

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Diseño de canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software Hec-Ras, del tramo Km 0+000 al Km 2+120, del sector Mariño región Apurímac - 2023**

Asesor:

Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Autor:

Davila Delgado, Diomedes

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay - Apurímac – Perú

2024

## Acta de sustentación



# Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

### ACTA DE EXAMEN DE TITULACIÓN N°039-2024-EPIC-FI- UTEA- SA

Reunidos el Jurado Evaluador constituido por los señores Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes:

- MSc. Ing. Angel MALDONADO MENDÍVIL *PRESIDENTE*
- Ing. Marco Antonio MORALES HOLGUIN *DICTAMINANTE*
- Mag. Wilbert Ernesto ZEGARRA MOLINA *REPLICANTE*


y el (la) postulante al TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (a) CIVIL, Bachiller: **DAVILA DELGADO, Diomedes** con código de matrícula N°201020456-D.


Ha cumplido con las exigencias del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes, aprobado mediante resolución del Vicerrectorado Académico N°002-2024-UTEA-VRAC, de fecha 23 de enero del año 2024, respecto a la sustentación de tesis, para optar al título profesional de Ingeniero Civil.


SUSTENTACIÓN DE TESIS titulado: "Diseño de canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software Hec-Ras, del tramo Km 0+000 al Km 2+120, del sector Maríño región Apurímac-2023", habiendo aprobado con la nota de trece (13).

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 295.

Abancay, 26 de noviembre 2024.

  
\_\_\_\_\_  
MSc. Ing. Angel MALDONADO MENDÍVIL  
PRESIDENTE

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Marco Antonio MORALES HOLGUIN  
DICTAMINANTE

  
\_\_\_\_\_  
Mag. Wilbert Ernesto ZEGARRA MOLINA  
REPLICANTE

## Reporte de Similitud

# DIOMEDES DAVILA

## DAVILA DELGADO\_DIOMEDES\_INGENIERÍA CIVIL (1)

Revisión-tesis-C/D

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:536303462

Fecha de entrega

4 dic 2025, 9:11 GMT-5

Fecha de descarga

4 dic 2025, 9:18 GMT-5

Nombre del archivo

DAVILA DELGADO\_DIOMEDES\_INGENIERÍA CIVIL (1).docx

Tamaño del archivo

6.9 MB

69 páginas

12.400 palabras

69.334 caracteres


## 25% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...


### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Fuentes principales

23%  Fuentes de Internet

1%  Publicaciones

19%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>	
Apellidos y Nombres	: Davila Delgado, Diomedes
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 72699821
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0009-0000-2221-2889">https://orcid.org/0009-0000-2221-2889</a>
<b>Datos del Asesor</b>	
Apellidos y Nombres	: Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 06532658
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0000-0001-7299-5367">https://orcid.org/0000-0001-7299-5367</a>
<b>Datos de la Investigación</b>	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la Investigación	: 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 25%
URL de OCDE	: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mi madre Madeline Delgado Serrano quien con amor incondicional me ayudó en todo momento en mis objetivos académicos y a mi padre Saúl Davila Villalta quien me apoyó y brindó su guía y conocimiento durante la elaboración de mi tesis.

Diomedes, Davila Delgado.

## **Agradecimientos**

En la Universidad Tecnológica de los Andes, un centro de enseñanza superior destacado en la región de Apurímac, que está formando grandes profesionales para el servicio de la sociedad.

A los ingenieros civiles que, con dedicación, paciencia y sacrificio, han compartido sus saberes y vivencias para enriquecer mi formación profesional.

Igualmente, a los profesores y expertos en ingeniería civil de la facultad de ingeniería civil, quienes generosamente compartieron su tiempo, esfuerzo y sabiduría para ayudarnos a alcanzar nuestras metas.

Diomedes, Davila Delgado.

## Resumen

Los sistemas de riego basados en canales presentan importantes retos en su planificación, porque no existe un método estándar ni una normativa específica que regule cómo deben planificarse. Esta ausencia de lineamientos dificulta prever el comportamiento hidráulico de las secciones y de la geometría del canal en conjunto. Por ello, se requiere recurrir a programas especializados que permitan un análisis detallado de todo el sistema.

El objetivo central de esta investigación es determinar de qué manera la utilización del software Hec-Ras, con el fin de alcanzar la condición de eficiencia hidráulica máxima en el tramo comprendido entre el km 0+000 y el km 2+120 del sector Mariño, Apurímac, 2023.

Para cumplir este propósito se desarrolló un estudio de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y descriptivo. Primero se analizó el movimiento del agua estimando el volumen requerido para atender las necesidades de riego y se verificó el comportamiento del canal bajo 3 pendientes distintas. Posteriormente, en cada tramo se representaron la curva de energía, el tirante normal, el tirante crítico, el salto hidráulico y las curvas de remanso, identificando la forma de la lámina de agua en cada sección. La simulación hidráulica con Hec-Ras permitió evidenciar su influencia en la planificación del tramo estudiado del canal de riego, al identificar la alternativa con mejor desempeño hidráulico y facilitar la representación de la dinámica del flujo. Finalmente, el diseño obtenido se contrastó empleando el programa Hcanales, siguiendo las recomendaciones del US Bureau of Reclamation.

*Palabras claves:* Software Hec-Ras, eficiencia hidráulica máxima, modelación hidráulica.

## **Abstract**

Canal-based irrigation systems present significant planning challenges because there is no standard method or specific regulations governing their design. This lack of guidelines makes it difficult to predict the hydraulic behavior of the canal sections and the overall canal geometry. Therefore, specialized software is required to enable a detailed analysis of the entire system.

The central objective of this research is to determine how the Hec-Ras software can be used to achieve maximum hydraulic efficiency in the section between km 0+000 and km 2+120 of the Mariño sector, Apurímac, in 2023.

To achieve this objective, an applied study with a quantitative and descriptive approach was conducted. First, the water flow was analyzed, estimating the volume required to meet irrigation needs, and the canal's behavior was verified under three different slopes. Subsequently, the energy curve, normal depth, critical depth, hydraulic jump, and backwater curves were plotted for each section, identifying the shape of the water surface. Hydraulic simulation with Hec-Ras demonstrated its influence on the planning of the studied irrigation canal section by identifying the alternative with the best hydraulic performance and facilitating the representation of flow dynamics. Finally, the resulting design was validated using the HCANALES program, following the recommendations of the US Bureau of Reclamation.

*Keywords:* Hec-Ras software, maximum hydraulic efficiency, hydraulic modeling.

## Índice general

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Acta de sustentación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Reporte de Similitud</b> .....	<b>iii</b>
<b>Metadatos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>vi</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice general</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>xi</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xii</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>xiii</b>
<b>I. Introducción</b> .....	<b>14</b>
<b>II. Planteamiento del problema</b> .....	<b>16</b>
2.1 Descripción y formulación del problema .....	16
2.2 Objetivos .....	18
2.2.1 Objetivo General.....	18
2.2.2 Objetivos Específicos.....	18
2.3 Justificación e importancia.....	18
2.4 Hipótesis.....	19
2.5 Variables.....	19
<b>III. Marco Teórico</b> .....	<b>21</b>
3.1 Antecedentes .....	21
3.2 Bases teóricas .....	26

3.3 Definición de términos .....	39
<b>IV. Metodología .....</b>	<b>44</b>
4.1 Tipo y nivel de investigación .....	44
4.2 Ámbito temporal y espacial.....	44
4.3 Población y muestra .....	44
4.4 Instrumentos .....	45
4.5 Procedimientos .....	45
4.6 Análisis de datos.....	46
4.7 Consideraciones éticas .....	48
<b>V. Resultados y discusión .....</b>	<b>49</b>
<b>VI. Conclusiones .....</b>	<b>55</b>
<b>VII. Recomendaciones.....</b>	<b>56</b>
<b>VIII. Referencias.....</b>	<b>57</b>
<b>IX. Anexos .....</b>	<b>62</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	20
<b>Tabla 2</b> Taludes óptimas para canales excavados en diferentes tipos de suelos .....	32
<b>Tabla 3</b> Caudal para cada tramo .....	49
<b>Tabla 4</b> Pendientes a considerar en cada tramo .....	49
<b>Tabla 5</b> Tirantes en cada tramo.....	49
<b>Tabla 6</b> Tirante crítico en los tramos .....	50
<b>Tabla 7</b> Caídas verticales a considerar.....	50
<b>Tabla 8</b> Caídas verticales a considerar.....	50
<b>Tabla 9</b> Elemento Geométrico en cada tramo.....	50

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b>	Regímenes de los flujos .....	27
<b>Figura 2</b>	Detalle Unidimensional del río .....	28
<b>Figura 3</b>	Curva donde determinar su tirante .....	31
<b>Figura 4</b>	Ancho de tirante de canal revestido .....	33
<b>Figura 5</b>	Dimensiones ideales de banquetas en canales .....	34
<b>Figura 6</b>	Secciones de máximo rendimiento hidráulico .....	37
<b>Figura 7</b>	Taludes eficientes.....	37
<b>Figura 8</b>	Ubicación del canal de estudio.....	46
<b>Figura 9</b>	Tramo del km 0+000 al km 2+120 .....	51

## Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> Matriz de consistencia .....	64
<b>Anexo 2</b> Matriz de operacionalización de variables .....	65
<b>Anexo 3</b> Panel fotográfico .....	66

## **I. Introducción**

En la búsqueda de perfeccionar los diseños de infraestructuras hidráulicas esenciales para el riego, la hidráulica ha experimentado un avance notable en tiempos recientes al incorporar herramientas informáticas para simular el flujo, lo que brinda una visión más precisa de su comportamiento en la realidad.

En el presente trabajo se desarrolla un análisis orientado al levantamiento topográfico–geométrico del canal, en el que la definición de sus condiciones hidráulicas y la modelación numérica tienen un rol fundamental para lograr un sistema de riego con desempeño hidráulico óptimo. Para ello, se utiliza el software Hec-Ras en el diseño del tramo comprendido entre el km 0+000 y el km 2+120, ubicado en el sector Mariño, región Apurímac, durante el año 2023.

Se observa que el software Hec-Ras Muestra con exactitud la corriente de este canal, donde se incorpore la sección y la superficie correcta. Se destaca la relevancia de llevar a cabo un detallado estudio topográfico y geométrico, junto con el análisis de las propiedades hidráulicas, para lograr un diseño óptimo del canal de riego. Se confirma estas propiedades hidráulicas que son obtenidas del programa Hec-Ras guardan similitud con el modelo del US Bureau of Reclamation. Se ejecuta este eficiente diseño con su máxima precisión hidráulica empleando el programa Hec-Ras en su segmento que abarca desde el kilómetro. 0+000 al 2+120 del sector Mariño en la región de Apurímac en 2023. Este enfoque permitirá mejorar el funcionamiento hidráulico del canal en su totalidad, confirmando la idoneidad del software Hec-Ras para la visualización y el estudio de los patrones de este flujo de canal.

Está organizado en cinco capítulos. En el primero se expone la investigación, el problema principal, los objetivos, la justificación, el alcance, las limitaciones y la viabilidad del estudio. El segundo capítulo desarrolla los fundamentos teóricos relacionados con el diseño del canal de riego para obtener un desempeño hidráulico eficiente, apoyándose en la

modelación con el software Hec-Ras. En el tercer capítulo se describe de manera detallada la metodología utilizada para ejecutar la investigación,

incluyendo su clasificación y organización interna. Asimismo, se presentan ejemplos, técnicas de investigación y procedimientos para el tratamiento y análisis de la información estadística, junto con el cronograma de actividades previsto para ejecutar el estudio. En el cuarto capítulo se expone el desarrollo de la investigación orientada a identificar los efectos hidráulicos generados por las variaciones de pendiente y de las secciones transversales, así como la verificación del diseño mediante el uso del software Hec-Ras y otras herramientas de simulación hidráulica. Este programa genera datos numéricos y visuales que permiten analizar las diversas variables hidráulicas y así tomar una decisión más precisas en el diseño. En el quinto apartado, se lleva a cabo la evaluación y la explicación de los resultados obtenidos al diseñar el canal con la mayor eficacia hidráulica posible utilizando el programa Hec-Ras.

