



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DEL CANAL DE RIEGO CON MÁXIMA EFICIENCIA
HIDRÁULICA MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS, DEL
TRAMO KM 0+000 AL KM 3+085, EN EL DISTRITO DE SALAS,
REGIÓN LAMBAYEQUE**

**PRESENTADA POR
JOSÉ WALTER ASALDE YUPTON**

ASESOR

**ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO
JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

LIMA – PERÚ

2020



CC BY-NC-ND

Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DEL CANAL DE RIEGO CON MÁXIMA EFICIENCIA
HIDRÁULICA MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS, DEL
TRAMO KM 0+000 AL KM 3+085, EN EL DISTRITO DE SALAS,
REGIÓN LAMBAYEQUE**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

ASALDE YUPTON, JOSE WALTER

LIMA-PERÚ

2020

Dedico esta investigación a Dios, por nunca dejarme desvanecer en esta incansable lucha día tras día; a mis padres, José y Clarisa; y a mi hermana, Yajaira, por el incondicional amor y el total respaldo a lo largo de mi vida; a Adrián y Valeria, por su amor infinito, porque han sido y serán el motor para nunca dejarme vencer y salir adelante de todos los retos.

W. Asalde

Agradezco a los docentes de la Universidad de San Martín de Porres por todos los conocimientos brindados a lo largo de la carrera profesional, especialmente, al Ing. MSc. Juan Oblitas y al Ing. MSc. Ernesto Villar, por guiarme en todo el proceso de elaboración de este trabajo de investigación.

Agradezco a mi familia, por ser mi soporte en todo aspecto y por siempre acompañarme y motivarme para seguir adelante.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Situación problemática	1
1.2. Definición del problema	2
1.3. Formulación del problema	3
1.4. Objetivo general y específicos	3
1.5. Importancia de la investigación	4
1.6. Viabilidad de la investigación	5
1.7. Impacto	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.2. Bases teóricas	10
2.3. Definición de términos básicos	23
2.4. Formulación de la hipótesis	24
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	
3.1. Tipo y diseño metodológico	25

3.2. Muestra	26
3.3. Técnicas de investigación	26
3.4. Procesamiento y análisis estadístico de los datos	27
3.5. Cronograma de actividades	28
CAPÍTULO IV. DESARROLLO	
4.1. Trabajo de campo	29
4.2. Trabajo de gabinete	31
CAPÍTULO V. RESULTADOS	
5.1. Método U.S. Bureau of Reclamation	42
5.2. Método con software HEC-RAS	45
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN	
6.1. Contraste de la hipótesis	48
6.2. Análisis de resultados	50
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	54
FUENTES DE INFORMACIÓN	55
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Taludes recomendables en canales construidos en varias clases materiales.	17
Tabla 2: Encuesta realizada a profesionales expertos	26
Tabla 3: Cronograma de actividades	28
Tabla 4: Cálculo del caudal por tramos	32
Tabla 5: Determinación de pendientes por tramos	33
Tabla 6: Cálculo del tirante normal tramo 1	34
Tabla 7: Curva de la energía específica E vs Y para un Q constante Tramo 1	35
Tabla 8: Cálculo del tirante crítico tramo 1	37
Tabla 9: Caudales por cada sección	42
Tabla 10: Las pendientes consideradas para cada tramo	42
Tabla 11: Los tirantes para cada tramo	43
Tabla 12: Los tirantes críticos para cada tramo	43
Tabla 13: Las caídas verticales consideradas	43
Tabla 14: El ancho de solera considerada para cada sección	43
Tabla 15: Elementos geométricos de máxima eficiencia hidráulica para cada tramo	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Régimen de flujo	11
Figura 2: Modelo unidimensional de un río	12
Figura 3: Curvas para determinar el tirante normal	15
Figura 4: Ancho de plantilla y tirante recomendados para canales revestidos	18
Figura 5: Borde y altura de banqueteta recomendado para canales revestidos	19
Figura 6: Secciones de Máxima Eficiencia Hidráulica	21
Figura 7: Talud más eficiente	21
Figura 8: Ubicación del canal en estudio	29
Figura 9: Manantial El Avió	30
Figura 10: Situación actual del canal	31
Figura 11: Representación gráfica Isométrico de topografía para la verificación de datos de calidad para iniciar con la modelación	33
Figura 12: Tirante normal Y_n vs Q	36
Figura 13: Curva de la energía específica E vs Y para un Q constante	36
Figura 14: Verificación del diseño hidráulico HCANALES	38
Figura 15: Diseño de máxima eficiencia hidráulica tramo 1	39
Figura 16: Cálculo de tirante crítico tramo 1	39
Figura 17: Creación del proyecto en HEC-RAS	40

Figura 18: Herramientas del software HEC-RAS para edición del flujo permanente Ingreso de los datos de diseño en el tramo del canal	40
Figura 19: Ingreso del coeficiente de Manning	41
Figura 20: Representación gráfica tramo 1	45
Figura 21: Vista pseudo tridimensional en tramo de sección trapezoidal típica sin desbordamiento	45
Figura 22: Simulación del canal en el software HEC-RAS en tramo sin desbordamiento	45
Figura 23: Sección transversal típica en donde se muestra que no existe desborde ya que el suelo (Ground) sobrepasa la superficie del agua (WS)	46
Figura 24: Vista Pseudo Tridimensional en tramo de sección trapezoidal típica con desbordamiento	46
Figura 25: Simulación del canal en el software HEC-RAS en tramo con desbordamiento entre las progresivas del km 0+320 al km 0+560	47
Figura 26: Sección transversal en donde se muestra que hay desborde ya que la superficie del agua (WS) sobrepasa el suelo (Ground)	47

RESUMEN

En los canales de riego del país se presentan grandes problemas de diseño, debido a la inexistencia de una metodología o norma para el diseño de canales que determine el comportamiento de las secciones y la estructura en línea, lo que permitiría un análisis de modelación a través de software.

Esta tesis tiene como objetivo principal determinar la influencia de la aplicación del software HEC-RAS en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica del km 0+000 al km 3+085 del Distrito de Salas, región Lambayeque.

Para lograr el objetivo se realizó una investigación aplicada, cuantitativa y descriptiva, y se inició con un análisis del flujo a través del cálculo del módulo de riego ubicado dentro del intervalo del proyecto y con el trazo de 3 pendientes a lo largo del eje longitudinal del canal; luego, se representó en cada tramo, la curva de energía, tirante normal, tirantes críticos, resalto hidráulico, curvas de remanso y se conoció el tipo de perfil que podría existir en cada sección del canal; después, se realizó la comprobación del diseño utilizando el software HCANALES de acuerdo a los criterios del U.S. Bureau of Reclamation, y se desarrolló una modelación hidráulica utilizando el software HEC-RAS, la misma que concluyó que HEC-RAS determinó la influencia en el diseño del tramo del canal de riego en estudio con máxima eficiencia hidráulica, por lo que es apropiado para estudiar y visualizar el comportamiento del perfil del flujo.

Palabras claves: máxima eficiencia hidráulica, software HEC-RAS, comportamiento del perfil de flujo, modelación hidráulica, diseño de canales

ABSTRACT

In the Peruvian irrigation channels, there are major design problems due to the lack of methodology or standard for channels design to determine the sections behavior and line structure, which would allow a modeling analysis through software.

The main objective of this thesis is to determine the influence of the application of HEC-RAS software in the design of an irrigation channel, with maximum hydraulic efficiency from km 0+000 to km 3+085, in Salas District - Lambayeque Region.

In order to achieve the objective, an applied, quantitative and descriptive research was carried out, and it started with a flow analysis through the calculation of irrigation module located within the project's interval and with the trace of 3 slopes along the channel's longitudinal axis; then, the energy curve, normal tie rod, critical tie rod, hydraulic protrusion, backwater curves were represented in each section of the channel; after that, the design was checked using HCANALES software according to the U.S. Bureau of Reclamation criteria, and a hydraulic modeling was developed using HEC-RAS software, which concluded that HEC-RAS determined the influence on the section design of the irrigation channel under study with maximum hydraulic efficiency, thus, it is appropriate to study and visualize the flow profile behavior.

Keywords: maximum hydraulic efficiency, HEC-RAS software, flow profile behavior, hydraulic modeling, channel design

INTRODUCCIÓN

En el afán de mejorar los diseños de estructuras hidráulicas indispensables para la irrigación, la hidráulica ha ido evolucionando en los últimos años instrumentos computacionales para el modelamiento hidráulico, lo que permite conocer el comportamiento real del flujo (o al menos lo más cercano).

En esta investigación se determina la influencia del levantamiento topográfico y geométrico; la influencia de las características hidráulicas y 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 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.

En el presente estudio se apreció que el software HEC-RAS modela apropiadamente el flujo del canal, siempre y cuando ingresen las secciones y la superficie correcta, verificando que las características hidráulicas obtenidas en el modelo del software HEC-RAS son similares al modelo U.S. Bureau of Reclamation, lo cual se establece que la influencia del levantamiento topográfico y geométrico, así como las características hidráulicas influyó en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque, lo cual permitirá un mejor funcionamiento hidráulico de todo el canal, afirmando que el software HEC-RAS es apropiado para visualizar y estudiar el comportamiento del perfil del flujo en el canal.

La tesis está estructurada en cinco (5) capítulos.

En el primer capítulo, se realiza el planteamiento de la investigación, el problema, los objetivos, la justificación, los alcances y limitaciones, además de la viabilidad del estudio. En el segundo capítulo, se abordan los aspectos teóricos relacionados con el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica, mediante el software HEC-RAS. En el tercer capítulo, hace referencia a la metodología empleada para realizar la investigación, así como el tipo y diseño de investigación. También como la muestra, técnicas de investigación, procesamiento y análisis estadístico de los datos, así como el cronograma de actividades para realizar la investigación. En el cuarto capítulo, se aborda el desarrollo de la investigación en el cual se pretende determinar fenómenos hidráulicos debido al cambio de pendiente y sección transversales, para lo cual es necesario la evaluación y verificación del diseño mediante la aplicación de un modelo computacional HEC-RAS como herramienta para ejecutar la modelación hidráulica, el mismo que proporciona resultados numéricos y gráficos con los que se pueden evaluar las distintas variables hidráulicas, a fin de tomar decisiones más acertadas en el diseño. Y en el quinto capítulo, se hace el análisis y la interpretación de los resultados del diseño del canal con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

En los proyectos de irrigación suelen presentarse varios problemas, ya sea en la etapa de diseño, ejecución y operación. En los últimos años las entidades públicas y privadas en todo el país vienen ejecutando mejoramientos y/o construcciones de infraestructura de riego; sin embargo, muchas de estas no funcionan de acuerdo a los objetivos y metas propuestas; por lo tanto, no se logra cambios que permitan reducir costos de inversión e incrementar la eficiencia de conducción, así como la productividad agrícola.

En su mayoría, los canales de riego que se ejecutan en el país terminan en poco tiempo deteriorándose y resultando deficiente, a lo que es peor fuera de servicio. Para dominar este problema y respaldar la eficiencia de los canales de riego, es importante determinar y evaluar el nivel de eficiencia de conducción de los canales, observando el comportamiento de las secciones y también de la estructura lineal, del cual debemos extraer valores importantes como sus características hidráulicas y todos los componentes a flujo libre ejecutando simulaciones con flujo permanente y no permanente.

Este problema sucede en muchas obras hidráulicas del departamento, es decir los sistemas de riego no trabajan

adecuadamente y son abandonadas en algunos casos, dado que al agricultor no le resulta operativo para la producción agrícola. La región Lambayeque, particularmente el Valle la Leche presenta una topografía plana con condiciones de climas adversos (sequías, inundaciones) que influyen en los diseños de obras hidráulicas, más aún se acentúa la problemática que no existe normas o reglamentos para diseños hidráulicos y en general toda la especialidad de la ingeniería hidráulica.

El canal de riego del presente estudio en la actualidad se encuentra a nivel de excavación, con una sección sobredimensionada, pendientes mínimas y problemas de contrapendiente que origina estancamientos de agua. Asimismo, se observó en ambos bordes del canal la presencia de vegetación, árboles; y no tiene bermas de servicio. El canal presenta obras de arte, tales como tomas laterales, cruces de vía, y retenciones rústicas, que se hallan inoperativas por los años de vida útil.

Con el propósito de solucionar el problema antes indicado, se plantea el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica siguiendo los criterios recomendados por el United States Bureau of Reclamación, para así modelar el comportamiento del flujo del agua en toda la infraestructura, utilizando el software HEC-RAS.

1.2. Definición del problema

En la totalidad de canales de riego del país, presentan deficiencias y grandes problemas de diseño, debido a la inexistencia de una metodología, norma o reglamento propio para el diseño de canales que determinen el comportamiento de las secciones y también de la estructura en línea permitiendo un análisis de modelación con algún tipo de software.

1.3. Formulación del problema

a) Problema principal

¿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 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque?

b) Problemas específicos

- ¿Cuál es 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 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque?
- ¿Cuál es la influencia de las características hidráulicas en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque?
- ¿Cuál es 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 3+085, en el Distrito de Salas, región Lambayeque?

1.4. Objetivo general y específicos

a) Objetivo general

Determinar la influencia de la aplicación del software HEC-RAS en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica en el km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.

b) Objetivos específicos

- Determinar 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 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.
- Determinar la influencia de las características hidráulicas en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085, en el Distrito de Salas, región Lambayeque.
- Determinar 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 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.

1.5. Importancia de la investigación

La presente tesis se justifica académicamente porque permitirá presentar un método para la aplicación eficiente del modelo hidráulico en el diseño del canal de riego, dada a la problemática de la deficiencia de conducción y a los pocos o casi nada estudios existentes aplicando modelación numérica, adquiriendo nuevos conocimientos específicos que contribuirán posteriormente a la parte académica de los futuros Ingenieros Civiles y Agrícolas.

Es importante esta investigación ya que beneficiara a 160 agricultores correspondientes a los 9 km del canal de riego en el Distrito de Salas, región Lambayeque, llegando a irrigar a 387 ha de cultivo permitiendo incrementar la productividad en las áreas a cultivar.

Los canales de riego tienen una gran importancia social innegable, pues su ámbito es productivo, siendo un factor determinante para el crecimiento agrícola y el desarrollo en las zonas rurales del país.

i. Alcance y limitaciones

El presente estudio de investigación posee como alcance elaborar un planteamiento de diseño del canal de riego en el Distrito de Salas empleando los criterios de diseño recomendados por el Bureau of Reclamación, que será calibrado con los resultados obtenidos de la modelización del software HEC-RAS, para determinar los niveles de agua gráficamente.

- Estos alcances son los siguientes:

La modelación numérica se basó en los parámetros hidráulicos de diseño recomendado por el Bureau of Reclamación.

El pronóstico a generar estará basado en los conceptos básicos de hidráulica de canales, así como la descripción de la aplicación del software HEC-RAS para validar sus resultados.

- Estas limitaciones son las siguientes:

Limitante información de diseño hidráulico en canales de irrigación, debido a la falta de un reglamento para esta rama de la ingeniería civil.

Falta de información requerida para este proyecto ya que no se encuentra actualizada y son casi o nada la utilización del software HEC-RAS en canales de riego.

1.6 Viabilidad de la investigación

a) Viabilidad técnica

La presente tesis resulta viable porque existen escasos estudios similares y este aportaría información valiosa para el análisis de esta investigación y para la extensión de innovaciones de conocimiento.

Se contó con la existencia de información hidráulica y de recursos tecnológicos para la calibración del modelo hidráulico mediante el uso del software como el HEC-RAS y EXCEL que son software libres.

En cuanto al recurso humano esta investigación se llevó a cabo con el apoyo de un asesor para desarrollar actividades relacionadas a este proyecto de investigación.

En cuanto al desarrollo de la investigación en referencia al espacio, se cuenta con los espacios e instalaciones adecuadas, ya que solo son procesamientos computarizados y no se necesita de un ambiente en especial, todo esto hace que la presente tesis sea viable técnicamente.

b. Viabilidad económica

El financiamiento total se realizará con recursos propios del tesista y el aporte será desde la inicialización hasta la culminación de la presente tesis, el cual no generará beneficio económico alguno en lo personal, pero sí para las entidades como Autoridad Nacional del Agua (ANA) y para la población estudiantil, así como para futuras investigaciones.

c. Viabilidad social

La realización de esta tesis aporta de manera positiva a la comunidad estudiantil, empresas públicas, privadas y sobre todo al bienestar de los agricultores, puesto que con el diseño óptimo se espera la reducción de daños materiales, reparación de obras civiles en general, mejora de canales agrícolas, y en general una mejora en la calidad de vida de la población peruana.

No existen inconvenientes o impactos socio-ambientales negativos al realizar la modelación del diseño correspondiente.

d. Viabilidad operativa

Esta tesis busca realizar la calibración de modelos hidráulicos, aprovechando los beneficios que ofrecen los softwares, por otra parte, el correcto funcionamiento y uso de estas herramientas, garantiza el pleno

entendimiento del comportamiento de los perfiles del flujo llegando a entender el comportamiento del flujo del agua en el canal de riego en estudio.

Adicionalmente, es oportuno precisar que esta investigación cuenta con la orientación de un asesor, un profesional especialista en el tema que asume la guía de este proyecto y está dispuesto a absolver cualquier duda que se presente.

1.7 Impacto

a. Impacto teórico

Debido a la obligación de mejorar el diseño de las estructuras hidráulicas para la irrigación, esta investigación adaptado una metodología utilizando el software HEC-RAS para el modelamiento hidráulico, lo que permite visualizar el comportamiento real del flujo (o lo más cercano a este), a fin de poner a prueba los diseños realizados, que por lo general son desarrollados y evaluados por métodos tradicionales y empíricos. Aportando un gran impacto por ser una herramienta poderosa de gestión para la toma de decisiones frente a diversos caudales, visualizando los diferentes perfiles del agua.

b. Impacto práctico

Al desarrollar esta investigación, se está poniendo en práctica los conocimientos teóricos y de investigación, así mismo se podrá adquirir nuevos conocimientos específicos que contribuirán posteriormente a la parte académica de futuros Ingenieros Civiles y Agrícolas.

Esta investigación beneficiara a 160 agricultores correspondientes a los 9 km del canal de riego, llegando a irrigar 387 ha de cultivo, reduciendo perdidas de conducción, aumentando así su eficiencia logrando así un impacto económico dentro de sus pobladores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Espinoza, F. (2016) realizó su tesis en base a una obra de ingeniería, específicamente diseñó un canal rectangular para que trabaje con una máxima eficiencia, para lograrlo Espinoza indicó que necesitaba de todo tipo de consideraciones y especificaciones técnicas a fin de que la obra cumpla con los estándares para los cuales fue construida, especialmente si se trata de la rama de la hidráulica. Diferentes autores, entre los que figuran Chezy, Pavlovski y Manning, han propuesto también modelos para describir el flujo en ductos abiertos, lo que permite conocer el sistema más eficiente antes de iniciar la construcción de una obra hidráulica.

Cabrera, J. y Racines, P. (2015) realizaron una investigación en la que se establece un diseño de prefactibilidad de los componentes a flujo libre, como las estructuras hidráulicas que se encuentran a presión atmosférica: captación, conducción y desarenador. A través del software HEC-RAS, Cabrera y Racines plasman el diseño y modelación con sus características hidráulicas, permitiendo un análisis unidimensional de corriente a flujo libre, asimismo, ejecutan simulaciones con flujo permanente y no permanente para realizar el comportamiento hidráulico del agua dentro de la estructura y dan a conocer información detallada de cada sección construida.

Pérez, J. (2013). En su investigación indica que La modelación física y mecánicas haciendo referencia al prototipo real es una representación que utiliza un conjunto de comandos en base a fórmulas matemáticas para poder simular intangiblemente el comportamiento de la materia.

Ambroj, S., García, P., Burguete, J. En su investigación, establece que los canales de riego deben ser siempre controlados principalmente al momento que el caudal entra en el canal, ya que con esto tomamos las riendas de dicha estructura civil y olvidamos que los propósitos principales de la regulación de canales en flujo libre son controlar los niveles de agua y caudales para minimizar fluctuaciones en los caudales proporcionados a los usuarios.

2.1.2. Nacionales

Torres, J. (2017). En su investigación indica que el software HEC-RAS emplea diferentes hipótesis y simplificaciones, siendo necesario utilizarlo cuidadosamente. Torres señala que la hidráulica ha ido evolucionando en los últimos años software computacionales para la modelización hidráulica, lo que permite conocer y entender el comportamiento real del flujo, permitiendo visualizar gráficamente los resultados, ya que la mayoría de diseños son desarrollados por métodos empíricos.

Espir, J. y Morales, J. (2015). En su investigación tiene relación con la evaluación del canal Chaquin del Sistema de Riego del Valle Viru, el cual se estudió las características hidráulicas del primer tramo, las cuales son consecuencia del cambio de sección, pendiente y trazo que actúan sobre el flujo del canal. Se ejecutó una simulación hidráulica utilizando el software HEC-RAS con el fin de corregir varios parámetros que intervienen en el canal, obteniendo información geométrica y topográfica del canal e introduciendo el software para analizar y evaluar las características con mayor precisión, el cual se basa en formulas empíricas para un análisis bidimensional. Espir y Morales plantea que los diseños deben ser analizados en conjunto ya que permite examinar un sistema integrado, obteniendo

resultados con una variación al diseño inicial, como también un análisis unidimensional y bidimensional.

