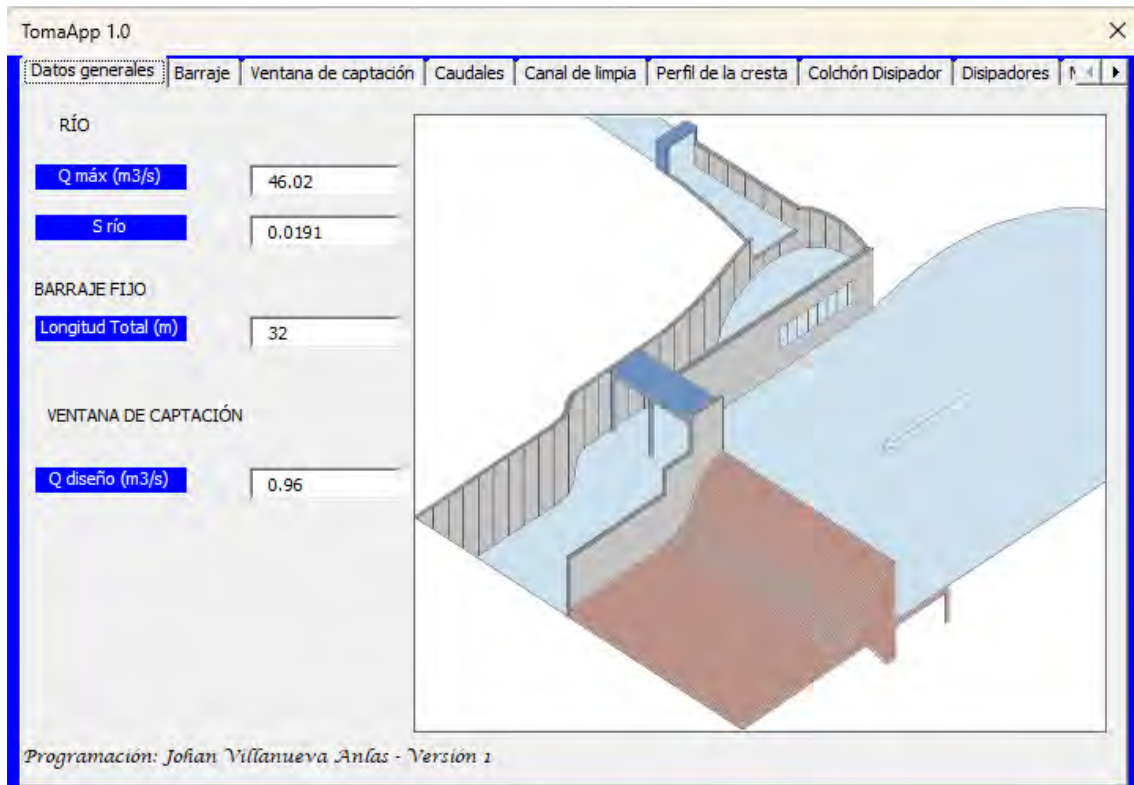


Figura A-61. Pestaña: datos generales

TomaApp 1.0

Datos generales **Barraje** Ventana de captación Caudales Canal de limpia Perfil de la cresta Colchón Disipador Disipadores

Altura del umbral

Dm (m) 0.19

Borde Libre (m) 0.2

H fondo (m) 0.6

Altura del paramento

Hcota (m) 0.05

hrejilla (m) 0.65

P (m) 1.3

CALCULAR ?

Programación: Jofian Villanueva Anlas - Versión 1

Figura A-62. Pestaña: barraje

TomaApp 1.0

Datos generales Barraje **Ventana de captación** Caudales Canal de limpia Perfil de la cresta Colchón Disipador Disipadores

Diseño en estaje

Nº de ventanas de captación 1

Cd 1.83 **Cd**

Z (m) 0.10

y2 (m) 0.3

p (m) 0.9

hn (m) 0.55

h2 (m) 1.45

vertedero sumergido

Coefficiente de sumersión

S 0.706

n 2

Espesor (m) 1/8" 1/2" 1"

1/4" 3/4"

Espadamiento (m) 0.15

Nº de barrotas 9

B (m) 1.7

H (m) 0.675

CALCULAR ?

Programación: Jofian Villanueva Anlas - Versión 1

Figura A-63. Pestaña: ventana de captación

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpia | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

En el barraje

n

Kp Ver gráficas

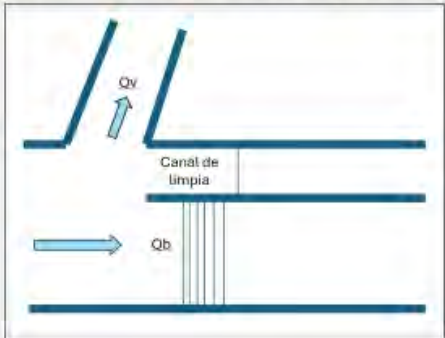
Ka

Cd

ho (m) Valor a iterar

P/Ho CALCULAR

C C



Qb (m)

Qv (m)

Qt (m)

valor correcto

CALCULAR ?

Figura A-64. Pestaña: caudales en barraje

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpia | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

En el canal de limpia

b (m)

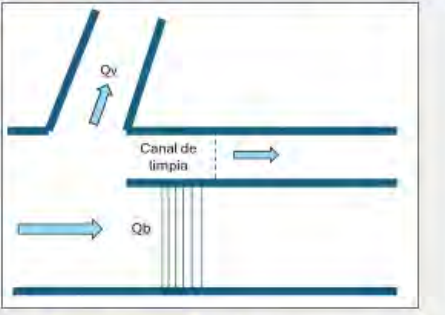
Cc

Nº de canales de limpia

ho (m) Valor a iterar

P/Ho APLICAR

C C



Qb (m3/s)

Qv (m3/s)

Qc (m3/s)

Qt (m3/s)

valor correcto

CALCULAR ?

Programacion: Jofian Villanueva Anlas - Versión 1

Figura A-65. Pestaña: caudales en canal de limpia

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | **Canal de limpia** | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

Velocidad de arrastre

C: 4

Diámetro (m): 0.1

Vc(m/s): 1.9

| Material | C |
|--------------------------|-----------|
| Arena y grava redondeada | 3.2 |
| Sección cuadrada | 3.9 |
| Mezcla de grava y arena | 4.5 a 3.5 |

Velocidad en canal de limpia

tirante (m): 1.5

coeficiente maning: 0.04

V (m/s): 2.18

Qlimp (m3/s): 4.9 Valor correcto

V > Vc: Sí

Pendiente del canal de limpia

Sc: 0.0155

CALCULAR

Programacion: Johan Villanueva Anlas - Versión 1

Figura A-66. Pestaña: canal de limpia

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | **Canal de limpia** | **Perfil de la cresta** | Colchón Disipador | Disipadores