## **II. Planteamiento del problema**

### **2.1 Descripción y formulación del problema**

En los proyectos de sistemas de riego se suelen presentar distintos inconvenientes, ya sea en la etapa de planificación, durante la ejecución de las obras o en la fase operativa. En los últimos años, diversas entidades del Estado y empresas privadas del país han impulsado programas y obras destinadas a ampliar, rehabilitar o construir nueva infraestructura de riego. A pesar de ello, muchas de estas instalaciones no operan conforme a los planos establecidos, lo que impide alcanzar los cambios deseados para disminuir los gastos de inversión y aumentar la eficacia en el manejo del agua, así como la productividad en la agricultura.

Mayormente, los conductos de agua que se construyen en el territorio suelen deteriorarse rápidamente, volviéndose ineficaces o, en el peor de los casos, quedando inutilizables. Con el objetivo de solucionar esta situación y garantizar la efectividad de los sistemas de riego, resulta fundamental identificar y analizar el grado de eficacia en la conducción de los canales. Esto implica estudiar detenidamente el desempeño de las secciones y la estructura lineal, para obtener datos relevantes sobre sus propiedades hidráulicas y demás elementos en un contexto de flujo continuo y transitorio mediante simulaciones.

En numerosos proyectos hidráulicos de la región de Apurímac, se presenta esta dificultad: Los sistemas de irrigación están fallando de manera óptima y en ocasiones son dejados, ya que no son útiles para los agricultores en sus labores de cultivo. En la provincia de Abancay, en la región de Apurímac, se encuentra un terreno montañoso con variados climas que impactan en la planificación de proyectos hidráulicos. Esta situación se ve agravada por la falta de regulaciones o directrices para la creación de diseños hidráulicos y en el ámbito general de la ingeniería hidráulica.

En la actualidad, la zona Mariño del estudio está siendo utilizada, aunque presenta tramos deteriorados, una sección excesivamente grande, Pequeñas pendientes y desequilibrios en el terreno que provocan la retención de agua. Donde se nota la existencia de vegetación y árboles en los dos lados del canal, sin embargo, no cuenta con áreas de descanso. En el canal se pueden apreciar creaciones artísticas como las tomas que son laterales, cruces de la vía y retención rústica, las cuales ya no están en funcionamiento debido a su antigüedad. Con el fin de abordar la situación mencionada previamente, se propuso diseñar el canal de riego de manera óptima en términos hidráulicos.

### ***2.1.1 Problema general***

- ¿En qué medida la aplicación del software Hec-Ras influirá en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica, del tramo km 0+000 al km 2+120, del Sector Mariño región de Apurímac?

### ***2.1.2 Problemas específicos***

- ¿Cómo incide la información obtenida del levantamiento topográfico y geométrico en el diseño del canal de riego a máxima eficiencia hidráulica, empleando el software Hec-Ras, en el tramo del km 0+000 al km 2+120 del sector Mariño, región de Apurímac?
- ¿Cómo incide las condiciones hidráulicas del canal condicionan el diseño para lograr la máxima eficiencia hidráulica con el uso de Hec-Ras en el tramo comprendido entre el km 0+000 y el km 2+120 del sector Mariño, región de Apurímac?
- ¿Cómo incide la simulación y modelación numérica realizada en Hec-Ras en la definición del diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica en el tramo del km 0+000 al km 2+120 del sector Mariño, región de Apurímac?

## **2.2 Objetivos**

### **2.2.1 Objetivo General**

- Determinar cómo el uso del software Hec-Ras incide en el diseño del canal de riego para alcanzar la máxima eficiencia hidráulica en el tramo comprendido entre el km 0+000 y el km 2+120 del sector Mariño, región Apurímac.

### **2.2.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la influencia del levantamiento topográfico y geométrico en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software Hec-Ras del tramo km 0+000 al km 2+120 del Sector Mariño región de Apurímac.
- Evaluar la influencia de las características hidráulicas en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software Hec-Ras del del tramo km 0+000 al km 2+120 del Sector Mariño región de Apurímac.
- Evaluar la influencia de la modelación numérica en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software Hec-Ras del tramo km 0+000 al km 2+120 del Sector Mariño región de Apurímac.

## **2.3 Justificación e importancia**

La razón académica de esta tesis radica en la posibilidad de proponer un enfoque innovador para implementar el modelo hidráulico en la planificación del canal de riego. Esto surge ante el desafío de la ineficiencia en la conducción y la escasez de investigaciones que emplean la modelización numérica. De esta manera, se adquirirán nuevos conocimientos especializados que enriquecerán el ámbito académico de los futuros profesionales de la Ingeniería Civil y Agrícola.

La relevancia de esta investigación radica en su potencial para favorecer a numerosos agricultores que se encuentran en un radio de 2 kilómetros del canal de riego en la región de

Apurímac. Se espera que esta tesis beneficie a más de 400 hectáreas de terreno cultivable al facilitar un aumento en la productividad de las áreas de cultivo.

## **2.4 Hipótesis**

### ***2.4.1 Hipótesis general***

- El uso del software Hec-Ras afecta de manera significativa el diseño del canal de riego orientado a la máxima eficiencia hidráulica en el tramo comprendido entre el km 0+000 y el km 2+120 del sector Mariño, región Apurímac.

### ***2.4.2 Hipótesis específicas***

- Se plantea que el levantamiento topográfico y geométrico se relaciona directamente con la definición de la pendiente de diseño del canal de riego a máxima eficiencia hidráulica, mediante el software Hec-Ras, en el tramo del km 0+000 al km 2+120 del sector Mariño, región de Apurímac.
- Las condiciones hidráulicas del canal influyen de forma significativa en la configuración de la sección típica para lograr la eficiencia hidráulica máxima con apoyo del software Hec-Ras, en el tramo km 0+000–km 2+120 del sector Mariño, región de Apurímac.
- La modelación numérica realizada en Hec-Ras permite analizar distintas variables y obtener resultados prácticos que inciden en el diseño del canal de riego con eficiencia hidráulica máxima en el tramo comprendido entre el km 0+000 y el km 2+120 del sector Mariño, región de Apurímac.

## **2.5 Variables**

**Variable dependiente (VD):** Máxima eficiencia hidráulica del canal

**Variable independiente (VI):** Software Hec-Ras

**Tabla 1***Operacionalización de variables*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
<b>Variable D:</b> Máxima eficiencia hidráulica del canal	Los canales de riego o caces (en singular caz) tienen la función de conducir el agua desde la captación hasta el campo o huerta donde será aplicado a los cultivos. Son obras de ingeniería importantes, que deben ser cuidadosamente pensadas para no provocar daños al ambiente y para que se gaste la menor cantidad de agua potable (Castellanos, H., Collazos C., Farfan, J. y Melendez, F. 2017, Vol.28, p.103)	Puede decirse que la función primordial de la operación consiste en el manejo y control de los cambios de gasto y de niveles a través de la red de canales. Así pues, el termino de operación se refiere al control hidráulico por medio de acciones, herramientas, equipos, estructuras de control y entrega e infraestructura específicas; el cual se debe llevar a cabo dentro de la red de conducción V distribución a fin de satisfacer o complementar las necesidades hídricas de cultivos mediante el riego.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Operatividad del canal</li> <li>•Estado del canal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sección hidráulica</li> <li>•Tirante normal</li> <li>•Tirante critico</li> <li>•Curva de energía</li> <li>•Resalto hidráulico</li> <li>•Curvas de remanso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tipo de material pendientes capacidad de flujo</li> <li>•Capacidad de flujo</li> </ul>
<b>Variable I:</b> Software Hec-Ras	<b>Hec-Ras</b> (Hydrological Engineering Center-River Analysis System) es un programa de modelación hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos: modelación de flujo en régimen permanente, modelación del transporte de sedimentos, análisis de calidad de aguas. (Torrez, J. 2017, P.45)	Este software nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua, incluso podemos incluir en el modelo la existencia de obras hidráulicas como puentes, conducciones, presas, etc, por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Diseño del canal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Trazo preliminar</li> <li>•Pendiente longitudinal</li> <li>•Sección transversal</li> <li>•Velocidad horizontal</li> <li>•Caudal</li> <li>•Coeficiente de Manning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Software HEC - RAS</li> </ul>

*Nota.* Define todo el proceso para encontrar las variables como los cálculos y programas donde la definición conceptual son definiciones con cita la definición operacional es como obtuvo o cual es el proceso para determinar las variables, y razón que son valores numéricos.

### III. Marco Teórico

#### 3.1 Antecedentes

Razzaq y Anmar (2024) en el artículo *Application of Hec-Ras Software for Steady and Unsteady Hydraulic Simulation of Al-Musayyab Canals (Iraq)*, tuvieron por objetivo caracterizar hidráulicamente un canal principal de 49.5 km y sus ramas para reducir desbordes recientes. Su metodología implementó Hec-Ras v6.3 con 175 secciones transversales, calibrando y verificando modelos permanente y no permanente con caudales 25–45 m<sup>3</sup>/s. En los resultados, el modelo ajustado arrojó un n de Manning = 0.025 ( $R^2=0.9984$  en no permanente; RMSE=0.1196), niveles de lámina 26.32–31.78 m (permanente) y 26.58–33.12 m (no permanente), velocidades 0.20–0.98 m/s y 0.22–0.89 m/s, e identificó zonas de riesgo entre las estaciones 6.75–24.75 km que requieren corrección geométrica y/o sobreelevación de diques. Se concluye que la simulación 1D de flujo permanente/no permanente en Hec-Ras permite seleccionar rugosidades y operar compuertas para restituir la capacidad de conducción y mitigar inundaciones en canales de riego extensos.

Zahran y AbdelMeged (2024) estudiaron el canal Al-Qaraqoul (Egipto) para evaluar la rehabilitación y el diseño de una sección ideal con Hec-Ras. El objetivo fue cuantificar cómo cambian los niveles y el abastecimiento lateral a mesqas antes y después de las obras. La metodología usó Hec-Ras calibrado con un escenario real ( $Q=2.2$  m<sup>3</sup>/s), y simuló cuatro descargas: 1.82, 3.7, 2.2 y 7.87 m<sup>3</sup>/s. Entre los resultados, tras rehabilitar se estabilizó el tirante a lo largo del canal; con  $Q=7.87$  m<sup>3</sup>/s se abasteció longitudinal y lateralmente sin bombeo, y una sección ideal ( $b=2.5$  m,  $y=1.8$  m,  $z=1$ ,  $S=10$  cm/km,  $n=0.0167$ ) logró la misma funcionalidad con 40 % menos costo que la alternativa construida. Se concluye que la rehabilitación, verificada en Hec-Ras, mejora la eficiencia de entrega y que optimizar la sección reduce costos y pérdidas por sedimentación.

Owino y Mukolwe (2023) modelaron con Hec-Ras el tramo de cola del Ahero Irrigation Scheme (Kenia) para optimizar la capacidad de conducción. El objetivo fue cerrar el déficit de agua en el extremo inferior. La metodología recopiló 26 secciones cada 100 m a lo largo de 2.6 km del canal, ejecutando un análisis subcrítico estacionario (2D) con coeficientes de contracción/expansión 0.1/0.3 y  $n=0.05-0.08$  según Chow. En los resultados, la capacidad manual del canal sin mantenimiento fue  $0.228 \text{ m}^3/\text{s}$  frente a un requerimiento CROPWAT  $\approx 0.3166 \text{ m}^3/\text{s}$  (-28 %); la simulación proyectó una capacidad óptima promedio  $0.583 \text{ m}^3/\text{s}$ , recomendando desazolve, nivelación y revestimiento en concreto para recuperar el desempeño. Se concluye que Hec-Ras permite priorizar acciones de mantenimiento para incrementar al menos 40 % el flujo disponible al extremo de la red.

Delgado y La Torre (2022) en “Diseño del canal López Tramo Km 0+000 – 1+000, utilizando Hec-Ras, Cachiche – Ica”, buscaron evaluar y modelar el canal existente y proponer un diseño de máxima eficiencia. La metodología incluyó gabinete–campo–gabinete: recopilación de datos, levantamiento topográfico, evaluación hidráulica y modelación en Hec-Ras. Entre los resultados: en la situación actual las velocidades están por debajo de  $0.8 \text{ m/s}$  (umbral mínimo para canal natural) y existen zonas próximas al desborde; la propuesta M.E.H. posicionó las velocidades dentro de rangos permisibles y definió sección con base libre  $0.70 \text{ m}$  y altura  $0.50 \text{ m}$ . Se concluye que la reconfiguración geométrica y el modelamiento garantizan desempeño hidráulico adecuado.