2.1.3. Locales

Panta, C. (2014).en su investigación indica que el mejoramiento del sistema de riego será de mucha importancia porque garantizará la operatividad del sistema y un uso eficiente del recurso hídrico, a la vez permitirá impulsar el desarrollo agropecuario en el sector Tunan mediante el mejor uso y rendimiento de las áreas agrícolas, por lo que el mejoramiento y la modernización de sistemas de riego se consideran una respuesta para alcanzar y mantener mayores eficiencias del uso del agua en la agricultura.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Régimen de flujo

- a. Flujo permanente.** En una sección del canal el tirante permanece constante en cualquier instante del tiempo.
- b. Flujo no permanente.** Si el tirante no permanece constante con respecto al tiempo.
- c. Flujo uniforme.** A lo largo del canal la velocidad media permanece constante con respecto al espacio, es decir en cualquier sección del canal.
- d. Flujo variado.** La velocidad media no permanece constante en cualquier sección del canal.

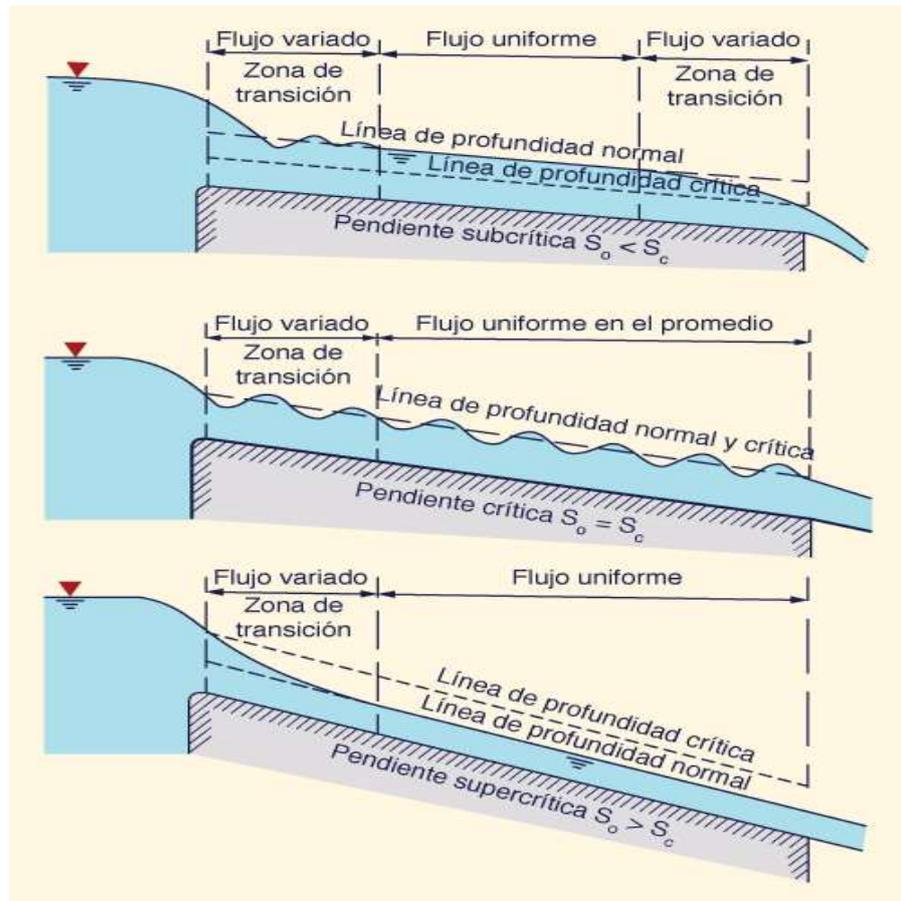


Figura 1: Régimen de flujo
Fuente: Chow, 1995

2.2.2. Dimensionalidad de modelos numéricos

Los modelos numéricos se desarrollaron para solucionar problemas de flujo de agua. Hoy en día los modelos tienen la capacidad de solventar fenómenos con un sin número de condiciones de flujo similar, agregando patrones para resolver transporte de sedimentos, dispersión de contaminantes, calidad de agua e inclusive modelación de hábitat de animales acuáticos.

Modelos unidimensionales (1D)

Los modelos unidimensionales establecen que una de las dimensiones, a lo largo del eje del río o canal predomina sobre las otras dos. Mediante secciones transversales se ingresa la información topográfica e hidráulica, para que se calcule el tirante y la velocidad promedio en toda la

sección transversal, sin considerar las variaciones tanto horizontal como vertical asumiendo por defecto que el flujo es perpendicular a la sección transversal.

Estos modelos son aplicables en tramos de ríos y canales muy largos como se muestra en la figura 2, siendo su principal objetivo determinar el máximo nivel de agua.

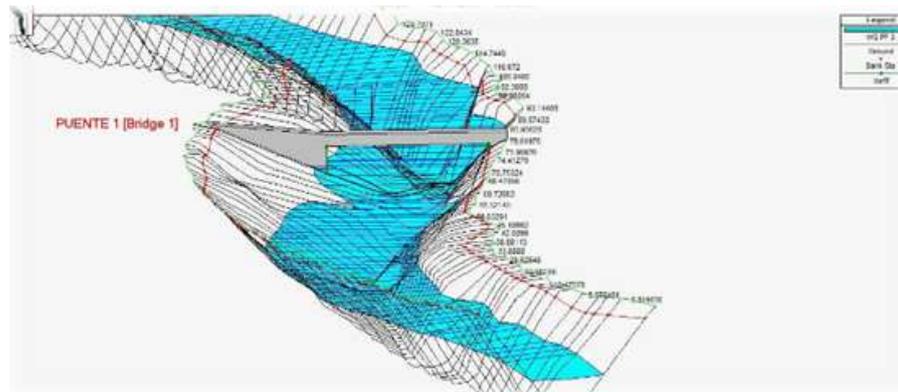


Figura 2: Modelo Unidimensional de un río
Fuente: Manual HEC-RAS, 2014

2.2.3. Ecuación de energía

Según Sotelo (1997, p.9): “La ecuación diferencial de energía para un flujo unidimensional permanente e incompresible resulta de la siguiente ecuación.”

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

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.

$\frac{p}{\gamma}$ carga de presión sobre la plantilla de la sección, en m

g aceleración de gravedad, en m/seg²

h_r pérdida interna de energía, en m.

V velocidad media en la sección, en m/seg.

α coeficiente de Coriolis para corregir el efecto de la distribución irregular de velocidades en la sección.

La integración de la ec. Líneas arriba entre dos secciones 1 y 2 conduce a:

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

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

Donde $\sum_1^2 h_r$ representa la pérdida interna de energía entre las dos secciones.

2.2.4. Ecuación de cantidad de movimiento

Según Sotelo (1997, p.10): “La ecuación de la cantidad de movimiento para dos secciones 1 y 2 de un flujo unidimensional permanente e incompresible resulta la ecuación.”

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

Donde

- \vec{F}_p Fuerza resultante debida a las presiones
- \vec{F}_c Fuerza resultante debida a la acción del esfuerzo cortante generado sobre las paredes del canal, en kg
- \vec{F}_z Fuerza de cuerpo debida al peso propio, en kg
- Q Gasto en la sección, en m³/seg
- \vec{V}_1 Vector de la velocidad media en la sección, m/seg
- β Coeficiente de Boussinesq para corregir el efecto de la distribución irregular de las velocidades en la Sección.

Las fuerzas \vec{F}_p, \vec{F}_z son las acciones que desde el exterior se aplican al volumen de control limitado por las secciones 1 y 2 y las paredes del canal.

2.2.5. Ecuación de continuidad

Según Sotelo (1997, p.9): “La ecuación diferencial de continuidad para un flujo unidimensional permanente es la siguiente.”

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

Donde

ρ	Densidad del líquido, en kg seg ² /m ⁴
V	Velocidad media en la sección, en m/seg
A	Área hidráulica de la sección, en m ²
s	Coordenada curvilínea que sigue el eje del canal, en m

Si, además, el flujo es incompresible

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

Cuya integración entre dos secciones 1 y 2 conduce a:

$$VA = Constante$$

$$V_1A_1 = V_2A_2$$

2.2.6. Diseño hidráulico de canales

a) Diseño de la sección más conveniente

Según Sotelo (1997):

El problema en los diseños de canales mayormente se presenta conociendo como datos, el caudal (Q) a transportar, la pendiente (S) disponible de acuerdo con la topografía y la rugosidad (n) de sus paredes del canal. Con estos datos se puede determinar a partir de la ecuación anterior un único valor para el módulo de sección $AR_h^{2/3}$. Sin embargo, como se observa en la figura 3, el mismo factor puede satisfacerse con distintas formas de la sección, una más eficiente que la otra, lo que implica más de una solución (p. 72)

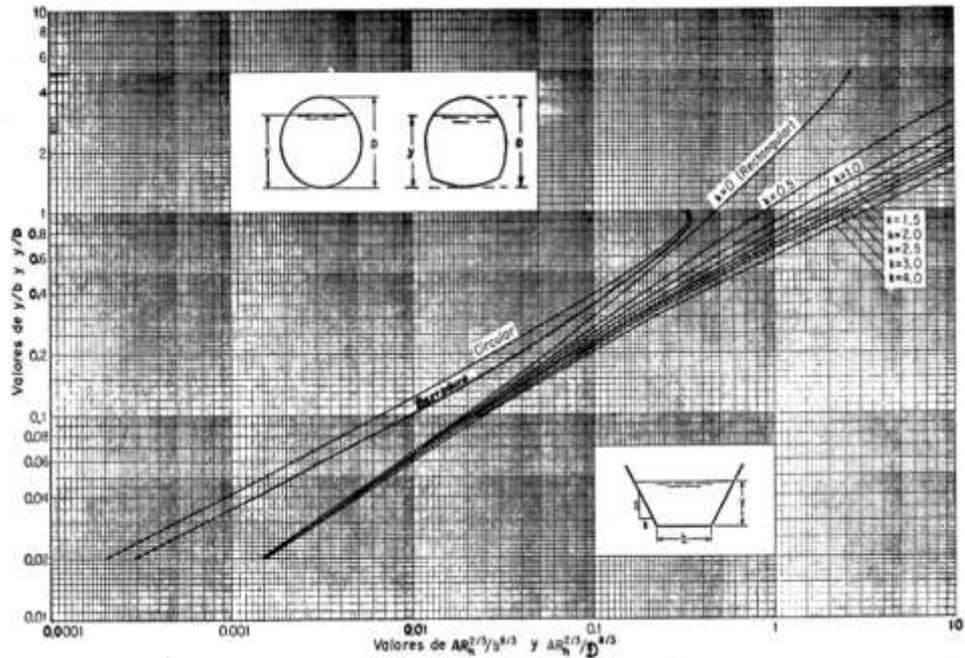


Figura 3: Curvas para determinar el tirante normal
Fuente: Sotelo, 1997

Una de las soluciones será en elegir la forma y dimensiones adecuadas que debe tener la sección, de modo que se pueda adecuar a la topografía del terreno donde se va a excavar el canal, y sea a la vez la más económica. Sin embargo, de acuerdo con el material en que se excave el canal es conviene diferenciar entre canales revestidos y no revestidos.

Lógicamente esta diferenciación varía el criterio de diseño. Los proyectos de canales revestidos se calculan mediante las dimensiones óptimas de la sección que proporcionen máxima eficiencia hidráulica y mínimo costo o ambas.

Se describirá a continuación los métodos de cálculo indicados para los canales revestidos.

b) Canales revestidos

Según Sotelo (1997) considera que: El revestimiento tiene como finalidad prevenir la erosión, evitar las infiltraciones y disminuir la rugosidad de las taludes y del fondo. Si bien no se puede tomar el criterio de velocidad máxima permisible, el revestimiento se debe diseñar con el fin de evitar que

el agua desencaje los paños de concreto y colocarlos fuera de su posición inicial. (p. 73)

Los volúmenes de materiales y el de revestimiento son las causas más relevantes en el costo del canal. El primero depende del área de la sección y la segunda del perímetro mojado. La optimización de estos dos factores reducirá el costo al mínimo.

La sección de máxima eficiencia hidráulica será cuando el perímetro mojado sea mínimo para un área determinada ya que se tendrá la mínima resistencia al escurrimiento, así como el costo mínimo de revestimiento, aunque no necesariamente la mínima excavación.

Para un caudal dado, la sección hidráulica óptima sería para aquella la cual el área sea mínima; esto involucra que la velocidad sea máxima. Según las fórmulas de Chezy y Manning significaría que el radio hidráulico $R_h = A/P$ fuera el máximo. Para ello será necesario minimizar también el perímetro mojado.

La sección trapezoidal es la más usada en canales. Normalmente el talud de la sección no se elige arbitrariamente ya que está sujeto al que pueda resistir el material de excavación y en la tabla 1 se dan algunas recomendaciones al respecto.

Tabla 1: Taludes recomendables en canales construidos en varias clases materiales.

Taludes recomendables en canales construidos en varias clases materiales	
<u>Material</u>	<u>Z</u>
Roca sana no estratificada	0 a 0.25
Roca estratificada ligeramente alterada	0.25 a 0.5
Rocas alteradas, tepetate duro	1
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

Fuente: U.S, Bureau of Reclamación

c) Ancho de plantilla y tirante

El Bureau of Reclamación propone elegir un ancho de plantilla o el tirante en función con la capacidad del canal. La figura 4 muestra una relación de valores promedios, basado en diseños anteriores, según el caudal que va a transportar el canal. Si se elige el ancho de plantilla según la figura 4 implica que el tirante estará sujeto al cálculo por medio de una fórmula de fricción. El proceso inverso también es aceptado. (Sotelo, 1997, p.78).

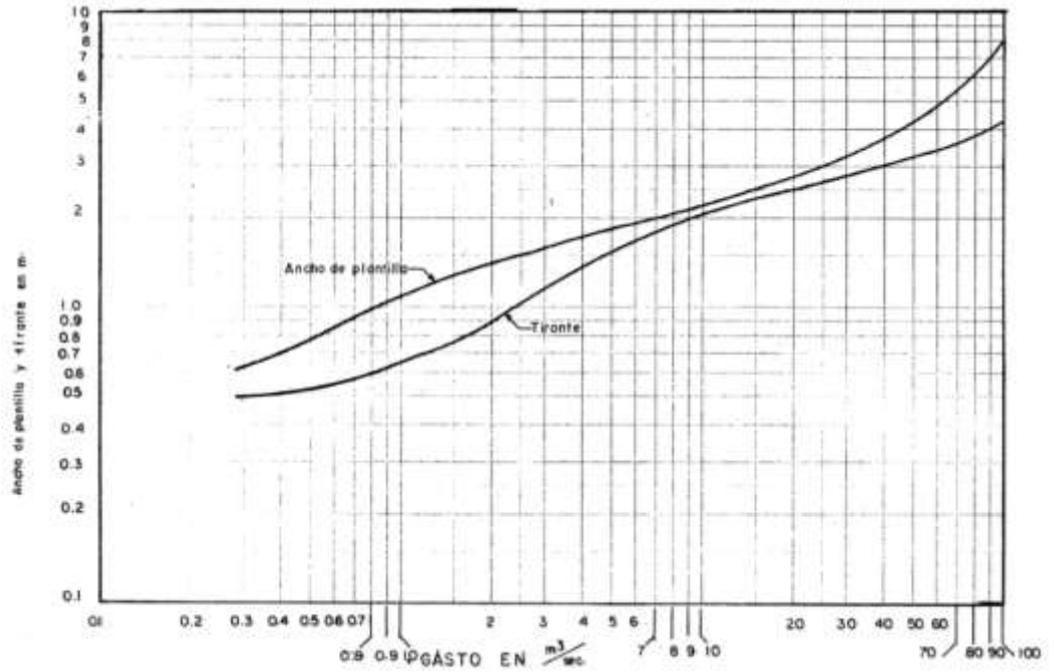


Figura 4: Ancho de plantilla y tirante recomendados para canales revestidos

Fuente: U.S. Bureau of Reclamation (1978)

d) Velocidad (V)

Al elegir la sección de un canal, se deberá verificar que la velocidad no sea menor a un valor mínimo que evite la sedimentación del material que pudiera transportarse en suspensión. Si el agua es totalmente limpia, se recomienda que la velocidad mínima permisible sea entre 0.10 y 0.20 m/seg. Si el agua lleva material en suspensión, se recomienda un valor entre 0.60 y 0.90 m/seg. (Sotelo, 1997, p.78).

e) Borde libre (B.L)

Con el fin de prever las fluctuaciones en el espejo del agua por efecto de ondulaciones u otros factores que puedan causar el desbordamiento, es necesario asignar un borde libre cuya dimensión depende de varios factores. Comúnmente varía entre 5 y 30 por ciento del tirante del canal. (Sotelo, 1997, p.78)

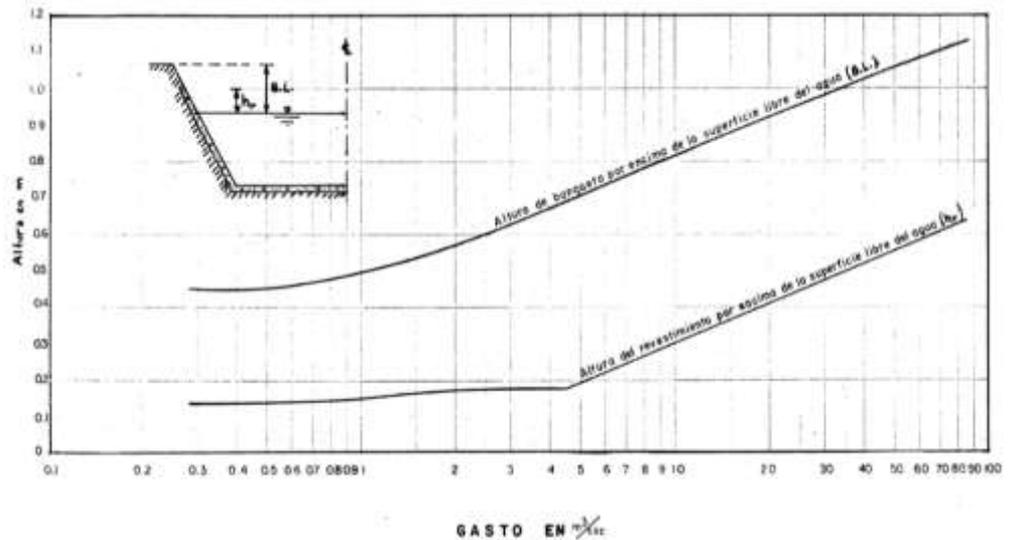


Figura 5: Borde y altura de banqueta recomendado para canales revestidos

Fuente: revestidos U.S. Bureau of Reclamation (1978)

2.2.7. Cálculo del flujo uniforme

Según Sotelo (1997, p.53) señala que: En este tipo de flujos se pueden evidenciar problemas de diseño o de revisión. Los problemas de revisión están en calcular el caudal a través de una sección de geometría, rugosidad y pendiente conocidas. Los problemas de diseño consisten en calcular la geometría de la sección, la pendiente y el caudal que circula, o bien, dada la geometría y el caudal para calcular la pendiente necesaria.

Cualquiera que sea la situación, son dos las ecuaciones que permiten el diseño del canal:

La ecuación de continuidad

$$Q = A V$$

Formula de Chezy para la fricción

$$V = C R_h^{1/2} S^{1/2}$$

El gasto se expresa entonces en la forma

$$Q = A V = C R_h^{1/2} S^{1/2} = K S^{1/2}$$

Donde el termino

$$K = C A R_h^{1/2}$$

Se conoce como factor de conducción de la sección del canal y es una medida de la capacidad de transporte al depender directamente del gasto.

Si se usa la fórmula de Manning:

$$C = \frac{R_h^{1/6}}{n}$$

Entonces

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

La expresión

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

Se conoce como el módulo de sección para el cálculo de flujo uniforme y también se expresa como sigue:

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

El segundo término depende de n Q y S, pero el primero únicamente de la geometría de la sección.

Si la sección es trapecial o rectangular se tiene:

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

2.2.8. Criterio de máxima eficiencia hidráulica

La sección de máxima eficiencia hidráulica es aquella que para la misma área tiene el perímetro mojado mínimo. En términos simples, es para la cual alcanza un área mojada mínima para conducir un caudal determinado, con rugosidad, pendiente y forma geométrica establecida.

El trazo del canal deberá asegurar que su pendiente longitudinal sea paralela al terreno, lo cual se conseguirá en

superficies de topografía muy uniforme (plana). Si éste fuera el caso, y mayormente en canales revestidos, la recomendable es que se realice el criterio de la sección de máxima eficiencia, ya que resulta la más económica en este tipo de topografía.

Para el diseño de una canal trapezoidal de máxima eficiencia se toma en cuenta la mitad de un hexágono regular, para ello se relacionan las fórmulas de perímetro y área llevadas al límite donde para un caudal máximo debe de haber un perímetro mínimo. (Villón, 2008, p.97). De acuerdo a las siguientes imágenes para máxima eficiencia de una sección trapezoidal, se tiene: en función al ángulo es 60° y en función del talud Z es $\sqrt{3}/3$. (Villón, 2008, p.97).