ha/Ho: 0.034 Aplicar

K: 0.508

n: 1.855

Xc (m): 0.271 0.196

Yc (m): 0.11 0.079

R1 (m): 0.51 0.368

R2 (m): 0.205 0.148

Aplicar

Co (msnm): 272.4

C1 (msnm): 272.2

a: 1.44 Valor correcto

Xt/Ho: 0.7

CALCULAR

Ver gráficas

Figura A-67. Pestaña: perfil de la cresta

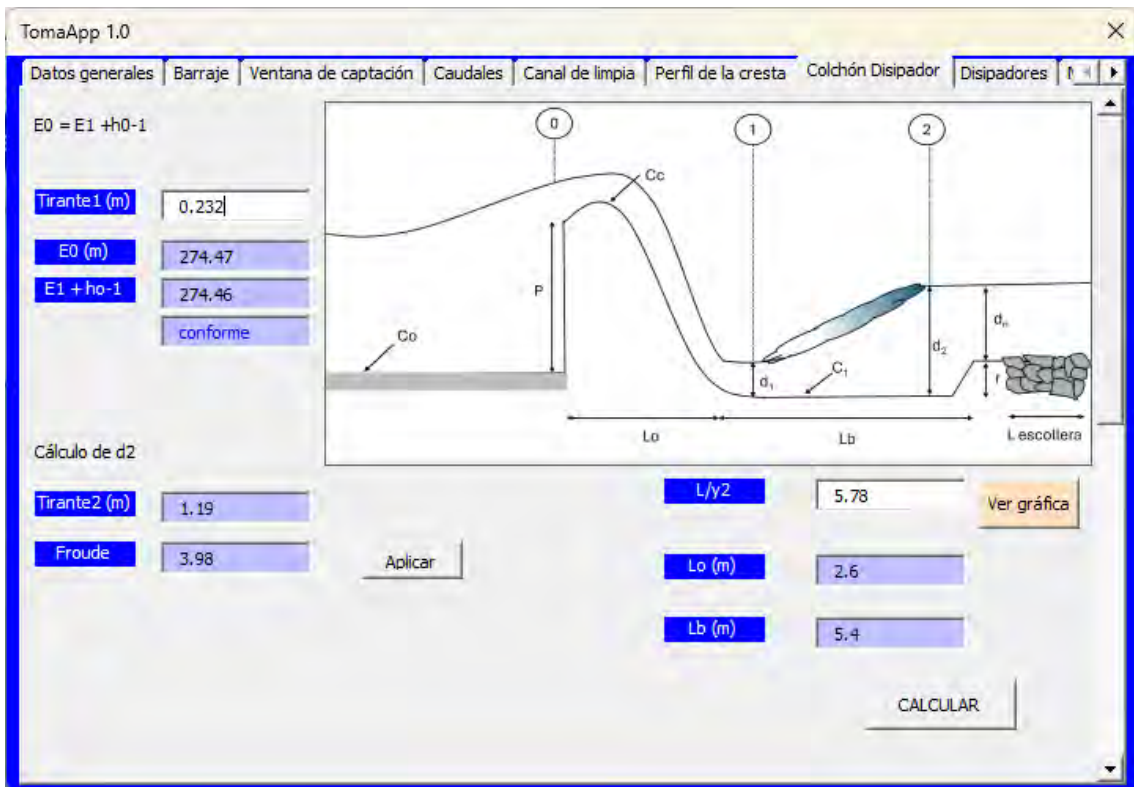


Figura A-68. Pestaña: colchón disipador 1

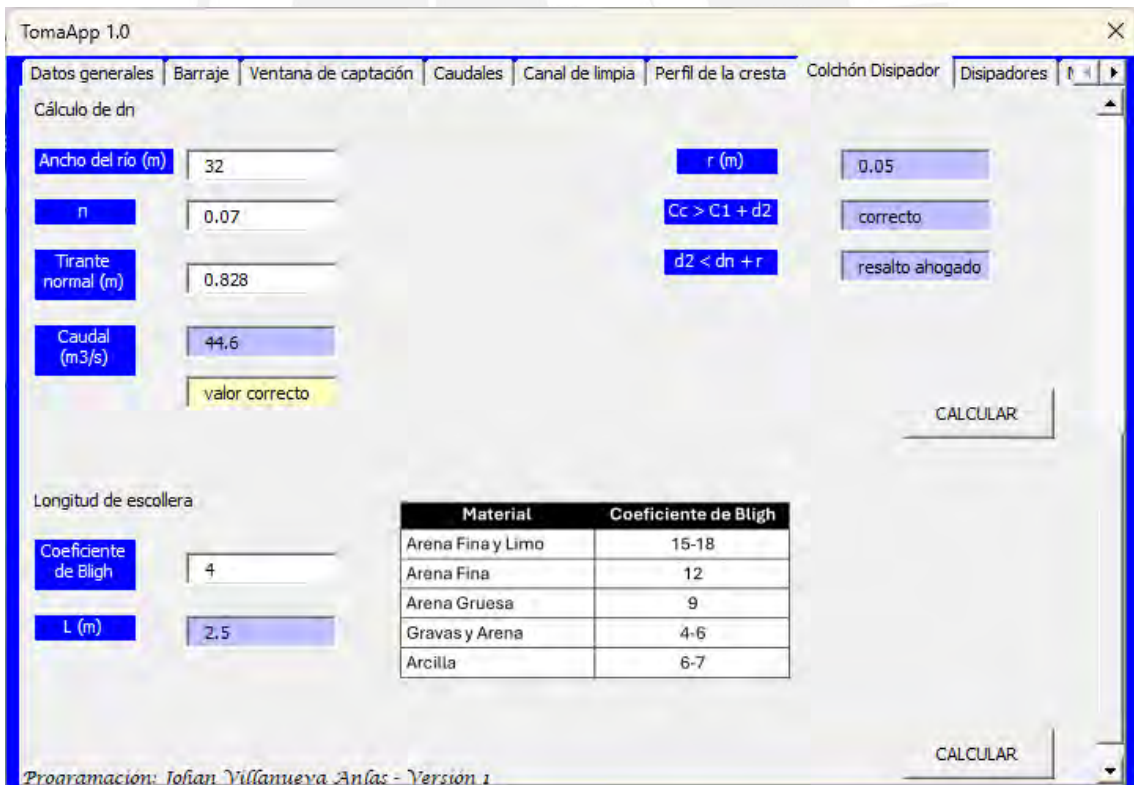


Figura A-69. Pestaña: colchón disipador 2

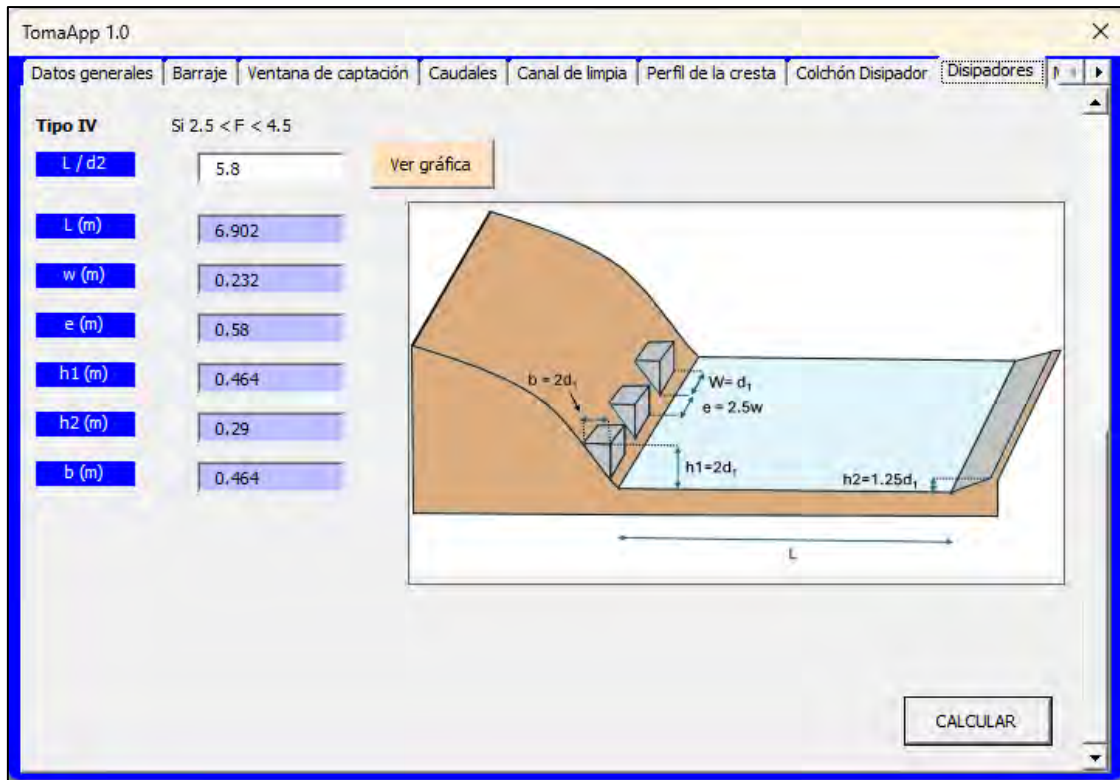


Figura A-70. Pestaña: disipador tipo IV

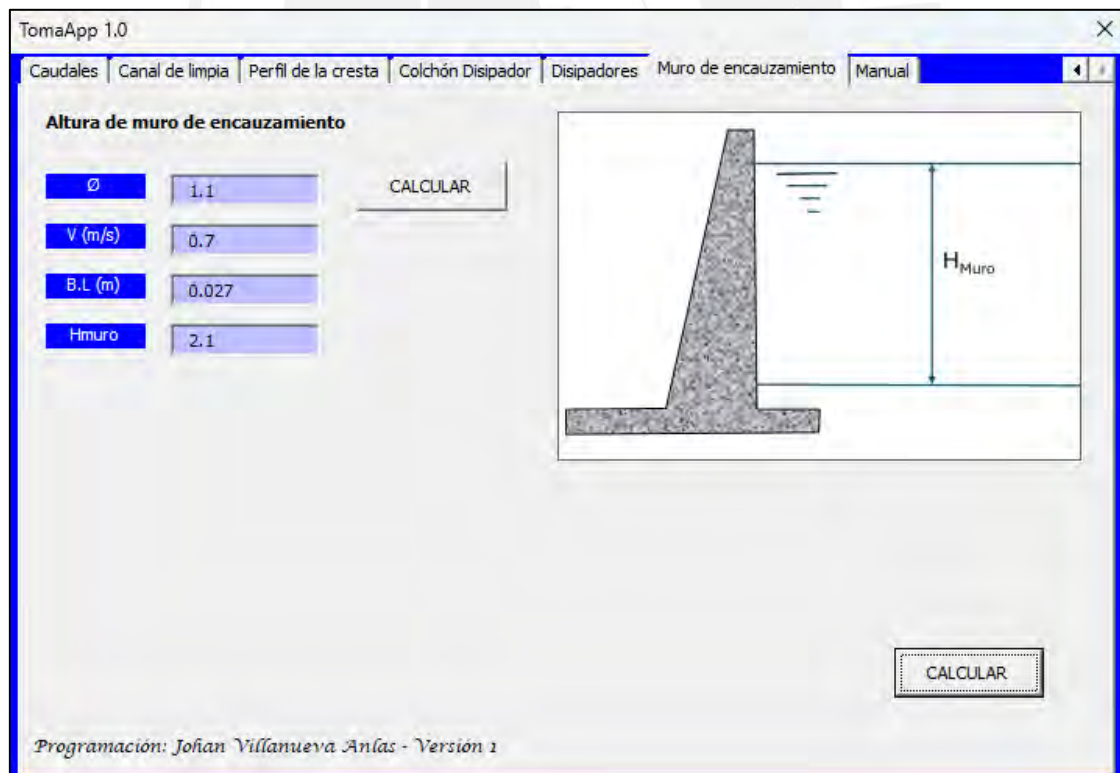


Figura A-71. Pestaña: muro de encauzamiento

I-2. Bocatoma para irrigación en el río Chicama

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpieza | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

RÍO

Q máx (m³/s) 469

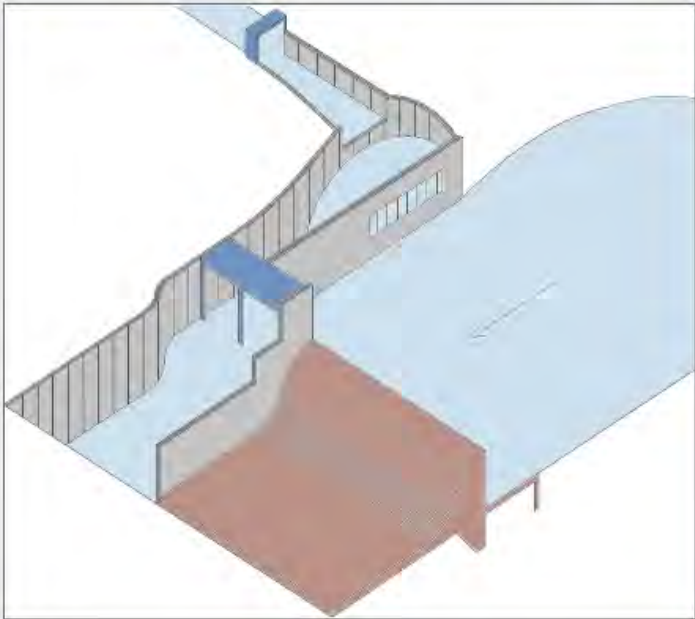
S río 0.014

BARRAJE FIJO

Longitud Total (m) 95

VENTANA DE CAPTACIÓN

Q diseño (m³/s) 13.7



Programación: Jofian Villanueva Anlas - Versión 1

Figura A-72. Pestaña: datos generales

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpieza | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

Altura del umbral

Dm (m) 0.1

Borde Libre (m) 0.2

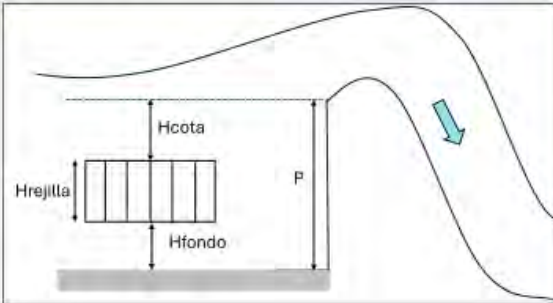
H fondo (m) 0.6

Altura del paramento

Hcota (m) 0.2

hrejilla (m) 1.6

P (m) 2.4



CALCULAR ?