Domínguez (2022) en “Diseño mediante el software Hec-Ras de un canal de riego Garbanzo–Ingenio–Conchumayo–El Valle, km 0+000 al km 3+060 (Huánuco)”, planteó como objetivo identificar factores físicos y geomorfológicos para el diseño de un canal con apoyo de modelación. La metodología fue aplicada, con topografía por tramos y simulación en Hec-Ras (flujo permanente); se fijó caudal  $Q=0.26 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $n=0.009$ , y se evaluaron pendientes reales por tramo (0.0043 %, 0.0005 %, 0.00066 %, 0.00057 %). En los resultados,

el programa reprodujo niveles y energías específicas; se compararon tirantes reales (0.525 m) y calculados (0.277–0.415 m) y anchos reales (0.61 m) vs. calculados (0.320–0.479 m), verificando capacidad hidráulica y remansos. Se concluye que Hec-Ras permite ajustar dimensiones (ancho, tirante, radio hidráulico) para el diseño con máxima eficiencia a lo largo de los 3.06 km.

Manrique (2024) en “Evaluación de eficiencia hidráulica del canal de abastecimiento entre las centrales hidroeléctricas Charcani III, I y II, Cayma – Arequipa (2023)”, tuvo como objetivo determinar la eficiencia hidráulica del canal de abastecimiento. La metodología fue no experimental con simulación en Hec-Ras 6.4.1. Los resultados reportan eficiencias de 75.11 % en el Tramo 1 (Charcani I–II) y 87.83 % en el Tramo 2 (Charcani III–I); además, los tramos transportan en promedio 66 % y 83 % de su capacidad respectivamente, observándose pérdidas por filtraciones y deterioro de juntas. Se concluye que un nuevo revestimiento y uniformización del flujo elevarían la eficiencia y la producción eléctrica. (Manrique Yahua, 2024).

Qquenaya y Mamani (2025) en “Diseño de canal de riego por gravedad con máxima eficiencia hidráulica en el Centro Poblado Pacastiti – Asillo, Azángaro – Puno”, tuvieron como objetivo diseñar un canal 1.796 km con máxima eficiencia y verificación en Hec-Ras 5.07. La metodología integró inspección, topografía, hidrología y mecánica de suelos (arena con limo y arcilla de baja plasticidad; humedad 15.70 %; capacidad de carga 0.779–0.919 kg/cm<sup>2</sup>). En los resultados se obtuvo  $Q=0.354$  m<sup>3</sup>/s,  $v=1.136$  m/s,  $S=0.2$  %,  $n=0.014$  y una sección trapezoidal subcrítica con  $b=0.49$  m,  $y=0.42$  m,  $T\approx 0.98$  m; se diseñaron compuertas, caída vertical, tomas laterales y juntas cada 2.5 m. Se concluye que el diseño propuesto, verificado en Hec-Ras, cumple criterios hidráulicos y constructivos para operación estable. (Qquenaya Qquenaya y Mamani Quispe, 2025).

Tambra (2021) en su tesis “diseño y simulación del canal de conducción reyes del km 12+633.39 al km 13+333.39, con el modelo numérico Hec-Ras 4.1.0, para mejorar su eficiencia hidráulica, en el distrito de tambo, provincia de huaytará, huancavelica-2021”, tuvo como objetivo mejorar la eficiencia hidráulica del canal Reyes (distrito de Tambo, Huancavelica) mediante diseño y modelación. La metodología fue aplicada con aforos y levantamiento; se modeló flujo permanente en Hec-Ras 4.1.0, comparando la condición actual (canal de tierra) con alternativas de mejora, incluyendo secciones de máxima eficiencia y tuberías. En los resultados, el canal actual condujo  $Q=0.04 \text{ m}^3/\text{s}$  frente a  $Q \text{ disponible}=0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ , con eficiencia 66.67 % y tramos supercríticos ( $S=0.22295 \text{ m/m}$ ); se propuso secciones  $0.40 \times 0.30 \text{ m}$  y  $0.20 \times 0.20 \text{ m}$  y, como alternativa, PVC  $\text{Ø}400$  y  $\text{Ø}200 \text{ mm}$ , logrando conducción al 100 % y recomendando poza disipadora al final. Se concluye que la simulación en Hec-Ras permite ajustar secciones y pendientes para eliminar pérdidas y garantizar la conducción de diseño.

Espinoza (2016) llevó a cabo su investigación de posgrado centrada en un proyecto de ingeniería. Se encargó de crear un conducto rectangular que funcionará de manera óptima. Para lograr este objetivo, Espinoza señaló la importancia de tener en cuenta una amplia gama de especificaciones técnicas. Esto asegura la obra que cumpla con estándares que requiera, especialmente en el campo de la hidráulica. Varios escritores, como Chezy, Pavlovski y Manning, han presentado sus propias teorías para explicar el movimiento en conductos abiertos, lo que brinda la oportunidad de identificar el diseño más óptimo antes de comenzar a trabajar en un proyecto hidráulico.

Cabrera y Racines (2015) Se llevó a cabo un estudio en el que se creó un plan preliminar para los elementos de flujo continuo, tales como las construcciones hidráulicas que operan a la presión del aire ambiente: captación, transporte y eliminación de arena. Mediante la herramienta informática Hec-Ras, se materializan al diseño y la modelización y

su particularidad hidráulica, lo que posibilita un examen unidireccional del flujo de agua. Además, llevan a cabo simulaciones tanto con flujo constante como variable para estudiar el comportamiento del agua en la estructura.

Pérez (2013) según su estudio, la modelización física y mecánica, aludiendo al modelo real, consiste en emplear una serie de instrucciones basadas en una fórmula matemática para poder simular de manera abstracta su comportamiento.

Ambroj (s.f.) se destaca la importancia de supervisar los canales de riego desde el momento en que el agua comienza a fluir por ellos. Al hacerlo, se logra tener un mayor control sobre esta infraestructura y se garantiza que se cumplan los objetivos fundamentales de regular. Se debe controlar cuidadosamente el nivel de agua y los flujos para evitar cambios repentinos en la provisión de agua a los consumidores.

Torres (2017) según su estudio, se señala que el programa Hec-Ras se basa en diversas suposiciones y simplificaciones, por lo que es fundamental emplearlo con precaución. Según Torres, la hidráulica ha experimentado un avance significativo en los últimos años gracias al desarrollo de programas informáticos especializados en la simulación de fenómenos hidráulicos. Esto posibilita una comprensión más profunda del comportamiento del flujo, ya que facilita la representación visual de los resultados. Esto es especialmente relevante dado que la mayoría de los diseños se basan en enfoques.

Espir y Morales (2015) dentro de su estudio se analiza la evaluación en el canal Chaquin en el Sistema de Riego de Valle Viru, donde examinan sus propiedades hidráulicas de la primera sección. Estas propiedades son resultado de la modificación en la forma, inclinación y dirección que influyen en el flujo del canal. Se llevó a cabo una representación virtual así ajustar Múltiples factores que influyen en el cauce. Se recopiló datos sobre la forma y la elevación del canal para luego introducirlos en el software y así examinar detalladamente las propiedades, apoyándose en la fórmula experimental para su análisis en

dos dimensiones. Espir y Morales sugiere es importante analizar estos diseños de manera integral para poder evaluar un sistema completo, lo que puede conducir a obtener resultados que difieran del diseño original. Además, se destaca la importancia de realizar un análisis tanto unidimensional como bidimensional.

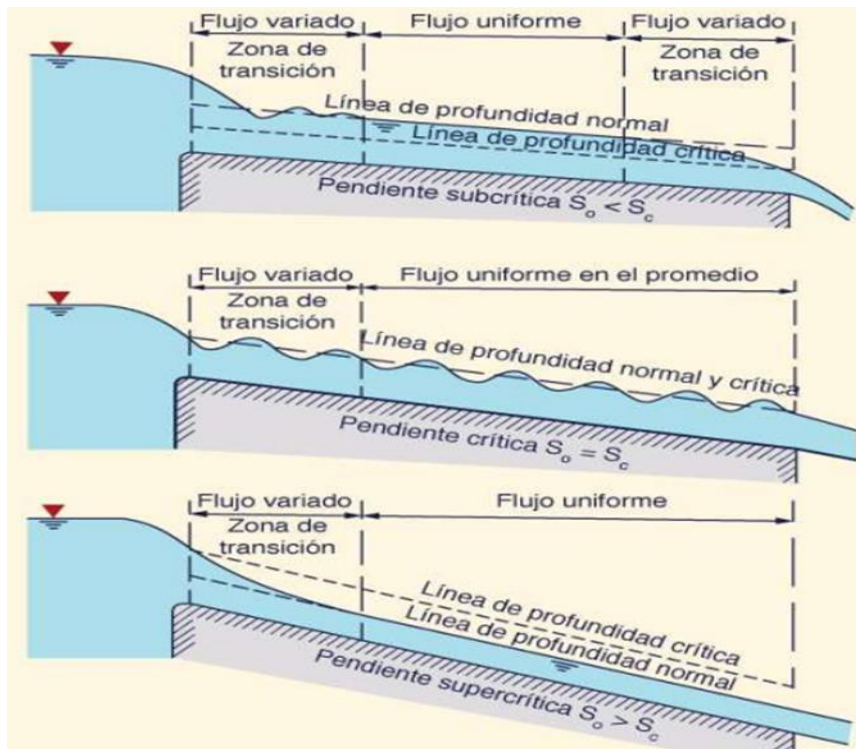
### 3.2 Bases teóricas

#### Sección de máxima eficiencia hidráulica del canal

En diseño de canales a superficie libre, una sección de máxima eficiencia hidráulica es aquella que, para una pendiente de fondo y una rugosidad dadas, transporta el mayor caudal (o equivalente, tiene la máxima conductancia al minimizar el perímetro mojado para un área de flujo dada; por eso, optimizar la sección equivale a maximizar el radio hidráulico. En términos prácticos, el criterio se aplica con la ecuación de Manning, y las condiciones óptimas clásicas producen relaciones geométricas cerradas para secciones rectangulares y trapezoidales). Estas condiciones y su derivación se presentan en textos de hidráulica de canales y guías de riego, y son la base para diseños de canales de riego eficientes y estables (Chaudhry, 2008; SABI, 2025; Autoridad Nacional del Agua, 2010)

#### Régimen de Flujos:

- **Flujos permanentes.** Es la parte de un canal, la profundidad del agua se mantiene invariable en todo momento.
- **Flujo no permanente.** Si el nivel del líquido no se mantiene constante en función del tiempo.
- **Flujo uniforme.** El largo del canal, su velocidad promedio se mantienen constantes en relación con la distancia recorrida, es decir, en cualquier parte del canal.
- **Flujos variados.** Su rapidez promedio varía en diferentes partes del canal y no se mantiene constante.

**Figura 1***Regímenes de los flujos*

*Nota.* Se observa las pendientes de subcrítica, crítica y supercrítica, donde los valores para sub crítica son menores a 1, crítica es igual a 0 y supercrítica es mayor a 1, y podemos ver el comportamiento bajo estas tres condiciones, por Chow. 1995.

**Dimensión del modelo numérico:** Se crearon muchos modelos matemáticos con el propósito de resolver cuestiones relacionadas con el movimiento del agua. En la actualidad, los modelos pueden abordar una amplia variedad de situaciones con diferentes condiciones de flujo, incorporando pautas para abordar la transferencia de los sedimentos, su dispersión de las sustancias que contaminan, la calidad en el agua e incluso la simulación de los entornos donde viven los animales.