SECCION	AREA A	PERIMETRO MOJADO P	RAZO HIDRAULICO R	ANCHO SUPERFICIAL T	TRIANTE HIDRAULICO d	FACTOR HIDRAULICO Z
TRAPEZOIDO (Mitad de un hexágono)	$\sqrt{3}y^2$	$2\sqrt{3}y$	$\frac{2}{2}$	$\frac{4}{3}\sqrt{3}y$	$\frac{3}{4}y$	$\frac{3}{2}y^{\frac{1}{2}}$
RECTANGULO (mitad de un cuadrado)	$2y^2$	$4y$	$\frac{2}{2}$	$2y$	y	$2y^{\frac{1}{2}}$
TRIANGULO (Mitad de un cuadrado)	y^2	$2\sqrt{2}y$	$\frac{1}{4}\sqrt{2}y$	$2y$	$\frac{2}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}y^{\frac{1}{2}}$
SEMICIRCULO	$\frac{\pi}{2}y^2$	πy	$\frac{1}{2}y$	$2y$	$\frac{\pi}{4}y$	$\frac{\pi}{4}y^{\frac{1}{2}}$
PARABOLA $T = 2\sqrt{2}y$	$\frac{4}{3}\sqrt{2}y^2$	$\frac{8}{3}\sqrt{2}y$	$\frac{1}{2}y$	$2\sqrt{2}y$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{8}{9}\sqrt{2}y^{\frac{1}{2}}$
CATENARIA	$1.39586y^2$	$2.9836y$	$0.46784y$	$1.917532y$	$0.72795y$	$1.19093y^{\frac{1}{2}}$

Figura 6: Secciones de Máxima Eficiencia Hidráulica
Fuente: Libro de Villon.

Sección trapezoidal: mitad de un hexágono regular

$$Z = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

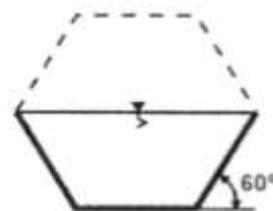


Figura 7: Talud más Eficiente
Fuente: Villon (2008, p.97). Hidráulica de canales

2.2.9. Modelamiento hidráulico

a. Modelos matemáticos

Los comportamientos hidráulicos son muy complicados que fácilmente no se pueden analizar y representar en la mayoría de los casos, es por ello que se analizan modelos matemáticos como instrumentos para comprender la conducta de estos fenómenos. Según Rocha (2003), estos modelos son una representación reducida de un aspecto de la naturaleza y en muchos casos de las obras existentes.

Estos modelos son herramientas que ayudan a conocer y entender la conducta del flujo del agua en la realidad, así como la interacción con las estructuras existentes; debiendo señalar que los modelos matemáticos no solo se adaptan a la ingeniería hidráulica, sino en las demás ramas de la ingeniería.

Rocha (2003), citado por Torres (2017, p.44), indica que un modelo es una esquematización de la realidad, realizada con fines de estudio. Por lo tanto, los modelos matemáticos son muy apropiados para entender la conducta de fenómenos reales.

b. Modelación con HEC-RAS

Según Torres (2017, p.45), considera que: HEC-RAS es un software de modelización hidráulica unidimensional, en el cual el diseñador interactúa con el mismo mediante el uso de gráficas. Este software emplea el Método Estándar para la solución del flujo permanente gradualmente variado, este calcula los niveles de agua para cada sección. Para ello, es necesario conocer las secciones, la separación entre ellas, el coeficiente de Manning de cada tramo, los caudales de diseño y la condición de borde. Si el flujo es subcrítico, debe conocerse la sección aguas abajo, y si el flujo es supercrítico, debe conocerse la sección aguas arriba.

El software HEC-RAS, realiza tres tipos de análisis: modelación de flujo en régimen permanente para el cálculo del perfil del flujo, modelación de flujo en régimen no permanente y modelación del transporte de sedimentos. (Torres, 2017, p.45).

2.3. Definición de términos básicos

Canales. Son conductos abiertos o cerrados el cual el líquido circula debido a la acción de la gravedad; esto quiere indicar que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso (Villón, 2008).

Velocidad mínima. Para evitar la cantidad de depósito de materiales en suspensión se recomienda diseñar un canal revestido con una velocidad mínima entre 0.4 a 1.0 m/s.

Velocidad máxima. En canales revestidos, las velocidades máximas oscilan entre 1.5 y 3 m/s en tramos rectos. Y en tramos curvos, en zonas donde se ubican compuertas, partidores, etc., la velocidad recomendada es 1 m/s.

Taludes. Es la inclinación que tienen las paredes laterales de la estructura y se expresan en forma de proporción. La más usada son en secciones trapezoidales, y dependen del terreno en el cual el canal será excavado (Villón, 2008).

Caudal. Es la cantidad de líquido que pasa en un determinado tiempo. Frecuentemente es el volumen que pasa por un área determinada en la unidad de tiempo.

Simulación hidráulica. Se entiende, como la representación matemática de la situación real, con el que se desea aumentar sus predicciones y posiblemente apoyar a verificar el sistema utilizándose como la base del cálculo hidráulico para simular diferentes estados del flujo.

HEC-RAS. Es un software unidimensional de modelización hidráulica en ríos compuesto por 4 tipos de análisis: Modelización de flujo en régimen permanente, Modelización de flujo en

régimen no permanente, Modelización del transporte de sedimentos, Análisis de calidad de agua.

2.4. Formulación de la hipótesis

a. Hipótesis principal

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 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.

b. Hipótesis específicas

- El levantamiento topográfico y geométrico va a determinar la pendiente en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.
- Las características hidráulicas van a determinar la sección típica en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.
- La modelación numérica va a determinar distintas variables y resultados más prácticos en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

1.1 Tipo y diseño metodológico

a) Tipo de investigación

Para ello existen diversos tipos de investigación, los cuales se clasifican según el punto de vista al que se desea direccionar.

b) Investigación aplicada

Porque el proyecto de tesis se orientó a obtener un nuevo conocimiento destinado a solucionar problemas prácticos.

c) Investigación cuantitativa

Abarca la parte cuantitativa, ya que la investigación permitió evaluar los datos de manera científica y numérica con ayuda de la estadística. Para contrastar la hipótesis de este estudio se usaron herramientas cuantitativas.

d) Investigación descriptiva

Porque implica observar y describir los hechos tal como son observados. En la presente tesis se analizaron los resultados obtenidos mediante planos y gráficos.

1.2 Diseño de la investigación

Diseño experimental

Porque permite identificar y cuantificar las causas del efecto dentro del estudio a investigar, además de llegar al objetivo principal.

1.3 Muestra

La muestra de la investigación fueron los correspondientes a los 3+085 km del canal de riego en el Distrito de Salas, región Lambayeque, ubicado a la margen izquierda del río Salas.

1.4 Técnicas de investigación

En esta fase de procederá a la revisión de documentación, encuestas de campo (tabla 2), fichas de trabajo, cámara fotográfica, planos, imágenes satelitales, alcances, revistas y trabajos científicos inherentes al tema en estudio e información de elementos teóricos que permitirán el desarrollo de la presente tesis.

Tabla 2: Encuesta Realiza a Profesionales Expertos
Encuesta Realizada a Profesionales Expertos

<u>Preguntas</u>	<u>Respuestas</u>	<u>Interpretación</u>
1. ¿Qué opinión tiene sobre el título?		
2. ¿Qué propuesta de mejora cree usted que se debe implementar en el título de esta investigación?		
3. ¿Cuál es el problema principal que cree usted exista en esta investigación?		
4. ¿Qué objetivos podría plantear en esta investigación?		
5. ¿Cuál es la importancia de la aplicación de esta investigación a futuros proyectos?		
6. ¿Se utiliza el criterio de máxima eficiencia hidráulica en la mejora del diseño del canal de riego?		
7. ¿Cuál es el aporte que espera en esta investigación?		
8. ¿Maneja algún software para el cálculo hidráulico? Menciónelos		
9. ¿Estaría en las condiciones de utilizar otro software?		
10. ¿Cuál creería usted que es el beneficio de este software?		

Elaborado por: el autor

1.5 Procesamiento y análisis estadístico de los datos

1.5.1 Procesamiento

La recolección de las encuestas es procesada para obtener los histogramas y así determinar con el diagrama de Ishikawa las causas y efectos del problema planteado y poder cuantificar que tan positiva y relevante es esta investigación.

Con la realización del levantamiento topográfico se obtendrá datos respecto a la sección transversal del canal y pendiente longitudinal los mismos que se hará con ayuda de equipos topográficos, los cuales se nombran a continuación: Estación total LEICA TS06 PLUS 5", Prismas y GPS.

El procesamiento de los datos, tales como las fórmulas empíricas a consecuencia del diseño se realizarán en hojas de cálculo en el programa Microsoft Excel cuyos formatos contenían formulas necesarias de cada ensayo.

1.5.2 Análisis

En base a los datos del levantamiento topográfico se analizará con ayuda del software AUTOCAD CIVIL 3D los puntos insertados, para así poder analizar el trazo de la planta y perfil longitudinal del eje del canal.

Los datos tomados en campo tanto caudales como velocidades se analizará por medio de hojas de cálculo con la ayuda del Excel cuyos formatos contienen las fórmulas necesarias luego con la ayuda del AutoCAD Civil 3D junto con la topografía se ingresa en el software HEC-RAS para simular individualmente cada sección, asimismo una simulación general para analizar el comportamiento y características del canal.

El análisis de los resultados se presentó a través de gráficos, también con la ayuda del Excel, donde se registraron los datos de los ensayos realizados, así como el AutoCAD Civil 3D para el diseño de planos y HEC-RAS para los gráficos obtenidos de la modelación hidráulica

1.6 Cronograma de actividades

Tabla 3: Cronograma de Actividades
Cronograma de Actividades

Actividades	Mayo				Junio				Julio				Agosto			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1. Recolección de información existente	█															
2. Consulta y asesoría		█														
3. Recolección de datos		█	█	█												
4. Procesamiento de datos			█	█	█	█										
5. Elaboración del informe					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		
6. Presentación de avances							█				█			█		
7. Revisión y corrección de observaciones								█				█			█	
8. Sustentación final																█

Elaborado por: el autor

CAPÍTULO IV

DESARROLLO

Para el desarrollo de la presente tesis se realizó un procedimiento a nivel de ingeniería con el cual se analizará el comportamiento de fenómenos hidráulicos, realizándose trabajos tanto de campo y gabinete, como se detalla a continuación:

2.1 Trabajo de campo

Los trabajos de campo realizados se basaron en el levantamiento en planta del eje del canal en estudio, secciones transversales y ubicación de las obras de arte existentes que forman parte del canal.



Figura 8: Ubicación del canal en estudio
Elaborado por: el autor

Levantamiento planimétrico

Posteriormente de ubicarse el punto de inicio, se realizó el trazo del canal en estudio con una longitud de 3,085 m. En ella se definió un total de 120 PI, tratando de llevar el trazo del eje del proyecto coincidentemente con el canal de tierra existente, eludiendo así afectar áreas agrícolas situadas en ambas márgenes del canal, efectuando algunas mejoras (se mejoraron curvas cerradas de radios mínimos, alineando algunos tramos) donde el terreno lo permita.

El trazo del canal se dibujó en escala 1:2000.



Figura 9: Manantial El Avió
Elaborado por: el autor



Figura 10: Situación actual del canal
Elaborado por: el autor

Levantamiento altimétrico

Teniendo como información base la red de control (BM), se inició a realizar el levantamiento del perfil longitudinal del terreno siguiendo el trazo de diseño identificando mediante el estacado cada 10 m, empleando el método de nivelación diferencial.

Luego de obtenido el perfil longitudinal se procedió al levantamiento de las secciones transversales perpendicular al eje del trazo, el cual fueron tomadas cada 10 m y en un ancho aproximadamente de 5 m a cada lado del eje del canal en estudio.

2.2 Trabajo de gabinete

Se verifico el diseño hidráulico del canal aplicando los criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamación (USBR) y el software H-Canales.

Luego se aplicó el software HEC-RAS como herramienta para la modelación de las características de la Hidráulica del canal.

En el desarrollo del estudio presentado, el criterio empleado para secciones es de máxima eficiencia hidráulica. Para ello se sigue el siguiente proceso.

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

1. Se calcula el caudal de riego, para lo cual se toma área de estudio multiplicada por su módulo y se define según el enunciado el caudal para cada tramo.

Tabla 4: Cálculo del Caudal por Tramos
CÁLCULO DEL CAUDAL POR TRAMOS

ENTRADA DE DATOS INICIALES:

Parámetro	Unidades	
Área Total At =	ha	387
Módulo de riego Mr =	l/s/ha	1
Caudal requerido Qr =	l/s	387

CÁLCULOS DEL CAUDAL POR TRAMO

	TRAMO		Área Parc. Ha	Q (l/s)	Caudal Tramo	
	DE	A			Q (l/s)	Q (m ³ /s)
SECTOR 1	0+000	3+085	387.00	387	387	0.39

Elaborado por: el autor

2. Se traza la pendiente del fondo del canal acoplándose al perfil longitudinal, de modo que sea lo más suave posible, determinando así las cantidades de tramos existentes. Verificando así una correcta superficie para la entrada de datos a la modelación

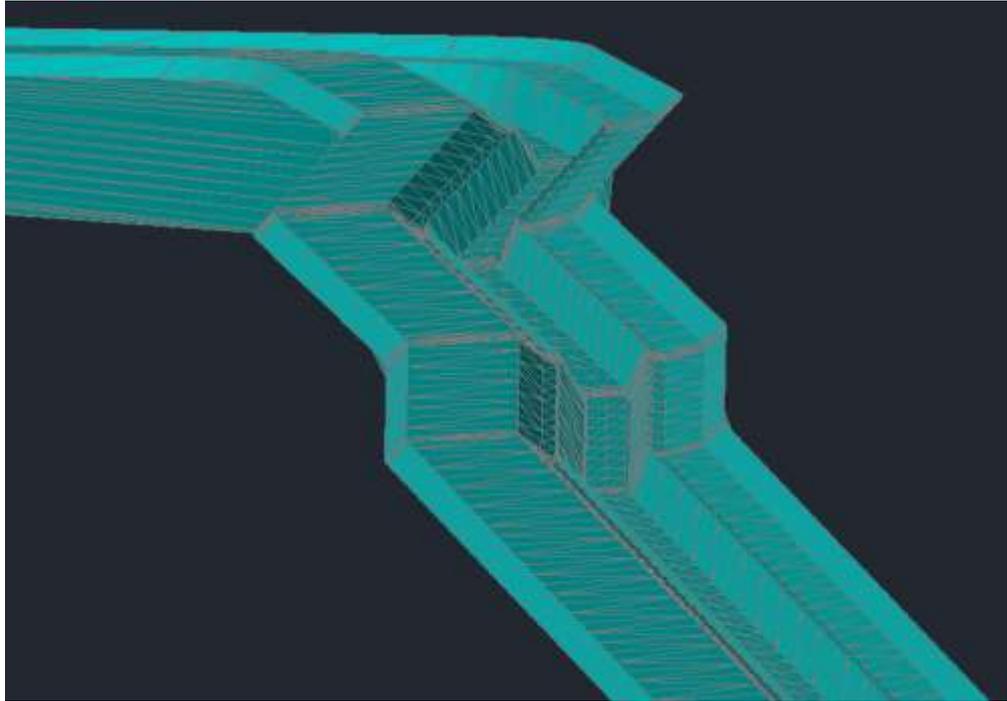


Figura 11: Representación gráfica Isométrico de topografía para la verificación de datos de calidad para iniciar con la modelación
Elaborado por: el autor

Tabla 5: Determinación de pendientes por tramos

DETERMINACION DE PENDIENTES POR TRAMOS

PENDIENTES POR TRAMO

	TRAMO		Pendiente
	DE	A	‰
SECTOR 1	0+000	3+085	2.5

Elaborado por: el autor

3. Se reemplaza en la ecuación de Manning, los datos de pendiente y rugosidad para cada tramo y se obtiene una expresión en función del tirante.

4. Se da valores de “y” hasta coincidir con el caudal de diseño, se toma ese valor para obtener los datos hidráulicos para esa sección.

Tabla 6: Cálculo del Tirante Normal Tramo 1

CÁLCULO DEL TIRANTE NORMAL

ENTRADA DE DATOS INICIALES:

Parámetro	Unidades	
Caudal Q =	m ³ /s	0.39
Pendiente del canal S ₀ =	m/m	0.0025
Coefficiente de manning n =		0.014

CÁLCULOS DEL TIRANTE NORMAL

TRAMO 1 (KM 0+000 AL KM 3+085)

Yn (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	Q (m ³ /s)
0	0.000	0.000	0.000	0.000
0.1	0.017	0.346	0.050	0.008
0.2	0.069	0.693	0.100	0.053
0.3	0.156	1.039	0.150	0.157
0.4	0.277	1.386	0.200	0.338
0.41	0.291	1.420	0.205	0.362
0.43	0.313	1.472	0.213	0.398
0.48	0.391	1.645	0.238	0.535
0.53	0.477	1.819	0.263	0.699
0.58	0.573	1.992	0.288	0.891

Entre estos valores está el Qinicial

yn = 0.43 m

b = 0.49 m

Elaborado por: el autor

5. Se considera el criterio de máxima eficiencia de la sección, para este caso se toma como dato el valor de talud, donde $(b = (2\sqrt{3}/3) * y)$.
6. Para determinar el tipo de flujo, se calcula el número de Froude y número de Reynolds de acuerdo a sus fórmulas correspondientes, considerando los valores establecidos para cada límite.

Tabla 7: Curva de la energía específica E vs Y para un Q constante Tramo 1
CURVA DE LA ENERGIA ESPECIFICA E vs Y PARA UN Q CONSTANTE

ENTRADA DE DATOS INICIALES:

Parámetro	Unidades	
Caudal Q =	cm/hr	0.39
Base b =		0.49
Talud Z =	$z = \frac{\sqrt{3}}{3}$	0.577

CÁLCULOS INTERMEDIOS

Y (m)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² /2g	E	T (m)	Fr
0.15	0.09	4.503	1.034	1.184	0.66395281	3.98
0.18	0.10	3.766	0.723	0.898	0.69282032	3.11
0.20	0.12	3.217	0.527	0.727	0.72168784	2.51
0.23	0.14	2.793	0.398	0.623	0.75055535	2.07
0.25	0.16	2.456	0.308	0.558	0.77942286	1.74
0.28	0.18	2.183	0.243	0.518	0.80829038	1.48
0.30	0.20	1.958	0.195	0.495	0.83715789	1.28
0.33	0.22	1.769	0.159	0.484	0.8660254	1.12
0.35	0.24	1.608	0.132	0.482	0.89489292	0.99
0.38	0.27	1.470	0.110	0.485	0.92376043	0.88
0.40	0.29	1.351	0.093	0.493	0.95262794	0.78
0.43	0.31	1.247	0.079	0.504	0.98149546	0.70
0.45	0.34	1.155	0.068	0.518	1.01036297	0.64
0.48	0.36	1.073	0.059	0.534	1.03923048	0.58
0.50	0.39	1.001	0.051	0.551	1.068098	0.53
0.53	0.42	0.936	0.045	0.570	1.09696551	0.48
0.55	0.44	0.877	0.039	0.589	1.12583302	0.45
0.58	0.47	0.824	0.035	0.610	1.15470054	0.41
0.60	0.50	0.776	0.031	0.631	1.18356805	0.38
0.63	0.53	0.733	0.027	0.652	1.21243557	0.35
0.65	0.56	0.693	0.024	0.674	1.24130308	0.33
0.68	0.59	0.656	0.022	0.697	1.27017059	0.31
0.70	0.63	0.623	0.020	0.720	1.29903811	0.29
0.73	0.66	0.592	0.018	0.743	1.32790562	0.27

El tirante crítico corresponde a la situación de mínima energía
 Para un flujo crítico: Fr
 = 1
 Entonces para un Fr=1, tomaremos el Y como
 crítico Yc
 Elaborado por: el autor

7. Con los valores obtenidos de los tirantes para cada tramo y la ecuación de la energía, se gráfica la curva de energía donde la abscisa representa la energía y la ordenada el tirante, para lo cual se da valores cercanos al tirante para representar la curva.