Programación: Jofian Villanueva Anlas - Versión 1

Figura A-73. Pestaña: barraje

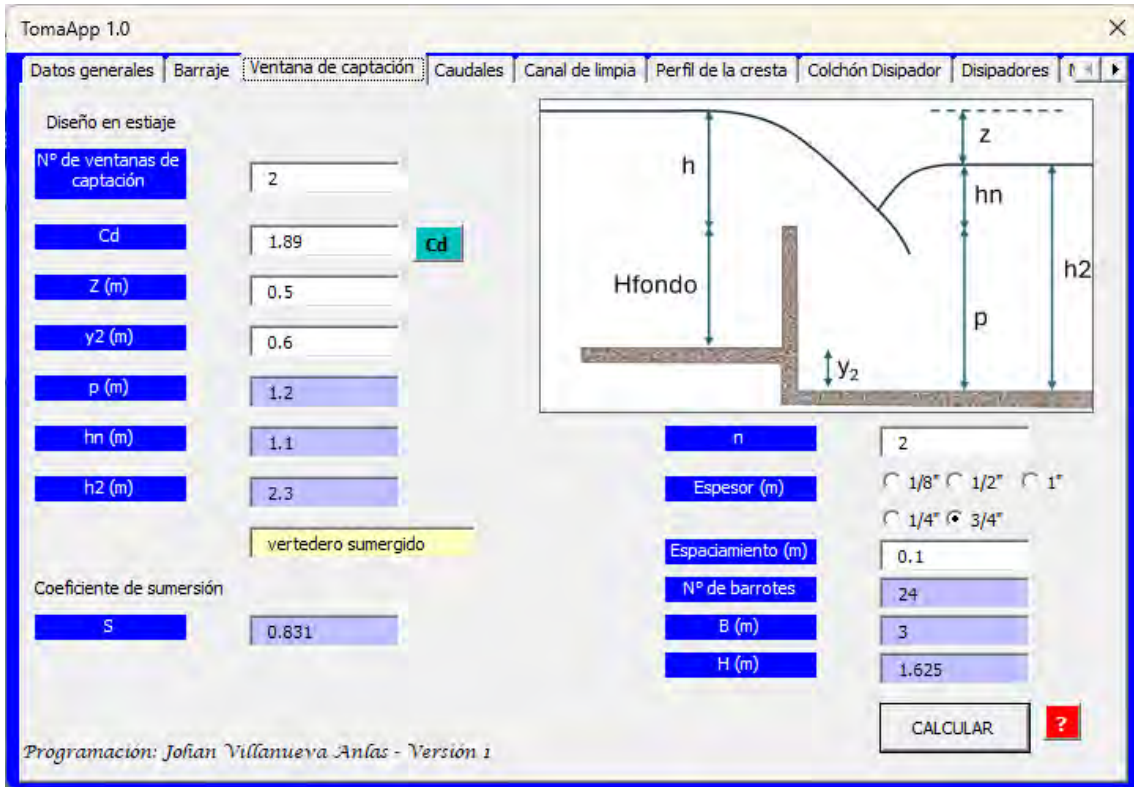


Figura A-74. Pestaña: ventana de captación

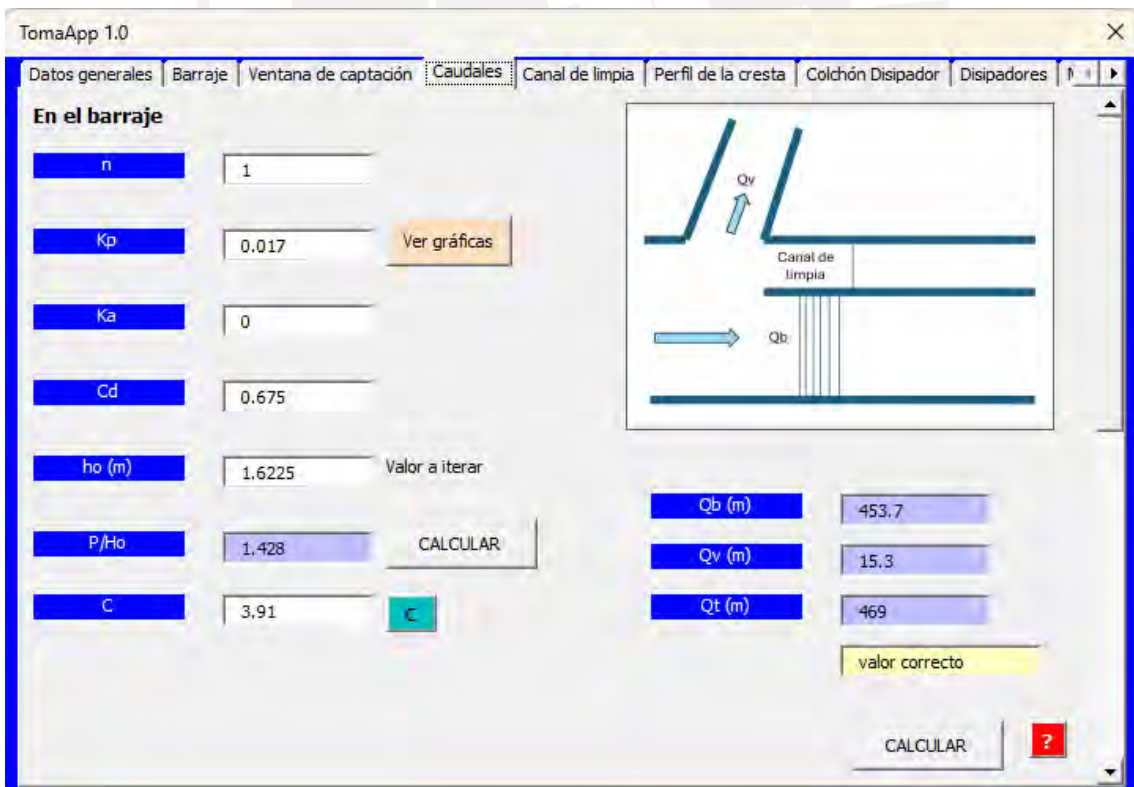


Figura A-75. Pestaña: caudales en barraje

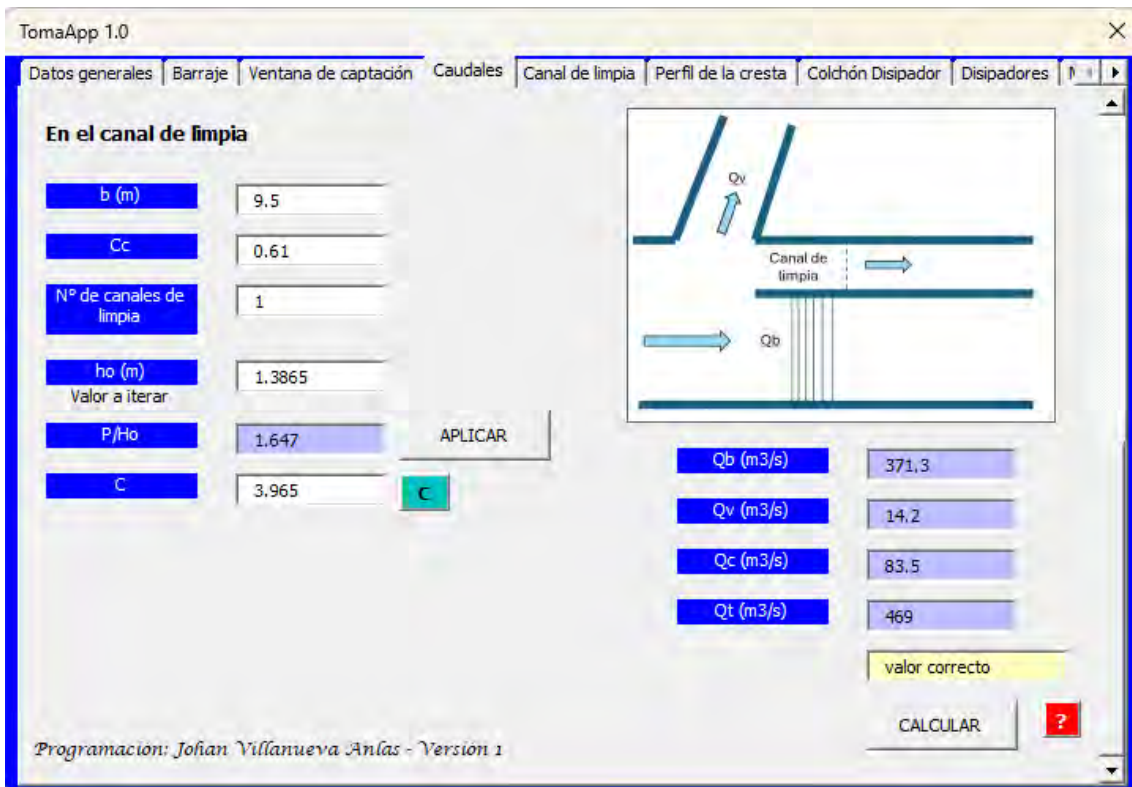


Figura A-76. Pestaña: caudales en canal de limpia

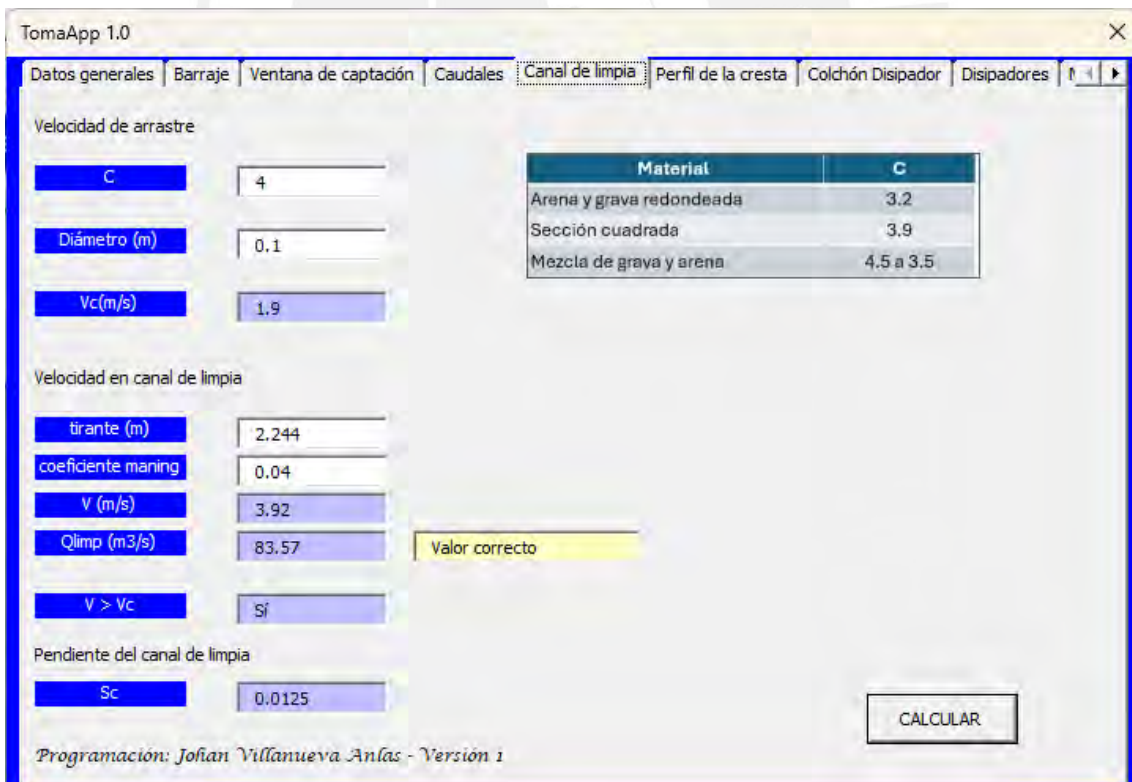


Figura A-77. Pestaña: canal de limpia

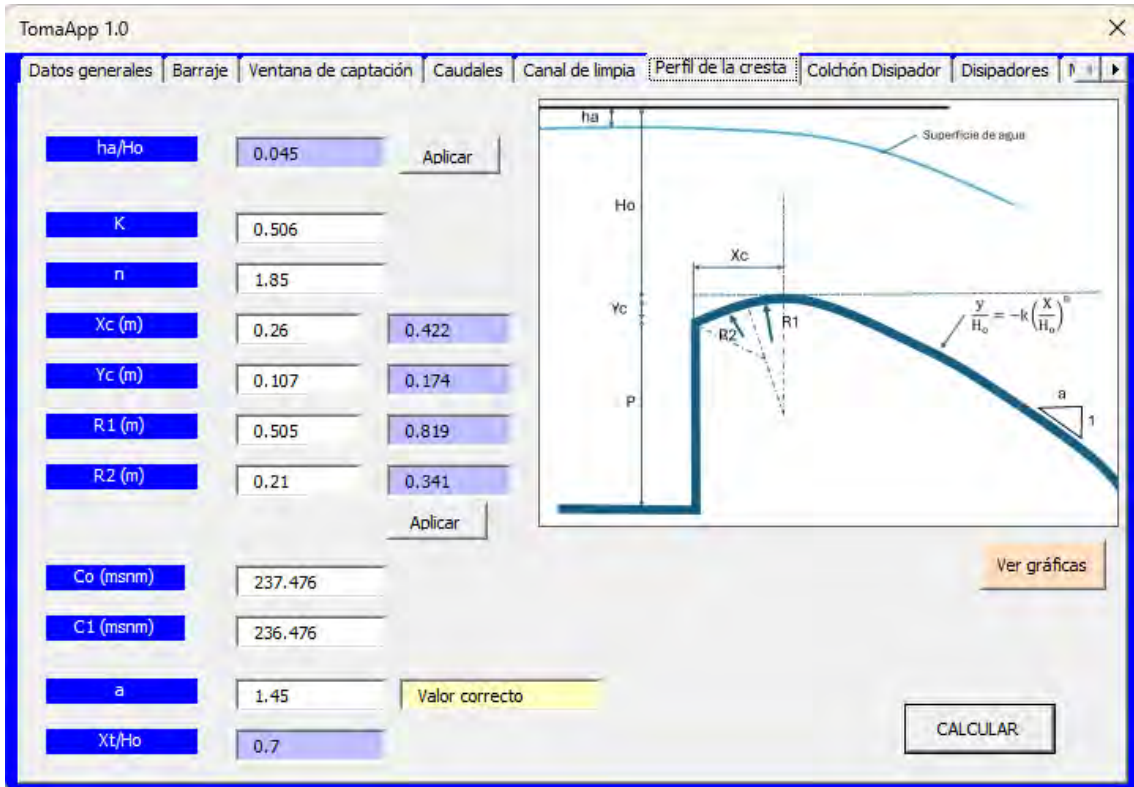


Figura A-78. Pestaña: perfil de la cresta

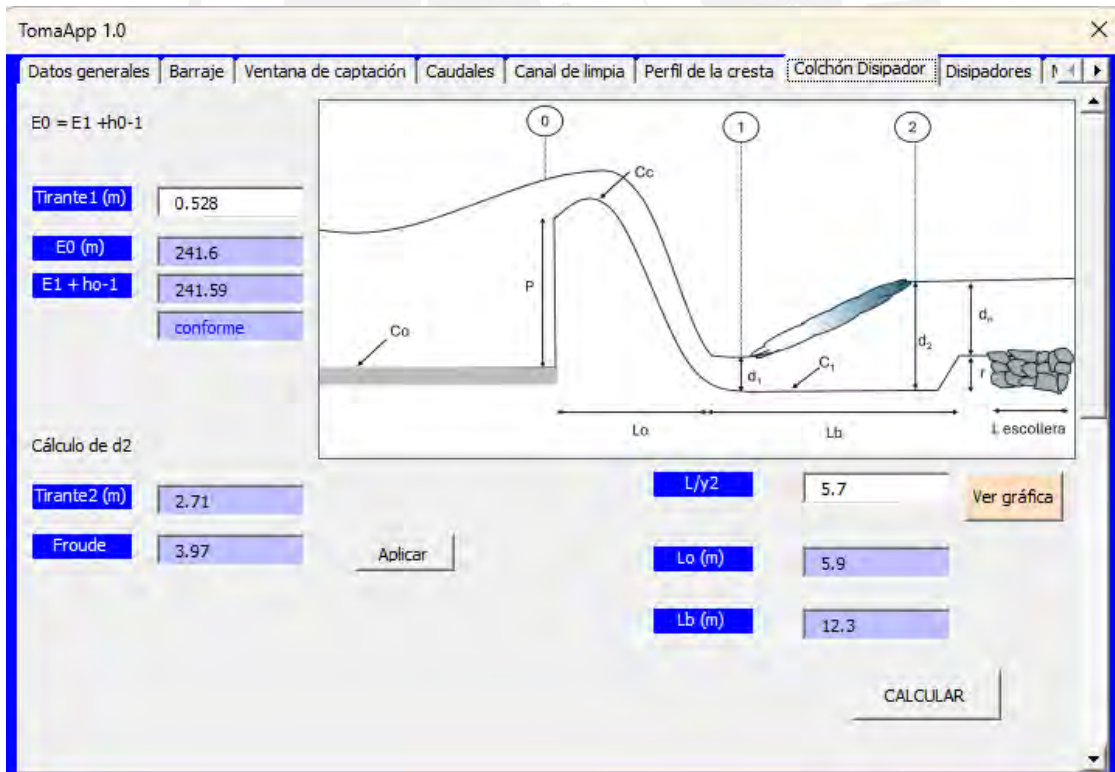


Figura A-79. Pestaña: colchón disipador 1

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpieza | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

Cálculo de d_n

Ancho del río (m) 380 r (m) 0.75

n 0,045 $Cc > C1 + d2$ correcto

Tirante normal (m) 0,6235 $d2 < d_n + r$ resalto ahogado

Caudal (m³/s) 453,7

valor correcto

CALCULAR

Longitud de escollera

Coefficiente de Bligh 9

L (m) 17

| Material | Coefficiente de Bligh |
|-------------------|-----------------------|
| Arena Fina y Limo | 15-18 |
| Arena Fina | 12 |
| Arena Gruesa | 9 |
| Gravas y Arena | 4-6 |
| Arcilla | 6-7 |

Programación: Jofian Villanueva Anfas - Versión 1

CALCULAR

Figura A-80. Pestaña: colchón disipador 2

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpieza | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

Tipo IV Si $2.5 < F < 4.5$

L / d_2 5.8 Ver gráfica

L (m) 15.718

w (m) 0.528

e (m) 1.32

h_1 (m) 1.056

h_2 (m) 0.66

b (m) 1.056

CALCULAR

Figura A-81. Pestaña: disipador tipo IV

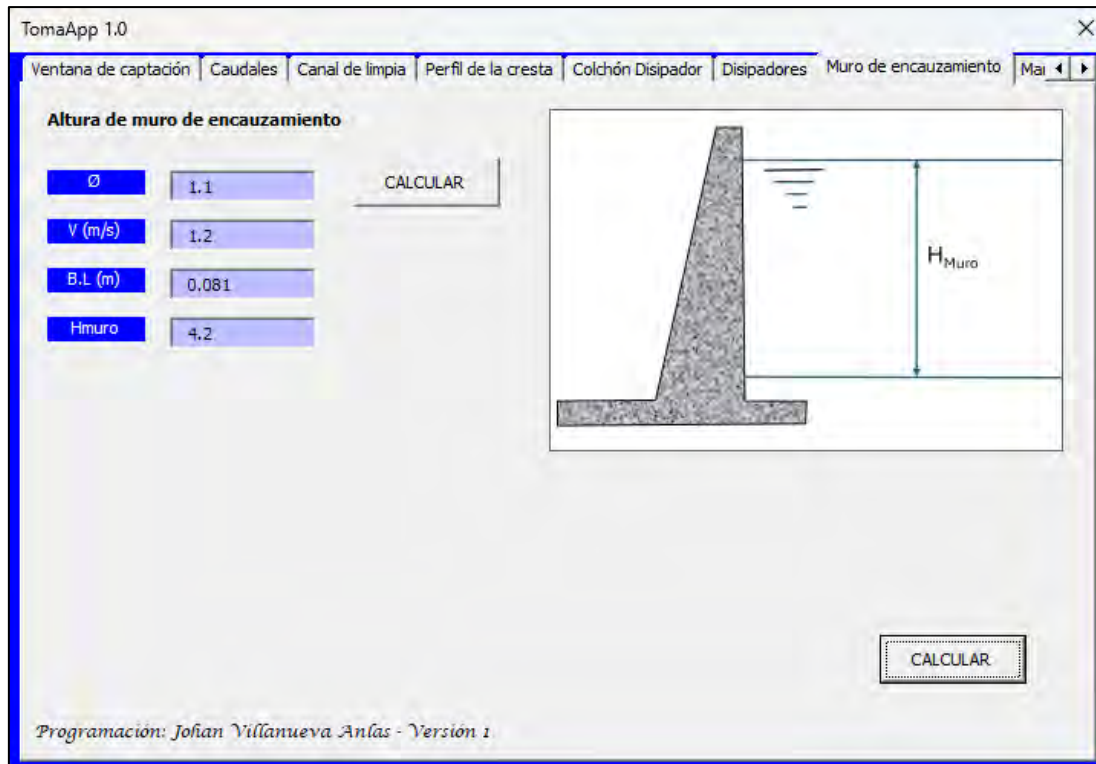


Figura A-82. Pestaña: muro de encauzamiento

I-3. Bocatoma para central hidroeléctrica en el río Vilca



Figura A-83. Pestaña: datos generales

TomaApp 1.0

Datos generales | **Barraje** | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpia | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

Altura del umbral

Dm (m) 0.2

Borde Libre (m) 0.2

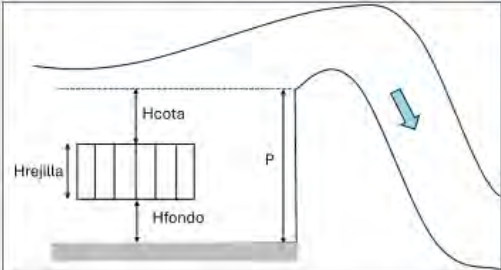
H fondo (m) 0.6

Altura del paramento

Hcota (m) 1.2

hrejilla (m) 2.5

P (m) 4.3



CALCULAR ?

Programación: Jofian Villanueva Anlas - Versión 1

Figura A-84. Pestaña: barraje

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | **Ventana de captación** | Caudales | Canal de limpia | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

Diseño en estiaje

Nº de ventanas de captación 2

Cd 2.333 **Cd**

Z (m) 0.1

y2 (m) 0.8

p (m) 1.4

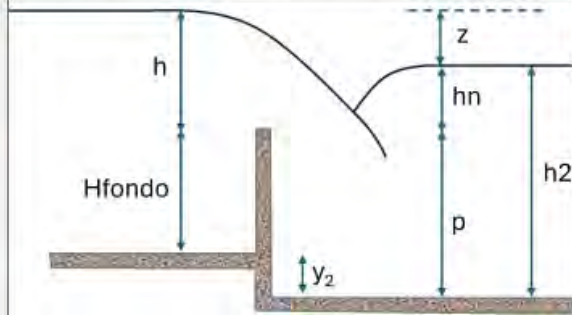
hn (m) 2.4

h2 (m) 3.8

vertedero sumergido

Coefficiente de sumersión

S 0.337



n 2

Espesor (m) 1/8" 1/2" 1"

1/4" 3/4"

Espadamiento (m) 0.05

Nº de barrotes 122

B (m) 7.7

H (m) 2.525

CALCULAR ?

Programación: Jofian Villanueva Anlas - Versión 1

Figura A-85. Pestaña: ventana de captación

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpia | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

En el barraje

n

Kp

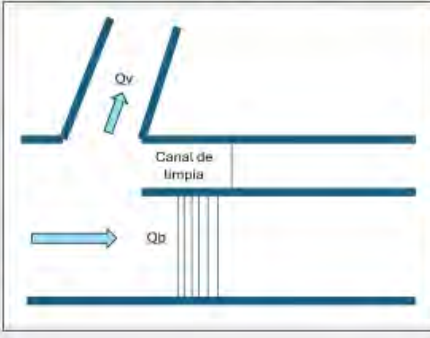
Ka

Cd

ho (m) Valor a iterar

P/Ho

C



Qb (m)

Qv (m)

Qt (m)

valor correcto

Figura A-86. Pestaña: caudales en barraje

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | Canal de limpia | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

En el canal de limpia

b (m)

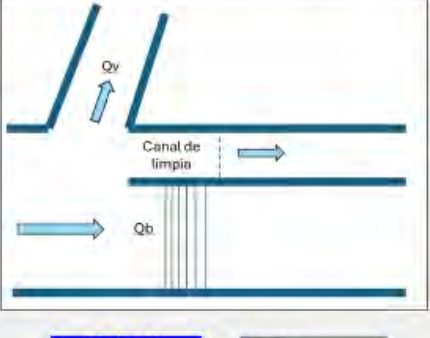
Cc

Nº de canales de limpia

ho (m) Valor a iterar

P/Ho

C



Qb (m3/s)

Qv (m3/s)

Qc (m3/s)

Qt (m3/s)

valor correcto

Programación: Jofian Yillanueva Anlas - Versión 1

Figura A-87. Pestaña: caudales en canal de limpia

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | **Canal de limpieza** | Perfil de la cresta | Colchón Disipador | Disipadores

Velocidad de arrastre

C: 4

Diámetro (m): 0.2

Vc(m/s): 2.68

| Material | C |
|--------------------------|-----------|
| Arena y grava redondeada | 3.2 |
| Sección cuadrada | 3.9 |
| Mezcla de grava y arena | 4.5 a 3.5 |

Velocidad en canal de limpieza

tirante (m): 5.67

coeficiente manning: 0.02

V (m/s): 3.24

Qlimp (m3/s): 73.48 Valor correcto

V > Vc: Sí

Pendiente del canal de limpieza

Sc: 0.0026

CALCULAR

Programación: Johan Villanueva Anlas - Versión 1

Figura A-88. Pestaña: canales

TomaApp 1.0

Datos generales | Barraje | Ventana de captación | Caudales | **Canal de limpieza** | **Perfil de la cresta** | Colchón Disipador | Disipadores

ha/Ho: 0.056 Aplicar

K: 0.505

n: 1.8

Xc (m): 0.271 0.775

Yc (m): 0.11 0.314

R1 (m): 0.51 1.458

R2 (m): 0.205 0.586

Aplicar

Co (msnm): 100

C1 (msnm): 99.0

a: 1.44 Valor correcto

Xt/Ho: 0.7

Ver gráficas

CALCULAR

The diagram illustrates the crest profile of a spillway. It shows the water surface elevation (Superficie de agua) above the crest. Key parameters include the crest height (ha), the total head (Ho), the crest width (Xc), the crest height (Yc), and the radii of curvature (R1 and R2). The profile is defined by the equation $y/H_o = -k(X/H_o)^a$. The crest is shown with a slope of 1 horizontal to a certain vertical rise. The diagram also indicates the crest width (P) and the crest height (C).

Figura A-89. Pestaña: perfil de la cresta

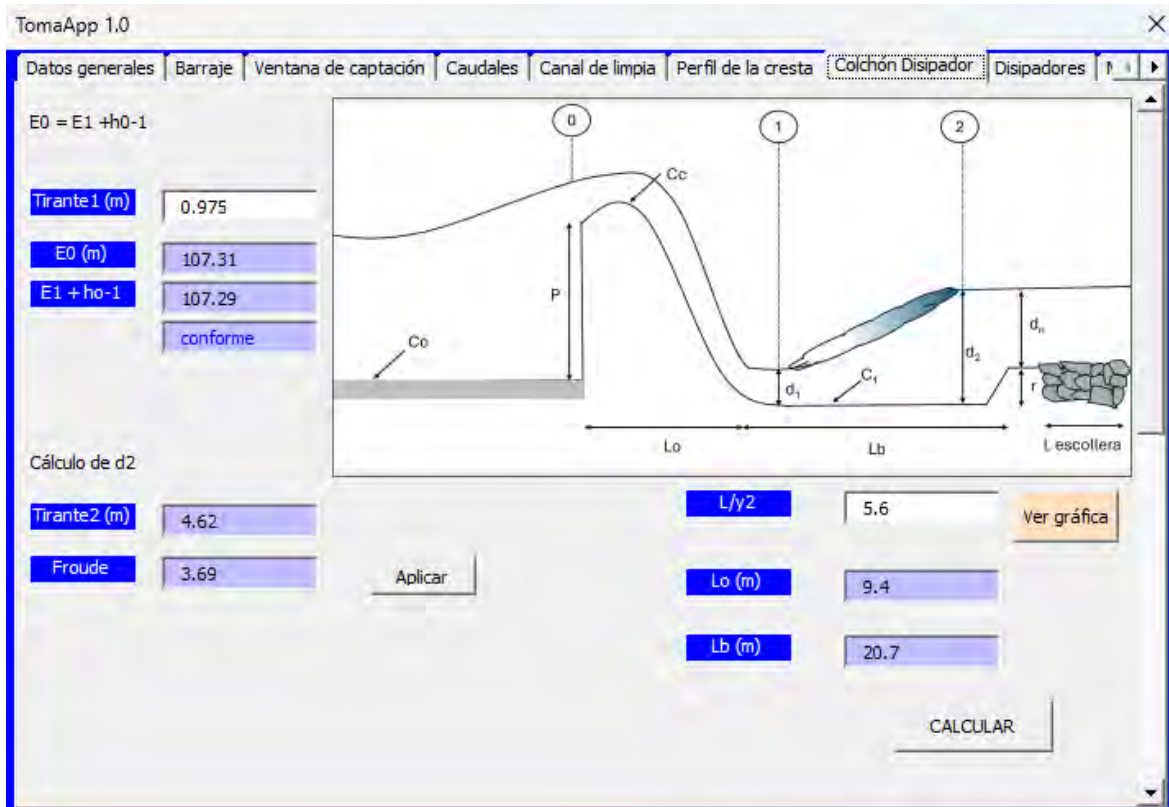


Figura A-90. Pestaña: colchón disipador 1

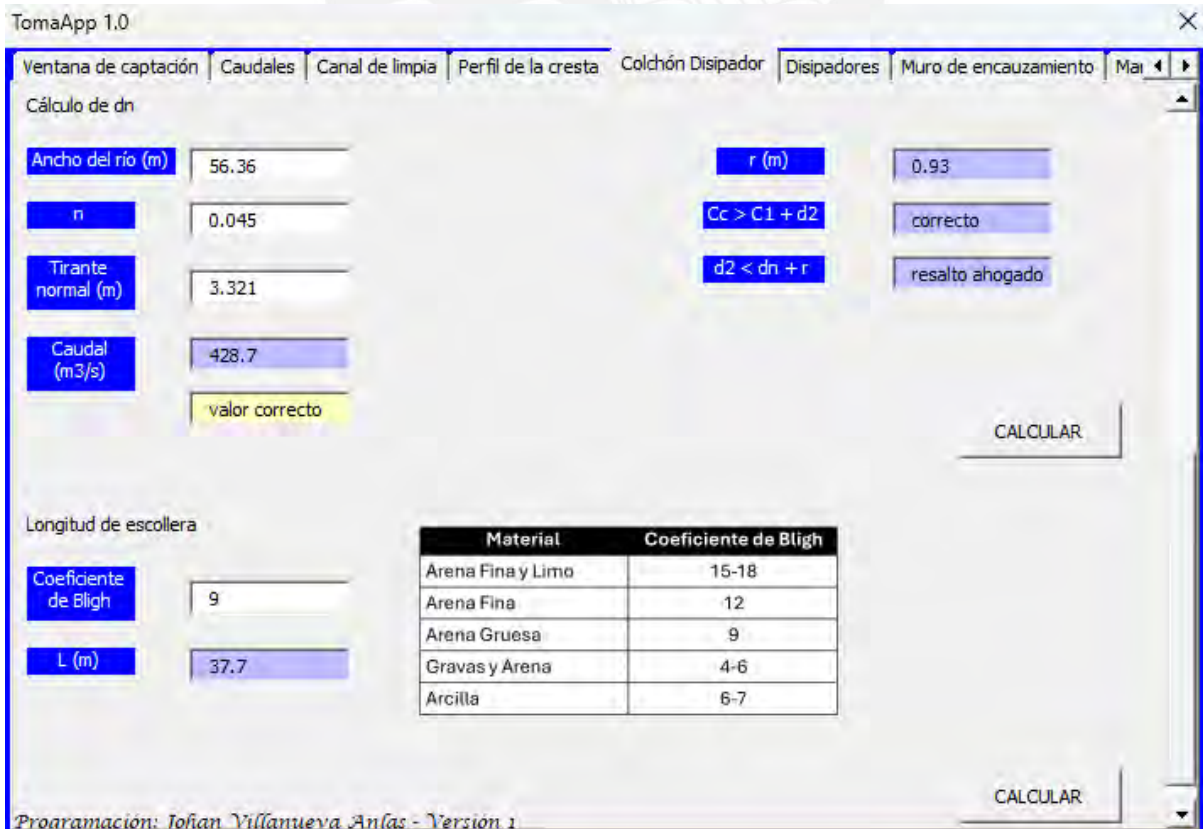


Figura A-91. Pestaña: colchón disipador 2

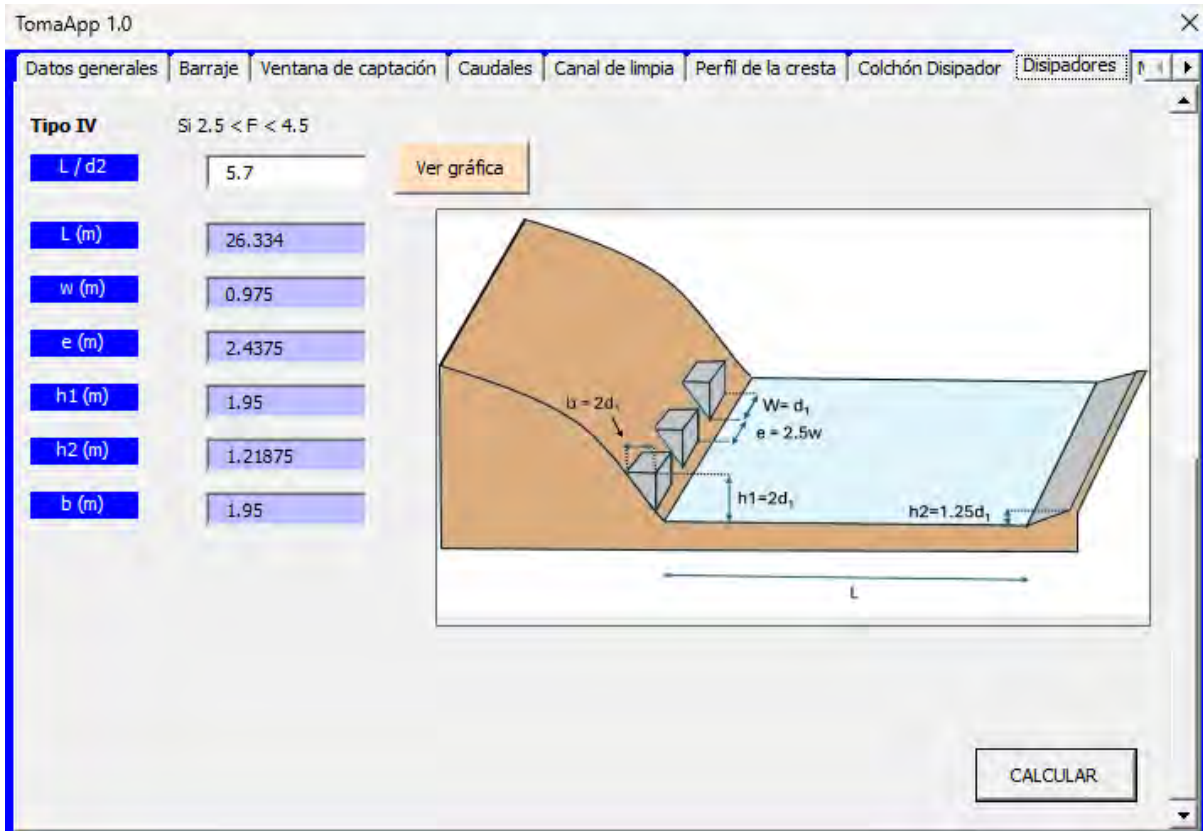


Figura A-92. Pestaña: disipadores

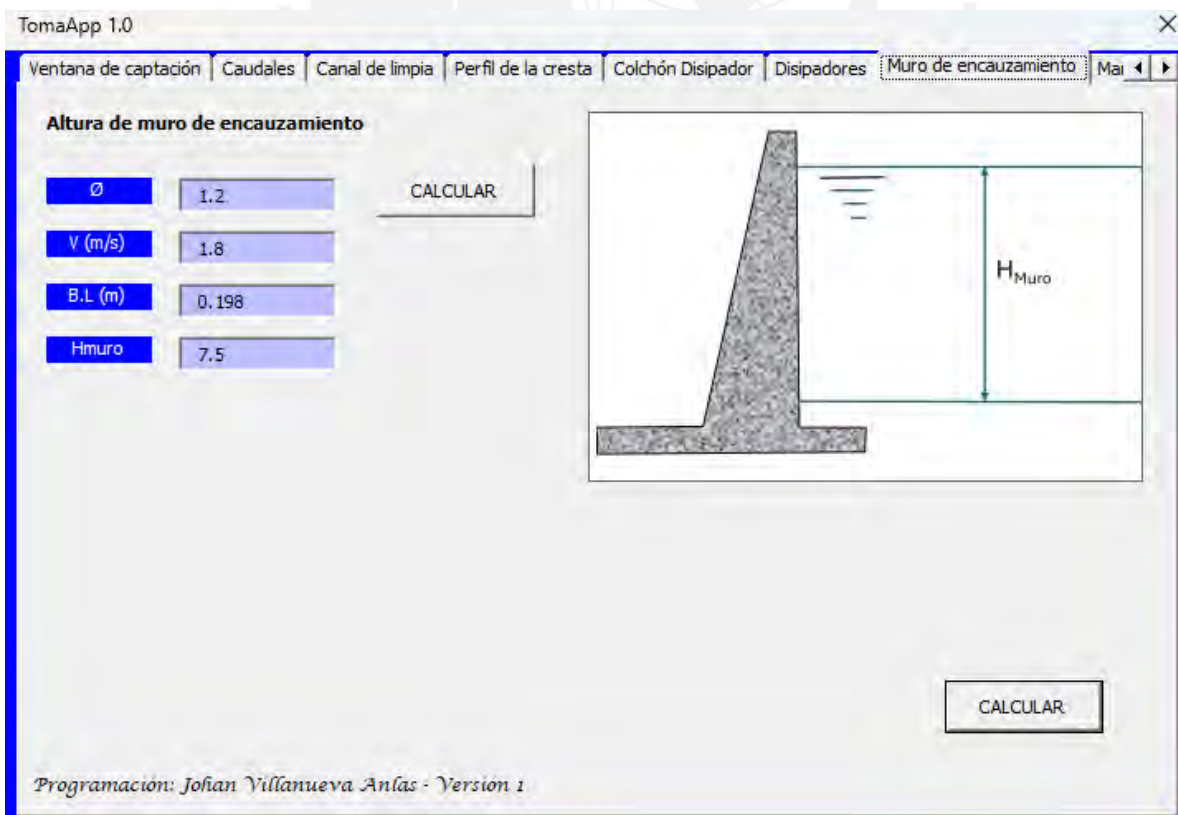


Figura A-93. Pestaña: muro de encauzamiento

8.2. Anexo B: Código de programación del software TomaApp

```
Private Sub AlturaBarraje_Change()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
If (Val(Dm) + Val(bordelibre)) > 0.6 Then
```

```
hfondo.Text = Val(Dm) + Val(bordelibre)
```

```
Else
```

```
hfondo.Text = 0.6
```

```
End If
```

```
AlturaBarraje.Text = Val(Hcota) + Val(hfondo) + Val(hrejilla)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()
```

```
Ache = (Val(AlturaBarraje) + 0.025) / Val(PentreHO)
```

```
Xt = 0.7 * Ache
```

```
Yt = Ache * Val(k) * (Xt / Ache) ^ Val(ene)
```

```
Lschoklitsh = 5 * (Val(tirante2) - Val(tirante1))
```

```
Lsafranez = 5 * Val(tirante1) * Val(froude)
```

```
Lprom.Text = Round((Val(Lschoklitsh) + Val(Lsafranez) + (Val(usbr) * Val(tirante2))) / 3,  
1)
```

```
Lo.Text = Round(Val(Xc) + Xt + (Val(AlturaBarraje) + 0.025 - Yt) * Val(valora) + (Val(Co)  
- Val(C1)) * Val(valora), 1)
```

End Sub

Private Sub CommandButton20_Click()

$Lprima = Val(Qdiseño) / (Val(S) * Val(cd) * Val(hrejilla) ^ (1.5)) / Val(nvc)$

$Lcorregida = Lprima + 0.1 * Val(n) * Val(hrejilla)$

$quni = Val(Qrio) / Val(LongTotal)$

$AreaO = Lcorregida * Val(H)$

$Vcarga = quni / (Val(AlturaBarraje) + 0.025 + Val(ho))$

$Hmayus = Val(ho) + Vcarga ^ (2) / (2 * 9.81)$

$Lefe = Val(LongTotal) - 2 * (Val(np) * Val(kp) + Val(ka)) * Hmayus$

$Qb.Text = Round(Val(C) / 1.811 * Lefe * Hmayus ^ (1.5), 1)$

$Qv.Text = Round(Val(nvc) * Val(cd2) * AreaO * (2 * 9.81 * Val(ho) / 4) ^ (0.5), 1)$

$Qt.Text = Round(Val(Qb) + Val(Qv), 1)$

If Abs(Val(Qt) - Val(Qrio)) < 0.1 Then

comprobacion.Text = "valor correcto"

Else

comprobacion.Text = "cambiar valor de ho"

End If

End Sub

Private Sub CommandButton22_Click()

$a = Val(AlturaBarraje) + 0.2 + 0.025$

$areaOrificio2 = a * Val(anchoCompuerta)$

$quni2 = Val(Qrio) / Val(LongTotal)$

$Va = quni2 / (Val(AlturaBarraje) + 0.025 + Val(ho2))$

Hmayus2 = Val(ho2) + (Va ^ (2)) / (2 * 9.81)

Lefe2 = Val(LongTotal) - 2 * (Val(np) * Val(kp) + Val(ka)) * Hmayus2

Qb2.Text = Round(Val(C2) / 1.811 * Lefe2 * Hmayus2 ^ (1.5), 1)

Lprima = Val(Qdiseño) / (Val(S) * Val(cd) * Val(hrejilla) ^ (1.5)) / Val(nvc)

Lcorregida = Lprima + 0.1 * Val(n) * Val(hrejilla)

AreaO = Lcorregida * Val(H)

Qv2.Text = Round(Val(nvc) * Val(cd2) * AreaO * (2 * 9.81 * Val(ho2) / 4) ^ (0.5), 1)

y1 = Val(AlturaBarraje) + Val(ho2)

cd_1 = Val(coefContra) / (1 + Val(coefContra) * a / y1) ^ 0.5

Qc.Text = Round(Val(ncl) * cd_1 * areaOrificio2 * (2 * 9.81 * (y1 - Val(coefContra) * a)) ^ 0.5, 1)

Qt2.Text = Round(Val(Qb2) + Val(Qv2) + Val(Qc), 1)

If Abs(Val(Qt2) - Val(Qrio)) < 0.1 Then

comprobacion2.Text = "valor correcto"

Else

comprobacion2.Text = "cambiar valor de ho"

End If

End Sub

Private Sub CommandButton25_Click()

$$v = (1 / \text{Val}(\text{maningrio})) * (\text{Val}(\text{normal}) * \text{Val}(\text{anchorio}) / (2 * \text{Val}(\text{normal}) + \text{Val}(\text{anchorio}))) \\ \wedge (2 / 3) * \text{Val}(\text{srio}) \wedge 0.5$$

caudalbarraje.Text = Round(v * Val(anchorio) * Val(normal), 1)

If Abs(Val(caudalbarraje) - Val(Qb)) < 0.1 Then

compro3.Text = "valor correcto"

Else

compro3.Text = "cambiar valor de tirante"

End If

Cr = Val(Co) - (Val(Lo) + Val(Lprom)) * Val(srio)

r.Text = Round(Cr - Val(C1), 2)

CC = Val(Co) + Val(AlturaBarraje) + 0.025

If CC > Val(C1) + Val(tirante2) Then

compro1.Text = "correcto"

Else

compro1.Text = "falso"

End If

If Val(tirante2) < Val(normal) + Val(r) Then

compro2.Text = "resalto normal"

Else

compro2.Text = "resalto ahogado"

End If

End Sub

```
Private Sub CommandButton26_Click()
```

```
division.Text = Round((((Val(AlturaBarraje) + 0.025) / Val(PentreHO)) - Val(ho)) /  
((Val(AlturaBarraje) + 0.025) / Val(PentreHO)), 3)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton27_Click()
```

```
Xc.Text = Round(Val(x1c) * Val(ho), 3)
```

```
Yc.Text = Round(Val(y1c) * Val(ho), 3)
```

```
R1.Text = Round(Val(r1c) * Val(ho), 3)
```

```
R2.Text = Round(Val(r2c) * Val(ho), 3)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton28_Click()
```

```
Ache = (Val(AlturaBarraje) + 0.025) / Val(PentreHO)
```

```
Xt = 0.7 * Ache
```

```
Yt = Ache * Val(k) * (Xt / Ache) ^ Val(ene)
```

```
XentreHO.Text = Round(1 / ((Val(k) * Val(valora) * Val(ene)) ^ (1 / (Val(ene) - 1))), 1)
```

```
If Abs((Val(XentreHO) - 0.7) > 0.05) Then
```

```
compro4.Text = "Cambiar valor de a"
```

```
Else
```

```
compro4.Text = "Valor correcto"
```

End If

End Sub

Private Sub CommandButton29_Click()

$Lprima = Val(Qdiseño) / (Val(S) * Val(cd) * Val(hrejilla) ^ (1.5)) / Val(nvc)$

$Lcorregida = Lprima + 0.1 * Val(n) * Val(hrejilla)$

$quni = Val(Qrio) / Val(LongTotal)$

$AreaO = Lcorregida * Val(H)$

$Vcarga = quni / (Val(AlturaBarraje) + 0.025 + Val(ho))$

$Hmayus = Val(ho) + Vcarga ^ (2) / (2 * 9.81)$

$PentreHO.Text = Round((Val(AlturaBarraje) + 0.025) / Hmayus, 3)$

End Sub

Private Sub CommandButton30_Click()

$a = Val(AlturaBarraje) + 0.2 + 0.025$

$areaOrificio2 = a * Val(anchoCompuerta)$

$quni2 = Val(Qrio) / Val(LongTotal)$

$Va = quni2 / (Val(AlturaBarraje) + 0.025 + Val(ho2))$

$Hmayus2 = Val(ho2) + (Va ^ (2)) / (2 * 9.81)$

$PentreHo2.Text = Round((Val(AlturaBarraje) + 0.025) / Hmayus2, 3)$

End Sub

```
Private Sub CommandButton31_Click()
```

```
q = Val(Qb) / Val(LongTotal)
```

```
vo = q / (Val(AlturaBarraje) + Val(ho))
```

```
hf = 0.1 * vo ^ 2 / (2 * 9.81)
```

```
E0.Text = Round(Val(Co) + Val(AlturaBarraje) + 0.025 + Val(ho) + Val(vo) ^ 2 / (2 * 9.81),  
2)
```

```
E1.Text = Round(Val(C1) + Val(tirante1) + 1.1 * ((Val(Qb) / (Val(LongTotal) *  
Val(tirante1))) ^ 2 / (2 * 9.81)), 2)
```

```
If Abs(Val(E1) - Val(E0)) > 0.05 Then
```

```
  mensaje3.Text = "cambiar tirante1"
```

```
Else
```

```
  mensaje3.Text = "conforme"
```

```
End If
```

```
froude.Text = Round((Val(Qb) / (Val(tirante1) * Val(LongTotal))) / ((9.81 * Val(tirante1)) ^  
0.5), 2)
```

```
tirante2.Text = Round(Val(tirante1) / 2 * ((1 + 8 * Val(froude) ^ 2) ^ 0.5 - 1), 2)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton36_Click()
```

```
largo.Text = Val(Lentred2) * Val(tirante2)
```

```
w1.Text = Val(tirante1)
```

```
w3.Text = 0.75 * Val(h3)
```

```
s1.Text = Val(tirante1)
```

```
h1.Text = Val(tirante1)
```

```
Lprimita.Text = 0.8 * Val(tirante2)
```

```
esp1.Text = 0.5 * Val(tirante1)
```

```
esp2.Text = 0.375 * Val(h3)
```

```
cresta1.Text = 0.2 * Val(h3)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton37_Click()
```

```
Largo_1.Text = Val(Lentred2_1) * Val(tirante2)
```

```
w_1.Text = Val(tirante1)
```

```
espacio.Text = 2.5 * Val(w_1)
```

```
h1_1.Text = Val(tirante1) * 2
```

```
h2_1.Text = 1.25 * Val(tirante1)
```

```
base.Text = 2 * Val(tirante1)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton39_Click()
```

```
caudaluni3 = Val(Qb) / Val(LongTotal)
```

```
Duno = Val(Co) + Val(AlturaBarraje) - Val(tirante2) - Val(C1)
```

```
Db = Val(tirante2) - Val(r) + Duno
```

```
escollera.Text = Round(0.6 * Val(C3) * Duno ^ 0.5 * (1.12 * (caudaluni3 * Db / Duno) ^ 0.5 - 1), 1)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton41_Click()
```

```
If Val(Qrio) <= 500 Then
```

```
fi.Text = 1.1
```

```
ElseIf Val(Qrio) <= 1000 Then
```

```
fi.Text = 1.2
```

```
ElseIf Val(Qrio) <= 2000 Then
```

```
fi.Text = 1.4
```

```
ElseIf Val(Qrio) <= 3000 Then
```

```
fi.Text = 1.7
```

```
Else
```

```
fi.Text = 2
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton42_Click()
```

```
velMuro.Text = Round(Val(Qrio) / (Val(LongTotal) * (Val(AlturaBarraje) + (Val(PentreHO) / Val(AlturaBarraje)) ^ (-1))), 1)
```

```
bordelibre.Text = Round(Val(fi) * (Val(velMuro) ^ 2) / (2 * 9.81), 3)
```

```
Alturamuro.Text = Round(Val(bordelibre) + Val(AlturaBarraje) + (Val(PentreHO) / Val(AlturaBarraje)) ^ (-1), 1)
```

End Sub

Private Sub CommandButton5_Click()

vc.Text = Round(1.5 * Val(coefA) * (Val(diametro)) ^ 0.5, 2)

caudalUni = Val(Qc) / Val(ncl) / Val(anchoCompuerta)

pendcri = Round(Val(rugosidad) * 9.81 ^ (10 / 9) / (caudalUni ^ (2 / 9)), 3)

velocidad.Text = Round((1 / Val(rugosidad)) * (Val(tirante) * Val(anchoCompuerta) / (2 * Val(tirante) + Val(anchoCompuerta))) ^ (2 / 3) * Val(srio) ^ 0.5, 2)

Qlimpia.Text = Round(Val(velocidad) * Val(anchoCompuerta) * Val(tirante), 2)

If Abs(Val(Qlimpia) - Val(Qc) / Val(ncl)) < 0.1 Then

comprobacion3.Text = "Valor correcto"

Else

comprobacion3.Text = "cambiar valor de tirante"

End If

If velocidad > vc Then

pregunta.Text = "Sí"

Else

pregunta.Text = "Se requiere acelerar el flujo"

End If

sc.Text = Round((Val(rugosidad) ^ 2 * (9.81) ^ (10 / 9)) / (caudalUni ^ (2 / 9)), 4)

End Sub

```
Private Sub CommandButton6_Click()
```

```
    AlturaVentana = Round((10 / 7.36) ^ (2 / 5), 2)
```

```
    Longitud.Text = Round(4 * Val(AlturaVentana), 2)
```

```
    F.Text = Round(0.2 * (Val(AlturaBarraje) + Val(H)), 2)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image1_BeforeDragOver(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean, ByVal  
Data As MSForms.DataObject, ByVal X As Single, ByVal Y As Single, ByVal DragState As  
MSForms.fmDragState, ByVal Effect As MSForms.ReturnEffect, ByVal Shift As Integer)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton7_Click()
```

```
    radio1.Text = Round(0.2 * Val(H), 2)
```

```
    radio2 = Round(0.5 * Val(H), 2)
```

```
    radio3 = Round(0.5 * Val(H), 2)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton8_Click()
```

```
    p.Text = Val(hfondo) + Val(y2)
```

```
    hn.Text = Val(hrejilla) - Val(z)
```

```
    h2.Text = Val(p) + Val(hn)
```

```
    If Val(h2) > Val(p) And Val(z) / Val(p) < 0.7 Then
```

sumergido.Text = "vertedero sumergido"

End If

S.Text = Round($1.5 * (1 - 0.2 * \text{Val}(\text{hn}) / \text{Val}(\text{p})) * (\text{Val}(\text{z}) / \text{Val}(\text{hrejilla}))^{(1 / 3)}$, 3)

Lprima = $\text{Val}(\text{Qdiseño}) / (\text{Val}(\text{S}) * \text{Val}(\text{cd}) * \text{Val}(\text{hrejilla})^{(1.5)}) / \text{Val}(\text{nvc})$

Lcorregida = $L\text{prima} + 0.1 * \text{Val}(\text{n}) * \text{Val}(\text{hrejilla})$

Ne = Round($L\text{corregida} / \text{Val}(\text{sep})$, 0)

Nb.Text = Ne - 1

If Me.un_octavo = True Then

B.Text = Round($\text{Val}(\text{sep}) * \text{Ne} + \text{Val}(\text{Nb}) * 3.175 / 1000$, 1)

ElseIf Me.un_cuarto = True Then

B.Text = Round($\text{Val}(\text{sep}) * \text{Ne} + \text{Val}(\text{Nb}) * 6.35 / 1000$, 1)

ElseIf Me.un_medio = True Then

B.Text = Round($\text{Val}(\text{sep}) * \text{Ne} + \text{Val}(\text{Nb}) * 12.7 / 1000$, 1)

ElseIf Me.tres_cuartos = True Then

B.Text = Round($(\text{Val}(\text{sep}) * \text{Ne}) + (\text{Val}(\text{Nb}) * 19.05 / 1000)$, 1)

ElseIf Me.uno = True Then

B.Text = Round($\text{Val}(\text{sep}) * \text{Ne} + \text{Val}(\text{Nb}) * 25.4 / 1000$, 1)

End If

H.Text = $\text{Val}(\text{hrejilla}) + 0.025$

End Sub

```
Private Sub CommandButton11_Click()
```

```
caudal.Text = Val(Qdiseño)
```

```
ancho.Text = Val(anchoEfectivo)
```

```
Hneta.Text = H + Val(hfondo) - Val(z)
```

```
Hneta2.Text = Round(Val(d1) + Val(caudal) ^ 2 / (2 * 9.81 * Val(ancho) ^ 2 * Val(d1) ^ 2),  
2)
```

```
If Abs(Val(Hneta2) - Val(Hneta)) > 0.1 Then
```

```
mensaje.Text = "cambiar valor de d1"
```

```
Else
```

```
mensaje.Text = "conforme"
```

```
End If
```

```
d2.Text = Round((Val(d1) / 2) * (-1 + ((1 + (8 * (Val(caudal) ^ 2))) / (9.81 * (Val(d1)) ^ 2 *  
Val(ancho) ^ 2)) ^ (1 / 2)), 2)
```

```
Ldiseño.Text = Round((Val(d2) * 6.1), 2)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image2_BeforeDragOver(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean, ByVal  
Data As MSForms.DataObject, ByVal X As Single, ByVal Y As Single, ByVal DragState As  
MSForms.fmDragState, ByVal Effect As MSForms.ReturnEffect, ByVal Shift As Integer)
```

```
End Sub
```

Private Sub Image25_BeforeDragOver(ByVal Cancel As MSForms.ReturnBoolean, ByVal Data As MSForms.DataObject, ByVal X As Single, ByVal Y As Single, ByVal DragState As MSForms.fmDragState, ByVal Effect As MSForms.ReturnEffect, ByVal Shift As Integer)

End Sub



8.3. Anexo C: Manual de usuario del software TomaApp

C.1 INTRODUCCIÓN

El propósito de este documento es describir los pasos secuenciales para obtener los cálculos automatizados del diseño de los principales elementos de una bocatoma convencional. Este manual guiará al usuario en el proceso de ingreso de datos y la obtención de resultados. Su uso es sencillo, y está dirigido a profesionales y estudiantes con conocimientos previos en hidráulica y mecánica de fluidos.

C.2 OBJETIVOS DEL SOFTWARE

- Automatizar cálculos hidráulicos para el diseño de bocatomas convencionales.
- Reducir los tiempos en los cálculos iterativos.
- Servir como herramienta de apoyo tanto para uso académico como profesional.

C.3. INGRESO A LA APLICACIÓN

Una vez copiado el archivo de TomaApp en el escritorio. A continuación, se abrirá el software como ejecutable y se debe hacer clic en el botón de inicio. Es preciso indicar que esta aplicación ha sido desarrollada para trabajar en un sistema operativo de Windows.



Figura C-1. Archivo del programa



Figura C-2. Inicio del software TomaApp

C.4 INGRESO DE DATOS

El software cuenta con 9 pestañas, las cuales son las siguientes: Datos generales, Barraje, Ventana de captación, Caudales, Canal de limpia, Perfil de cresta, Colchón disipador, Disipadores y Muro de encauzamiento. En cada una de ellas se deberán ingresar los datos de entrada en los campos rectangulares de color blanco. Los espacios sombreados en morado mostrarán los resultados numéricos generados por el software.

Cabe indicar que los valores correspondientes a la altura de carga sobre la cresta y a los tirantes conjugados son parámetros que requieren un proceso iterativo. El software validará estos datos mediante un mensaje de conformidad. En caso de no ser “conforme”, el usuario deberá ajustar los valores hasta cumplir con los criterios hidráulicos establecidos.

C.4.1 Pestaña *Datos generales*

Inicialmente, se debe ingresar la magnitud del caudal de diseño del río asociado a un periodo de retorno específico, el ancho del río y el caudal correspondiente a la ventana de captación en la pestaña *Datos generales* (ver flujograma, sección 1).

C.4.2 Pestaña *Barraje*

A continuación, en la pestaña *Barraje* (ver flujograma, sección 2) se deberá ingresar los datos de un predimensionamiento de la altura del barraje. Con ello, se podrá estimar la carga sobre la cresta del barraje, de acuerdo con lo recomendado por Mansen (2006), siguiendo la ecuación 3.

Para facilitar la comprensión de la nomenclatura, se ha incorporado un ícono de interrogación. Al hacer clic sobre este, se desplegará una ventana emergente con información que servirá de apoyo para una mejor comprensión en el diseño de cada elemento principal de la bocatoma convencional.

C.4.3 Pestaña *Ventana de captación*

En la pestaña *Ventana de captación* (ver flujograma, sección 3), el diseño hidráulico es desarrollado para una época de estiaje, el cual supone un vertedero ahogado. Ello se comprobará mediante el coeficiente de sumersión, según el criterio de Bazin (ver ecuación 6).

El usuario deberá escoger una opción del espesor de la platina, así como ingresar el valor del espacio entre rejilla, el valor de (z) y de (y_2) . El software calculará el ancho estimado de la ventana de captación, conforme a lo propuesto por Krochin (1986) (ver ecuación 5).

C.4.4 Pestaña *Caudales*

En la pestaña *Caudales* (ver flujograma, sección 4) se contemplan dos escenarios: i) cuando las compuertas del canal de limpia están completamente cerradas; y ii) cuando las compuertas están totalmente abiertas.

En ambos casos el diseño hidráulico es desarrollado para máximas avenidas, por lo que, en el cálculo de flujos en vertederos libres, el coeficiente de descarga se obtiene por las gráficas experimentales según la USBR (Ver Figura 25).

C.4.5 Pestaña *Canal de limpia*

En la pestaña *Canal de limpia* (ver flujograma, sección 5), se ingresará el valor del caudal de limpia ya conocido, el coeficiente de Manning y la velocidad de arrastre. El software dará como resultado el ancho de la ventana de captación y la pendiente de canal de limpia de acuerdo con la fórmula de Manning (ver ecuación 9).

C.4.6 Pestaña *Perfil de la cresta*

En la pestaña *Perfil de la cresta* (ver flujograma, sección 6), la geometría de la cresta es adoptada de acuerdo con las gráficas experimentales desarrolladas por la USBR (ver Figura 17, Figura 18 y Figura 19).

Estas gráficas pueden visualizarse en el software al seleccionar la opción “ver gráficas”.

C.4.7 Pestaña *Colchón disipador*

En la pestaña de *Colchón disipador* (ver flujograma, sección 7), se ingresará el valor del tirante conjugado 1, calculado mediante el principio de conservación de energía de Bernoulli. El software dará como resultado la longitud del colchón disipador (como promedio de las ecuaciones 23, 24 y 25), el tirante normal, la profundidad de la poza y la longitud de escollera (ver ecuación 29). Cabe mencionar que para el cálculo de la longitud de escollera se sigue la recomendación de Bligh.

C.4.8 Pestaña *Disipadores*

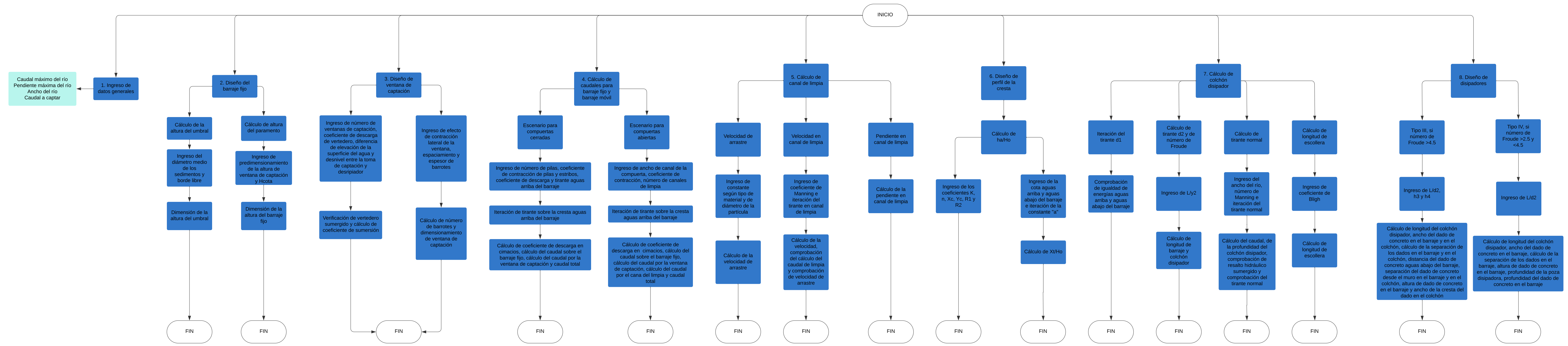
En la pestaña *Disipadores* (ver flujograma, sección 8), se sigue la recomendación de la USBR para diseñar estructuras de tipo III y IV sobre el colchón disipador (ver Figura 31, Figura 32 y Figura 34).

C.4.9 Pestaña *Muro de encauzamiento*

En la pestaña *Muro de encauzamiento* (ver flujograma, sección 9), se sigue la recomendación de Teran (1998) para definir el coeficiente \emptyset de acuerdo con la magnitud del caudal de avenida. El software calcula la altura del muro de encauzamiento (ver ecuación 2).

8.4. A continuación se muestra el flujograma del software TomaApp.

Flujograma del software TomaApp



8.5. Anexo D: Link de video Youtube de uso de TomaApp

En el siguiente enlace se encuentra un video demostrativo del uso del software TomaApp:

TomaApp: <https://www.youtube.com/watch?v=003O3ghvUhI>