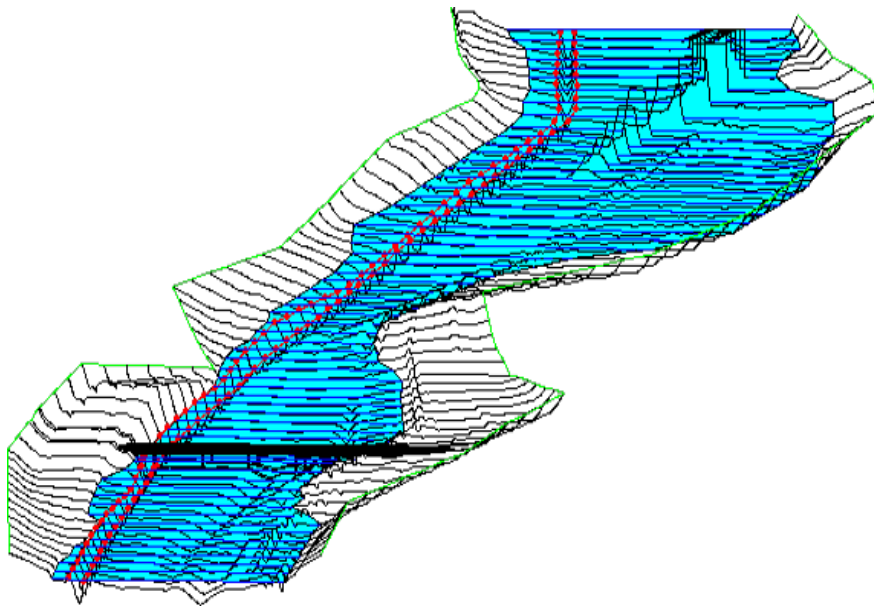
**Modelo unidimensional (1D):** Este modelo unidimensional una dimensión se destaca sobre las otras dos a lo largo del curso del río o canal. A través de cortes transversales se introduce la información topográfica e hidráulica, con el fin de determinar el nivel del agua y la velocidad media en toda la sección, sin tener en cuenta los cambios horizontales y

verticales, asume el flujo tiene que ser perpendicular a esta sección transversal de forma predeterminada.

Estos diseños pueden ser utilizados en secciones extensas de canales y ríos, así se ilustra en la figura 2, con el propósito es de calcular la altura máxima.

## Figura 2

*Detalle Unidimensional del río*



*Nota.* Se observa en la figura el cauce que puede generar o modelar es software de Hec-Ras y se puede hacer una simulación del río con su máxima avenida y también sus curvas de nivel, por Manual Hec-Ras (2014).

**Formula de la energía:** Sotelo (1997, p.9): “esta expresión matemática que describe la energía en un flujo constante e incompresible en una sola dirección se deriva de la siguiente ecuación diferencial.”

$$\frac{d}{ds} \left( z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g} + h_r \right) = 0$$

Donde:

S= coordenadas curvilíneas siguiendo el eje del canal sobre la plantilla.

$Z$ = carga de posición medida desde el plano de referencia hasta la plantilla de la sección, en m.

$p$ = carga de presión sobre la plantilla de la sección, en m g aceleración de gravedad, en m/seg<sup>2</sup>

$H_r$ = pérdida interna de energía, en m.

$V$ = velocidad media en la sección, en m/seg. S

$\alpha$ = coeficiente de Coriolis para corregir el efecto de la distribución irregular de velocidades en la sección.

Educación de Bernoulli:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g} + h_r = \text{constante}$$

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \sum_1^2 h_r$$

Donde:

$\sum h_r$ = Es la pérdida interna de la energía entre dos secciones.

**Formula de cantidad del movimiento:** Según Sotelo (1997, p.10): “esta fórmula se expresa en dos partes 1 y 2 del flujo constante en una dimensión se convierte en la ecuación.”

$$\vec{F}_p + \vec{F}_z + \vec{F}_c = \rho [Q\beta\vec{V}]_2 - \rho [Q\beta\vec{V}]_1$$

Donde:

$F_p$ = Fuerza que resultante por acción a presiones.

$F_p$  = Fuerza de esfuerzo cortante sobre la pared del canal kg.

$F_z$ = Fuerza por acción a los pesos propios kg.

$Q$ = Gasto de sección m<sup>3</sup> /seg.

$V_1$  = Vector velocidad m/seg.

**Formula de continuidad:** Según Sotelo (1997, p.9): “esta fórmula de continuidad es para el flujo constante y unidimensional.”

$$\frac{\partial(\rho VA)}{\partial s} = 0$$

Donde:

$\rho$ = La Densidad de líquido kg seg<sup>2</sup> /m<sup>4</sup>.

$V$ = La Velocidad de media m/seg.

$A$ = El Área hidráulica m<sup>2</sup>.

$s$ = La Coordenada curvilínea m.

Integración entre las dos secciones 1 y 2:

$$VA = \text{Constante}$$

$$V_1A_1 = V_2A_2$$

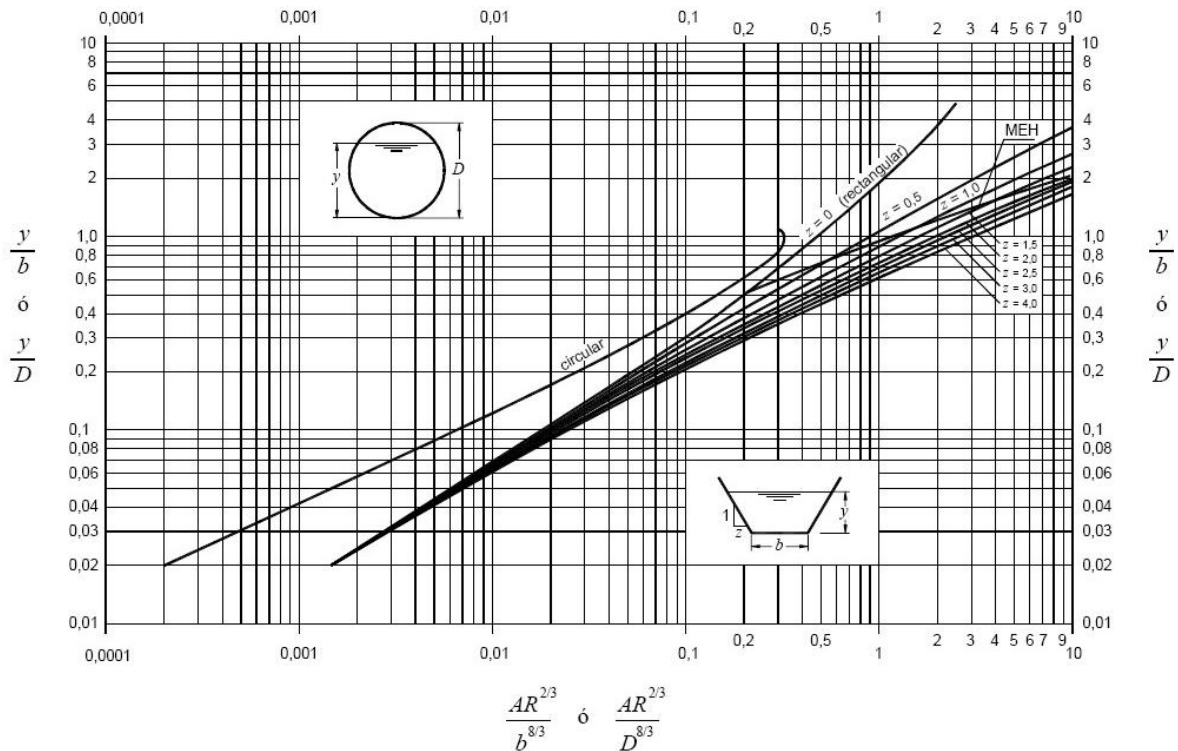
## **Diseño hidráulico de canales**

### **El diseño de las secciones convenientes**

Según Sotelo (1997): La dificultad surge principalmente al considerar datos como el flujo de agua a transportar ( $Q$ ), la inclinación ( $S$ ) disponible según su topografía y su aspereza ( $n$ ) de las paredes de un canal. A partir con este dato, es posible calcular un solo valor para el módulo de sección  $A$  mediante la ecuación mencionada elevando  $Rh$  a la potencia de dos tercios. No obstante, según se aprecia en la ilustración 3, un solo factor puede ser cubierto de diversas maneras con diferentes secciones, siendo más eficaz que otro, sugiere la existencia en múltiples soluciones. (p. 72)

**Figura 3**

*Curva donde determinar su tirante*



*Nota.* En la imagen se muestra los valores de  $z$  para los diferentes valores de  $y/b$ ,  $y/D$ , con respecto a las fórmulas de abscisas para el diseño de un canal a máxima eficiencia para diferentes secciones, por Sotelo (1997).

Una posible solución consistirá en seleccionar la forma y tamaño correctos que la sección debe poseer, de manera que se adapte a su topografía donde se planea excavar el canal, al mismo tiempo que resulte la opción más rentable. No obstante, al trabajar en la excavación del canal, es importante distinguir entre canales con revestimiento y sin revestimiento, dependiendo del material utilizado. De manera lógica, este cambio afecta la forma en que se diseña. Se determina la planificación de canales revestidos considerando las medidas ideales de la sección que garantizan la mayor eficacia en el flujo del agua y un gasto reducido, ya sea en términos económicos o ambos aspectos a la vez.

## Procedimientos de cálculo recomendados en canales con revestimiento.

- **Canales con revestido**

Según Sotelo (1997) el objetivo principal es el revestimiento es evitar el desgaste, evitar la filtración y la disminución de su rugosidad de las pendientes. A pesar de que no se pueda tomar como la velocidad máxima autorizada, es imprescindible planificar el recubrimiento de manera que impida que el agua desplace los paneles de concreto y el saque de su lugar original.

Los costos del canal se ven mayormente influenciados por la cantidad de materiales utilizados y el revestimiento empleado. La primera está determinada por la extensión de la sección, mientras que la segunda se relaciona con el contorno mojado. Reducir al mínimo el costo será posible al optimizar estos dos elementos.

La máxima eficiencia hidráulica se logrará cuando se reduzca al mínimo el perímetro mojado para un área específica, lo que resultará en la menor resistencia al flujo del agua y en un menor gasto en revestimiento, aunque no siempre implicará la excavación más reducida.

Para un flujo determinado, La sección hidráulica perfecta sería aquella en la que se minimiza el área, así alcanzaría su valor más alto. Será preciso reducir el contorno húmedo para lograrlo.

La forma trapezoidal es la preferida en la construcción de canales. Por lo general, la inclinación de la sección no se selecciona al azar, ya que depende de la capacidad de resistencia del material excavado. la tabla 1 ofrece algunas sugerencias al respecto.

**Tabla 2**

*Taludes óptimas para canales excavados en diferentes tipos de suelos*

<b>Material</b>	<b>Z</b>
Roca sana no estratificada	0 a 0.25
Roca estratificada ligeramente alterada	0.25 a 0.5
Rocas alteradas, tepetate duro	1

Material	Z
Grava angulosa	1
Arcilla densa o tierra con revestimiento de concreto	0.5 a 1
Suelo limo-arenoso con grava gruesa	1 a 1.5
Areniscas blandas	1.5 a 2
Limo arcilloso	0.75 a 1
Limo arenoso	1.5 a 2
Material poco estable (arena, tierras arenosas, etc.)	2
Arcilla saturada	3

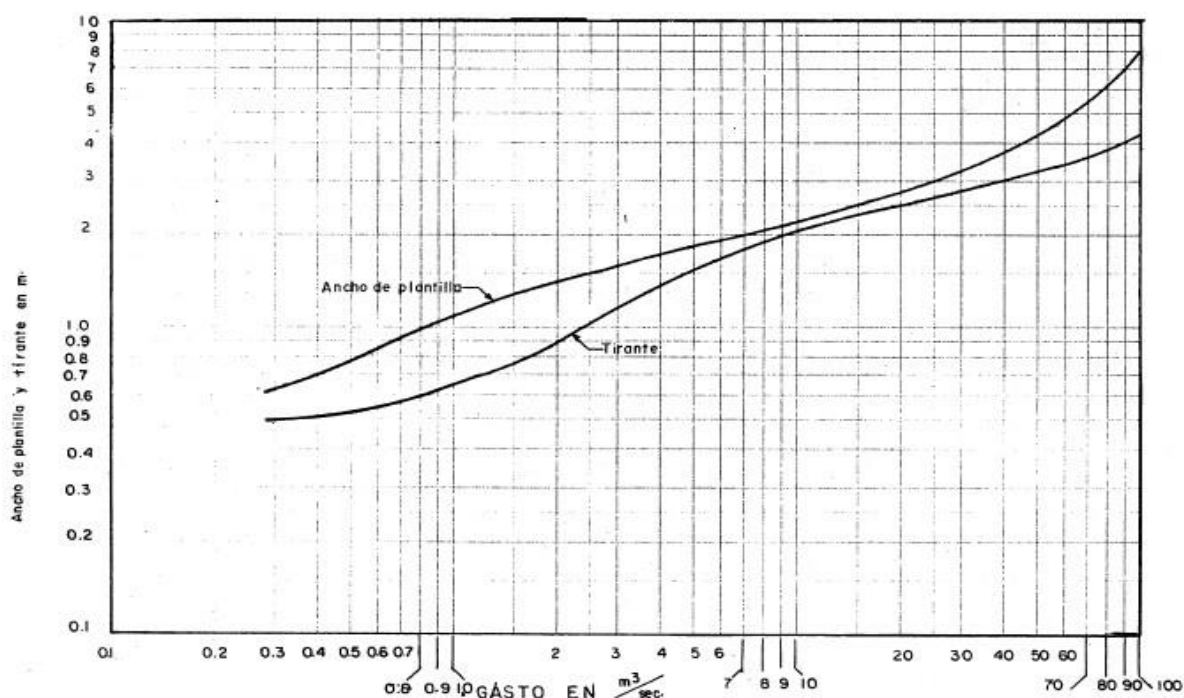
*Nota.* Hidráulica de canales donde tomará valores de talud en función del tipo de suelo en que se diseñará, por Eliseo Molina Gonzales.