Tramo 1

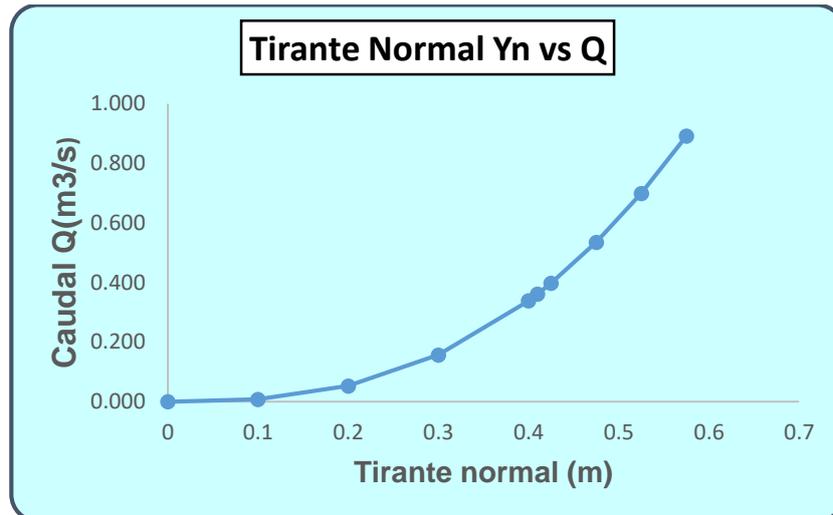


Figura 12: Tirante Normal Yn vs Q
Elaborado por: el autor

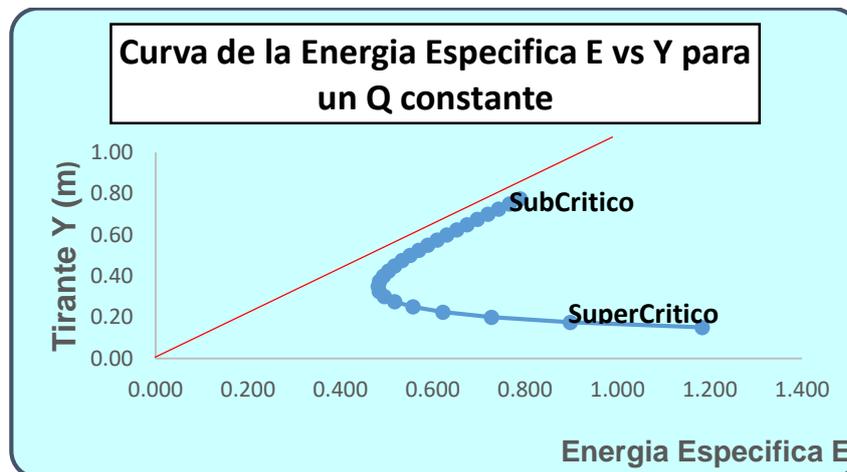


Figura 13: Curva de la Energía Especifica E vs Y para un Q constante
Elaborado por: el autor

8. Se calcula el tirante crítico para cada sección determinada, de acuerdo a la siguiente expresión: $Q^2 / g = A^3 / T$

Tabla 8: Cálculo del Tirante Crítico Tramo 1

CÁLCULO DEL TIRANTE CRITICO

ENTRADA DE DATOS INICIALES:

Parámetro	Unidades	
Caudal Q =	m ³ /s	0.39
Ancho del Canal b =	m	0.49
Talud z =		0.58
Pendiente del canal S ₀ =	m/m	0.0025
Coefficiente de manning n =		0.014
Froude Fr =		1
Gravedad g =		9.81

CÁLCULOS DEL TIRANTE CRITICO

Yc (m)	Ac (m ²)	Bc (m)	Q (m ³ /s)
0	0.000	0.491	0.000
0.1	0.055	0.606	0.052
0.2	0.121	0.722	0.156
0.3	0.199	0.837	0.304
0.31	0.208	0.849	0.322
0.32	0.216	0.860	0.339
0.325	0.220	0.866	0.348
0.33	0.225	0.872	0.358
0.335	0.229	0.878	0.367
0.345	0.238	0.889	0.386
0.355	0.247	0.901	0.405
0.365	0.256	0.912	0.425

Entre estos valores
esta el Qinicial

yc = 0.35 m

Elaborado por: el autor

Verificación del diseño Hidráulico del canal aplicando HCANALES



Figura 14: Verificación del diseño hidráulico HCANALES
Elaborado por: el autor

La comprobación de las características hidráulicas del canal se realizó utilizando el software HCANALES para el caudal calculado tal como se muestra en la fig 15 y fig 16

Tramo 1 km 0+000 al km 3+085

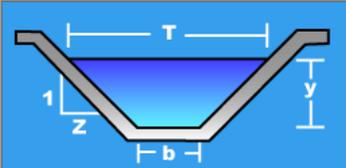
Diseño de máxima eficiencia hidráulica

Diseño para una sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica

Lugar:	SALAS	Proyecto:	DISEÑO DEL CANAL DE RIE
Tramo:	KM 0+000 AL KM 3+085	Revestimiento:	F'c=175 kg/cm2

Datos:

Caudal (Q):	0.39	m3/s
Talud (Z):	0.577	
Rugosidad (n):	0.014	
Pendiente (S):	0.0025	m/m



Resultados:

Tirante (y):	0.4218	m	Ancho de solera (b):	0.4872	m
Perímetro (p):	1.4612	m	Área hidráulica (A):	0.3082	m ²
Radio hidráulico (R):	0.2109	m	Espejo de agua (T):	0.9740	m
Velocidad (v):	1.2654	m/s	Número de Froude (F):	0.7183	
Energía específica (E):	0.5034	m-Kg/Kg	Tipo de flujo:	Subcrítico	



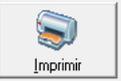




Figura 15: Diseño de máxima eficiencia hidráulica Tramo 1

Elaborado por: el autor

Cálculo de tirante crítico

Cálculo del Tirante Crítico sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular

Lugar:	SALAS	Proyecto:	DISEÑO DEL CANAL DE RIE
Tramo:	KM 0+000 AL KM 3+085	Revestimiento:	F'c=175 kg/cm2

Datos:

Caudal (Q):	0.39	m3/s
Ancho de solera (b):	0.49	m
Talud (Z):	0.577	



Resultados:

Tirante crítico (y):	0.3475	m	Perímetro (p):	1.2924	m
Área hidráulica (A):	0.2400	m ²	Radio hidráulico (R):	0.1857	m
Espejo de agua (T):	0.8910	m	Velocidad (v):	1.6253	m/s
Número de Froude (F):	1.0000		Energía específica (E):	0.4821	m-Kg/Kg







Figura 16: Cálculo de tirante crítico Tramo 1

Elaborado por: el autor

Verificación del diseño Hidráulico del canal, aplicando software HEC-RAS

Con toda la información de campo, se crea un interfaz con el software HEC-RAS para los diferentes datos para así, realizar la modelación hidráulica y obtener los parámetros correspondientes.

Generación de datos para HEC-RAS

Este software permite el uso de diversas herramientas y procesos para interactuar entre la topografía actual y el Autocad Civil 3D.

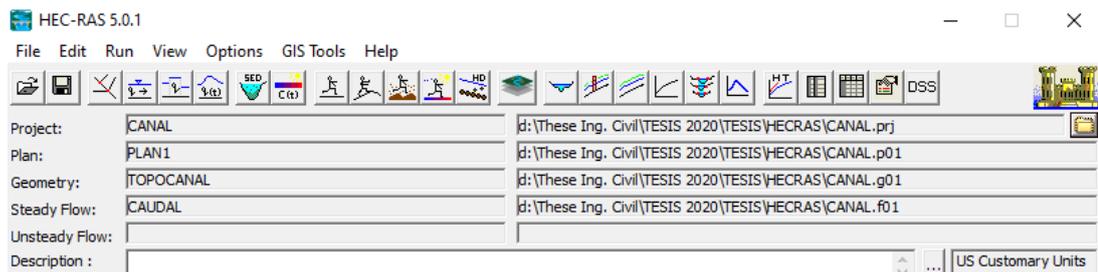


Figura 17: Creación del proyecto en HEC-RAS

Elaborado por: el autor

Ingreso de datos del flujo mediante la herramienta Steady Flow y Edit Number of Profiles $Q = 0.39 \text{ m}^3/\text{seg}$, el cual automáticamente será profile 01 (PF1), tal como se muestra en la figura

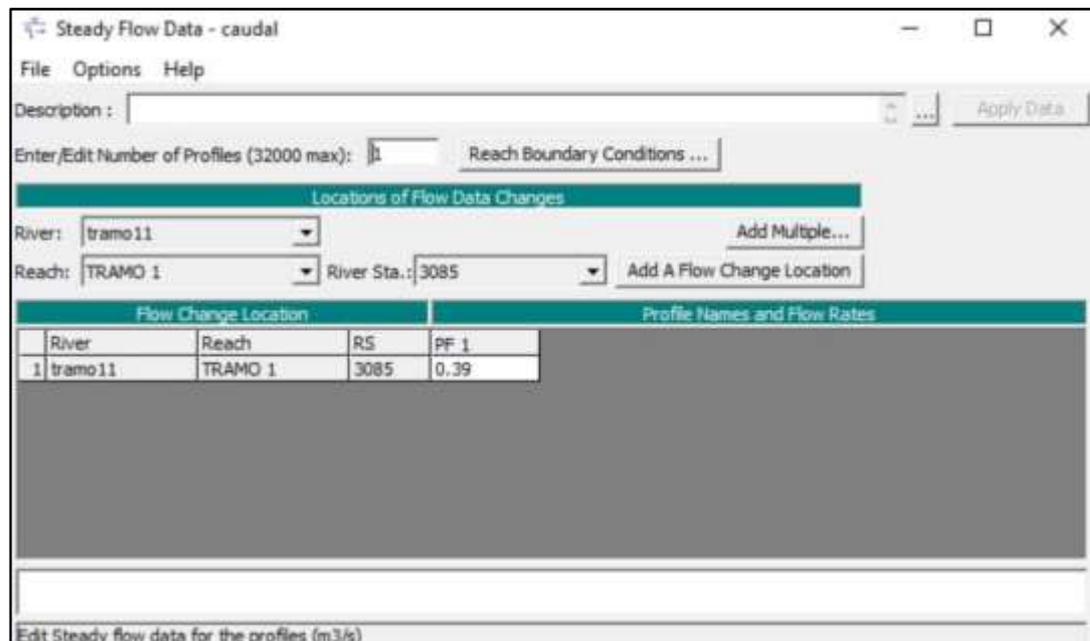


Figura 18: Herramientas del software HEC-RAS para edición del flujo permanente

Ingreso de los datos de diseño en el tramo del canal

Elaborado por: el autor

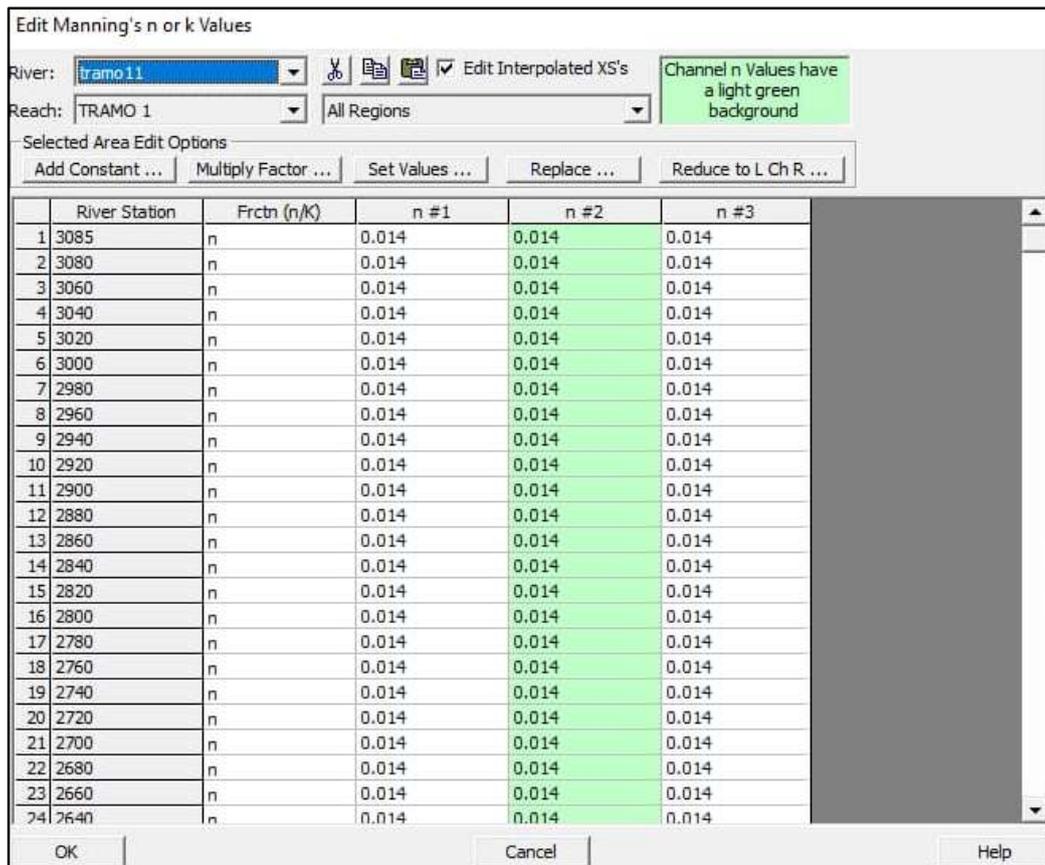


Figura 19: Ingreso del coeficiente de Manning

Elaborado por: el autor

En el análisis del flujo permanente del HEC-RAS, el último paso para culminar la aplicación del software para llegar a la herramienta del Steady Flow Analysis solo se tiene que llegar desde Run.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Método U.S. Bureau of Reclamation

Tabla 9: Caudales por cada sección

PROGRESIVA		0+000 3+085
SECTOR		1
CAUDAL (m ³ /s)	REAL	0.39
	CALCULADO	0.386

Elaborado por: el autor

Tabla 10: Las pendientes consideradas para cada tramo

PROGRESIVA		0+000 3+085
SECTOR		1
PENDIENTE		2.5 ‰

Elaborado por: el autor

Tabla 11: Los tirantes para cada tramo

PROGRESIVA		0+000 3+085
SECTOR		1
TIRANTE (m)	U.S.B.R	0.43
	HCANALES	0.42

Elaborado por: el autor

Tabla 12: Los tirantes críticos para cada tramo

PROGRESIVA		0+000 3+085
SECTOR		1
TIRANTE (m)	U.S.B.R	0.35
	HCANALES	0.34

Elaborado por: el autor

Tabla 13: Las caídas verticales consideradas

PROGRESIVA		0+000 3+085
SECTOR		1
CAIDA VERTICAL (m)		1.0

Elaborado por: el autor

Tabla 14: El ancho de solera considerada para cada sección

PROGRESIVA	0+000 3+085
SECTOR	1
ANCHO (m)	0.49

Elaborado por: el autor

Tabla 15: Elementos geométricos de máxima eficiencia hidráulica para cada tramo

Progresiva		0+000 3+085
Sector		1
COMPONENTE	UND	
Perímetro mojado	m	1.47
Radio hidráulico	m	0.21
Área hidráulica	m ²	0.31
Espejo de agua	m	0.98
Borde libre	m	0.13
Altura	m	0.55
Velocidad	m/seg	1.27
Numero Froude		0.72
Numero Reynolds		267.58

Elaborado por: el autor

Representación gráfica

Tramo km 0+000 al km 3+085

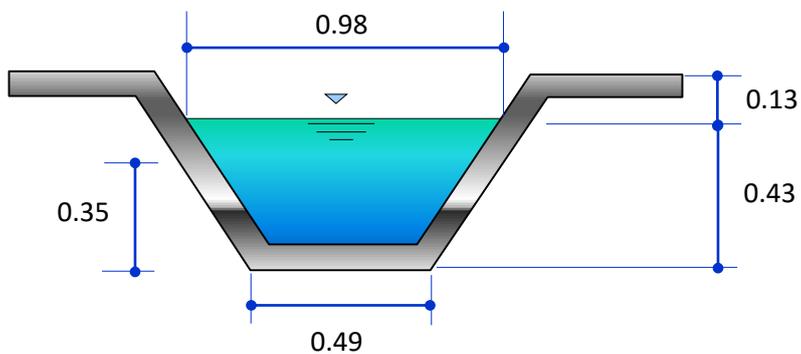


Figura 20: Representación gráfica tramo 1
Elaborado por: el autor

5.2. Método con software HEC-RAS

Los resultados gráficos del análisis muestran el comportamiento del canal en conjunto tal como se muestra en la figura, utilizando las secciones y las elevaciones a detalle, este análisis permite revisar la intervención de la pendiente en el canal.



Figura 21: Vista Pseudo Tridimensional en tramo de sección trapezoidal típica sin desbordamiento

Elaborado por: el autor

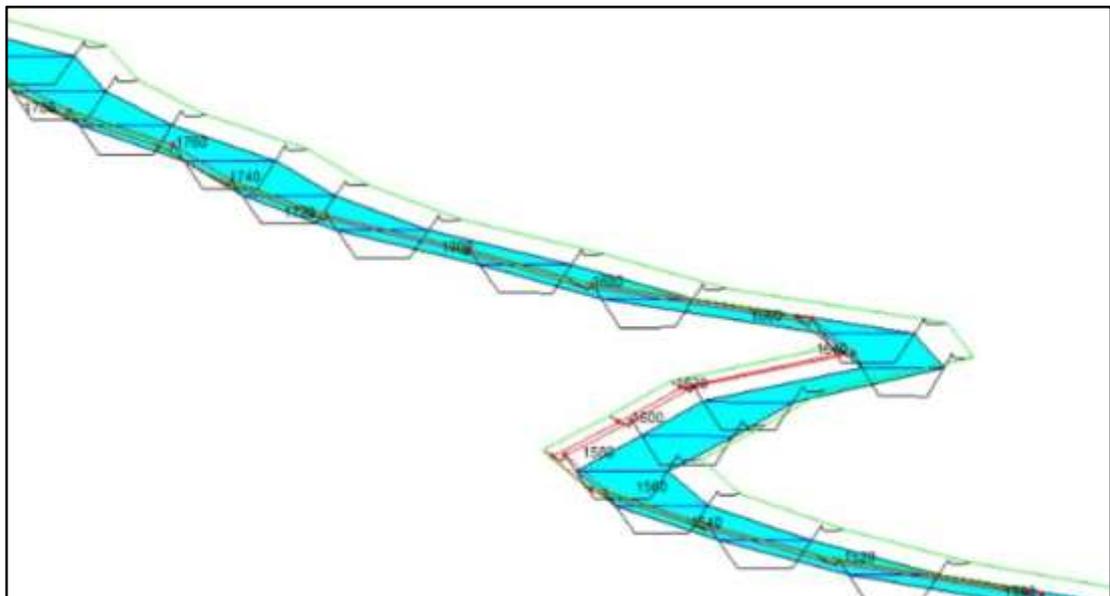


Figura 22: Simulación del canal en el software HEC-RAS en tramo sin desbordamiento

Elaborado por: el autor

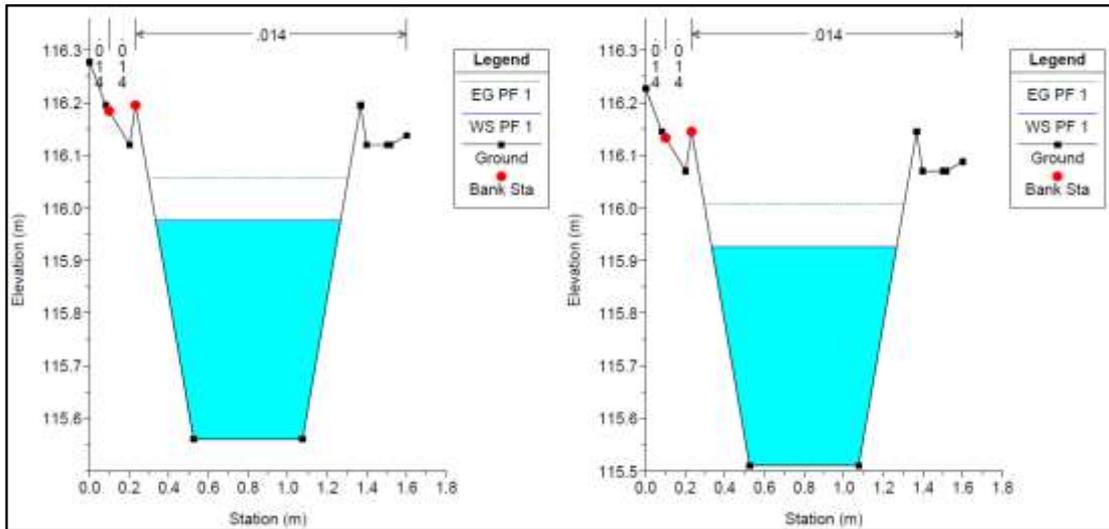


Figura 23: Sección transversal típica en donde se muestra que no existe desborde ya que el suelo (Ground) sobrepasa la superficie del agua (WS)

Elaborado por: el autor

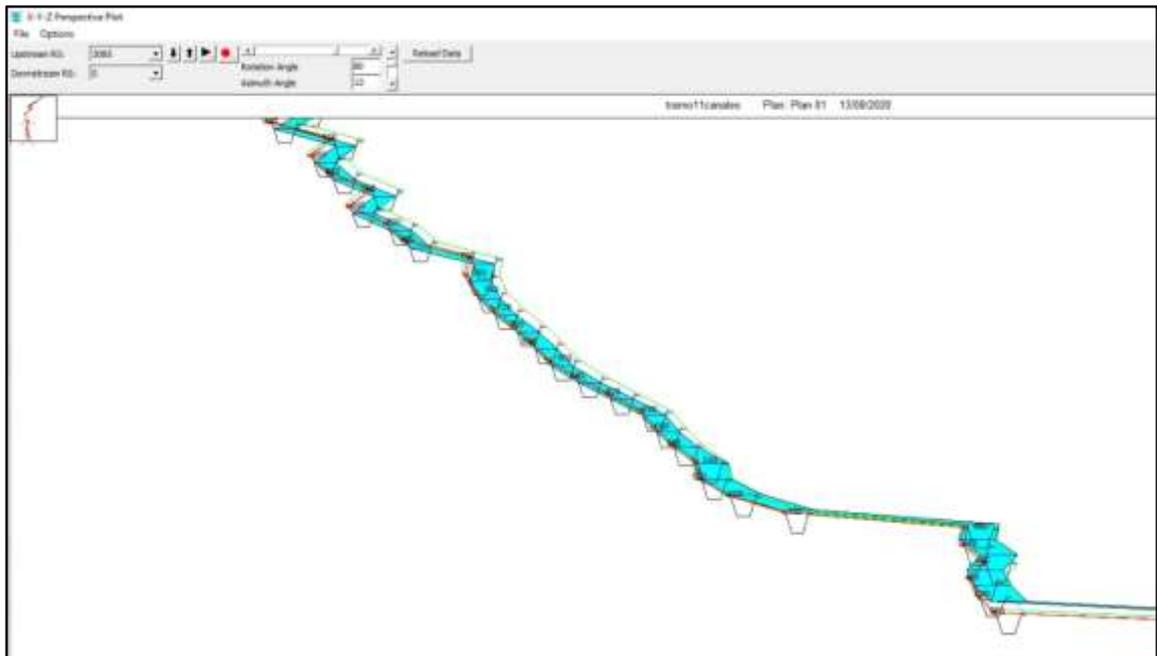


Figura 24: Vista Pseudo Tridimensional en tramo de sección trapezoidal típica con desbordamiento