- **Ancho de plantillas y tirantes**

El Bureau of Reclamación sugiere seleccionar el tamaño de la plantilla o la longitud del tirante se muestra el valor promedio, basada en un diseño previo, en relación al caudal de agua que fluirá a través de este canal. En caso de seleccionar la amplitud de la plantilla de acuerdo a lo mostrado en la figura 4, la determinación del tirante vendrá determinada por una ecuación que tome en cuenta la fricción. La inversión del procedimiento es igual de legítima. (Sotelo, 1997)

**Figura 4**

*Ancho de tirante de canal revestido*



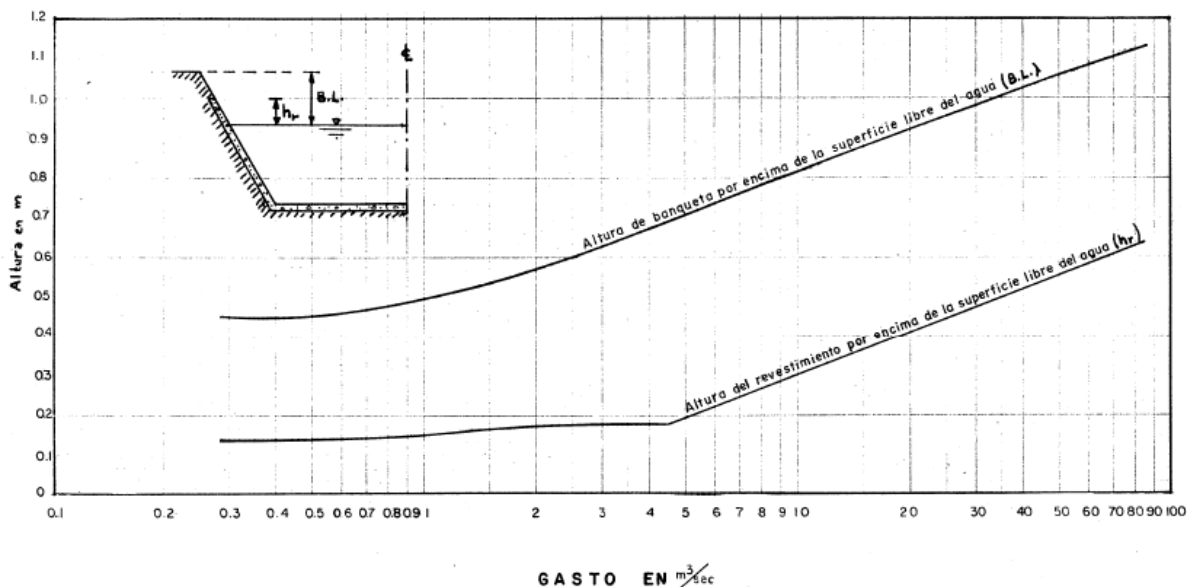
*Nota.* El ancho de Plantilla y su tirante en función del gasto le corresponde el ancho de planilla y tirante en metros, por U.S. Bureau of Reclamation (1978).

**La velocidad (V):** La división del conducto, es importante asegurarse de que la velocidad no sea inferior a un umbral mínimo que impida que los materiales en suspensión se depositen. En caso de que el agua esté completamente clara, se aconseja que su velocidad sea mínima y aceptable oscile entre 0,10 y 0,20 m/seg. En caso de que el agua transporte partículas en suspensión, se aconseja mantener una velocidad de 0,60 y 0,90 metros por segundo. (Sotelo, 1997)

**El borde libre:** Para anticipar los cambios de superficie de agua debido a ondas y otros elementos que provocan desbordamientos, es imprescindible establecer un margen libre cuya medida esté determinada por diversos factores. Por lo general oscila entre el 5 y el 30 por ciento de la profundidad de los canales. Sotelo (1997).

### Figura 5

*Dimensiones ideales de banquetas en canales*



*Nota.* Determinación con las curvas de las dimensiones en banquetas en canales en función del gasto en m³/s, por U.S. Bureau of Reclamation (1978).

**El Cálculo del flujo:** Según Sotelo (1997, p.53) Destaca el tipo de corrientes es posible detectar inconvenientes relacionados con el diseño o la revisión. Los desafíos de revisión radican en la determinación del flujo a través de la sección con geometría, pendiente y rugosidad ya establecidas. En el diseño de proyectos, es necesario resolver cuestiones relacionadas con la geometría de la sección, la inclinación y la cantidad de agua que fluye, así como determinar la pendiente requerida cuando se conocen la geometría y el caudal.

Independientemente de la circunstancia, existen dos ecuaciones que posibilitan la creación de los canales:

**a) Continuidad**

Obtenido como el producto entre el área mojada y velocidad media del flujo:

$$Q=AV.$$

Los efectos de fricción utilizan la expresión de Chézy, según la cual la velocidad es

$$V = CRh^{1/2} S^{1/2}.$$

Al reemplazar esta velocidad en la continuidad se tiene:

$$Q = A V = CRh^{1/2} S^{1/2} = KS^{1/2}.$$

Donde el término.

$$K = C A R h^{1/2}.$$

Este parámetro comúnmente conocido como factor de conducción o conveyance de la sección, describe la capacidad de transporte de la sección del canal y se relaciona de manera directa con el caudal.

Se emplea la ecuación de Manning:

Entonces

$$K = \frac{AR_h^{2/3}}{n}$$

La expresión

$$Z_n = A R_h^{2/3} = nK$$

Es conocido como el coeficiente de área transversal para el análisis de la corriente constante y se puede expresar de la siguiente manera:

$$A R_h^{2/3} = \frac{n Q}{\sqrt{S}}$$

La influencia del segundo término se encuentra ligada a n, Q y S, mientras que el primer término solo está determinado por la forma geométrica de la sección. En el caso de que la sección sea trapezoidal o rectangular, se cumple:

$$\frac{A R_h^{2/3}}{b^{8/3}} = \frac{n Q}{b^{8/3} S^{1/2}}$$

**Criterio de máxima eficiencia hidráulica:** La parte con la mayor eficacia hidráulica es aquella que, para una superficie igual, presenta el contorno húmedo más reducido. En palabras sencillas, se trata de lograr una superficie húmeda mínima para transportar una cantidad específica de agua, considerando la rugosidad, inclinación y forma geométrica establecidas.

Al diseñar un canal trapezoidal altamente eficiente, se considera la semilla de un hexágono regular. Se establece una conexión entre las fórmulas de perímetro y área, las cuales se llevan al extremo para garantizar que, para un caudal máximo, el perímetro sea lo más reducido posible. La traza del canal debe garantizar que su inclinación longitudinal siga de cerca la del terreno, lo cual se logrará en áreas con topografía extremadamente homogénea (llana).

Donde se logra la máxima eficacia, se obtiene: El ángulo es de 60 grados y el talud Z es igual a la raíz cuadrada de tres sobre tres. Villon (2008).

**Figura 6**

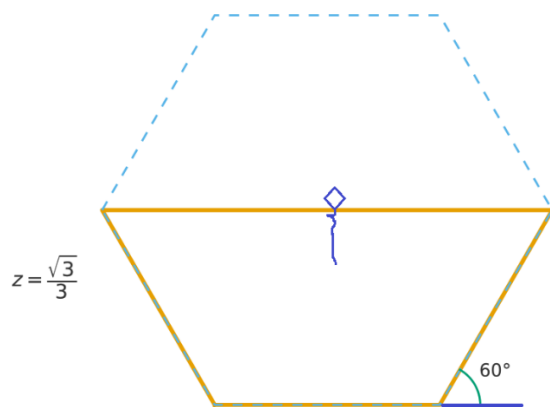
Secciones de máximo rendimiento hidráulico

Sección transversal	Área $A$	Perímetro mojado $P$	Radio hidráulico $R$	Ancho superficial $T$	Profundidad hidráulica $D$	Factor de sección $Z$
Trapezio, medio hexágono	$\sqrt{3} y^2$	$2 \sqrt{3} y$	$\frac{1}{2} y$	$\frac{4}{3} \sqrt{3} y$	$\frac{3}{4} y$	$\frac{3}{2} y^{2.5}$
Rectángulo, medio cuadrado	$2y^2$	$4y$	$\frac{1}{2} y$	$2y$	$y$	$2y^{2.5}$
Triángulo, medio cuadrado	$y^2$	$2 \sqrt{2} y$	$\frac{1}{4} \sqrt{2} y$	$2y$	$\frac{1}{2} y$	$\frac{\sqrt{2}}{2} y^{2.5}$
Semicírculo	$\frac{\pi}{2} y^2$	$\pi y$	$\frac{1}{2} y$	$2y$	$\frac{\pi}{4} y$	$\frac{\pi}{4} y^{2.5}$
Parábola $T = 2 \sqrt{2} y$	$\frac{4}{3} \sqrt{2} y^2$	$\frac{8}{3} \sqrt{2} y$	$\frac{1}{2} y$	$2 \sqrt{2} y$	$\frac{2}{3} y$	$\frac{8}{9} \sqrt{3} y^{2.5}$
Catenaria hidrostática	$1.39586y^2$	$2.9836y$	$0.46784y$	$1.917532y$	$0.72795y$	$1.19093y^{2.5}$

Nota. Fórmulas para el cálculo de las respectivas secciones transversales para diseñar por máxima eficiencia, Adaptado de Libro de Villon (2008).

**Figura 7**

Taludes eficientes



Sección trapezoidal: mitad de un hexágono regular

Nota. Fórmula de diseñar por máxima eficiencia en un canal de forma trapezoidal con un ángulo de  $60^\circ$  con respecto a la horizontal, donde le corresponde un valor  $z$  obtenido de la fórmula mostrada en la imagen, por Villon (2008).

**Software Hec-Ras:** (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) es un sistema integrado de modelación hidráulica del U.S. Army Corps of Engineers que permite cálculos 1D/2D de flujo permanente y no permanente, perfil de lámina de agua, hidrodinámica combinada 1D–2D, transporte de sedimentos, y calidad del agua, con una interfaz gráfica y un esquema geométrico común para todos los componentes. Es el estándar de facto para análisis de ríos y canales, con módulos de mapeo espacial (Hec-Ras Mapper) y capacidades de reporte y diseño hidráulico. (USACE-HEC, 2023).

**Modelo matemático:** La complicación de los patrones de flujo de agua dificulta su análisis y representación de forma las situaciones. Es por esta razón que se recurre a modelos matemáticos como herramientas para comprender la forma en que se desenvuelven estos sucesos. Según Rocha (2003), estos diseños son una representación simplificada de un elemento natural y frecuentemente se inspiran en creaciones previas.

Estas representaciones son herramientas que ayudan a entender y estudiar cómo se mueve el agua en diferentes situaciones reales, y cómo interactúa con las estructuras ya construidas. Es fundamental resaltar que los modelos matemáticos no solo resultan provechosos en el ámbito de la ingeniería hidráulica, sino que también encuentran aplicación.

De acuerdo con Rocha (2003, como se cita en Torres, 2017, p. 44), es posible analizar la realidad, elaborada en analizada. En consecuencia, los modelos matemáticos resultan altamente idóneos para comprender el comportamiento de estos.

### **Modelación con Hec-Ras**

Torres (2017, p. 45) caracteriza Hec-Ras como un software de simulación hidráulica unidimensional que permite al usuario interactuar a través de representaciones visuales. el Método Estándar esta para resolver el flujo gradualmente variado de manera constante, el cual determina los niveles de agua en cada segmento. Con el fin de lograrlo, es

imprescindible tener en cuenta las divisiones, la distancia entre ellas, el índice de Manning de cada segmento, los flujos previstos y la situación en los extremos. En situaciones de flujo subcrítico, resulta crucial contar con datos acerca de la sección en la parte final del curso de agua; en contraste, cuando el flujo es supercrítico, es necesario tener información sobre la sección en la parte inicial del flujo. (Torres, 2017, p.45).

### 3.3 Definición de términos

**Los conductos:** ya sean a cielo abierto o entubados, permiten que el líquido se desplace por acción de la gravedad; es decir, el agua se mueve impulsada por la presión atmosférica y su propia masa. (Villón, 2008).

**Velocidad mínima:** Se aconseja planificar los canales revestidos operen a velocidad que oscile del orden de 0,4 a 1,0m/s para reducir la acumulación de materiales en suspensión.

**Velocidad máxima:** Dentro de conductos revestidos, las velocidades admisibles aproximadamente de 1,5 a 3m/s en secciones rectas. En las secciones con curvas y en áreas con compuertas y partidores, se aconseja mantener una velocidad cercana a 1 m/s.

**Taludes:** La pendiente de los costados del canal se manifiesta como una relación (razón) de pendientes. Las secciones trapezoidales son las más comunes y se seleccionan según las características del terreno donde se va a construir el canal (Villón, 2008).

**Caudal:** Se refiere a la medida de fluido que se desplaza en un intervalo específico. Con regularidad, la cantidad de flujo que atraviesa una región específica en un lapso de tiempo dado. Representación virtual de un sistema de fluidos. Se comprende como la expresión numérica de la situación concreta, con la intención de mejorar sus pronósticos y quizás validar el sistema al usarla como fundamento del cálculo hidráulico para recrear distintas condiciones del flujo.

**Caudal (y caudal de diseño):** El caudal (o gasto) es el volumen de agua por unidad de tiempo que pasa por una sección: se mide en  $m^3/s$  (también en L/s, cfs o gpm según el

contexto). En canales de riego se determina mediante métodos de aforo de campo y es el insumo básico para dimensionar la sección. En el ámbito del diseño, los manuales técnicos definen y estiman “caudales de diseño” adecuados a la obra mediante procedimientos hidrológicos e hidráulicos, pues son los valores de referencia con los que se calculan dimensiones y niveles. (University of Arizona Cooperative Extension, 2017; MTC, 2011).

**Canal de riego:** Un canal de riego es un cauce artificial con superficie libre construido para conducir agua por gravedad desde la toma hasta las áreas de distribución o riego; suele diseñarse con secciones prismáticas (rectangular, trapezoidal, triangular, etc.) y pendientes suaves que garanticen la conducción estable del caudal previsto, control de niveles y operación segura con obras asociadas (derivaciones, compuertas, aforos). Esta caracterización aparece con claridad en apuntes universitarios de diseño de canales, donde se enfatiza que “se llaman canales a los cauces artificiales... que sirven para conducir agua” y se describen sus elementos geométricos y operativos. (Universidad Nacional del Santa, s. f.).

**Tirante normal ( $y_n$ ):** El tirante normal es la profundidad del flujo en régimen permanente y uniforme para una sección y pendiente dadas; ocurre cuando la pendiente del fondo, la de la lámina de agua y la de fricción son iguales, y el caudal satisface la ecuación de resistencia (p. ej., Manning). En manuales de hidráulica se enuncia de forma explícita: “El tirante correspondiente al flujo uniforme se conoce como tirante normal ( $y_n$ )”. (Universidad Veracruzana, s. f.).

**Tirante crítico ( $y_c$ ):** El tirante crítico es la profundidad a la cual la energía específica es mínima para un caudal dado, equivalentes a  $Fr = 1$  (transición entre regímenes subcrítico y supercrítico). Esta definición, estándar en hidráulica de canales, se deriva de la condición de mínima energía específica y de la formulación del número de Froude en secciones generales. (Universidad Veracruzana, s. f.; French, 1988).

**Energía específica (E):** La energía específica en flujo a superficie libre es la energía por unidad de peso medida respecto al fondo del canal e incluye el tirante y el término de velocidad ( $E = y + \alpha V^2/2g$ ). Es un concepto central para ubicar el estado del flujo (subcrítico, crítico, supercrítico), diseñar transiciones y prever pérdidas locales. Textos clásicos lo formulan y desarrollan sus aplicaciones en secciones arbitrarias. (French, 1988).

**Número de Froude (Fr):** El número de Froude es un número adimensional que compara inercia y gravedad en el flujo: (o equivalentes).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

Clasifica el régimen en subcrítico ( $Fr < 1$ ), crítico ( $Fr = 1$ ) y supercrítico ( $Fr > 1$ ), y guía decisiones de control, disipación y transición. (Ponce, s. f.).

**Coefficiente de rugosidad de Manning (n):** El coeficiente n de Manning cuantifica la resistencia por fricción que imponen fondo y laterales del canal al escurrimiento; a mayor n, mayor resistencia y menor capacidad de conducción para una misma sección y pendiente. Su selección depende del material, irregularidad, vegetación y alineamiento del canal. (FAO, s. f.).

**Ecuación de Manning:** La ecuación de Manning es la relación empírica más usada en diseño de canales abiertos:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

que vincula el caudal con el área hidráulica (A), radio hidráulico (R), pendiente de energía (S) y la rugosidad (n). Manuales de diseño para proyectos hidráulicos la señalan como la ecuación principal para dimensionamiento de canales. (Autoridad Nacional del Agua – ANA, 2010).

**Radio hidráulico:** El radio hidráulico se define como la relación entre el área mojada y el perímetro mojado ( $R = A/P$ ). Es un indicador de “eficiencia” geométrica: a mayor R,

menor influencia de fricción por unidad de área y, por tanto, mejor capacidad de conducción para una pendiente dada. (Universidad Veracruzana, s. f.).

**Perímetro mojado (P):** El perímetro mojado es la longitud del contorno de la sección en contacto con el agua, excluyendo la superficie libre. En canales trapezoidales incluye fondo y taludes en contacto con el flujo; su minimización (a igualdad de área) mejora la eficiencia hidráulica. (Universidad Veracruzana, s. f.).

**Borde libre:** El borde libre es la distancia vertical entre la lámina de agua de proyecto y la coronación del bordo; su objetivo es prevenir derrames por oleaje, fluctuaciones u operaciones, y no debe usarse como “factor de seguridad” para compensar un diseño hidráulico deficiente. Manuales recomiendan rangos (p. ej., 0.05–0.30 y) y criterios de organismos como el USBR. (Universidad Veracruzana, s. f.).

**Flujo gradualmente variado:** El flujo gradualmente variado es un tipo de flujo permanente no uniforme en el que el tirante cambia lentamente con la distancia a lo largo del canal, de modo que las ecuaciones de energía y momento pueden aplicarse diferencialmente para obtener perfiles de lámina. Se diferencia del flujo rápidamente variado (USAC, s. f.).

**Curva de remanso:** La curva de remanso es el perfil de la lámina que se forma en un tramo de flujo gradualmente variado aguas arriba de un control (v. gr., una estructura o un ensanchamiento) donde el flujo subcrítico se eleva progresivamente. Es un resultado típico del análisis de energía específica y del Froude en canales. (LibreTexts, 2022).

**Resalto hidráulico (salto hidráulico):** El resalto hidráulico es la transición súbita de supercrítico a subcrítico que disipa energía con un aumento brusco del tirante; es fundamental en diseños de disipación y protección de estructuras. Su análisis se apoya en la ecuación de cantidad de movimiento y relaciones conjugadas de tirantes. (French, 1988).

**Sección de máximo rendimiento:** para igual área hidráulica y misma pendiente, es la que conduce el caudal más alto, lo cual equivale a reducir al mínimo el perímetro mojado para esa área. En canales trapezoidales y rectangulares existen relaciones geométricas óptimas de base, tirante y taludes; los manuales de criterios de diseño las resumen para orientar el trazado. (ANA, 2010; GUNT, s. f.).

## **IV. Metodología**

### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

#### **Investigación aplicada:**

El enfoque de la investigación fue adquirir un saber innovador con el propósito de resolver dilemas concretos.

#### **Investigación cuantitativa:**

Es la parte cuantitativa, Dado que el estudio posibilitó analizar los datos de forma científica y cuantitativa mediante el uso de la estadística. Con el propósito de poner a prueba la teoría de esta investigación, se emplearon instrumentos de medición numérica.

### **4.2 Ámbito temporal y espacial**

#### **Temporal**

Se realizó en los meses de septiembre del 2023 hasta marzo del 2024.

#### **Espacial**

El alcance de esta tesis fueron los correspondientes a los 2+120 del Sector Mariño región de Apurímac, ubicado en el sector Atumpata.

### **4.3 Población y muestra**

#### **4.3.1 Población**

La población, también llamada universo, comprende el conjunto completo de elementos de unidades las cuales pueden involucrar personas, instituciones o cosas, estas están dentro en la investigación para los cuales serán válidas las conclusiones que se obtengan. (Morales, 1994, p.17)

Para la presente tesis, la población que está en estudio es el canal Mariño ubicado en el sector de Atumpata de la ciudad de Abancay, que es un canal existente de concreto armado.

### **4.3.2 Muestra**

La muestra se define o viene a ser una parte que de alguna manera puede representar la población o universo. (Arias, 1999, P.22).

El tipo de muestra se realizó en distintos tramos del canal, para determinar las pendientes y garantizar que todos los elementos muestrales tienen la misma sección estructural del canal.

## **4.4 Instrumentos**

### **4.4.1 Técnicas**

Observación: El proyecto de investigación actual presenta las características que se tomaran.

El proceso para seguir cumpliendo los objetivos del presente proyecto de investigación es dividiendo en los siguientes aspectos: determinar la pendiente optima, obtener el caudal máximo, perdidas por fricción, y con esos datos procesarlo en el software Hec – Ras.

### **4.4.2 Instrumentos**

- Utilización de la herramienta computacional.
- Hojas de calculo
- Fichas de recolección de datos

## **4.5 Procedimientos**

Se lleva a cabo el análisis de las encuestas recopiladas con el fin de crear los histogramas, los cuales permitirán identificar, a través de diagramas de Ishikawa, de que ha causas y consecuencias del problema planteado. De esta manera, se podrá evaluar la importancia y el impacto positivo de la investigación realizada.

Al llevar a cabo la medición topográfica, se recopilarán datos sobre la forma del canal y la inclinación a lo largo del mismo, los cuales se obtendrán utilizando instrumentos

topográficos específicos que se detallan a continuación: Equipo topográfico Leica TS07 PLUS 5", prismas y sistema de posicionamiento global (GPS).

La manipulación de la información, como las ecuaciones derivadas del diseño, se llevó a cabo en hojas de cálculo del software Microsoft Excel, donde incluían fórmulas que requirieran para cada experimento.

#### **4.6 Análisis de datos**

##### **Desarrollo**

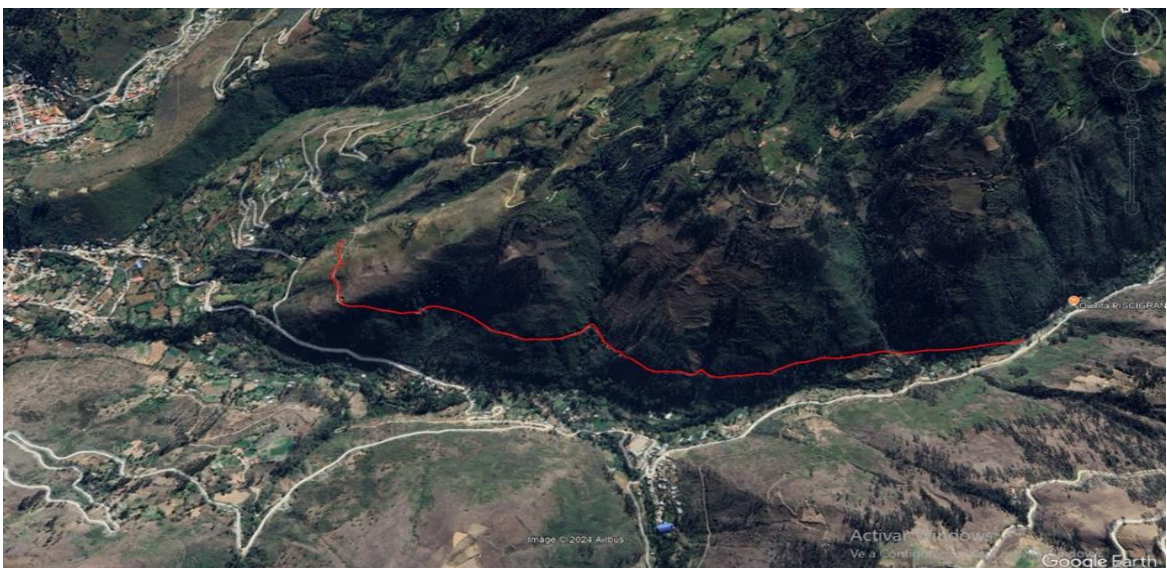
El propósito de elaborar la tesis actual, se llevará a un proceso de ingeniería para examinar la conducta de los fenómenos hidráulicos. Se efectuaron labores tanto en terreno como en la oficina, tal como se describe a continuación:

##### **Trabajo de campo**

Se llevaron a cabo trabajos de campo que consistieron en trazar el recorrido del canal en análisis en un plano, realizando secciones transversales e identificar las estructuras artísticas presentes en el canal.