Elaborado por: el autor

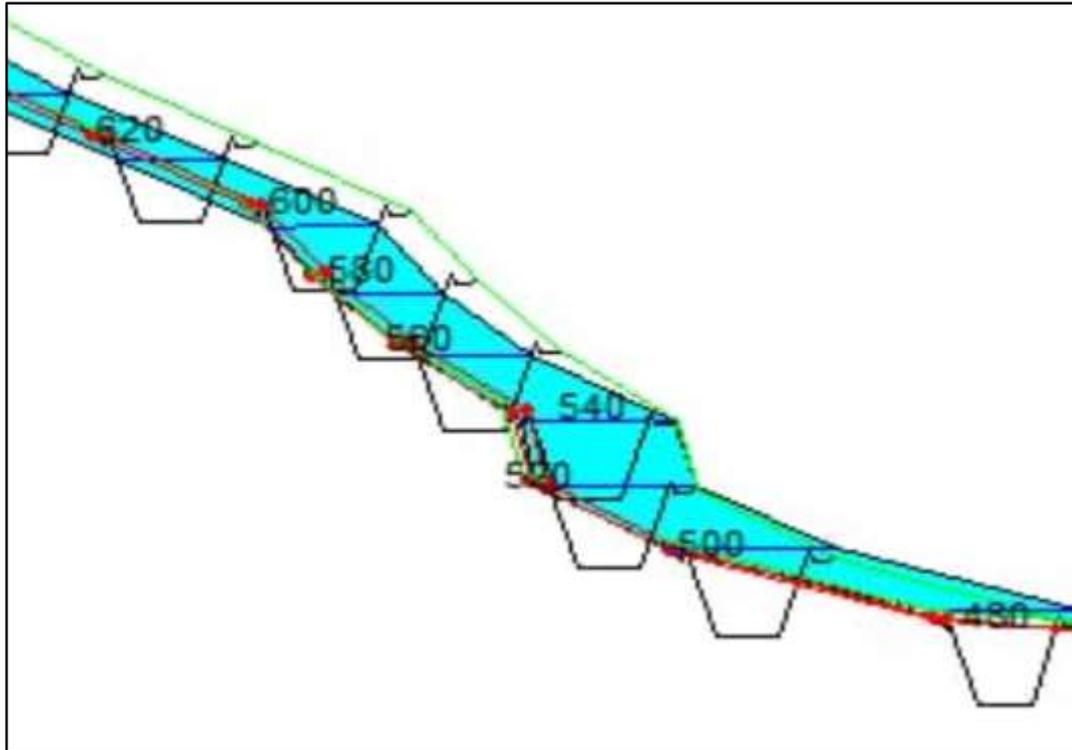


Figura 25: Simulación del canal en el software HEC-RAS en tramo con desbordamiento entre las progresivas del km 0+320 al km 0+560
Elaborado por: el autor

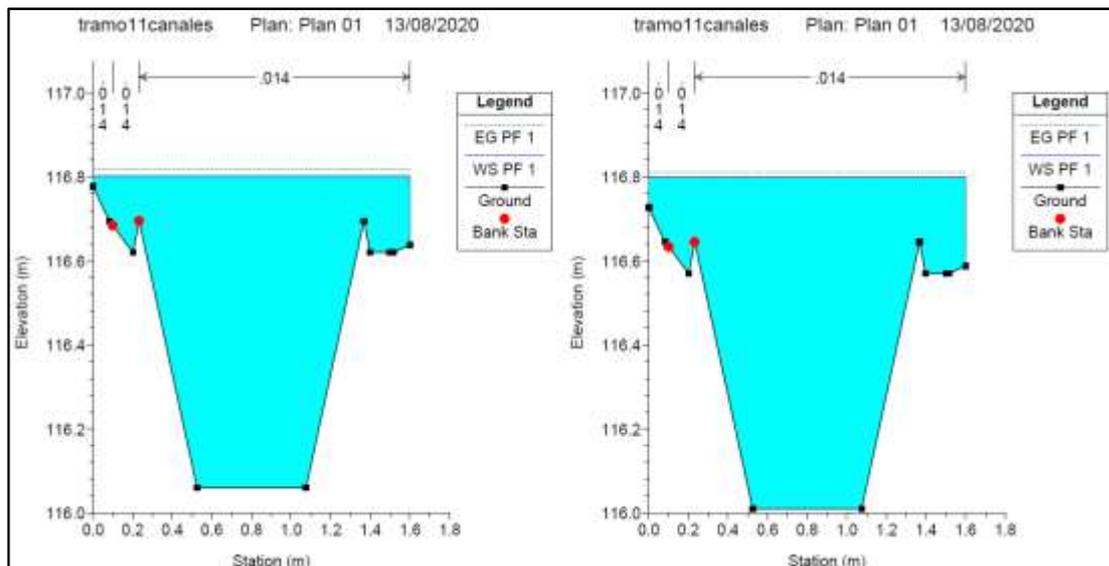


Figura 26: Sección transversal en donde se muestra que hay desborde ya que la superficie del agua (WS) sobrepasa el suelo (Ground)
Elaborado por: el autor

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1. Contraste de la Hipótesis

a) Contrastación de la hipótesis principal

Siendo la hipótesis principal, 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 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque

Luego de haber concluido los resultados, se validó esta hipótesis dado que, si es verdad que la aplicación del software HEC-RAS influye en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica en el tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque, para una mejor toma decisiones y características hidráulicas más adecuadas a la realidad.

b) Contrastación hipótesis específicas

b.1) Siendo la hipótesis específica, El levantamiento topográfico y geométrico va a determinar la pendiente en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.

Luego de haber concluido los resultados, se validó esta hipótesis dado que, si es verdad que el levantamiento topográfico y geométrico va a determinar la pendiente en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km

0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque. Esto permite analizar una pendiente adecuada para el análisis del perfil de flujo.

- b.2) Siendo la hipótesis específica, las características hidráulicas van a determinar la sección típica en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.

Luego de haber concluido los resultados, se validó esta hipótesis dado que, si es verdad que las características hidráulicas van a determinar la sección típica en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque. Dado que al analizar el perfil del flujo se ajustara el análisis del perfil del flujo con las características hidráulicas a lo largo del canal y evitar desborde alguno.

- b.3) Siendo la hipótesis específica, la modelación numérica va a determinar distintas variables y resultados más prácticos en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque.

Luego de haber concluido los resultados, se validó esta hipótesis dado que, si es verdad que la modelación numérica va a determinar distintas variables y resultados más prácticos en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque, debido a que el análisis del perfil del flujo del agua a lo largo del recorrido del canal permite ajustar las características hidráulicas para una mejor toma de decisiones.

6.2. Análisis de Resultados

La aplicación de los criterios de diseño del U.S. Bureau of Reclamation (USBR) para determinar las características hidráulicas son resultados de fórmulas empíricas que presentan valores aproximados, en comparación con el software HEC-RAS. Con estos resultados se demostró que el control debe realizarse en conjunto para obtener resultados ajustables a la realidad.

Al modelar el comportamiento del flujo del agua con el software HEC-RAS, la velocidad del agua osciló entre 0.42 m/seg y 1.26 m/seg, mínima y máxima respectivamente.

El mínimo valor de la velocidad del agua obtenido en el modelamiento es menor que la velocidad mínima recomendable de 0.762 m/seg lo que evidencia la sedimentación de partículas en suspensión. El máximo valor de la velocidad del agua obtenida en el modelamiento es menor que la velocidad máxima aceptable de 3.0 m/seg, lo que evidencia que no existirá riesgo del levantamiento del revestimiento de concreto del canal.

Al comparar la velocidad promedio (1.25 m/seg) alcanzada al realizar la modelación con el software HEC-RAS con la velocidad del agua (1.27 m/seg) lograda siguiendo los criterios de diseño del U.S. Bureau of Reclamation, se apreció que existe una diferencia de 0.02 m/seg, que no es muy significativo, lo que indica que los resultados alcanzados con el software HEC-RAS son confiables.

El tirante alcanzado con el software HEC-RAS varía de un mínimo de 0.40 m hasta un máximo de 0.80 m, para una velocidad máxima y mínima, respectivamente.

El tirante mínimo se originó en el tramo que va desde las progresivas km 0+000 al km 0+320, y del km 0+560 al km 3+085, obteniendo un tirante de 0.40 m para una velocidad máxima de 1.26 m/seg.

Pero con el fin de asegurar el ingreso del caudal requerido hacia la toma lateral, se recomienda proyectar retenciones para elevar el espejo del agua. El tirante máximo se originó en el tramo km 0+320 al km 0+560 obteniendo un tirante de 0.80 m para una velocidad mínima de 0.42 m/seg. Por el cual se recomienda alinear el eje del canal eliminando curvas mínimas o en el mayor de los casos en este tramo elevar el tirante del canal

Al comparar los tirantes promedios (0.45 m) obtenidos con el software HEC-RAS con los tirantes (0.42 m) obtenidos siguiendo el criterio del U.S. Bureau of Reclamation, se apreció que existe una variación de 0.03 m, siendo este un valor no muy significativo, lo que indica que los resultados obtenidos con el HEC-RAS son aceptables.

En las secciones analizadas con el software HEC-RAS se puede apreciar que existirá el riesgo de desbordamiento en el tramo del canal km 0+320 al km 0+560, debido a las existencias de muchas curvas con radios mínimos y baja pendientes

CONCLUSIONES

1. En el análisis del flujo se apreció que el software HEC-RAS modela apropiadamente el flujo del canal, lo que permite que la aplicación del software HEC-RAS determine la influencia en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica en el km 0+000 al 3+085 en el distrito de Salas, región Lambayeque, con lo cual se puede afirmar que el software HEC-RAS es apropiado para visualizar y estudiar el comportamiento del perfil del flujo en el canal.
2. El software modela correctamente siempre y cuando ingresen las secciones y la superficie correcta, con la cual se determinó la influencia del levantamiento topográfico y geométrico en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica en el km 0+000 al 3+085 en el distrito de Salas, región Lambayeque.
3. En el momento del análisis del flujo se pudo verificar que las características hidráulicas obtenidas en el modelo del software HEC-RAS son similares al modelo U.S. Bureau of Reclamation, lo cual demuestra que las características hidráulicas influyen en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al 3+085 en el distrito de Salas, región Lambayeque, esto permitió un mejor funcionamiento hidráulico de todo el canal en estudio.
4. Al modelar el flujo en el canal, se observó que el flujo presentó problemas en un tramo del recorrido del canal, tal como el desbordamiento del flujo mismo, lo cual indica que la modelación

numérica influyó en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al 3+085 en el distrito de Salas, región Lambayeque.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar el software HEC-RAS para el modelamiento del perfil del flujo del agua, teniendo en cuenta el diseño del canal y obras de arte, comparando y verificando que el diseño que se está realizando funciona y no causa problemas en el perfil del flujo. De existir problemas, se deben corregir en el mismo diseño realizado.
2. Introducir datos de calidad, tanto geométricos como de condiciones y límites de frontera, para ello es de mucha importancia la determinación del levantamiento topográfico y geométrico a detalle.
3. Aplicar en conjunto los resultados obtenidos de la metodología recomendada por el U.S. Bureau of Reclamation y el software HEC-RAS, para determinar características hidráulicas más confiables con el fin de obtener diseños más cercanos a la realidad.
4. Utilizar el software HEC-RAS tiene diferentes simplificaciones, por lo tanto, es necesario utilizarlo cuidadosamente, toda vez que, si bien se obtienen muy buenos resultados de su aplicación, de no introducir los datos correctos, los resultados no concordarán con la realidad.

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Torrez, J. (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 Aplicada, Lima.
2. Castellanos, H., Collazos, C., Farfán, J. & Meléndez, F. (2017). (vol. 28, nº 6, pp. 103-114). Diseño y Construcción de un Canal Hidráulico de Pendiente Variable. Información tecnológica.
3. Espinoza, F. (2016). Diseño de un canal de sección rectangular de 500m de longitud de máxima eficiencia hidráulica para un proyecto de irrigación (Tesis de pregrado) Universidad Técnica de Machala, Machala.
4. Espir, J & Morales, J. (2015). Evaluación de Fenómenos Hidráulicos en el Canal Chaquin del Sistema de Riego del Valle de Viru Primer Tramo (Tesis de pregrado) Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
5. Cabrera, J. & Racines, 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 Sto. Domingo de los Tsachilas (Tesis de pregrado) Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.

6. Gobierno Provincial de Tungurahua. (2014). Plan Provincial de Riego Tungurahua 2014–2029. GPT, Tungurahua.
7. Panta, C. (2014). Mejoramiento del Sistema de Riego Tunan (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
8. Pérez, J. (2013). Estado del Arte de la Modelación Física en Ingeniería Civil (Ingeniero Civil) (Tesis de pregrado) Universidad de La Salle, Bogotá, Bogotá.
9. Pantaleón, J., Pérez, P., Cordero, R., Torres, A., García, B., Castillo, H., Feliz, J. & Rivas, G. (2013). (vol. 38, nº 3, pp. 551-568). Determinación del coeficiente de rugosidad para encachado usado en el revestimiento de cunetas en la República Dominicana: Ciencia y sociedad, República Dominicana.
10. M. m. s. p. l. d. h. d. l. p. d. u. e. p. d. g. a. d. p. p. m. biológico. (2013). Sistema de Información Científica Redalyc, Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.
11. Ambroj, S., García, P., Burguete, J. (2012). (Vol. I, nº8, p.1). *Control óptimo en canales de riego: Estudio de casos TEST ASCE*.
12. Palerm, J. & Martínez, T. (2009). (Vol. I, nº9, p.119). Aventuras con el agua. La administración del agua de riego: historia y teoría. México; Sede Montecillo en Texcoco: Colegios de postgraduados.
13. Villón, M. (2008). (2ª ed.). Hidráulica de canales. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
14. Villón, M. (1995). (1ª ed.vol.I). Hidráulica de canales. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.

15. Chow, V. (1994). Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill INTERAMERICANA S.A, Santa fé de Bogotá.

ANEXOS

1. Matriz de consistencia	59
2. Encuestas a Expertos	61
3. Plano de ubicación	74
4. Plano de Terrenos agrícolas	75
5. Plano secciones típicas	76
6. Plano de planta y perfil general	77
7. Plano secciones transversales	80

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿En qué medida la aplicación del software HEC-RAS influirá en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica en el tramo km 0+000 al km 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque?	Determinar la influencia de la aplicación del software HEC-RAS en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica en el tramo km 0+000 al km 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque.	La aplicación del software HEC-RAS influye en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica en el tramo km 0+000 al km 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque.	VARIABLE DEPENDIENTE DISEÑO DEL CANAL	<ul style="list-style-type: none"> • Sección Hidráulica • Tirantes normal • Tirantes críticos • Curva de energía • Resalto hidráulico • Curvas de remanso 	<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO • Descriptivo, porque implica observar y describir los hechos tal como son observados • Aplicativo, porque tiene como objetivo dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables • Explicativo, porque narra en detalle los pasos a seguir para aplicar el método del proyecto. • Experimental, porque permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio, además de llegar al objetivo principal.
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPOTESIS ESPECIFICO			
1. ¿Cuál es 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 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque ?	Determinar 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 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque.	El levantamiento topográfico y geométrico va a determinar la pendiente en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS, del tramo km 0+000 al km 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque			<ul style="list-style-type: none"> • La muestra de la investigación correspondientes a los 9 km (colocar una referencia de la ubicación) del canal

					de riego en el Distrito de Salas, ubicado a la margen izquierda del río Salas.
2. ¿Cuál es la influencia de las características hidráulicas en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS, del tramo km 0+000 al km 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque?	Determinar la influencia de las características hidráulicas en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS, del tramo km 0+000 al km 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque	Las características hidráulicas van a determinar la sección típica en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS, del tramo km 0+000 al km 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque	VARIABLE INDEPENDIENTE SOFTWARE HEC-RAS	<ul style="list-style-type: none"> • Trazo Preliminar • Pendiente Longitudinal • Sección Transversal • Velocidad horizontal • Caudal • Coeficiente de Manning 	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos, se utilizó la técnica de observación. La recolección de información, permitirá obtener información sobre el nivel de eficiencia de conducción de agua del canal de riego en estudio. Se realizará a través de toma directa de datos y variables.
3. ¿Cuál es 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 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque.?	Determinar 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 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque	La modelación numérica va a determinar distintas variables y resultados más prácticos en el diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS, del tramo km 0+000 al km 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque			<ul style="list-style-type: none"> • Procedimiento, se realizó en hojas de cálculo Excel cuyos formatos contenían las fórmulas necesarias de cada ensayo. • El análisis de los resultados se presentó a través de gráficos, con la ayuda del Excel, donde se registraron los datos de los ensayos realizados, así como el AutoCAD Civil 3D para el Diseño de planos y HEC-RAS para la Modelación hidráulica de canales.

ANEXO 2

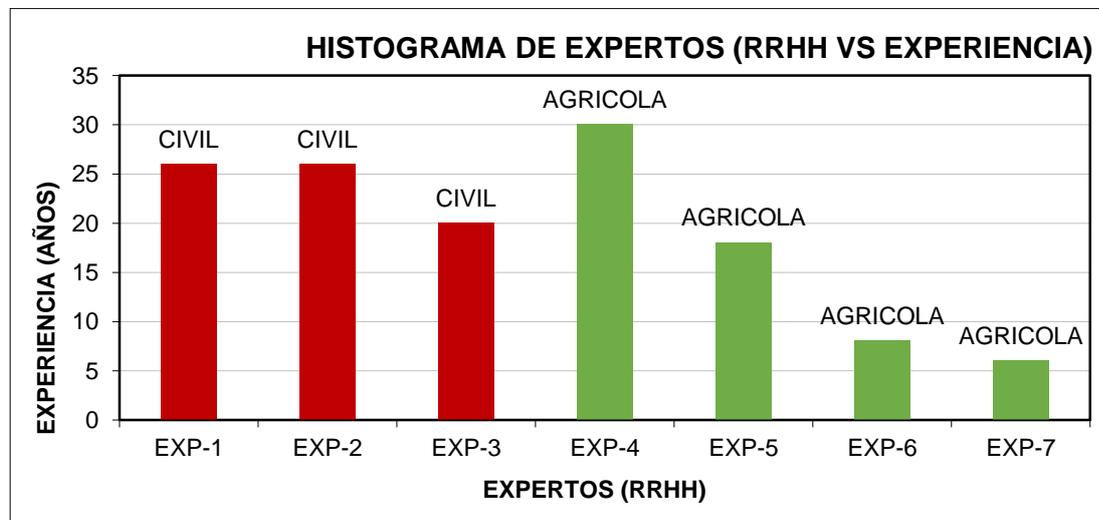
ENCUESTAS A EXPERTOS

Los siguientes histogramas fueron elaborados por el autor en base a encuestas realizadas por el mismo en el último trimestre del 2019.

HISTOGRAMA DE EXPERTOS REGISTRO

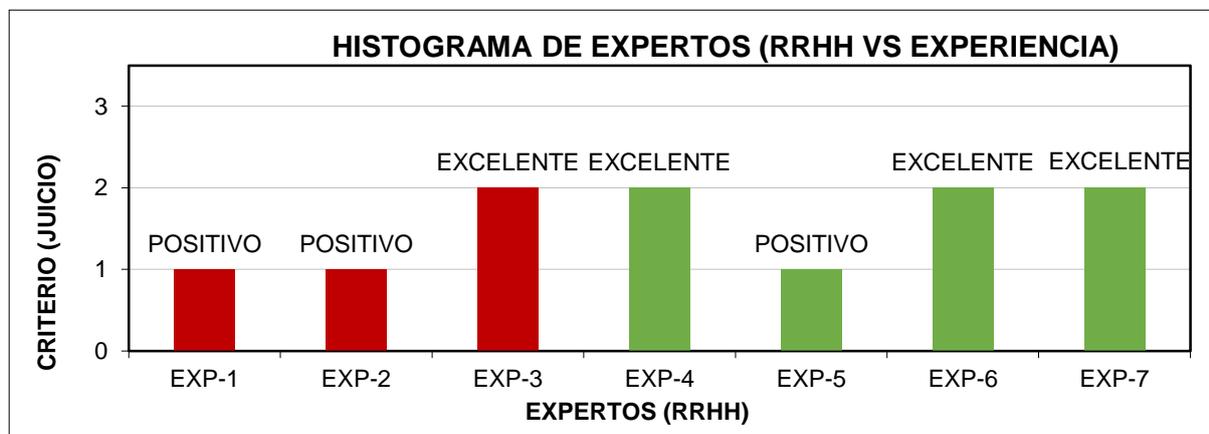
ITEM	NOMBRE DE EXPERTO	ESPECIALIDAD	AÑOS	PESOS
1	VICTOR H. RECUENCO C.	ING CIVIL	26.00	EXP-1
2	WILMER F. BECERRA L.	ING CIVIL	26.00	EXP-2
3	CESAR J. MORANTE P.	ING CIVIL	20.00	EXP-3
4	JORGE L. PENAS D.	ING AGRICOLA	30.00	EXP-4
5	JORGE F. CUBAS LL.	ING AGRICOLA	18.00	EXP-5
6	GUILLERMO A. GASTULO C.	ING AGRICOLA	8.00	EXP-6
7	HUMBERTO A. FLORES C.	ING AGRICOLA	6.00	EXP-7

Elaborado por: el autor



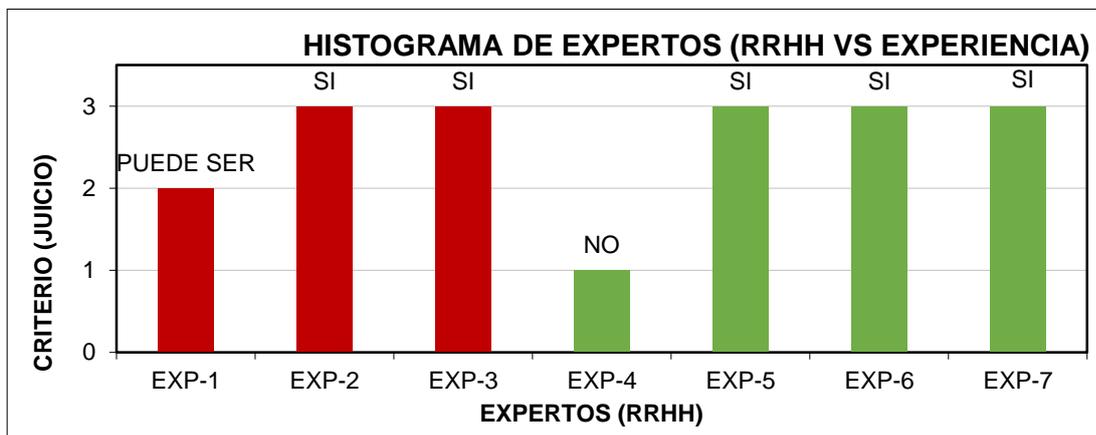
CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
Positivo, porque existe una gran brecha en la Ing. Hidráulica	EXP-1	POSITIVO-(1)
Criterio de pendientes mínimas	EXP-2	POSITIVO-(1)
Muy bueno, serviría como guía para futuro diseños	EXP-3	EXCELENTE-(2)
Adicionar topografía plana	EXP-4	EXCELENTE-(2)
Bueno, porque ayudaría a no sobredimensionar estructuras y elevar costos	EXP-5	POSITIVO-(1)
Los diseños en el país hoy en día solo se basan en ecuaciones empíricas, no ajustables a la realidad	EXP-6	EXCELENTE-(2)
Existe un gran desinterés en el área hidráulica, a pesar de que esta área es de gran consideración productiva	EXP-7	EXCELENTE-(2)

Elaborado por: el autor



CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
MANO DE OBRA	EXP-1	PUEDE SER-(2)
MAQUINARIA	EXP-2	SI-(3)
MEDICION	EXP-3	SI-(3)
MEDIO AMBIENTE	EXP-4	NO-(1)
MATERIA PRIMA	EXP-5	SI-(3)
METODO	EXP-6	SI-(3)
	EXP-7	SI-(3)

Elaborado por: el autor 1 - NO 2 - PUEDE SER 3 - SI



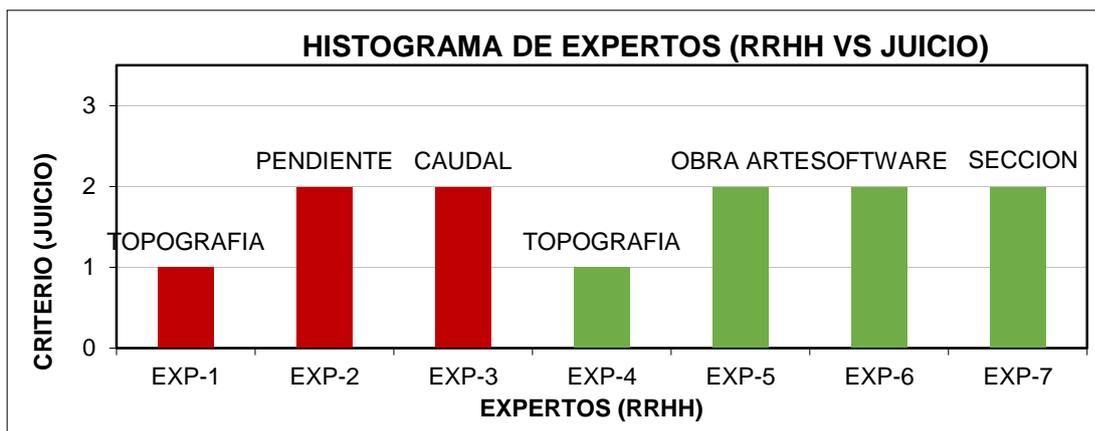
CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
Positivo, porque Existe una gran brecha en la Ing. Hidráulica	EXP-1	POSITIVO-(1)
Sería beneficioso para tener diseños más ajustados	EXP-2	POSITIVO-(1)
Muy bueno, Serviría como guía para futuro diseños	EXP-3	EXCELENTE-(2)
Excelente, Nos llevaría a utilizar modelaciones de flujo más adecuada	EXP-4	EXCELENTE-(2)
Bueno, porque ayudaría a no sobredimensionar estructuras y consigo elevar costos	EXP-5	POSITIVO-(1)
Muy bien ya que nuestros diseños hoy en día solo no son ajustables a la realidad	EXP-6	EXCELENTE-(2)
Excelente, actualmente existe un desinterés en el área hidráulica siendo un sector productivo	EXP-7	EXCELENTE-(2)

Elaborado por : el autor 1 - POSITIVO 2 - EXCELENTE



CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
Generalizar en el ámbito de influencia como Zona Norte	EXP-1	TOPOGRAFIA-(1)
Adicionar el diseño para Pendientes mínimas	EXP-2	DISEÑO-(2)
Considerar dentro del título el diseño para un determinado caudal	EXP-3	DISEÑO-(2)
Adicionar topografía plana	EXP-4	TOPOGRAFIA-(1)
Reducir la distancia de estudio y adicionar al diseño una obra de arte	EXP-5	DISEÑO-(2)
Ser directo con referencia al Software	EXP-6	DISEÑO-(2)
Especificar el tipo de sección del canal	EXP-7	DISEÑO-(2)

Elaborado por: el autor



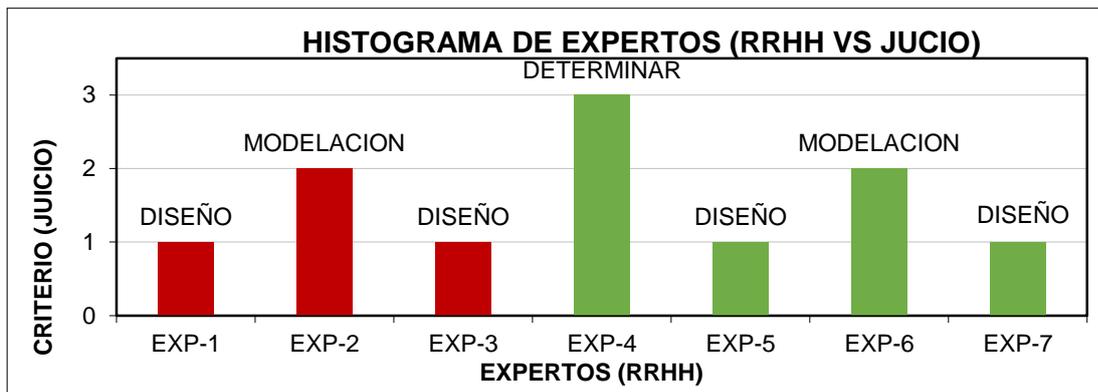
CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
No contar con la información idónea	EXP-1	INFORMACION-2
No tener documentación básica para modelar canales en el software	EXP-2	INFORMACION-2
Como modelar con el software los diferentes tipos de flujo en el canal	EXP-3	INFORMACION-2
No existen muchos estudios en este tema para poder comparar resultados y cuestionar	EXP-4	CALIBRACION-3
No existen lineamientos por parte de las Entidades para aceptar dichos resultados	EXP-5	LINEAMIENTO-1
Como comparar los datos obtenidos con el modelo del software	EXP-6	CALIBRACION-3
Adaptar esta metodología a las entidades del sector Agricultura	EXP-7	LINEAMIENTO-1

Elaborado por: el autor 1 - LINEAMIENTO 2 - INFORMACION 3 - CALIBRACION



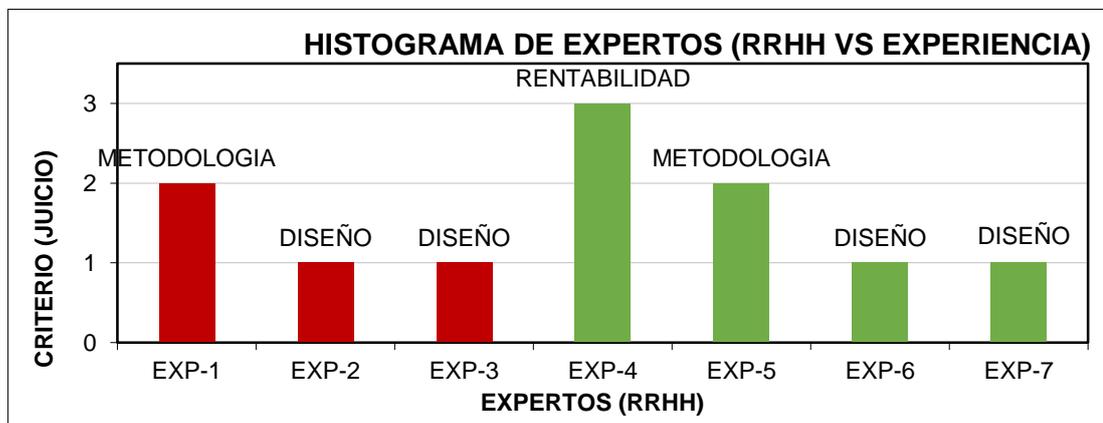
CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
Obtener un diseño calibrado para mejorar el uso del agua	EXP-1	DISEÑAR-(1)
Realizar la simulación hidráulica del canal para mejorar la eficiencia de riego	EXP-2	MODELACION-(2)
Diseñar el canal de riego con el software hecras mediante consideraciones técnicas	EXP-3	DISEÑAR-(1)
Determinar fenómenos hidraulicos no contralados debido a la arquitectura hidráulica	EXP-4	DETERMINAR-(3)
Diseñar el canal con máxima eficiencia hidráulica con hecras en proyectos de irrigación	EXP-5	DISEÑAR-(1)
Modelación del diseño final del canal mediante hecras para visualizar mejores resultados	EXP-6	MODELACION-(2)
Elaborar el diseño hidráulico del canal para mejorar la eficiencia de riego utilizando el hecras	EXP-7	DISEÑAR-(1)

el 1 DISEÑ 2 MODELACI 3 DETERMIN
 Elaborado por: autor - AR - ON - AR

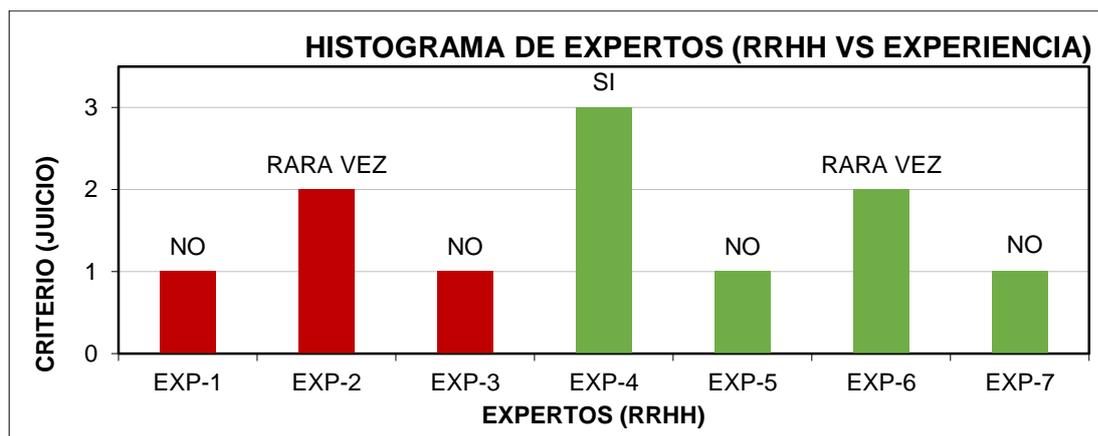


CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
Obtener una metodología propia para futuros diseños en canales de riego	EXP-1	METODOLOGIA-(2)
Permitiría evaluar el nivel de eficiencia de conducción en los canales de la costa	EXP-2	DISEÑO-(1)
Aportaría una guía de diseño a las entidades del sector de agricultura	EXP-3	DISEÑO-(1)
Para proponer soluciones de control de caudales que puedan ocasionar riesgos económicos	EXP-4	RENTABILIDAD-(3)
Aportar una metodología para que sirva de guía a proyectistas	EXP-5	METODOLOGIA-(2)
Beneficiar a los agricultores para tener menos tiempos de riego y mayor áreas cultivables	EXP-6	DISEÑO-(1)
Generar mejores resultados reduciendo obras de concreto innecesarias en beneficio de las entidades	EXP-7	DISEÑO-(1)

el 1 DISEÑO 2 METODOLOGIA 3 RENTABILIDAD
 Elaborado por: autor - O - GIA - AD

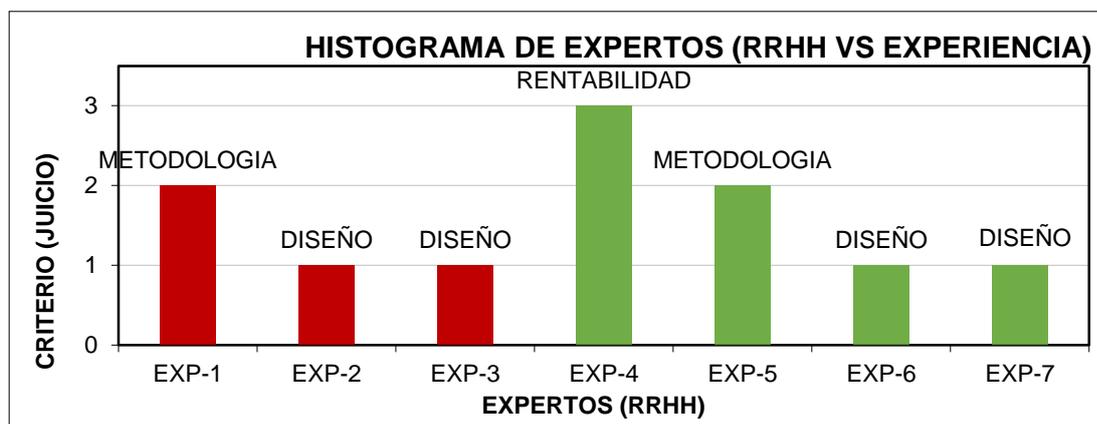


CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
Normalmente diseñamos con secciones normal para transportar el mayor caudal	EXP-1	NO-(1)
Estaría en función de los lineamientos de las entidades contratantes	EXP-2	RARA VEZ-(2)
No, porque no existe algún reglamento a comparación de otros capítulos	EXP-3	NO-(1)
Con este criterio se determina la sección de mayor rendimiento y por lo tanto la más económica	EXP-4	SI-(3)
No existen lineamientos para seguir este criterio dentro de las carteras de agricultura	EXP-5	NO-(1)
Esta en función a los lineamientos de los tdr de los proyectos	EXP-6	RARA VEZ-(2)
No, debido a los formatos establecidos en los diferentes programas de irrigación	EXP-7	NO-(1)
Elaborado por: el autor 1 - NO 2 - RARA VEZ 3 - SI		



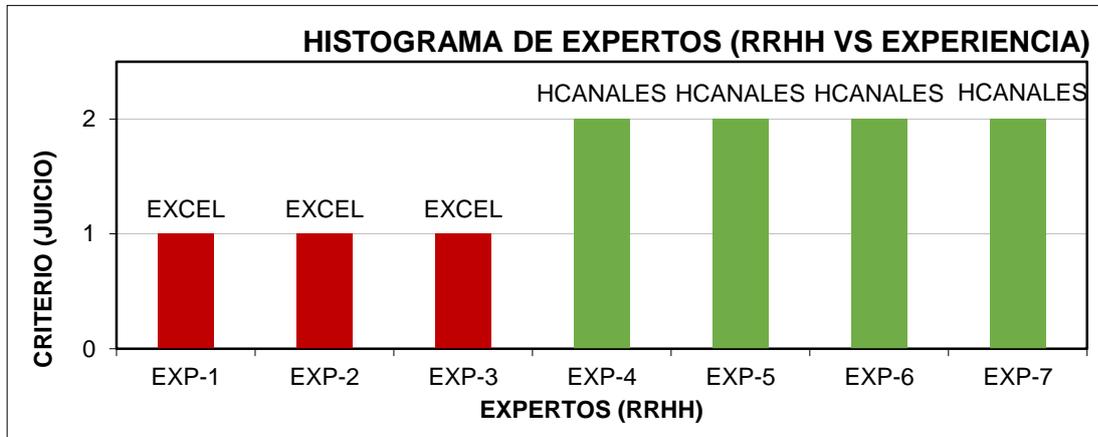
CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
Obtener una metodología secuencial para futuros diseños en el área hidráulica	EXP-1	METODOLOGIA-(2)
Diseñar obras hidráulicas a mayor envergadura con criterios más semejantes a la realidad	EXP-2	DISEÑO-(1)
Aportar una guía de diseño a las entidades del sector de agricultura	EXP-3	DISEÑO-(1)
Se tendrían proyectos más rentables con menores volúmenes de corte y menor caja hidráulica	EXP-4	RENTABILIDAD-(3)
Aportar una metodología para que sirva de guía a proyectistas	EXP-5	METODOLOGIA-(2)
Beneficiar a las Entidades del estado para minimizar costos con un Diseño concientizado	EXP-6	DISEÑO-(1)
Realizar diseños con menores brechas en la parte técnica, como económica	EXP-7	DISEÑO-(1)

el 1 DISEÑO 2 METODOLOGIA 3 RENTABILIDAD
 Elaborado por: autor - O - GIA - AD



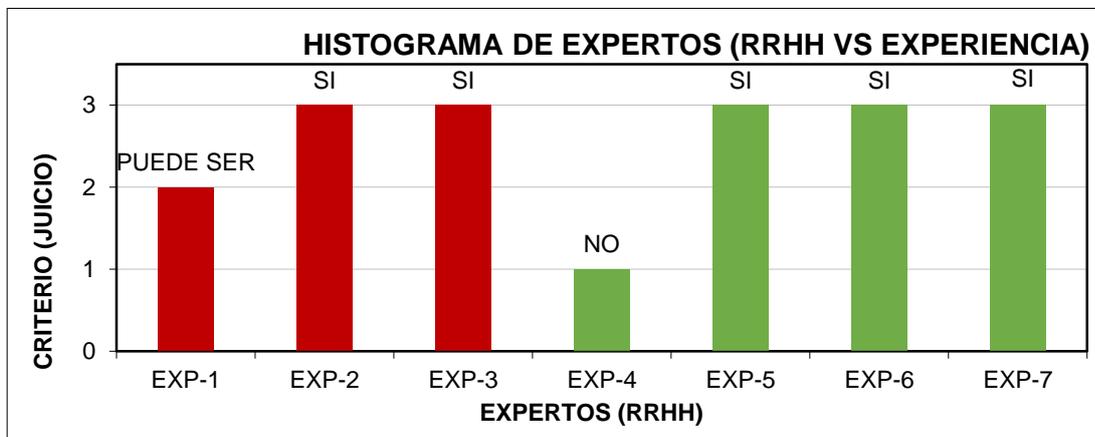
CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
Solo diseño con hojas de Excel	EXP-1	EXCEL(1)
El diseño lo realizo con plantillas de Excel	EXP-2	EXCEL(1)
El diseño hidráulico lo realizo con Excel	EXP-3	EXCEL(1)
Los proyectos los realizo con Software HCanales	EXP-4	HCANALES(2)
Los cálculos hidraulicos de las secciones del canal los realizo con HCanales	EXP-5	HCANALES(2)
Nuestros diseños los realizamos con el software Hcanales	EXP-6	HCANALES(2)
El diseño lo realizo con el software Hcanales	EXP-7	HCANALES(2)

Elaborado por: el autor 1 - EXCEL 2 - HCANALES



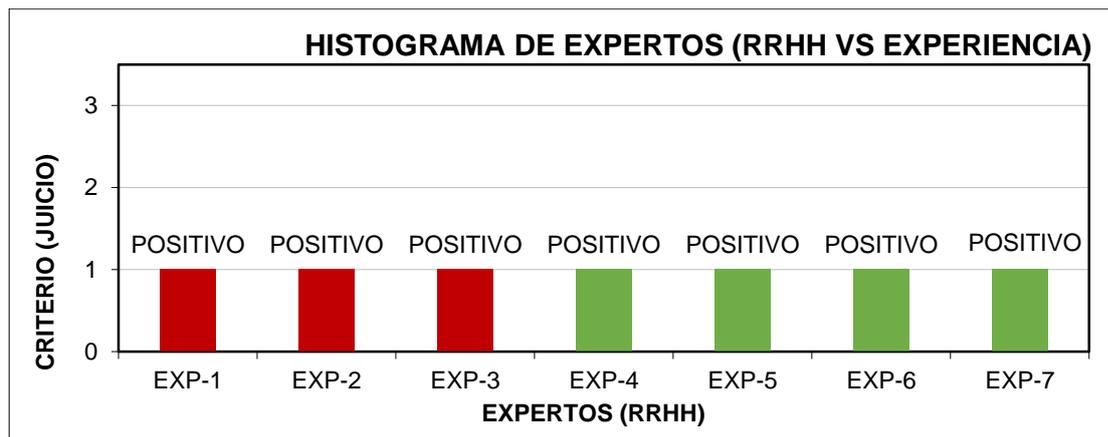
CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
Si existiera información y el programa es amigable podría utilizarlo	EXP-1	PUEDE SER-(2)
Claro que sí, sería un plus entender una nueva mitología	EXP-2	SI-(3)
Definitivamente que innovaría en otro software, siempre y cuando exista la mitología necesaria	EXP-3	SI-(3)
No, Por la edad y la falta de información para modelar proyectos hidraulicos	EXP-4	NO-(1)
Si, para estar a la vanguardia del siglo 21	EXP-5	SI-(3)
Si, existiendo referencias bibliográficas para modelar	EXP-6	SI-(3)
Si, en la actualidad existen los software libres	EXP-7	SI-(3)