#### **Figura 8**

*Ubicación del canal de estudio*



*Nota.* Vista aérea del canal de riego marcado con línea roja donde la bocatoma se encuentra en la cuenca del río de Atumpata, por Google Earth pro.

### **Levantamiento planimétrico**

Después de identificar el punto de partida, se trazó el recorrido del canal en análisis con una extensión de 2120 metros. Se establecieron 15 puntos de modificación en el proyecto, con el objetivo de alinear el trazado con el canal de tierra ya presente, evitando así impactar zonas agrícolas a ambos lados del canal. Se realizaron mejoras en curvas cerradas de radios mínimos y se alinearon tramos en áreas donde era factible debido a las características del terreno.

### **Levantamiento altimétrico**

Con la red de control (BM) como punto de partida, se comenzó a llevar a cabo la medición del perfil del terreno siguiendo el diseño previsto, marcando cada 10 metros con estacas y utilizando el método de nivelación diferencial.

Una vez se ensambla el perfil longitudinal, se llevó a cabo la creación de las secciones transversales perpendiculares al trazado principal, las cuales se tomaron cada 10 metros y abarcaron un ancho de alrededor de 5 metros a ambos lados del canal en investigación.

### **Trabajo de gabinete**

Se llevó a cabo la validación del diseño hidráulico del canal siguiendo las directrices de diseño del US Bureau of Reclamation (USBR) y utilizando el programa H-Canales.

Después, se utilizó el programa Hec-Ras como una herramienta para simular las propiedades hidráulicas del canal.

En la elaboración de la investigación expuesta, se ha utilizado un criterio basado en lograr la máxima eficacia hidráulica en las secciones. Para lograrlo, se procede de la siguiente manera.

Verificación del diseño hidráulico del canal aplicando criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation.

El flujo de agua para el riego se determina al multiplicar el área de estudio por su coeficiente y luego se establece el caudal correspondiente para cada sección, según se indica.

#### **4.7 Consideraciones éticas**

En todas las asesorías se corrigieron las observaciones y se tomaron las recomendaciones del consejero en las diferentes instancias, tanto en la metodología a la investigación y taller I como en metodología a la investigación y taller II, con la finalidad de evitar errores en futuras investigaciones que tomen como referencia el presente trabajo.

## V. Resultados y discusión

### 5.1 Resultados

**Tabla 3**

*Caudal para cada tramo*

<b>Progresivas</b>		<b>0+000 2+120</b>
Tramo		1
CAUDAL (M3/S)	REAL	0.18
	CALCULADO	0.192

*Nota.* Esta tabla muestra los resultados de un caudal real y el programa Hec-Ras donde el resultado varían por milésimas.

**Tabla 4**

*Pendientes a considerar en cada tramo*

<b>Progresivas</b>		<b>0+000 2+120</b>
Tramo		1
Pendiente		2.50%

*Nota.* En esta tabla se muestra la pendiente total del canal influenciado del kilómetro 0+000 al kilómetro 2+120.

**Tabla 5**

*Tirantes en cada tramo*

<b>Progresivas</b>		<b>0+000 2+120</b>
Tramo		1
Tirante (M)	U.S.B.R	0.43
	Hcanales	0.42

*Nota.* Esta tabla muestra los resultados calculados del tirante con el sistema U.S.B.R y el programa HCANALES.

**Tabla 6***Tirante crítico en los tramos*

Progresivas		0+000 2+120
Tramo		1
Tirante (M)	U.S.B. R	0.35
	H canales	0.34

*Nota.* Esta tabla muestra los resultados calculados del tirante con el sistema U.S.B.R y el programa HCANALES del kilómetro 0+000 al kilómetro 2+120.

**Tabla 7***Caídas verticales a considerar*

Progresivas		0+000 2+120
Tramo		1
Caída vertical (M)		1

*Nota.* Esta tabla muestra las caídas con pendiente pronunciada de 1 metro en un tramo de la bocatoma hasta el kilómetro 2+120.

**Tabla 8***Caídas verticales a considerar*

Progresivas	0+000	2+120
Tramo	1	
Ancho (M)	0.5	

*Nota.* Esta tabla muestra el ancho del canal de 0.5 del primer tramo del kilómetro 0+000 hasta el kilómetro 2+120.

**Tabla 9***Elemento Geométrico en cada tramo*

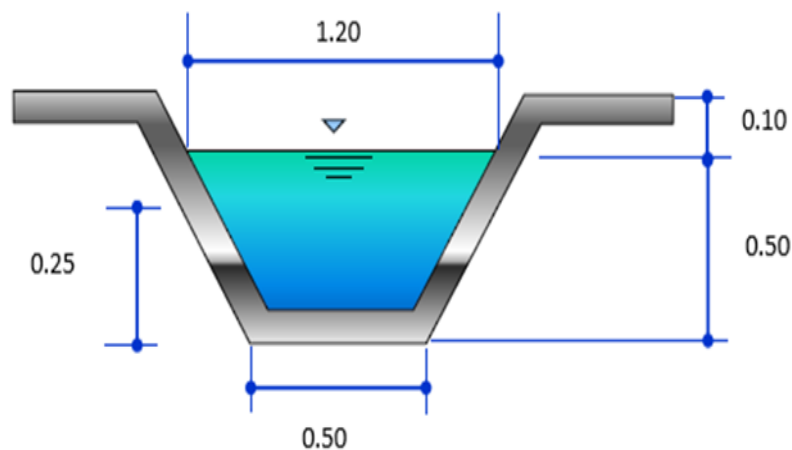
Progresiva		0+000 2+120
Sector		1
Componentes	Und.	
Perímetros mojados	m	1.47

Progresiva	0+000 2+120	
Sector	1	
Componentes	Und.	
Radios Hidráulicos	m	0.21
Áreas Hidráulicas	m <sup>2</sup>	0.31
Espejo de Agua	m	0.98
Borde Libre	m	0.13
Altura	m	0.55
Velocidad	m/seg	1.27
Número Froude		0.72
Número Reynolds		267.58

*Nota.* Esta tabla muestra un resumen de los elementos geométricos de máxima eficiencia hidráulica del canal Mariño.

### Figura 9

*Tramo del km 0+000 al km 2+120*



*Nota.* La figura representa el canal existente que es de concreto armado y sus medidas finales de ancho base menor y base mayor con 0.5 y 1.2 metros altura de agua 0.25.

### Método con software HEC – RAS

Las representaciones visuales del estudio revelan la conducta global del canal, tal como esta se aprecia la ilustración. Al detallar esta sección y elevación, estos análisis posibilitan examinar cómo la pendiente interviene en el canal.

## 5.2 Discusión

### Comparación de hipótesis principal

- Como hipótesis principal tenemos, la aplicación del software Hec-Ras influye en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica del tramo km 0+000 al km 2+120, del sector Mariño región de Apurímac.

Una vez finalizados los resultados, se confirma esta teoría, ya que se demuestra la utilización del programa Hec-Ras incide en la planificación del canal de riego logrando máxima eficiencia hidráulica en el tramo comprendido desde el kilómetro 0+000 al kilómetro 2+. 120, en la zona de Mariño en la región de Apurímac. Esto favorece decisiones más precisas y la adopción de rasgos hidráulicos acordes con la realidad del sitio.

### Contrastación de hipótesis específica

- Hipótesis específica. El levantamiento topográfico-geométrico permite evaluar la pendiente para el diseño del canal de riego de máxima eficiencia, empleando el software Hec-Ras en el tramo km 0+000–km 2+120 del sector Mariño, Apurímac.
- Con los resultados obtenidos, la hipótesis quedó confirmada: el levantamiento topográfico y geométrico efectivamente facilitó la evaluación de la pendiente en el diseño del canal de riego de máxima eficiencia mediante Hec-Ras en el tramo km 0+000 a km 2+120 del sector Mariño (Apurímac). De este modo se determina la pendiente adecuada para el análisis del perfil de flujo.
- Hipótesis específica, Las características hidráulicas permitirán evaluar la sección tipo en el diseño del canal de riego de eficiencia hidráulica óptima, usando Hec-Ras, en el tramo km 0+000–2+120 del sector Mariño (Apurímac).

Tras concluir el estudio, la hipótesis quedó confirmada: las características hidráulicas sirvieron para evaluar la sección tipo en el diseño del canal de riego de máxima

eficiencia, con Hec-Ras, en el tramo km 0+000–2+120 de Mariño, Apurímac. Dado que al analizar el perfil del flujo se ajustará el análisis del perfil del flujo se adecuará el análisis del perfil de tirantes (línea de agua) usando los parámetros hidráulicos a lo largo del canal, con el fin de prevenir desbordes.

- Bajo la hipótesis específica, la modelación numérica evaluará diversas variables y generará resultados operativos para el diseño del canal de riego de eficiencia óptima, empleando Hec-Ras en el tramo km 0+000–2+120 del sector Mariño (Apurímac).

Después de finalizar el estudio, se confirmará esta teoría ya que la simulación numérica analizará diversas variables y ofrecerá resultados más útiles para optimizar el diseño del canal de riego con la máxima eficiencia hidráulica utilizando el programa Hec-Ras en el tramo que va desde el kilómetro. 0+000 al kilómetro 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque. Ello es posible porque, al analizar la línea de agua (perfil de tirantes) a lo largo del canal, se ajustan los parámetros hidráulicos y se fortalece la toma de decisiones.

#### **Análisis e interpretación de resultados**

- al aplicar la norma de diseño recomendadas por el US Bureau of Reclamation (USBR) al analizar sus características hidráulicas se fundamenta en las fórmulas empíricas donde proporcionan resultados aproximado, a diferencia del software Hec-Ras. Su importancia al realizar un monitoreo conjunto quedó demostrada con estos hallazgos, ya que es fundamental para obtener resultados que reflejen de manera precisa la situación actual.
- Al simular el movimiento del agua el programa Hec-Ras, se observarán las velocidades que variarán de 0.42 m/seg y 1.26 m/seg, siendo la más baja y la más alta.
- El análisis realizado, se ha observado que la velocidad del agua alcanza un nivel por debajo de la recomendación mínima en 0.762 m/seg, lo cual indica la presencia de las

partículas sedimentadas en el agua. Esta velocidad máxima del agua en el modelo es inferior al límite aceptable de 3.0 m/seg, lo cual indica que no habrá peligro de que el canal con revestimiento se levante.