Elaborado por: el autor 1 - NO 2 - PUEDE SER 3 - SI

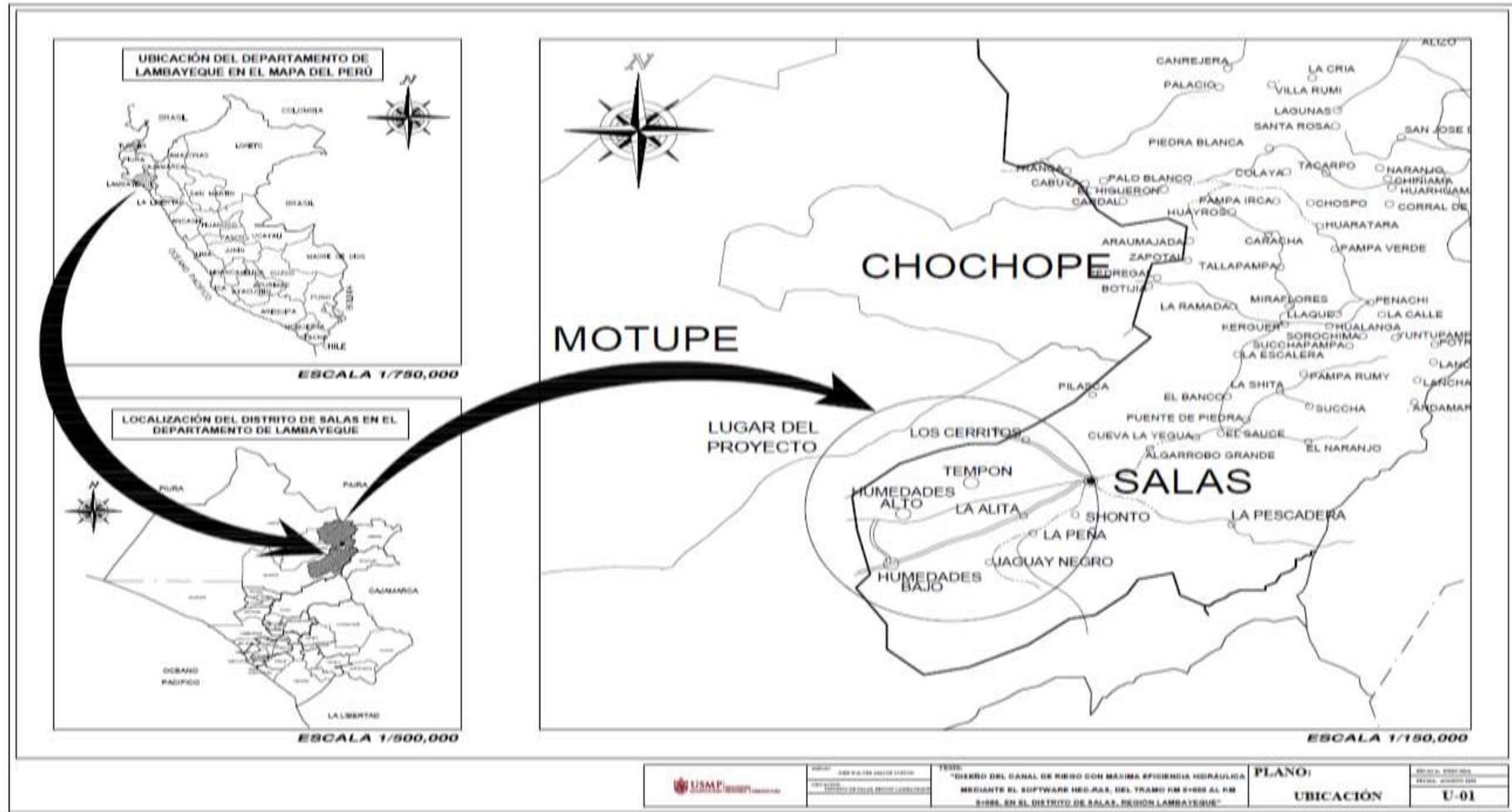


CRITERIOS DE EXPERTOS	PESOS	JUICIO
El beneficio de obtener mejores resultados	EXP-1	POSITIVO-(1)
Tener mejores modelos hidraulicos, ajustados a la realidad	EXP-2	POSITIVO-(1)
Obtener resultados más precisos a los métodos empíricos	EXP-3	POSITIVO-(1)
Conocer mejores resultados y así no dimensionar estructuras hidráulicas obsoletas	EXP-4	POSITIVO-(1)
Para obtener mejores resultados de perfiles de flujos	EXP-5	POSITIVO-(1)
Nuestros diseños estarían más ajustados a la realidad	EXP-6	POSITIVO-(1)
La presentación de nuestros proyectos tendrían un impacto positivo reflejado a la realidad	EXP-7	POSITIVO-(1)

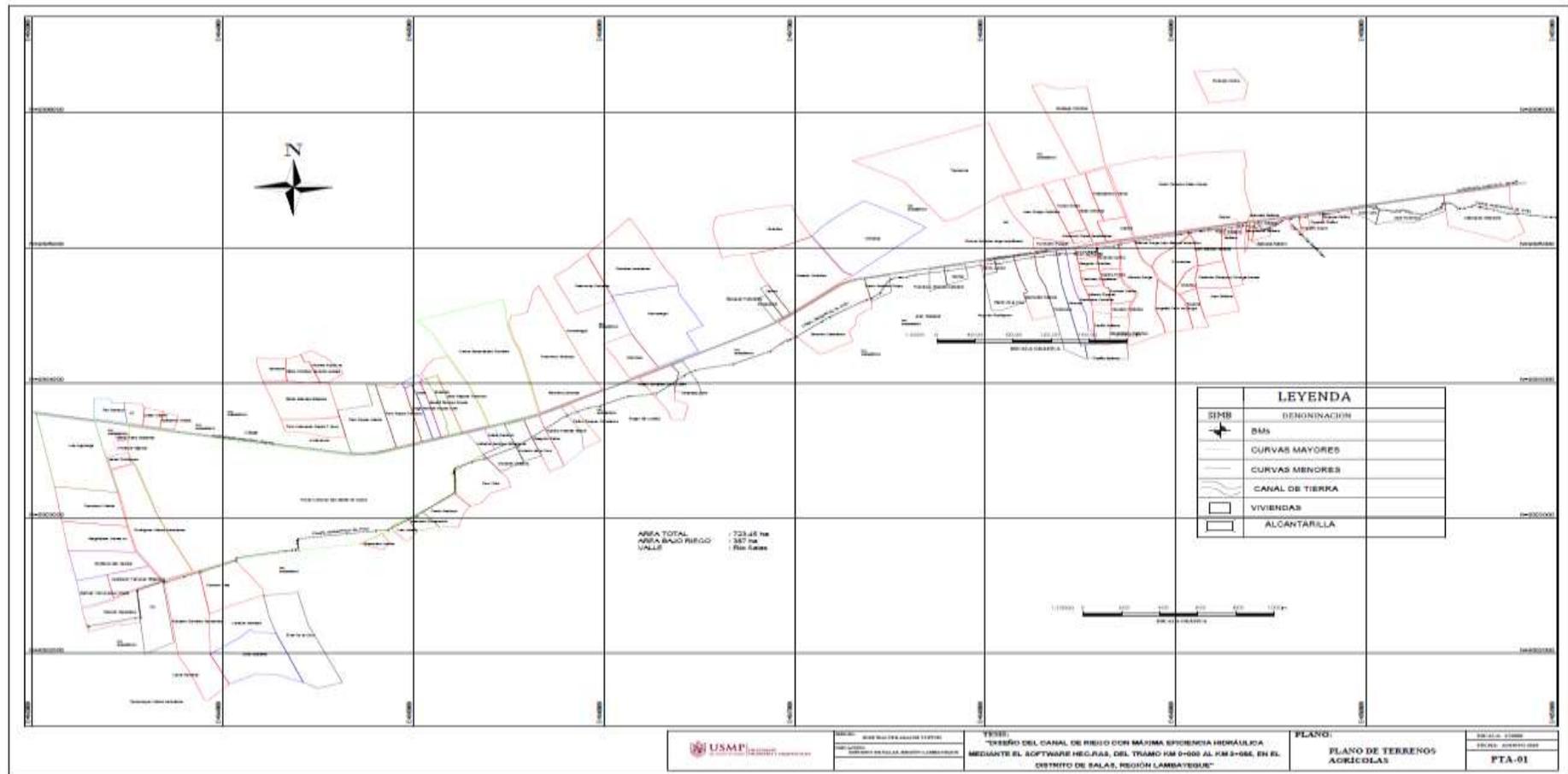
Elaborado por: el autor 1 - POSITIVO 2 - NEGATIVO



ANEXO 3 PLANO DE UBICACIÓN

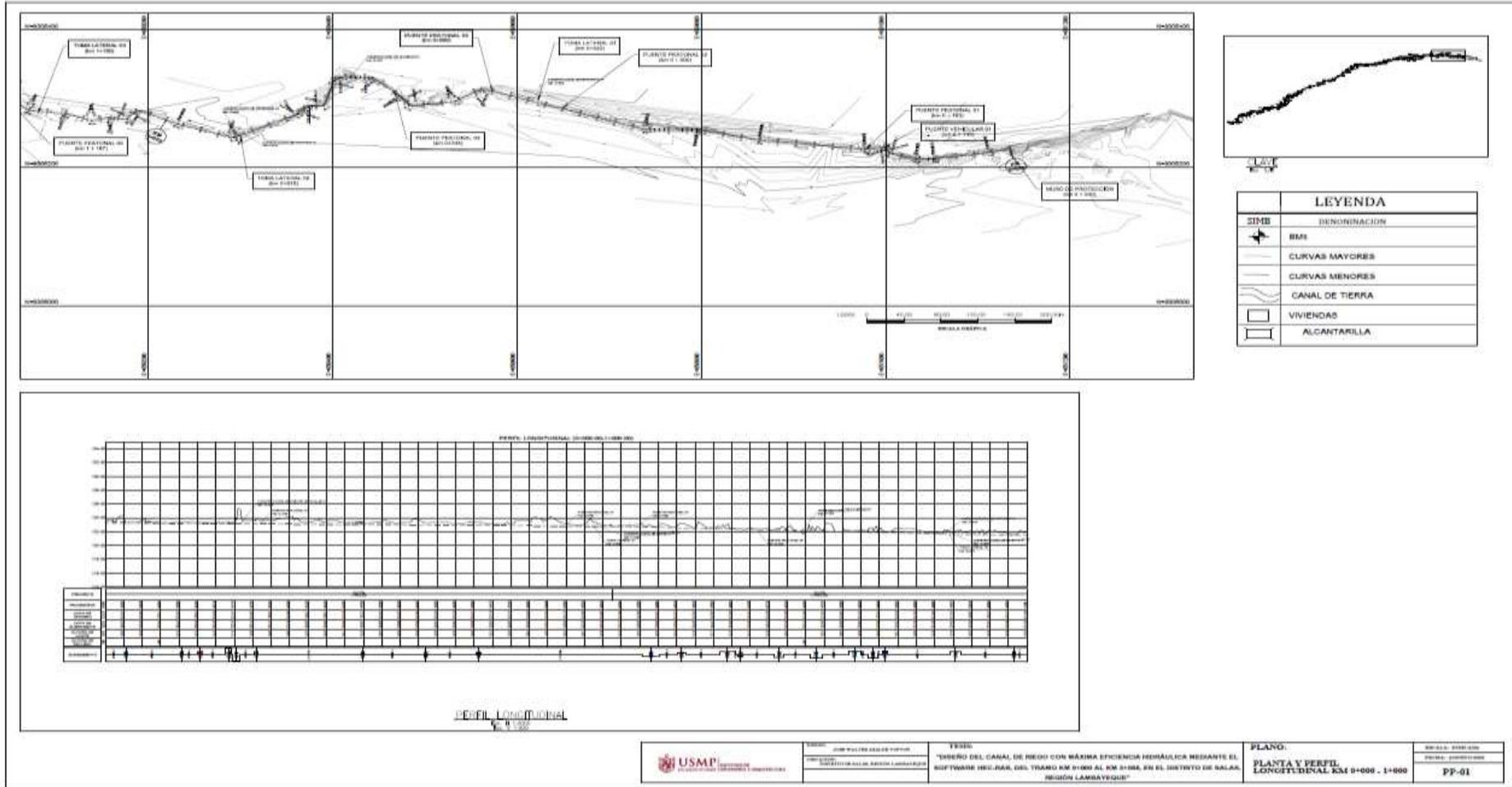


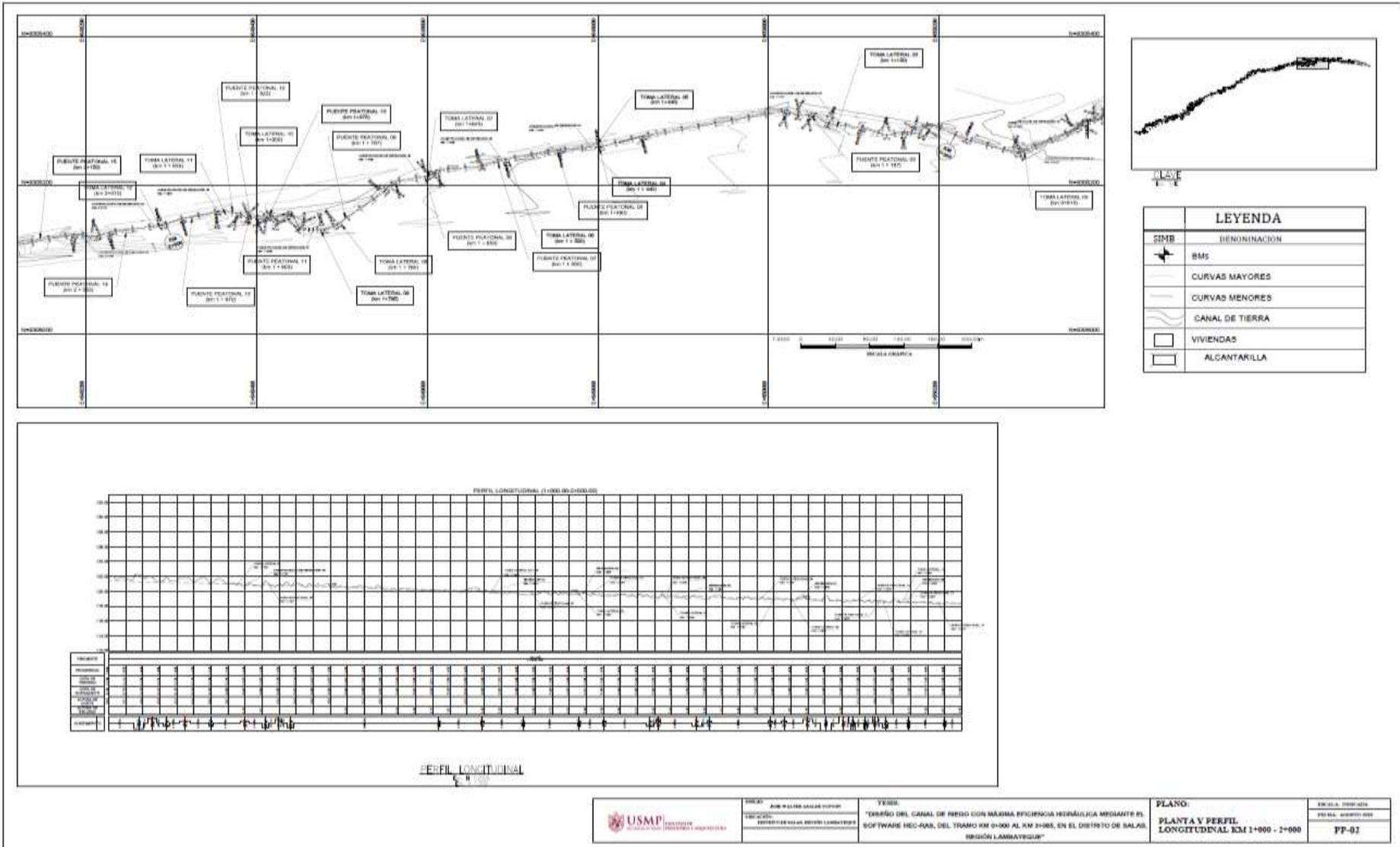
ANEXO 4 PLANO DE TERRENOS AGRÍCOLAS

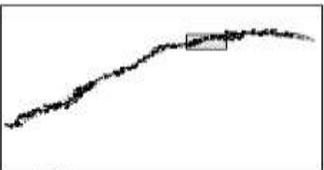
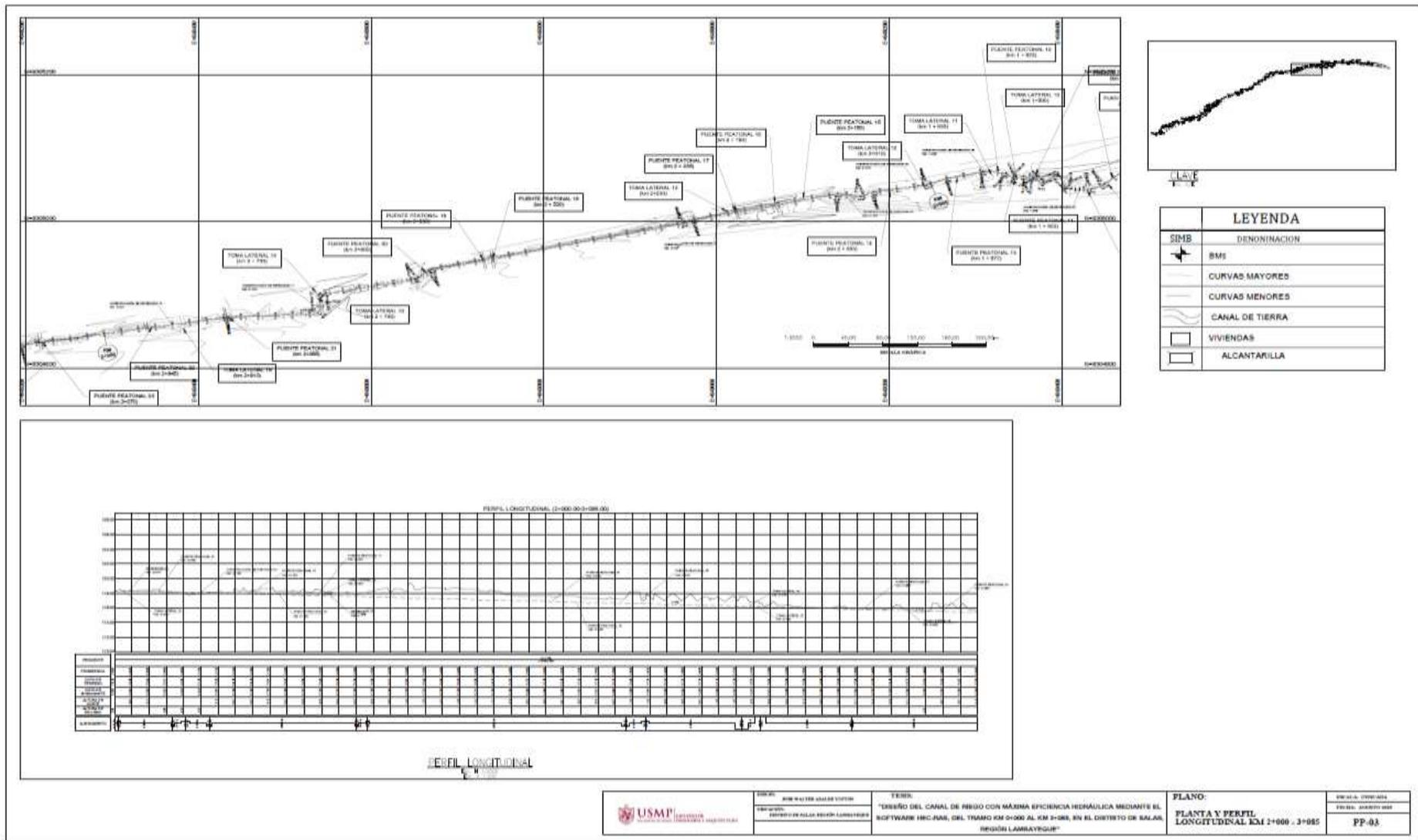


ANEXO 6

PLANO DE PLANTA Y PERFIL GENERAL





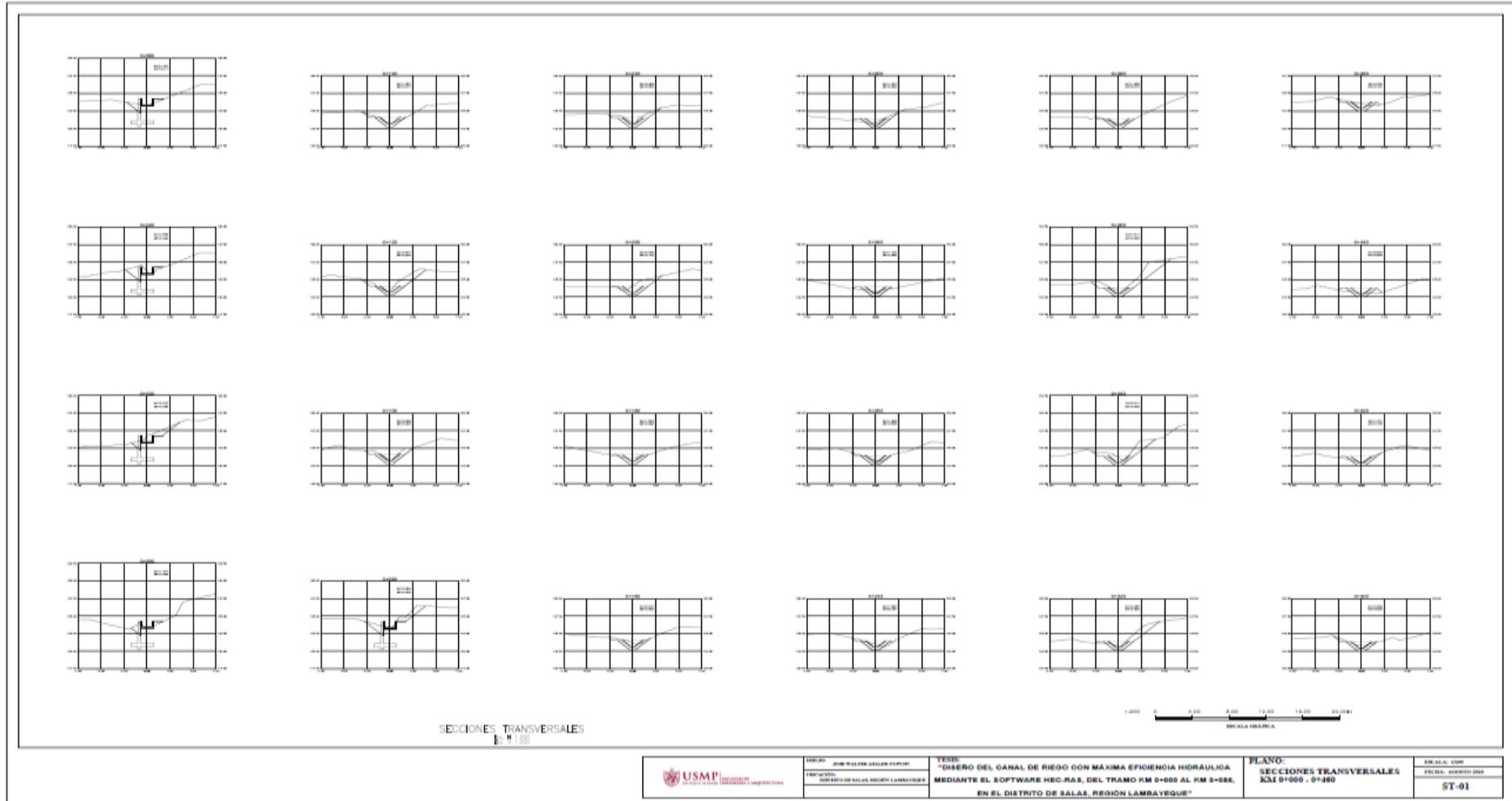


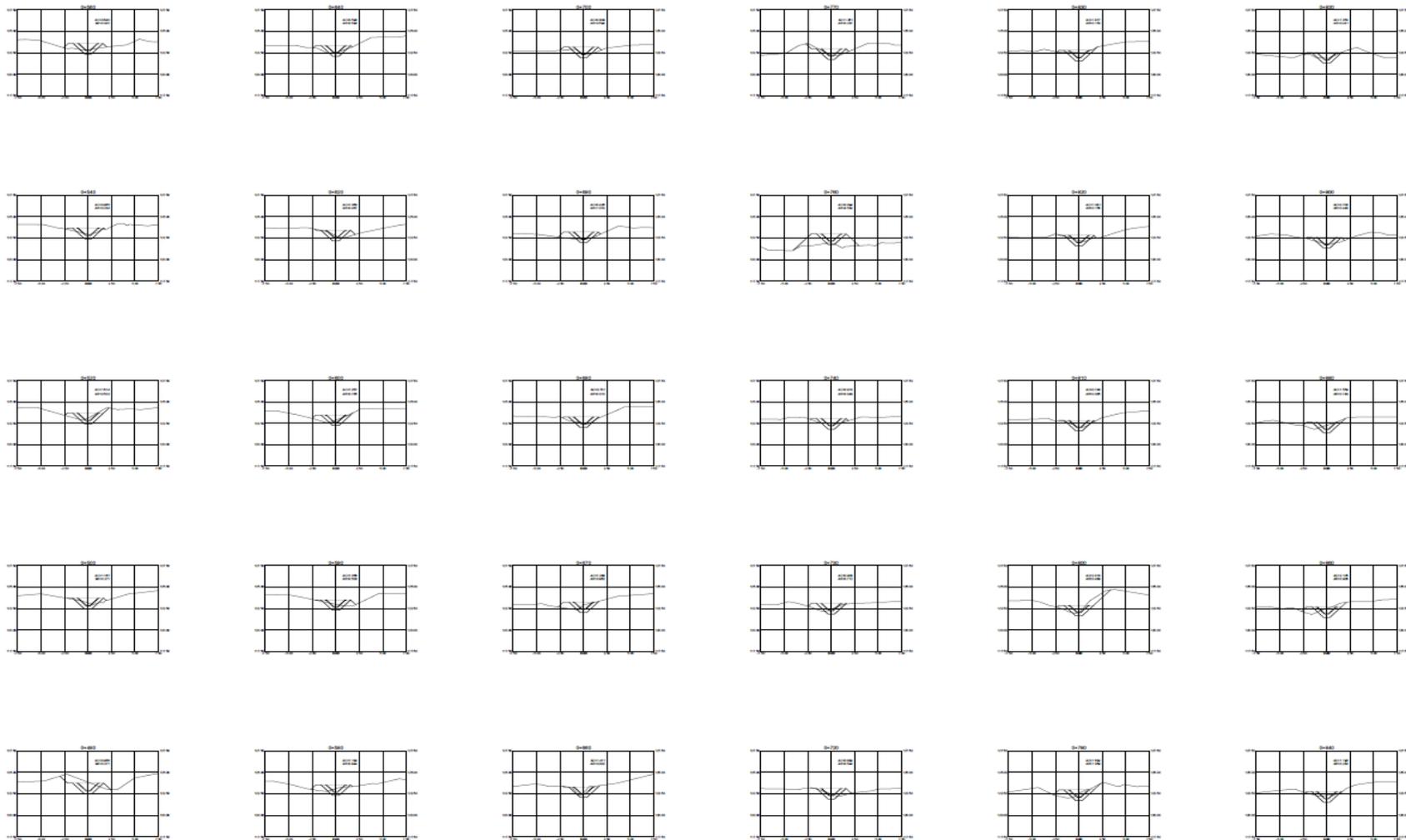
LEYENDA	
SIMB	DENONINACION
	BMS
	CURVAS MAYORES
	CURVAS MENORES
	CANAL DE TIERRA
	VIVIENDAS
	ALCANTARILLA

	DISEÑO: ANDRÉS RAMÍREZ GARCÍA DISEÑO: ANDRÉS RAMÍREZ GARCÍA	TÍTULO: DISEÑO DEL CANAL DE REGADO CON MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA MEDIANTE EL SOFTWARE HRC-FAS, DEL TRAMO KM 0+000 AL KM 0+800, EN EL DISTRITO DE SALAS, REGIÓN LAMBAYEQUE	PLANO: PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL EMI 2+000 - 3+000	ESCALA: 1:1000 FECHA: JUNIO 2024 PP-03
--	--	--	--	--

ANEXO 7

PLANO SECCIONES TRANSVERSALES

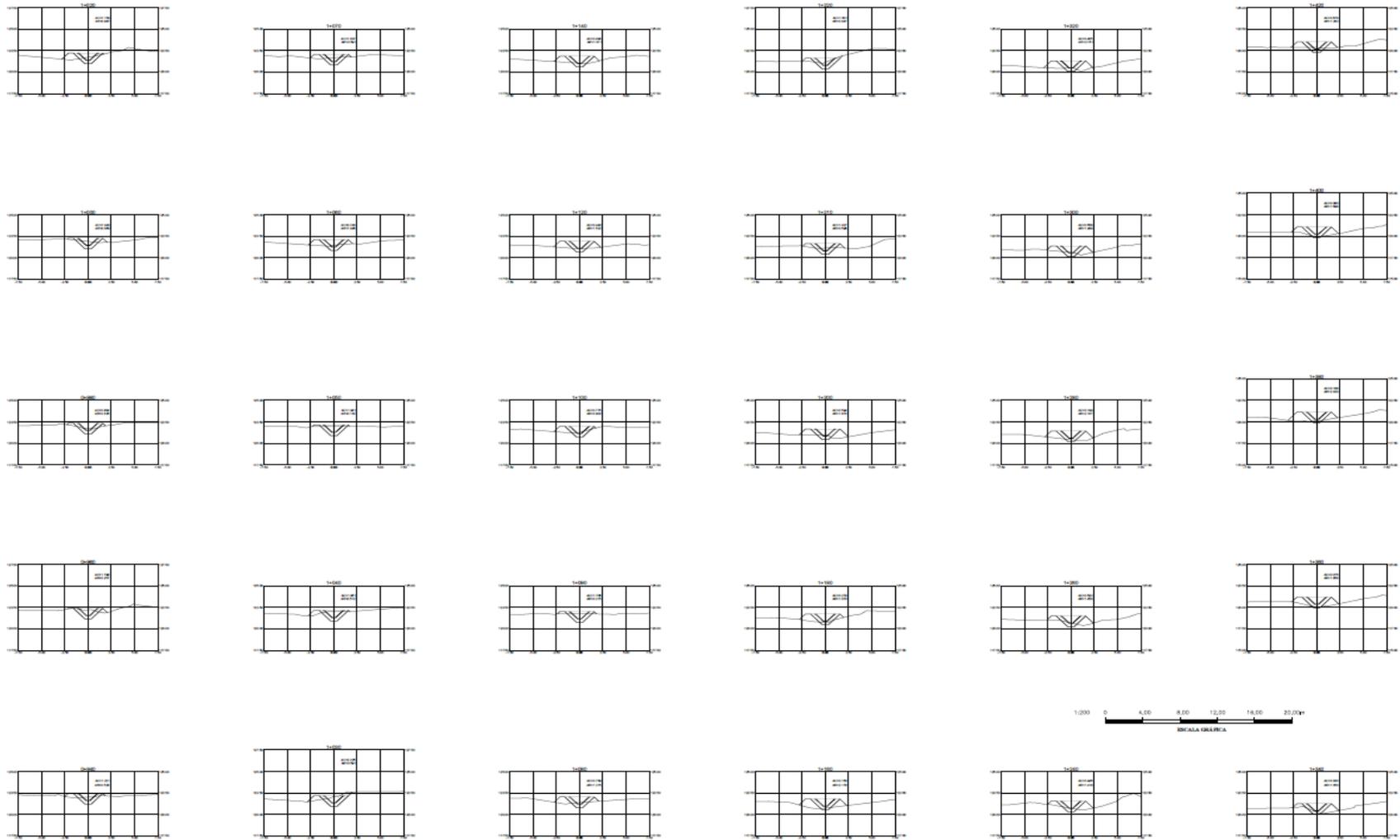




SECCIONES TRANSVERSALES
E: H
E: P

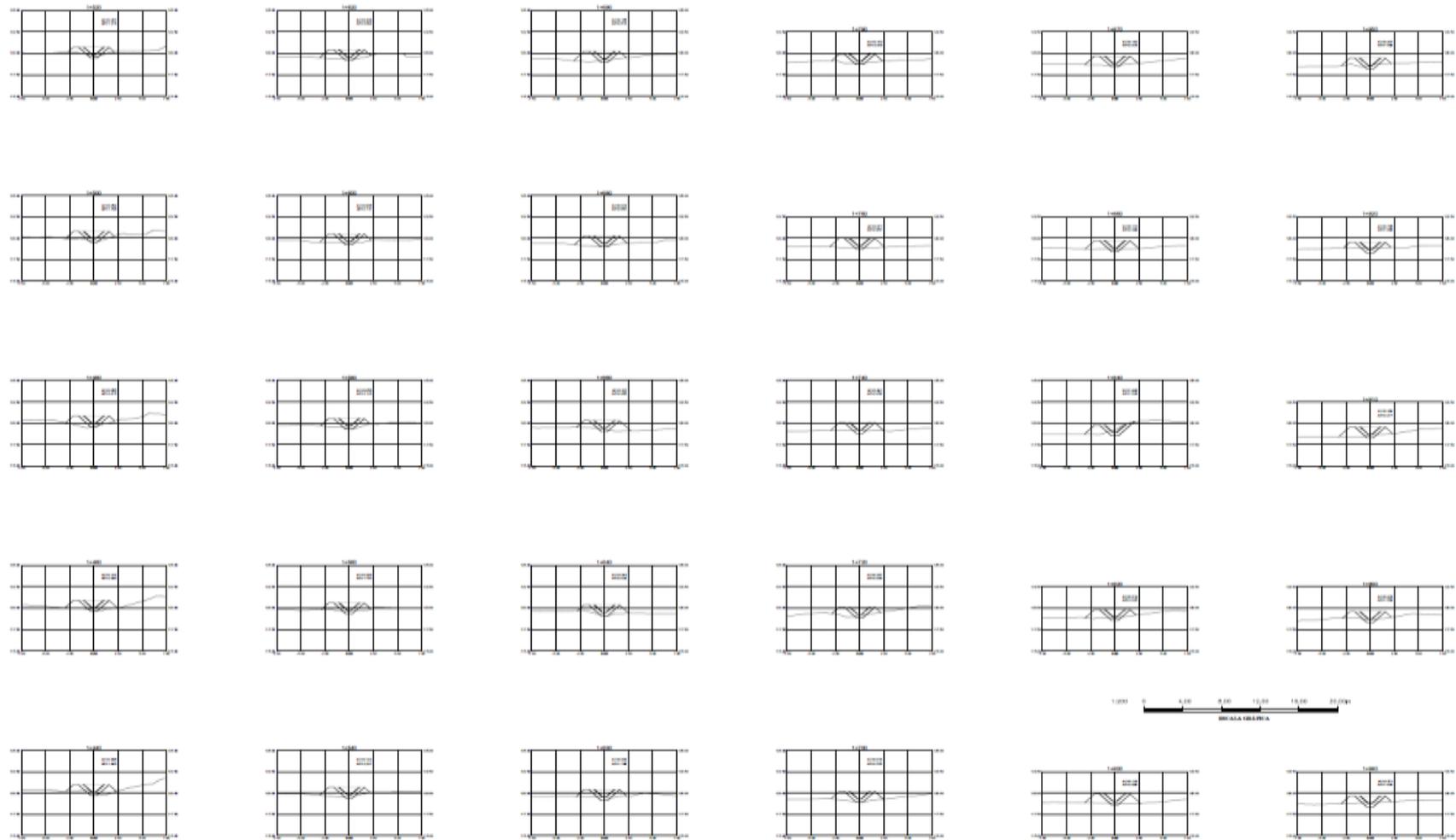


 USMP UNIVERSIDAD SANTIAGO MATEO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	AUTOR: JORGE WALTER GARCIA YEPEN INSTITUCION: DISTRITO DE SALAS, REGION LAMBAYEQUE	TESIS: "DISEÑO DEL CANAL DE RIEGO CON MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS, DEL TRAMO KM 0+000 AL KM 3+086, EN EL DISTRITO DE SALAS, REGIÓN LAMBAYEQUE"	PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES KM 0+450 - 0+920	ESCALA: 1:500 FECHA: AGOSTO 2009 ST-02



SECCIONES TRANSVERSALES
 E: H 1:200
 E: P 1:200

 USMP UNIVERSIDAD DEL SALES FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	AUTOR: JOSE WALTER ANAZUE TOYTON INSTITUCION: ROBERTO DE SALAS REGION LAMBAYEQUE	TESIS: "DISEÑO DEL CANAL DE RIEGO CON MÁXIMA EFICIENCIA HIDRAULICA MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS, DEL TRAMO KM 0+000 AL KM 3+085, EN EL DISTRITO DE SALAS, REGION LAMBAYEQUE"	PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES KM 0+940 - 1+420	ESCALA: 5000 FECHA: AGOSTO 2023
				ST-03



SECCIONES TRANSVERSALES
Escala 1:100

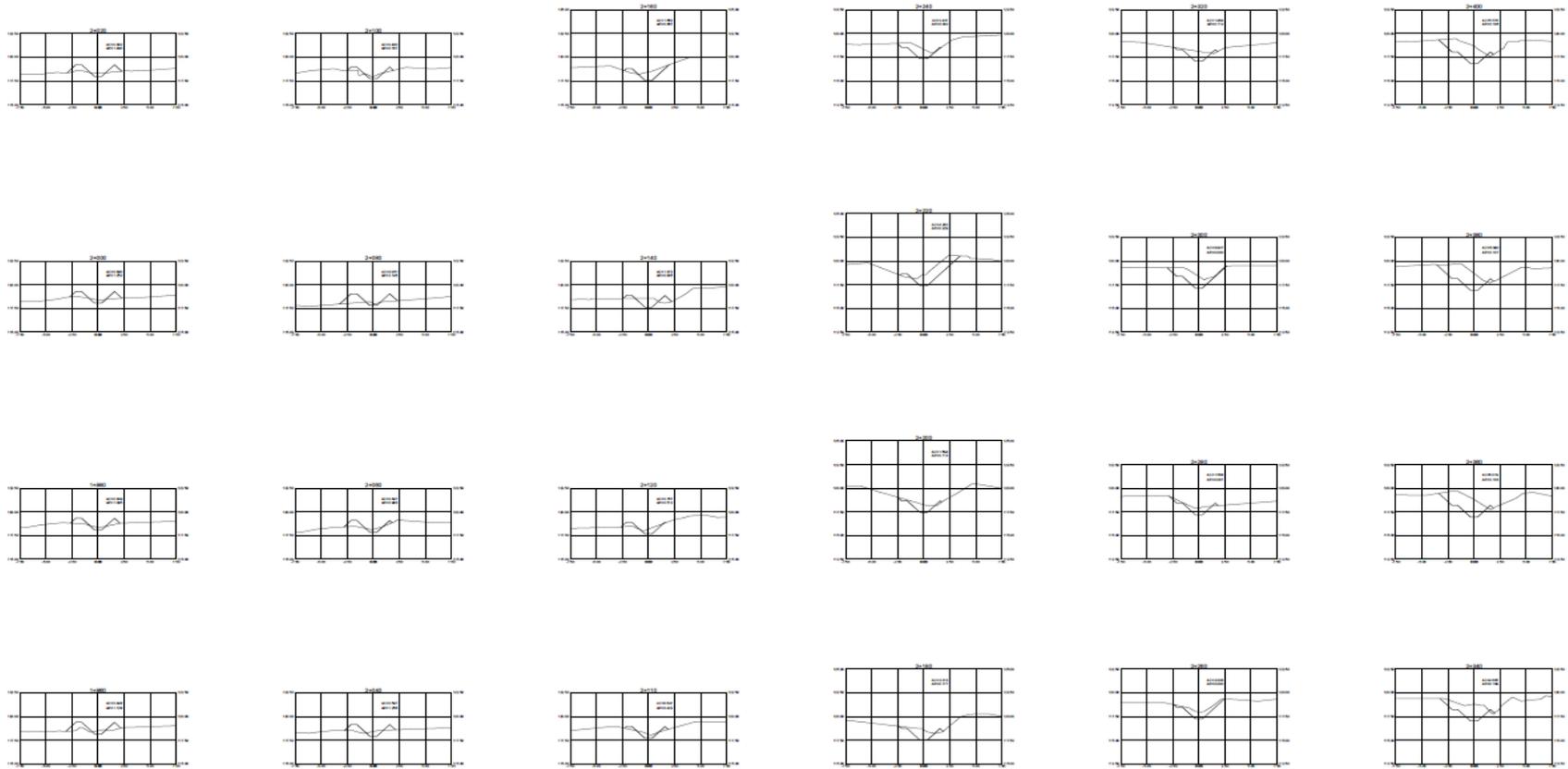


INGENIERO: JORGE WALTER AGUIAR TORRES
PROFESOR: ROBERTO DE SALAS, REGIÓN LAMBAYEQUE

TÍTULO: "DISEÑO DEL CANAL DE RIEGO CON MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS, DEL TRAMO KM 0+000 AL KM 0+086, EN EL DISTRITO DE SALAS, REGIÓN LAMBAYEQUE"

PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES
KM 1+440 - 1+950

ESCALA: 1:500
FECHA: AGOSTO 2024
ST-04



SECCIONES TRANSVERSALES
E: H 1:200
E: P 1:200



 USMP UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRES FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	DIRECTOR: JOSE WALTER ANGLADE TOPIRO PROFESOR EN CARGO: ROBERTO DE SALAS, REGIÓN LAMBAYEQUE	TESIS: "DISEÑO DEL CANAL DE RIEGO CON MÁXIMA EFICIENCIA HIDRÁULICA MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS, DEL TRAMO KM 0+000 AL KM 3+085, EN EL DISTRITO DE SALAS, REGIÓN LAMBAYEQUE"	PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES KM 1+960. 2+400	ESCALA: 1:200 FECHA: AGOSTO 2023 ST-05