- Al realizar la comparación de velocidad promedio (1.25 m/seg) calculada en el simular mediante el software de Hec-Ras con velocidad del agua (1.27 m/seg) alcanzada al seguir las directrices de su diseño del US Bureau of Reclamation, se observará una diferencia de 0.02 m/seg, la cual se considera insignificante. Esto sugiere que los resultados generados por el programa Hec-Ras son confiables y dignos de confianza.
- El nivel de agua medido con el programa Hec-Ras fluctúa entre los 0,40 m como mínimo y 0,80 m como máximo, correspondiendo a la velocidad más baja y más alta.
- El tirante mínimo que se originó en la progresivas 0+000 al km 0+280, y km 0+480 al km 2+120, obtenido así al tirante en 0.40m y velocidades máximas de 1.28 m/seg.
- Se aconseja diseñar estructuras de retención para aumentar el nivel del agua.
- El tirante máximo se registró entre el tramo desde el kilómetro 0+320 hasta el kilómetro 0+560, alcanzando una altura de 0,50 m para su velocidad mínima de 0,47 m/s Se sugiere alinear el eje de los canales así eliminando las curvas suaves, en su defecto aumentar la profundidad del canal en esta sección. Al cotejar las alturas medias de agua (0,45 m) calculadas mediante el programa Hec-Ras con las alturas (0,42 m) determinadas según las pautas del US Bureau of Reclamation, se obtendrá una discrepancia de 0,03 m. Esta diferencia, aunque no es considerable, sugiere que el resultado generado por el Hec-Ras son satisfactorios.
- Al examinar esta área mediante programa HECRAS, se observa la posibilidad de que se produzca un desbordamiento en el tramo del canal que va desde el km 0+280 hasta el km 0+480, debido a la presencia de numerosas curvas con unos radios mínimos sobre todo pendientes bajas.

## VI. Conclusiones

1. Según el objetivo general, se determinó la influencia del diseño del canal de riego con su máxima eficiencia hidráulica en los tramos km 0+000 al km 2+120, del sector Mariño región de Apurímac, Por lo tanto, se puede concluir que el programa Hec-Ras es idóneo para observar y analizar la dinámica del flujo en el canal.
2. Se concluye que el software funciona de manera adecuada si se introducen las secciones y la superficie correctas, las cuales se utilizaron para analizar el impacto de la topografía y geometría en la creación de un canal de riego con óptima eficiencia hidráulica en la sección correspondiente. km 0+000 al km 2+120, del sector Mariño región de Apurímac.
3. Se determina que durante la evaluación del flujo se confirma que las propiedades hidráulicas obtenidas en el programa Hec-Ras son comparables al modelo del US Bureau of Reclamation, evidenciando así que estas propiedades tienen un impacto en la planificación óptima del canal de riego a través del uso eficiente del software Hec-Ras en el tramo km 0+000 al km 2+120, del sector Mariño región de Apurímac, esto permitió un mejor funcionamiento hidráulico de todo el canal en estudio.
4. Se determina que, al simular el movimiento del agua en el canal, se detectan dificultades en una parte del recorrido, como el desbordamiento del flujo. Esto sugiere que el uso de la modelación numérica impactó en la planificación del canal de riego con la mayor eficacia hidráulica posible, a través del programa Hec-Ras, en el tramo que va desde el kilómetro 0+000 al kilómetro 2+120, en la zona de Mariño en la región de Apurímac.

## VII. Recomendaciones

1. Se recomienda utilizar el programa Hec-Ras para simular un perfil de flujo de agua, considerando la configuración del canal y las estructuras, para asegurarse de que el diseño propuesto sea efectivo y no genere complicaciones en el flujo del agua. Si surgen inconvenientes, es necesario corregirlos en el diseño original en el mismo diseño realizado.
2. Se recomienda ingresar información de alta calidad, tanto en términos de geometría como de condiciones y límites fronterizos. Por lo tanto, es crucial realizar una evaluación minuciosa del levantamiento topográfico y geométrico.
3. Es aconsejable combinar los datos obtenidos mediante una metodología sugerida mediante el US Bureau of Reclamation y el programa HECRAS para analizar propiedades hidráulicas con mayor precisión y así lograr un diseño más fiel a nuestra realidad.
4. Se aconseja emplear el programa Hec-Ras, el cual cuenta con diversas simplificaciones, por lo tanto, es crucial utilizarlo con precaución. Aunque se logran resultados excelentes al utilizarlo correctamente, si no se ingresan los datos adecuados, los resultados no serán precisos.

## VIII. Referencias

Arias, F. G. (1999). *El proyecto de investigación: Guía para su elaboración* (3.<sup>a</sup> ed.).

Caracas: Editorial Episteme.

[https://www.researchgate.net/publication/27288131\\_El\\_Proyecto\\_de\\_Investigacion\\_Guia\\_para\\_su\\_Elaboracion](https://www.researchgate.net/publication/27288131_El_Proyecto_de_Investigacion_Guia_para_su_Elaboracion)

Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Manual: Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico*. [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1\\_0\\_2.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1_0_2.pdf)

Cabrera, M. J., y Racines, N. P. (2015). *Aplicación de software libre para el diseño y modelación de las obras hidráulicas a flujo libre de una pequeña central hidroeléctrica en el río Zarapullo ubicado en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/26069>

Castellanos, H. E., Collazos, C. A., Farfán, J. C., y Meléndez-Pertuz, F. (2017). Diseño y construcción de un canal hidráulico de pendiente variable. *Información Tecnológica*, 28(6). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600012>

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos* (J. G. Saldarriaga, Trad.). Bogotá:

McGraw-Hill Interamericana.

[https://books.google.com/books/about/Hidráulica\\_de\\_canales\\_abiertos.html?id=XnUAAAAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Hidráulica_de_canales_abiertos.html?id=XnUAAAAACAAJ)

Delgado Pinedo, H. H., y La Torre Mesías, R. A. (2022). *Diseño del canal López Tramo Km0+000–1+000, utilizando Hec-Ras, para un correcto desempeño hidráulico. Distrito de Cachiche – Ica 2022* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Alicia–Concytec. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/112237>

- Domínguez Sarmiento, J. A. (2022). *Diseño mediante el software Hec-Ras de un canal de riego Garbanzo – Ingenio – Conchumayo – El Valle, del tramo km 0+000 al km 3+060, distrito de Santa María del Valle – Huánuco – 2022* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. <https://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14257/4012/Dom%C3%ADnguez%20Sarmiento%2C%20Jheyson%20Alejandro.pdf>
- Espinoza Franco, F. F. (2016). *Diseño de un canal de sección rectangular de 500 m de longitud de máxima eficiencia hidráulica para un proyecto de irrigación* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio UTMACH. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/8043>
- Espir, J., y Morales, J. (2015). *Evaluación de fenómenos hidráulicos en el canal Chaquín del sistema de riego del Valle de Virú: Primer tramo* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio UPAO. <https://repositorio.upao.edu.pe/item/7b1b96c5-e09b-f7ab-e050-010a1c030756>
- FAO. (s. f.). *Coefficiente de rugosidad (n) – Estructuras de conducción del agua*. [https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6708s/x6708s08.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s08.htm)
- French, R. H. (1988). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill Interamericana. [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/richard\\_french\\_hidraulica\\_canales\\_abiertos\\_-\\_hydroclis\\_compressed\\_compressed-comprimido.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/richard_french_hidraulica_canales_abiertos_-_hydroclis_compressed_compressed-comprimido.pdf)
- GUNT. (s. f.). *Flujo en canales abiertos (folleto HM-162/162.77)*. [https://www.gunt.de/images/download/open-channel\\_flow\\_spanish.pdf](https://www.gunt.de/images/download/open-channel_flow_spanish.pdf)
- Leica Geosystems AG. (2020). *Leica FlexLine TS07/TS10 — User Manual*. <https://export-download.leica-geosystems.com/download/file/2271>

- LibreTexts. (2022, 30 octubre). 5.7: *Flujo Gradualmente Variado*. [https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Geociencias/Sedimentología/Libro%3A\\_Introducción\\_a\\_los\\_Movimientos\\_de\\_Fluidos\\_y\\_Transporte\\_de\\_Sedimentos\\_\(Sout\\_hard\)/05%3A\\_Flujo\\_de\\_canal\\_abierto/5.07%3A\\_Flujo\\_Gradualmente\\_Variado](https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Geociencias/Sedimentología/Libro%3A_Introducción_a_los_Movimientos_de_Fluidos_y_Transporte_de_Sedimentos_(Sout_hard)/05%3A_Flujo_de_canal_abierto/5.07%3A_Flujo_Gradualmente_Variado)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). (2011). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. <https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Octubre/10/RD-20-2011-MTC-14.pdf>
- Owino, J. W., Ong'or, B. T., y Mukolwe, M. M. (2023). Modeling Optimal Canal Conveyance Capacity for the Ahero Irrigation Scheme using the Hydrologic Engineering Centre River Analysis System (Hec-Ras). *Journal of Water Management Modeling (JWMM)*. <https://doi.org/10.14796/JWMM.C510>
- Ponce, V. M. (s. f.). *El número de Froude*. San Diego State University. <https://ponce.sdsu.edu/onlinefrs.html>
- Qquenaya Qquenaya, V., y Mamani Quispe, W. J. (2025). *Diseño de canal de riego por gravedad con máxima eficiencia hidráulica en el Centro Poblado de Pacastiti del distrito de Asillo – Azángaro – Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17590>
- Razzaq, H. K., Abed, B. S., y Anmar, A. (2024). Application of Hec-Ras Software for Steady and Unsteady Hydraulic Simulation of Al-Musayyab Canals. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 11(9), 2557–2565. <https://www.iieta.org/download/file/fid/144255>
- Rocha Felices, A. (2003). *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. <https://books.google.com/books?id=5aeIrgEACAAJ>

- Sotelo Ávila, G. (1997). *Hidráulica de canales*. México, D. F.: Facultad de Ingeniería, UNAM. <https://books.google.com/books?id=oXo5zQEACAAJ>
- Tambra Guerra, L. I. (2021). *Diseño y simulación del canal de conducción Reyes del Km 12+633.39 al Km 13+333.39 aplicando el modelo numérico Hec-Ras 4.1.0* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. <https://repositorio.unica.edu.pe/bitstreams/032731c9-243e-4650-8756-b115f0dd1d80/download>
- Torres Sánchez, J. M. (2017). *Diseño hidráulico y modelamiento en Hec-Ras del canal de concreto y de obras de arte del Proyecto Carpintero – Tramo Km 0+000 al Km 5+000* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio UPC. <http://hdl.handle.net/10757/623042>
- United States Bureau of Reclamation. (1978). *Design of Small Canal Structures*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. [https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallCanal\\_Structures\\_1978.pdf](https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallCanal_Structures_1978.pdf)
- Universidad Nacional del Santa. (s. f.). *Diseño de Canales I y II (apuntes de clase)*. [https://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/Dise%EF%BF%BDo\\_de\\_Canales\\_I\\_y\\_II.pdf](https://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/Dise%EF%BF%BDo_de_Canales_I_y_II.pdf)
- Universidad Veracruzana – Facultad de Ingeniería Civil. (s. f.). *Manual de hidráulica de tuberías y canales*. <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Hidraulica-de-Tuberias-y-Canales.pdf>
- University of Arizona Cooperative Extension. (2017). *Cómo medir el flujo de agua en los canales de riego a nivel parcelario*. [https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/625276/az1329s-2017\\_0.pdf](https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/625276/az1329s-2017_0.pdf)

USAC – Universidad de San Carlos de Guatemala. (s. f.). *Manual de laboratorio para el estudio del flujo gradualmente variado.*

[https://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3153\\_C.pdf](https://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3153_C.pdf)

USACE – Hydrologic Engineering Center. (2023). *Hec-Ras Hydraulic Reference Manual (v6.4.1)*. [https://www.hec.usace.army.mil/software/Hec-Ras/documentation/HEC-](https://www.hec.usace.army.mil/software/Hec-Ras/documentation/HEC-RAS%20Hydraulic%20Reference%20Manual-v6.4.1.pdf)

[RAS%20Hydraulic%20Reference%20Manual-v6.4.1.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/Hec-Ras/documentation/HEC-RAS%20Hydraulic%20Reference%20Manual-v6.4.1.pdf)

USACE – Hydrologic Engineering Center. (2023). *Hec-Ras User's Manual (v6.4.1)*.

[https://www.hec.usace.army.mil/software/Hec-Ras/documentation/HEC-](https://www.hec.usace.army.mil/software/Hec-Ras/documentation/HEC-RAS%20User%27s%20Manual-v6.4.1.pdf)

[RAS%20User%27s%20Manual-v6.4.1.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/Hec-Ras/documentation/HEC-RAS%20User%27s%20Manual-v6.4.1.pdf)

Villón Béjar, M. A. (2008). *Hidráulica de canales*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://books.google.com/books?id=5lnnttAEACAAJ>

Zahran, S., Gooda, E. A., y AbdelMeged, N. (2024). Modeling Al-Qaraqoul Canal Before and After Rehabilitation Using Hec-Ras. *Scientific Reports*, 14, 14760.

<https://www.nature.com/articles/s41598-024-63995-9>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes.