

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DE FENOMENOS HIDRAULICOS EN EL
CANAL CHAQUIN DEL SISTEMA DE RIEGO DEL VALLE DE
VIRU PRIMER TRAMO”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Área de Investigación: Hidráulica

AUTORES: BR. ESPIR NUREÑA JAN JULIVER
BR. MORALES LEIVA JAVIER ALEX
ASESOR: MS. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA

TRUJILLO, ABRIL DEL 2015

Nº de Registro: _____

**Tesis: “EVALUACIÓN DE FENOMENOS HIDRAULICOS EN EL
CANAL CHAQUIN DEL SISTEMA DE RIEGO DEL VALLE DE VIRU
PRIMER TRAMO”**

**Por: BR. ESPIR NUREÑA JAN JULIVER
BR. MORALES LEIVA JAVIER ALEX**

Jurado evaluador

Presidente:

Ing. OCHOA ZEVALLOS ROLANDO

Secretario:

Ing. BURGOS SARMIENTO TITO

Vocal:

Ing. PAREDES ESTACIO JORGE

Asesor:

Ing. NARVAEZ ARANDA RICARDO

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada “Antenor Orrego”, para el título Profesional de Ingeniero Civil, es grato poner a vuestra consideración, la presente tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE FENOMENOS HIDRAULICOS EN EL CANAL CHAQUIN DEL SISTEMA DE RIEGO DEL VALLE DE VIRU PRIMER TRAMO”**

Atentamente,

BR. ESPIR NUREÑA JAN JULIVER

BR. MORALES LEIVA JAVIER ALEX

Trujillo, Abril del 2015

DEDICATORIA

A Dios por permitirnos llegar a éste momento tan especial en Nuestras Vidas. Por los triunfos y los momentos difíciles que nos han enseñado día a día a valorar, a creer en nosotros mismos y a crecer como profesionales y personas. A Nuestros Padres y Familiares por siempre acompañarnos durante todo este trayecto universitario, gracias por brindarnos siempre apoyo y comprensión, a ustedes dedicamos este trabajo con esfuerzo y cariño ya que depositaron no solo su confianza en nosotros si no que apostaron por vernos realizados siempre. A nuestros Docentes quienes nos guiaron por el sendero correcto brindándonos no solo conocimientos si no transmitiéndonos valores y mucha actitud para siempre seguir adelante y a Nuestro Asesor quien nos brindó su tiempo, paciencia y sobretodo su incondicional apoyo para desarrollar nuestra investigación e impulsar nuestro desarrollo profesional.

ESPIR NUREÑA JAN JULIVER
MORALES LEIVA JAVIER ALEX

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, por habernos permitido culminar esta etapa de estudio y otorgarnos sabiduría, conocimiento y capacidad para entender la gran responsabilidad y sacrificio que significa ser un Ingeniero Civil UPAO. Agradecemos a nuestros padres, por brindarnos ese gran apoyo incondicional en cada momento de nuestras vidas. A nuestros familiares, por sus consejos durante esta etapa y nuestras vidas. A nuestro Asesor quien nos supo orientar y nos brindó su apoyo en todo momento. A nuestros docentes, que siempre estuvieron prestos a prepararnos y a darnos su mano amiga cuando los necesitamos, brindando siempre lo mejor de ellos para contribuir con nuestro desarrollo profesional y a todas aquellas personas que de una u otra manera hicieron posible el cumplimiento de ver hoy nuestra meta realizada.

ESPIR NUREÑA JAN JULIVER
MORALES LEIVA JAVIER ALEX

RESUMEN

“EVALUACIÓN DE FENOMENOS HIDRAULICOS EN EL CANAL CHAQUIN DEL SISTEMA DE RIEGO DEL VALLE DE VIRU PRIMER TRAMO”

Por BR. ESPIR NUREÑA JAN JULIVER

BR. MORALES LEIVA JAVIER ALEX

En este trabajo se determinan y evalúan los fenómenos hidráulicos en el primer tramo del canal “Chaquin”- Valle Virú, debido a su Arquitectura Hidráulica. Se trata de un canal lateral de segundo orden que deriva del “Canal madre” del proyecto CHAVIMOCHIC, beneficia un área de riego 4,866.86 Ha. Los fenómenos hidráulicos son resultado del cambio de sección, pendiente y trazo, lo que se busca al analizar este canal, es determinar a que están ligados estos fenómenos que presenta dicho canal.

Se realizó una evaluación in situ en la cual se corroboró que efectivamente existen fenómenos Hidraulicos actuando sobre el flujo del canal obligando a disminuir el caudal que transita por el mismo, lo que perjudica a los usuarios directos quienes no pueden captar el agua suficiente para el riego de sus campos de cultivo, afectando de esta manera directamente al desarrollo socioeconómico de la zona.

También se realizó verificación del diseño usando un software H-Canales y Criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR), con la finalidad de contrastar los datos y determinar las fallas a evaluar.

Se Desarrolló una Simulación Hidráulica utilizando otro Software River Analysis System (HEC-RAS), para obtener más a detalle los parámetros que actúan sobre el canal, ya que este programa nos ayuda a analizar el canal con más precisión y sobretodo que siendo una simulación nos permite ver el desarrollo de las obras hidráulicas en conjunto.

Tras procesar los Datos de proyecto, los datos recabados en la zona y los obtenidos luego de un arduo trabajo de gabinete se pudo contrastar y analizar los resultados, determinándose que los fenómenos hidráulicos sí están directamente ligados a la arquitectura hidráulica.

Se pudo verificar que el diseño del canal se realizó correctamente bajo ciertos criterios, los cuales se basan en formulas empíricas para un análisis bidimensional y se analizó individualmente a las estructuras que conforman la arquitectura del mismo; Se deduce entonces que los diseños individuales de una obra hidráulica deben ser analizadas en conjunto, y no individualmente, ya que esto permite analizar con más precisión el funcionamiento de la arquitectura como un sistema integrado en sí. Así mismo cabe resaltar que para el desarrollo la experiencia profesional es fundamental.

Por su importancia se proponen tres soluciones Hidráulicas que deben ser evaluadas para recuperar el canal y conducir los $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ considerado en su diseño inicial.

Palabras clave:

Fenómeno hidráulico. Canal abierto. Oleaje. Arquitectura hidráulica. Simulación hidráulica. Análisis bidimensional. Análisis Pseudo-tridimensional. Canal Abierto. Chaquin. CHAVIMOCHIC. Virú.

INDICE DE CONTENIDO

PRESENTACION.....	I
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
RESUMEN.....	IV
INDICE DE CONTENIDO.....	VI
INDICE DE PLANOS.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	X
I.- INTRODUCCION	1
CAPITULO I: GENERALIDADES	3
1.- Justificación	4
2.- Planteamiento Del Problema.....	4
- FORMULACION DEL PROBLEMA.....	5
3.- Objeto De Estudio.....	5
4.- Hipótesis.....	5
5.- Objetivos.....	5
5.1.- General.....	5
5.2.- Específicos.....	5
CAPITULO II: MARCO TEORICO	7
1.- Ubicación del canal.....	8
1.1.- Estructura de conducción: canal.....	8
- Canal de primer orden.....	9
- Canal de segundo orden	10
- Canal de tercer orden.....	10
1.2.- Circulación de flujo de un canal.....	11
1.2.1.- Tipos de flujos en canales.....	11

- Flujo permanente y no permanente.....	11
- Flujo uniforme y variado	11
- El flujo gradualmente variado	12
- El flujo rápidamente variado	12
1.3.- Ecuaciones fundamentales.....	12
- Ecuación de continuidad o de Gasto.....	13
- Ecuación de Bernoulli o Ecuación de la Energía.....	13
- Energía Especifica y Profundidad Critica.....	13
1.4.- Caracterización de un canal.....	13
1.4.1.- Parámetros hidráulicos de un canal.....	14
1.5.- Obras de arte	14
1.5.1.- Transiciones.....	15
1.5.2.- Caídas verticales.....	15
1.6.- Fenómenos Hidráulicos.....	16
1.6.1.- Resalto Hidráulico: Flujo Rápidamente Variado.....	16
1.6.2.- Remanso Hidráulico	17
1.6.3.- Flujo gradualmente variado	17
1.6.4.- Oleaje.....	18
1.6.5.- Oleaje en canales artificiales.....	19
1.7.- Caracterización de la herramienta del cálculo: Hec-Ras	20
- Sustento del programa Hec-Ras	21

CAPITULO III: METODOLOGIA Y DESARROLLO DE LA	
INVESTIGACION	22
- Trabajo de campo	23
- Trabajo de gabinete	23
1.1.- Trabajo de campo	23
1.1.1.- Descripción de la arquitectura del canal Chaquin	23
1.1.2.- Evaluación in situ de los oleajes y fenómenos hidráulicos.....	31
1.2.- Trabajo de gabinete	44

1.2.1.- Verificación del diseño hidráulico del canal y obras de arte, aplicando H-canales y criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR).....	44
- Diseño hidráulico de la caída de la progresiva 0+180	45
1.2.2.- Implementación del Modelo Matemático HEC-RAS	48
- Generación de datos para HEC-RAS	48
- Resultados Gráficos: Perfil Bidimensional	52
- Resultados Gráficos: Perfil Pseudo Tridimensional	55
- Resultados numéricos de la Simulación Hidráulica	59
II.- PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	62
- Alternativas de solución Hidráulica	67
• Alternativa N° 1	67
• Alternativa N° 2	67
• Alternativa N° 3	67
III.- CONCLUSIONES	68
IV.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	71
V.- ANEXOS	72

INDICE DE PLANOS

- VER EN ANEXOS73
 - PLANO DE UBICACIÓN (U-01)
 - PLANO DE SECCIONES TRANSVERSALES (S-01 y S-02)
 - PLANO DE CAIDA VERTICAL TIPICA (C-01)
 - PLANOS DE TOMA TIPICA (T-01)

INDICE DE TABLAS

- Tabla N° 1: COORDENADAS DE LAS SECCIONES DEL CANAL CHAQUIN – PRIMER TRAMO	59
- Tabla N° 2: CANAL CHAQUIN VALLE VIRU – ANALISIS TRIDIMENSIONAL HEC-RAS 4.1.0.....	60
- Tabla N° 3: CANAL CHAQUIN VALLE VIRU – ANALISIS BIDIMENSIONAL HEC-RAS 4.1.0	61

I. INTRODUCCION

El canal “Chaquin” es un canal lateral de segundo orden que deriva del “Canal madre” del proyecto Chavimochic, forma parte del proyecto “Construcción de Canales Integradores Valle Virú, que contempla la construcción y/o mejoramiento de los Canales Integradores Margen Derecha (Canal Chanquín) y Margen Izquierda (Canal “Santa Clara”) respectivamente, desde el Canal de Descarga al río Virú (Proviene de la Cámara de carga del Proyecto CHAVIMOCHIC). Considerado estos canales de mucha importancia para el valle de Virú, porque permitirán el mejoramiento del riego en 9242.30 ha, beneficiando a 1836 usuarios directos, ubicadas en la parte media y baja del Valle Virú. (Expediente Técnico del Proyecto Construcción de Canales Integradores Valle Virú, 2009)

El revestimiento del canal “Chaquín” comprende 14.043 Km en 13 tramos alternando la conducción en canal trapezoidal y tubería de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV). El estudio realizado comprende el primer tramo desde la progresiva 00+000 a 01+087, canal de sección trapezoidal de base 1.00 m ,1.15m de altura y talud 1:1.25, con capacidad de conducción de 3.8 m³/s y cubrirá un área de riego correspondiente a 4,866.86 ha.

El problema en el canal se inició cuando se procedió a soltar el agua de manera progresiva hasta llegar a un caudal de 2.50 m³/s, llegando a observarse que en ciertos puntos el agua rebalsaba la altura de la sección trapezoidal, obligando a reducir el caudal para evitar posibles desbordamientos. Actualmente solo está conduciendo 1.8 m³/s perjudicando a los agricultores al no poder captar lateralmente el agua necesaria, por motivos de que el nivel de fondo del canal está por debajo del nivel de las tomas laterales y el tirante es menor (0.64 m) al diseñado inicialmente (0.95 m).

Con la reducción del caudal a un se mantiene un en este primer tramo, un un tránsito muy desordenado, violento, con turbulencias y formación de oleajes propios de ríos, canales de navegación y no de irrigación; al igual se observa que sus resaltos hidráulicos son bien marcados en sus obras de arte (caídas verticales) al final de la transición, propio de flujos rápidamente variados en los cuales

muestra una gran masa de agua que sufre el efecto del resalto que también se presentan en la sección trapezoidal a lo largo del canal pero en menor escala.

La formación de los fenómenos hidráulicos por cambio de pendiente y sección transversal, no sería nada fuera de lo común si al pasar el caudal por las estructuras hidráulicas el flujo fuese controlado por sus disipadores de energía y entregando a los tramos rectos del canal por medio de sus transiciones un flujo turbulento permanentemente uniforme, pero no es así, y por la importancia que tienen este primer tramo de canal para el proyecto en conjunto es necesario evaluar la magnitud de los oleajes y resaltos hidráulicos no controlados resultes de una arquitectura hidráulica diseñada y construida.

Con este trabajo se pretende determinar y evaluar la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos en régimen permanente y determinar las variables que estarían produciendo estos tramos violentos, oleados y con turbulencia, para lo cual es necesario la evaluación in situ, verificación del diseño y la aplicación de un Modelo Matemático Hec-Ras (River Analysis System) como herramienta para realizar la simulación hidráulica, el cual proporciona resultados numéricos y gráficos con los que se puede evaluar las variables hidráulicas.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1. JUSTIFICACION

El estudio de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos en el primer tramo del canal “Chaquín” se justifica por la importancia que tiene este canal para Sistema de Riego del Valle Virú, que forma parte del proyecto de Construcción y/o Mejoramiento de los Canales Integradores, con el cual se pretende beneficiar un área de riego correspondiente a 52.65% del área beneficiada con la conducción de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$, según su diseño inicial, lo cual no será posible porque se estaría produciendo desbordamientos laterales inundando a las parcelas y viviendas colindantes, y en el caso de mantener un caudal menor los agricultores estarían limitados al no poder captar el agua necesaria para el riego de sus parcelas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Nuestro proyecto se centra en el estudio de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos en el primer tramo canal “Chaquin” Valle Virú, debido a su Arquitectura Hidráulica. Se trata de un canal lateral de segundo orden que deriva del “canal madre” del proyecto CHAVIMOCHIC, y en la actualidad beneficia un área de riego 4,866.86 ha aproximadamente. Los fenómenos hidráulicos son resultado del cambio de sección, pendiente y trazo, los cuales son calculados mediante Formulas empíricas basadas en un análisis bidimensional, donde muchas veces en el campo real se están dejando de considerar muchos otros aspectos técnicos que influyen en el funcionamiento de la estructura. Es así que dicho canal presenta deficiencias en la conducción del Caudal de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ según su diseño inicial y que en la actualidad se redujo a $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$, ésto debido a la presencia de oleajes y fenómenos hidráulicos no controlados en el canal.

Debido a su condición estrictamente agrícola, el bienestar de los beneficiados depende del agua para el riego, lo que limita el desarrollo de la zona. Estas características le dan a este proyecto, un valor estratégico, desde el punto de vista productivo, de mucha incidencia ocupacional y factor preponderante para el desarrollo socio económico de la zona.

En el presente proyecto se pretende dar una alternativa de solución al problema planteado, estudiando y analizando los oleajes y fenómenos que presenta este canal específicamente, mediante la verificación del diseño y simulación hidráulica (usando HEC-RAS), con la finalidad de que el canal pueda conducir el caudal necesario para satisfacer correctamente la demanda de agua para el riego en las zonas beneficiadas.

- **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:**

¿En qué medida la arquitectura hidráulica del canal “Chaquin” influye en la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos no controlados, el cual obliga a reducir su capacidad de conducción?

3. OBJETO DE ESTUDIO

La Determinación y Evaluación de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos no controlados debido a la arquitectura hidráulica del primer tramo del canal “Chaquín” construido.

4. HIPOTESIS.

“La formación de oleajes y fenómenos hidráulicos en el primer tramo del canal “Chaquín” es debido a las dimensiones de la Arquitectura Hidráulica del canal construido”.

5. OBJETIVOS

5.1 General:

“Evaluar de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos en el primer tramo del canal “Chaquin” -Virú, debido a su Arquitectura Hidráulica”.

5.2 Específicos:

- Realizar una descripción de la arquitectura hidráulica del primer tramo del canal “Chaquin”.

- Realizar la caracterización in situ de la problemática actual por la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos en el canal “Cahquin”.
- Verificar el diseño hidráulico del canal aplicando H-canales y criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR)
- Utilizar el Modelo Matemático Hec-Ras como herramienta, para realizar una simulación hidráulica con los parámetros de la Arquitectura Hidráulica en Régimen Permanente con los datos iniciales para el diseño del canal.
- Proponer alternativas de solución hidráulica para mitigar el efecto de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

1. Ubicación del Canal

El canal “Chaquin”, se encuentra ubicado en el noroeste del Perú. Políticamente su ubicación es la siguiente:

Región : La Libertad
Provincia : Virú
Distrito : Virú

En la fig.1 se muestra la ubicación política del proyecto.

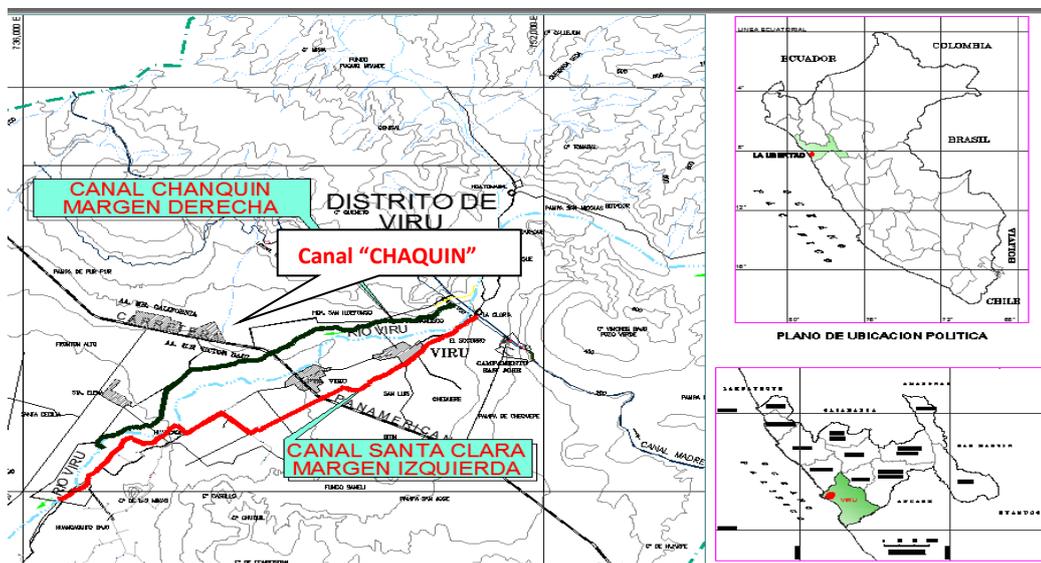


Figura 1: Ubicación Política del canal CHAQUIN. Fuente: Proyecto Especial Chavimochic, 2012, Obra: “Canales Integradores Valle Virú”.

1.1. Estructura de conducción : canal

Se denominan canales a conductos abiertos en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmosfera; esto quiere decir que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso. Una clasificación simple por su naturaleza son los canales naturales (Fig. 2) y canales artificiales (Fig. 3)



Figura 2: Vista de un canal natural.

Los canales de riego dentro de una planificación, comúnmente tienen forma rectangular o trapezoidal, adoptando por su función diferentes denominaciones, así tenemos por ejemplo:

- **Canal de Primer Orden:** Llamado también Canal Madre o de Derivación y se le traza siempre con pendiente mínima, normalmente es usado por un solo lado ya que por el otro da con terrenos altos (Fig. 3).



Figura 3: Canal madre del Proyecto de Chavimochic. Fuente Propia.

- **Canal de Segundo Orden:** Llamados también laterales, son aquellos que salen del canal Madre (Fig. 4) y el caudal que ingresa a ellos, es repartido hacia los sub-laterales, el área de riego que sirve un lateral se conoce como Unidad de Riego.



Figura 4: Canal Integrador “Chaquin”, Margen Derecha del Rio Virú.

Fuente Propia.

- **Canal de Tercer Orden:** Llamados también sub-laterales y nacen de los canales laterales, cuyo caudal ingresa a ellos mediante las tomas laterales (Fig.5)



Figura 5: Canal de riego de las parcelas

1.2. Circulación del flujo en un canal

Circulación o Propagación de los flujos, es el procedimiento mediante en el cual se determina el avance progresivo (predicción de las variaciones en el tiempo y en el espacio) de una onda de flujo a lo largo de una canal corriente o de un embalse.

Un fluido en movimiento es un fenómeno que no puede ser expresado matemáticamente en forma exacta, debido a condiciones exteriores complejas y variables. El flujo en un canal depende básicamente de los efectos de las fuerzas viscosas y de gravedad, existen regímenes muy diferentes en el escurrimiento de los fluidos: el régimen laminar, capilar, estratificado o de Poiseuille y el régimen turbulento llamado también Hidráulico.

El régimen laminar, ocurre muy raramente en los canales debido a la baja viscosidad cinemática del agua y es propio de corrientes y velocidades pequeñísimas. El régimen Turbulento es propio de canales abiertos donde un análisis simplificado de este tipo de flujo, permite definir la profundidad y velocidad media en una sección como las características que definen el tipo de flujo en un canal.

1.2.1. Tipos de flujos en Canales.

La clasificación del flujo en un canal depende de la variable de la referencia que se tome, así tenemos:

- **Flujo Permanente y No Permanente:** Esta clasificación obedece a la utilización del tiempo como variable. El flujo es Permanente si los parámetros (tirante, velocidad, etc.) no cambian con respecto al tiempo es decir, en una sección del canal, en todo el tiempo los elementos del flujo permanecen constantes.
- **Flujo Uniforme y Variado:** Esta clasificación obedece a la utilización del espacio como variable. El flujo es Uniforme si los parámetros (tirante, velocidad, área, etc.) no cambian con respecto al espacio, es decir, en cualquier sección del canal los elementos del flujo permanecen constantes.

- **El flujo Gradualmente Variado:** es aquel en el cual los parámetros hidráulicos, cambian en forma gradualmente a lo largo del canal, como es el caso de una curva de remanso, producida por la intersección de una presa en el cauce principal, elevándose el nivel del agua por encima de la presa, con efectos hasta varios kilómetros aguas arriba de la estructura.
- **El flujo Rápidamente Variado:** es aquel en el cual los parámetros varían instantáneamente en una distancia muy pequeña, como es el caso del resalto hidráulico (Fig. 6). Se observa este fenómeno en las Caídas Verticales del Canal Chaquin.

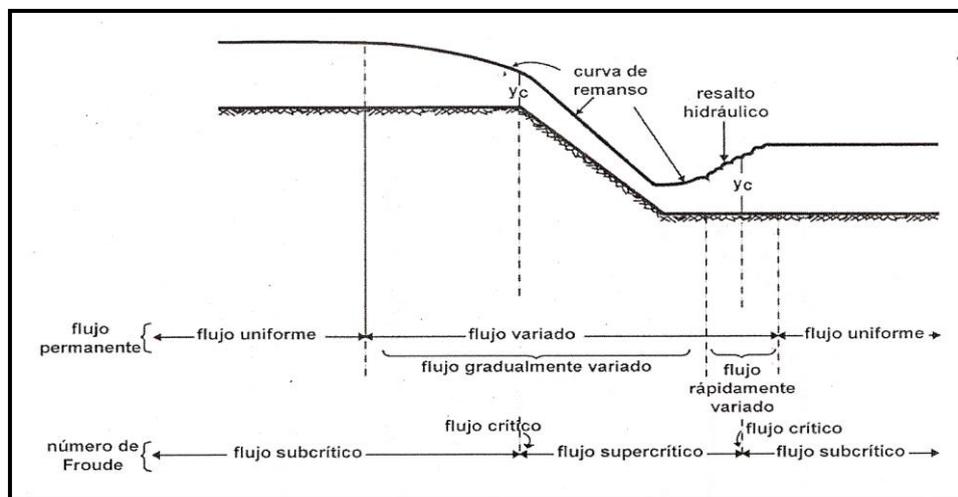


Figura 6: Representación y relación de los Flujos en Canales Abiertos. (Fuente: Villón M. 1995).

1.3. Ecuaciones fundamentales

Sobre las ecuaciones fundamentales de la Hidráulica, las tocaremos en forma restringida como así las ecuaciones mismas, sabiendo que en el proceso del estudio del movimiento de fluidos para simplificar más aun los problemas se ha seguido el siguiente método: “los problemas se idealizan y se les aplica las leyes de la mecánica teórica, luego los resultados obtenidos se comparan con los datos experimentales observándose así las diferencias entre uno y el otro, se corrigen las deducciones teóricas y las formulas para adaptarlas cada vez mejor a la aplicación práctica”. Los fenómenos que la Hidráulica nos presenta son difíciles

de analizar teóricamente, procediéndose de manera experimental y aplicándose estos resultados a las ecuaciones a estudiar.

- **Ecuación de Continuidad o de Gasto**

El caudal o gasto es la cantidad de fluido que pasa a través de la sección viva del flujo en la unidad de tiempo.

- **Ecuación de Bernoulli o Ecuación de la Energía**

Cuando el agua circula en un canal, se tiene normalmente el caso de un tipo de flujo permanente y real, siendo los fluidos reales viscosos presentan en su movimiento tensiones de cortadura de manera que producen choques de masas líquidas veloces con otros menos veloces, estos choques generan remolinos que convierten la energía mecánica en energía térmica, a esta transformación de energía se le llama en Hidráulica “Pérdida de carga”, porque la energía no vuelve a transformarse en su forma mecánica y por lo tanto se ha perdido en la corriente.

- **Energía Específica y Profundidad Crítica**

Cuando se trata de flujo variado, no ha conservando constantes todos los elementos de la sección, de una sección a otra; resulta de gran utilidad referir el flujo a la curva de Energía Específica.

1.4. Caracterización de un canal

En un proyecto de irrigación la parte que comprende el diseño de los canales y obras de arte, si bien es cierto que son de vital importancia en el costo de la obra, no es lo más importante puesto que el caudal, factor clave en el diseño y el más importante en un proyecto de riego, es un parámetro que se obtiene en base al tipo de suelo, cultivo, condiciones climáticas, métodos de riego y otros.

1.4.1. Parámetros hidráulicos de un canal

La geometría de un canal corresponde a la determinación de sus elementos geométricos que conforman la sección transversal del canal (Fig. 7).

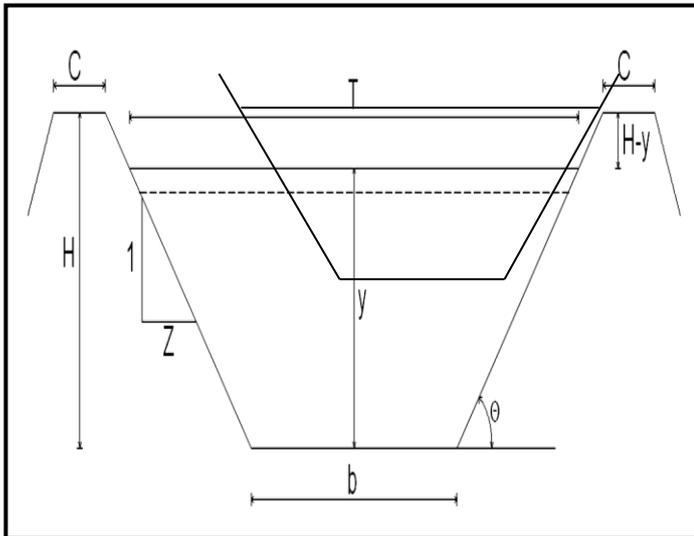


Figura 7: Elementos Geométricos del canal (Fuente: Villón M. 1995).

Donde:

y = tirante de agua: es la profundidad máxima del agua en el canal.

b = ancho de solera, ancho de plantilla, o plantilla, es el ancho de la base de un canal.

T = espejo de agua, es el ancho de la superficie libre del agua.

C = ancho de corona.

H = profundidad total del canal.

$H - y = BL$ = borde libre.

θ = ángulo de inclinación de las paredes laterales con la horizontal.

Z = talud, es la relación de la proyección horizontal a la vertical de la pared lateral (se llama también talud de las paredes del canal). Es decir Z es el valor de la proyección horizontal cuando la vertical es 1.

1.5. Obras de arte

Cabe señalar que en el diseño de las obras de arte, la información topográfica se constituye en un elemento importancia. Son obras complementarias ya que todas forman parte integrante de otras más grandes y por lo tanto constantemente su diseño se repite: caídas verticales, caídas inclinadas, transiciones, etc.

1.5.1. Transiciones

Estas estructuras se construyen muy frecuentemente al comienzo y al final de ciertas obras, tales como alcantarillas, sifones, caídas, tomas y otras. El objetivo de estas obras, es reducir las pérdidas de carga, debidos al cambio de la sección del canal (Fig. 8).

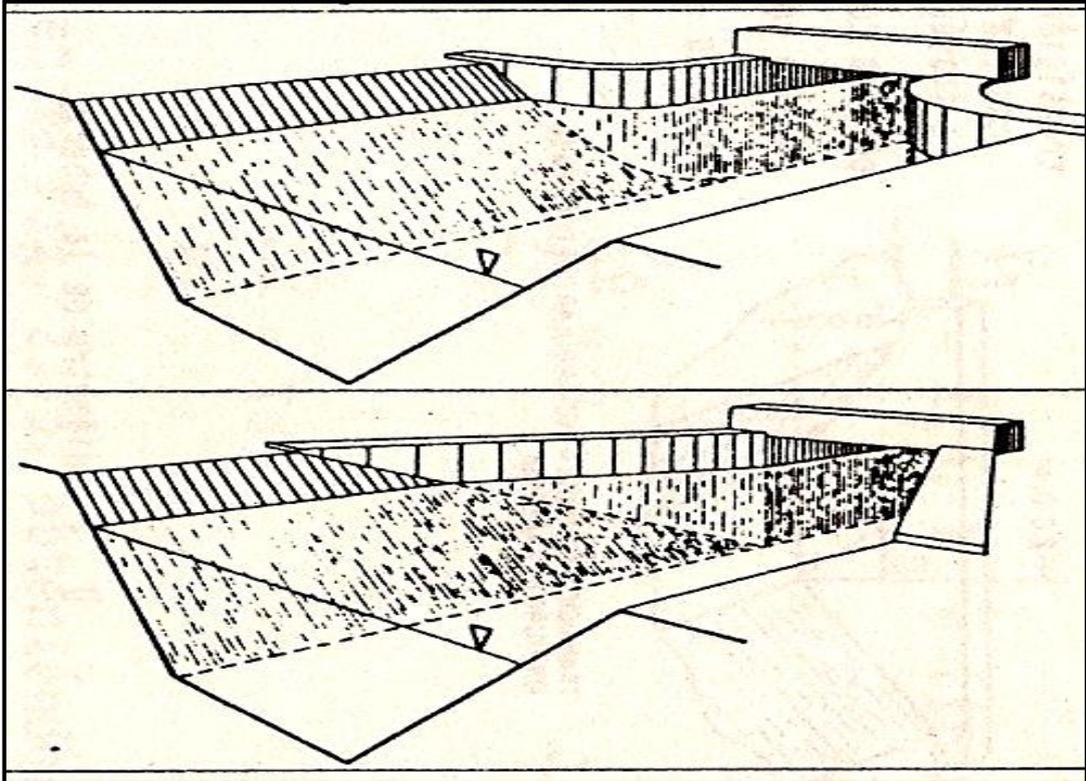


Figura 8: Formas de transiciones de Trapezoidal a Rectangular. (Fuente: García E., 1987).

1.5.2. Caídas verticales

Son conocidas como saltos de agua, obras proyectadas en canales para salvar desniveles bruscos en la rasante de fondo, llamadas caídas cuando los desniveles son iguales o menores a 1.00 m., y estas a su vez pueden ser verticales o inclinadas (Fig. 9).

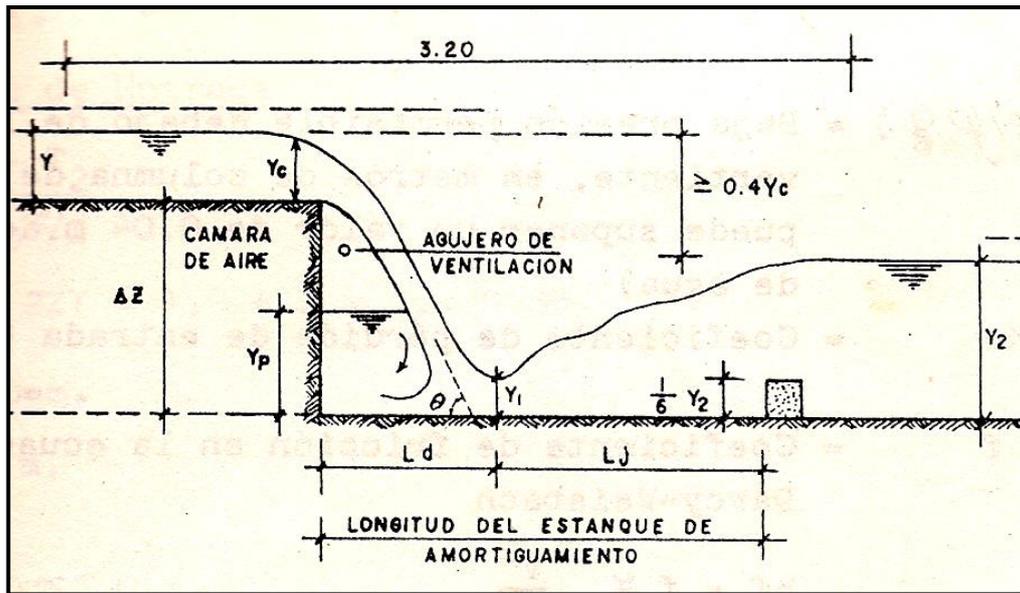


Figura 9: Características Generales de Caída Vertical. (Fuente: García E., 1987).

1.6. Fenómenos Hidráulicos

Los fenómenos hidráulicos son el resultado del cambio brusco de la arquitectura hidráulica del canal como son el cambio de sección y pendiente, para esto se incorpora las obras de arte (caídas verticales e inclinadas, rápidas, etc.) para bajar a un nivel topográfico que requiere el terreno. Pero estos fenómenos son controlados cuando el caudal pasa por una posa disipadora adecuadamente diseñada y construida, que amortigua y disipa la energía del resalto hidráulico complementándose con la colocación de transiciones al ingreso y salida de la estructura principal recobrando nuevamente el tirante normal y produciéndose un flujo turbulento, uniforme y controlado. A continuación se describen estos fenómenos hidráulicos.

1.6.1. Resalto Hidráulico: Flujo Rápidamente Variado

El Resalto Hidráulico es un fenómeno local, que se presenta en el flujo rápidamente variado, el cual va siempre acompañado por un aumento súbito del tirante y una pérdida de energía bastante considerable (disipada principalmente como calor), en un tramo relativamente corto. Ocurre en el paso brusco de

régimen supercrítico (rápido) a régimen Subcrítico (lento), es decir, en el resalto hidráulico el tirante, en un corto tiempo, cambia de un valor inferior al crítico a otro superior a este. La fig. 10 nos muestra este fenómeno:

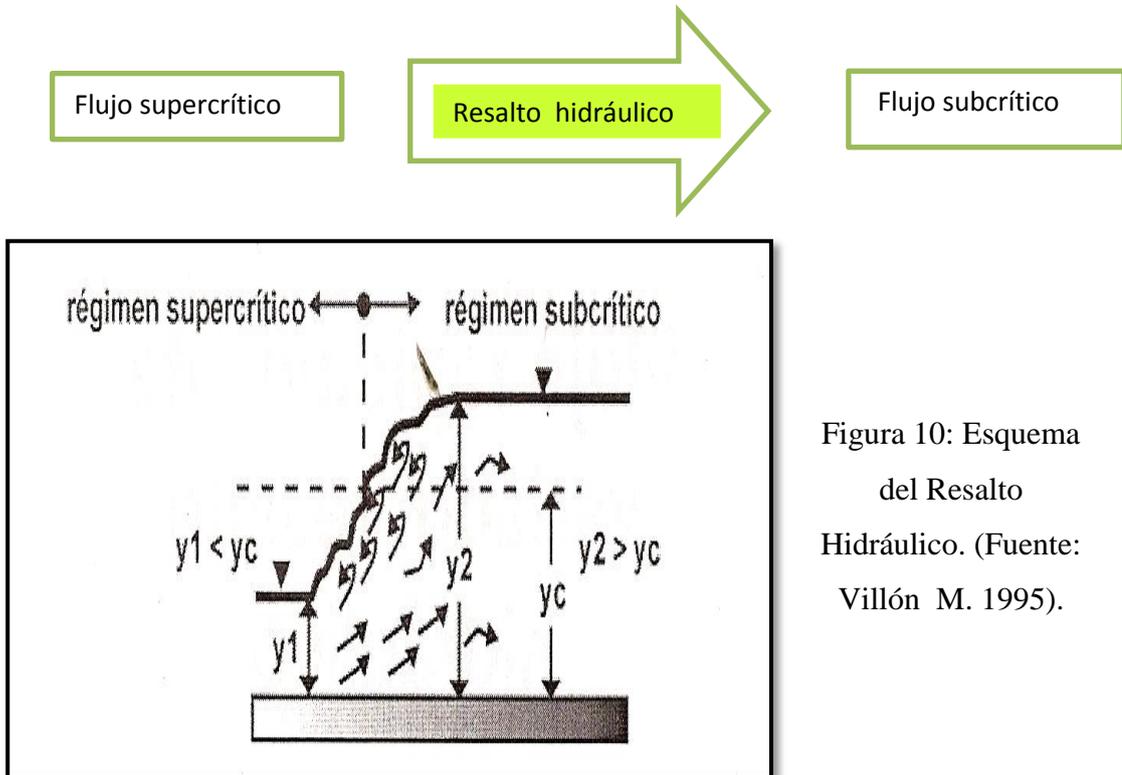


Figura 10: Esquema del Resalto Hidráulico. (Fuente: Villón M. 1995).

1.6.2. Remanso Hidráulico

Se le conoce como Curvas de Remanso o Ejes Hidráulicos, a los perfiles longitudinales que adquiere la superficie libre del líquido en un canal, cuando se efectúa un escurrimiento bajo las condiciones de flujo gradualmente variado.

1.6.3. Flujo gradualmente variado.

Constituye una clase especial del flujo permanente no uniforme, y se caracteriza por una variación gradual (suave) del tirante (y con ello del área, la velocidad, etc.) a lo largo del canal. Este tipo de flujo se presenta en la llegada o salida de las estructuras hidráulicas tales como represas, compuertas, vertederos, etc. y en general cuando las condiciones geométricas de la sección transversal o del fondo del canal cambian abruptamente; o bien cuando el recorrido se presenta algún obstáculo que haga variar las condiciones del movimiento.

1.6.4. Oleaje

Las olas son ondas que se desplazan por la superficie de mares, océanos, ríos, canales, etc. Una explicación física más clara de las olas del mar son ondas sísmicas (es decir, perturbaciones de un medio material) de las llamadas superficiales, que son aquellas que se propagan por la interfaz (la frontera) entre dos medios materiales. En este caso se trata del límite entre la atmósfera y el océano. Cuando pasa una ola por aguas profundas (Fig. 11), las moléculas de agua regresan casi al mismo sitio donde se encontraban originalmente. Se trata de un vaivén con una componente vertical, de arriba a abajo, y otra longitudinal, la dirección de propagación de la onda.

En realidad se produce un pequeño desplazamiento neto del agua en la dirección de propagación, dado que en cada oscilación una molécula o partícula no retorna exactamente al mismo punto, sino a otro ligeramente más adelantado. Es por esta razón por la que el viento no provoca solamente olas, sino también corrientes superficiales.



Figura 11: Estela de ola formada por el paso de un barco.

1.6.5. Oleaje en canales artificiales

La formación de oleajes en canales con pendiente casi horizontal depende de la longitud considerable del espejo de agua donde el fenómeno es provocado por el viento, cuya fricción con la superficie del agua produce un cierto arrastre, dando lugar primero a la formación de rizaduras (arrugas) en la superficie del agua, llamadas ondas u olas capilares, de sólo unos milímetros de altura y hasta 1,7 cm de longitud de onda. En caso contrario estas olas de flujo turbulento en canales son despreciables observándose una marca del pelo de agua casi lineal en las paredes del canal como se muestra en la fig. 12.



Figura 12. Marca uniforme del pelo de agua en la pared lateral del canal Chavimochic sin formación de olas. Fuente Propia.

1.7. Caracterización de la herramienta de cálculo: Hec-Ras

Probablemente, el Modelo Matemático de dominio público actual más conocido y utilizado para la simulación hidráulica de canales y ríos: River Analysis System Hec-Ras, fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers), surge como evolución en el diseño de alta tecnología de varios programas. Este programa destaca por la interfaz gráfica de usuario que facilita las labores de pre-proceso y post-proceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre de agua para distintos gastos circulares.

El programa dispone de las ecuaciones y conceptos básicos de la hidráulica en lámina libre planteados en base a los conceptos necesarios para entender el régimen fluvial. Son claves los conceptos de régimen lento, rápido, resalto, así como la descripción del algoritmo de cálculo del método paso a paso que plantea el programa. A parte de las características mencionadas el programa permite obtener el cálculo en régimen variable y a flujos bidimensionales, útiles en estudios de detalle del movimiento del agua alrededor de ciertas estructuras singulares o del flujo en grandes llanuras de inundación. La aplicación en la cual el HEC-RAS trabaja es la Modelación Hidráulica en Régimen Permanente de cauces abiertos, Ríos y Canales artificiales. Su pantalla principal se muestra en la fig.13. (Hidrologic Engieneering Center, Hec-Ras 4.1.0, 2014).

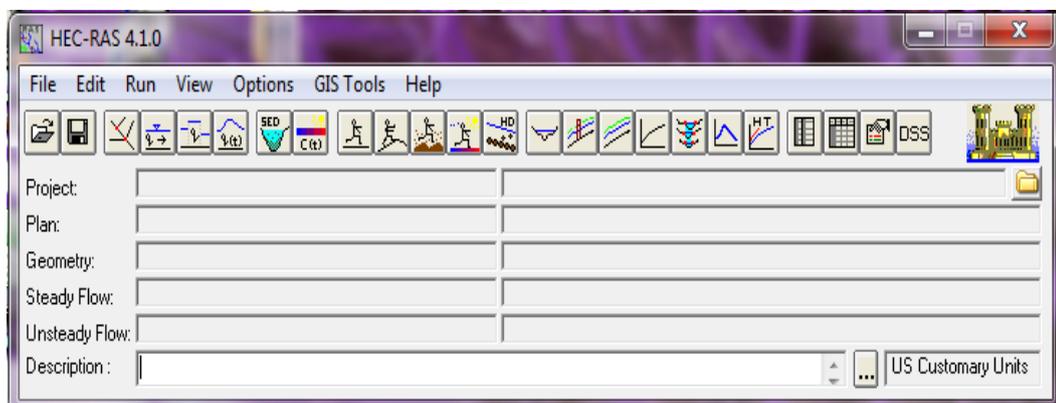


Figura 13. Pantalla Principal del Programa Hec-Ras.

- SUSTENTO DEL PROGRAMA HEC-RAS

El procedimiento básico computacional del HEC-RAS para el flujo constante se basa en la solución de la ecuación unidimensional de la energía. Las pérdidas de energía son evaluadas por la fricción y la contracción/expansión. La ecuación de momento se puede utilizar en situaciones donde el perfil de la superficie del agua es rápidamente variado. Estas situaciones incluyen saltos hidráulicos, sistema hidráulico de los puentes, y la evaluación de perfiles en las confluencias de los ríos.

Para el flujo no constante, HEC-RAS resuelve la ecuación dinámica completa Saint-Venant mediante un método diferencial implícito y finito. HEC-RAS está equipado para modelar una red de canales, un sistema dendrítico o un tramo de un río. Algunas simplificaciones deben realizarse con el fin de modelar el flujo en algunas situaciones complejas mediante el enfoque unidimensional del HEC-RAS. Es capaz de modelar regímenes de flujo subcrítico, supercrítico, y combinados, junto con los efectos de los puentes, alcantarillas, diques y estructuras.

CAPITULO III: METODOLOGIA Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

Para el desarrollo del trabajo de investigación se ha considerado un proceso a nivel de ingeniería con el cual se puede analizar la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos, realizándose trabajos de campo y gabinete, como se explica a continuación:

- Trabajo de campo
 - Se realizó una descripción de la arquitectura hidráulica del canal Chaquín.
 - Se realizó una evaluación in situ de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos que se presentan en el canal y la obtención de información de los pobladores con la finalidad de conocer la problemática en el uso del canal.
- Trabajo de gabinete
 - Se verifico el diseño hidráulico del canal, aplicando H-canales y criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR)
 - Se aplicó el Modelo Matemático Hec-Ras como herramienta para el cálculo de los parámetros de la Arquitectura Hidráulica en Régimen Permanente del canal construido.

1.1 Trabajo de campo

1.1.1. Descripción de la Arquitectura hidráulica del Canal Chaquín.

El canal “Chaquín” se inicia desde una toma lateral del “canal madre” del proyecto CHAVIMOCHIC que proviene de la Cámara de Carga, como se muestra en la Fig. 14.



Figura 14: Primer tramo del canal “Chaquín”.

Según el trazo y topografía existente del primer tramo construido del canal “Chaquín”, está conformado por las siguientes obras cuyas características de su arquitectura hidráulica se indican a continuación:

- Presenta una estructura de Inicio de sección Trapezoidal con una Transición muy corta de 2.50m desde el canal madre, como se muestra en las Fig. 15-19.



Figura 15:
Estructura de
inicio del
Canal
Chaquin,
vista desde el
Canal madre.



Figura 16:
Vista de
Transición de
entrada del
canal
Chaquin.



Figura 17: Sección inicial del canal donde se muestra el flujo turbulento no controlado.



Figura 18: Inicio de la sección típica trapezoidal del Canal Chaquin.



Figura 19: Verificando medidas referenciales en el primer tramo del canal Chaquin.

- Continúa con el canal que tiene una sección trapezoidal típica de base 1.00 m, 1.15m de altura y talud 1:1.25, con capacidad de conducción de diseño de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$, desde la progresiva 00+027 a 01+087, el cual mantiene un trazo tal como muestra en la fig. 20, la cual muestra una vista satelital del canal “Chaquín” Primer tramo, toma del Canal Madre proyecto especial Chavimochic.



Figura 20: Vista primer tramo canal Chaquín valle Viru.



Figura 21: Vista del Canal sección típica en la Progresiva 00+027 km aproximadamente y el Oleaje que presenta.

- En este primer tramo se ha construido (3) Caídas verticales de sección rectangular, ubicadas en el canal para salvar desniveles topográficos, disipando adecuadamente la energía potencial, se han considerado desniveles de 0.50 m hasta 1.00 m. siendo ésta y su poza disipadora de sección rectangular, los cuales prevén la disipación de la energía a través de un resalto hidráulico, complementándose con las transiciones de entrada y salida de 2.50 m. Las dimensiones de la arquitectura hidráulica de las caídas verticales, las vistas de planta y cortes se muestran en las figuras 22, 23 y 24.



Figura 22: Vista de la arquitectura hidráulica de las caídas verticales

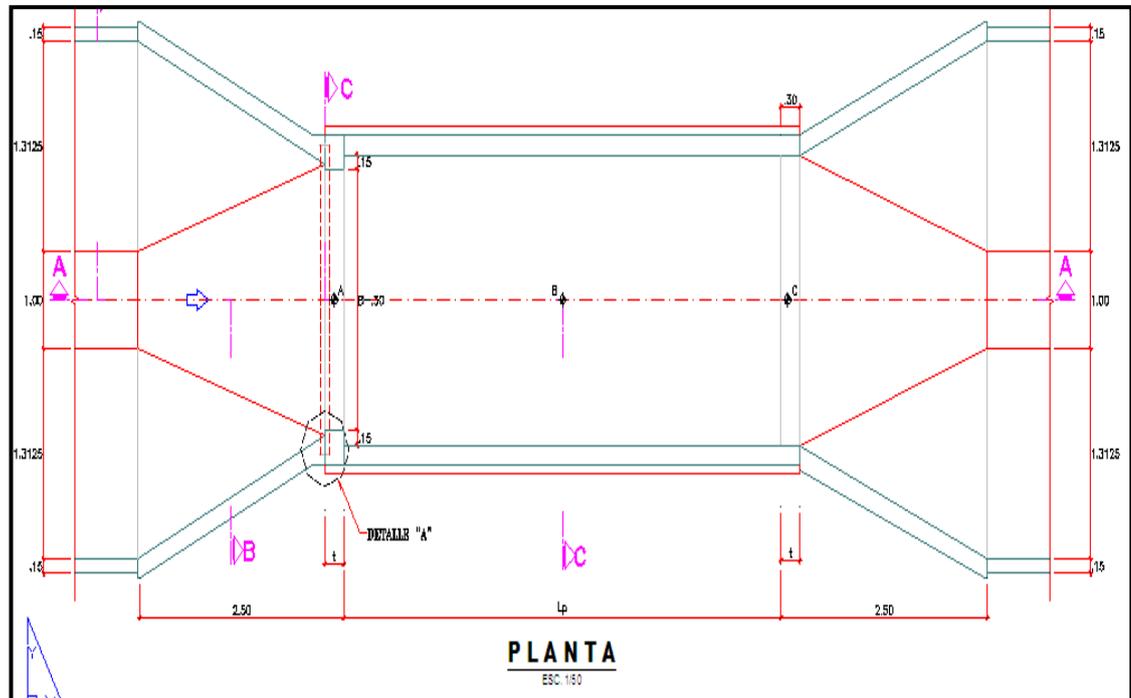


Figura 23: Vista de planta típica de la arquitectura hidráulica de la caída vertical

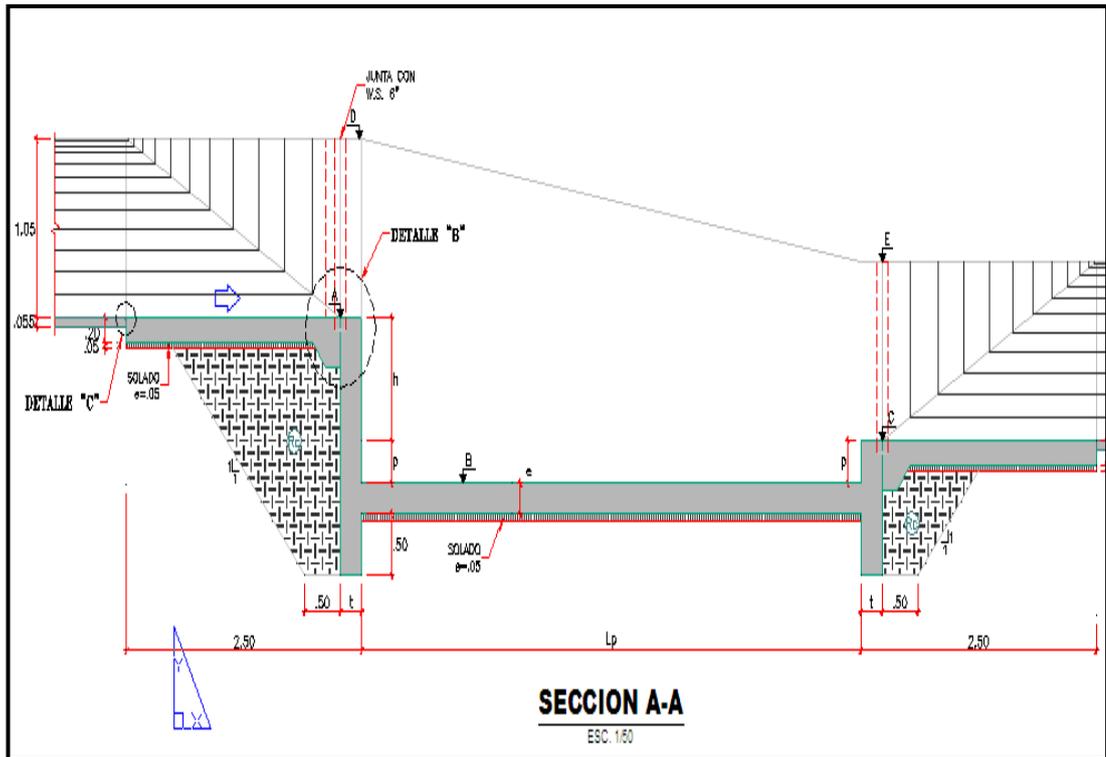


Figura 24: Vista de corte típica de la arquitectura hidráulica de la caída vertical.

- Para el riego de las parcelas se construido (4) Tomas Laterales; su arquitectura hidráulica está formado por tramo de sección rectangular para conducir el agua a través de la berma del canal y la transición de salida, colocándose una compuerta en la entrada para controlar el flujo. La toma (1) ubicado en la progresiva 0+564.30 se muestra en la fig. 26.



Figura 25: Compuerta de Tomas laterales (Toma 2)



Figura 26: Toma 1 ubicado en la progresiva 0+564.30.

- Se ha encontrado la construcción de (06) Entregas de Desagüe Superficial (EDS) como se muestra e la fig. 27, que servirán para evacuar los excesos superficiales originados por mal manejo del agua de riego. Su arquitectura hidráulica lo conforma una transición de entrada y conducto de entrega como se muestra en la fig. 28.

Nº EDS	PPROGRESIVA
1	0+084
2	0+198
3	0+326
4	0+540
5	0+550
6	0+717

Figura 27: Relación de entregas de desagüe superficial.



Figura 28: Entrega de desagüe superficial EDS-2, ubicado en la progresiva 0+198.

1.1.2 Evaluación in situ de los Oleajes y Fenómenos Hidráulicos

El estudio de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos se inicia con la verificación in situ mediante un proceso de observación y medición de los diferentes parámetros hidráulicos y topográficos del canal los cuales se mostraran con los resultados de la simulación hidráulica.

Por la información de los pobladores luego de haberse mejorado el canal mediante el revestimiento se procedió a soltar el agua de manera progresiva de 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 hasta los 2.50 m³/s, llegando a observarse que en cierto punto el agua rebalsaba la altura de la sección trapezoidal, obligando a reducir el caudal para evitar desbordamientos. Actualmente el canal conduce una caudal aproximadamente de 1.8 m³/s, con un tirante de 0.60 m, medida tomada de la estación de aforro ubicada después de la estructura de inicio del canal, como se muestra en la fig. 29.



Figura 29: Estructura de aforo donde se observa que el tirante actual es de 0.60 m para un caudal menor de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$, cuyo tirante debería ser 0.93 m según diseño.

A pesar que el caudal de conducción es menor al caudal de diseño ($3.8 \text{ m}^3/\text{s}$), se observa que los flujos resultantes a lo largo del canal tienen un tránsito muy desordenado, tramos violentos, formación de oleajes y con turbulencia no controladas a la salida de las pozas disipadoras, formándose fenómenos hidráulicos inesperados como los resaltos hidráulicos siendo muy marcados en sus obras de arte de las Caídas Verticales y al final de la estructura de inicio, propio de flujos rápidamente variado en los cuales muestra una gran masa de agua que sufre el efecto de los resaltos y oleajes.

Esta evaluación se inició desde la derivación del canal Principal del Proyecto Chavimochic como se muestra en la fig. 30, en la cual se observa un flujo turbulento permanentemente uniforme típico de un canal artificial.



Figura 30: Derivación de un caudal de $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente, de la toma lateral del canal madre del proyecto Chavimochic.

En las siguientes fig. 31-35, se muestra claramente la formación de oleajes y resaltos hidráulicos no controlados por su arquitectura hidráulica para un caudal de $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ a $2 \text{ m}^3/\text{s}$, dejando a la imaginación proyectarse si el caudal fuese de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 31: Inicio del Canal Chaquín, observándose la formación de resaltos hidráulicos y oleajes con turbulencia no controlada.



Figura 32: Flujo desordenado y turbulento en la estructura de inicio.



Figura 33: Formación de Resalto y Oleajes en la Transición de Salida de la Estructura de Inicio.



Figura 34: Rastro del desborde al límite de la pared lateral a la salida de la tercera caída vertical del canal, producto del resalto hidráulico no disipado con un caudal menor de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$.

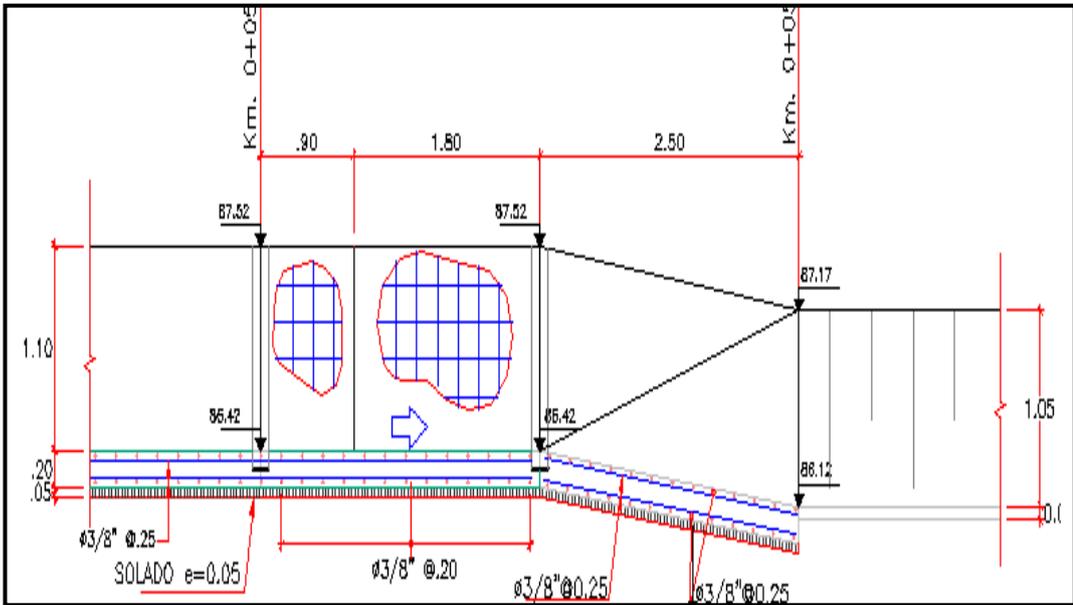


Figura 35: Plano de la estructura de inicio y variación de cota en transición de salida. Fuente: Proyecto Especial Chavimochic, Obra: “Canales Integradores Valle Viru”.

Debido a que no fue controlado el resalto hidráulico por los disipadores de energía, se entrega al canal un flujo turbulento desordenado formando oleajes con longitudes de onda bien marcados en la paredes laterales del canal. Esta formación de oleajes en diferentes magnitudes se presenta en todo el primer tramo del canal “Chaquin”, como se observa en la fig. 36.



Figura 36: Tramo de canal con flujo turbulento desordenado y formación de oleajes.

La incorporación de las curvas horizontales, de las (16) que forman parte del Canal, (14) tienen radios entre los 30 a 50 m de longitud y (2) tienen radios de 100 y 250 m respectivamente, siendo en su mayoría curvas marcadas para un caudal de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$, dejando algunos tramos rectos muy cortos para que se desarrolle un flujo turbulento permanentemente uniforme característico de un flujo de un canal típico, Todo esto debido a que para la construcción del canal, la expropiación de terrenos no fue la más conveniente para el planteamiento del Trazo final; Sin embargo en el “Primer Tramo del Canal Chaquín” encontramos que las curvas presentes no influyen notablemente en el tránsito del flujo, éste ya presenta fenómenos hidráulicos no controlados, los oleajes son bien definidos antes y después de cada curva dejando huellas en los paños del canal como se muestra en la fig. 37-38.



Figura 37-38: Primer Tramo, con flujos turbulentos desordenados y formación de oleajes en curvas horizontales.

Se debe indicar que la construcción de un tramo que inicialmente se consideró en el diseño como un tramo recto hasta el otro PI, se tuvo que ubicar otra curva horizontal, según los pobladores la expropiación de terrenos no fue efectiva como se indica anteriormente, no cedieron los terrenos que se debería ocupar, obligando a la construcción una de curvatura doble o contra curva, reduciendo los tramos rectos y cambios de dirección del caudal incrementando la formación de oleajes (Fig. 39).



Figura 39: Tramo con curvatura doble en la progresivas 0+660.00 a 0+750.00

Por la topografía existente se han ubicado diferentes caídas verticales a lo largo del canal, las cuales también presentan un flujo turbulento no controlado por las pozas disipadoras, observándose en la fig. 40-48, además la corta longitud de las transiciones no contribuye a controlar el flujo, entregando nuevamente al canal un flujo turbulento no uniforme.



Figura 40-41: Flujo en Caídas Verticales, con turbulencia no controlado por el colchón disipador y transiciones de salida muy cortos para el cambio de sección.



Figura 42-43. Transiciones en las entradas a la Caída vertical (segunda Caída).



Figura 44-45: Marca en las paredes por resalto hidráulico (Primera y Segunda Caida



Figura 46-47: Transiciones de salida no contribuyen a la entrega uniforme del caudal.

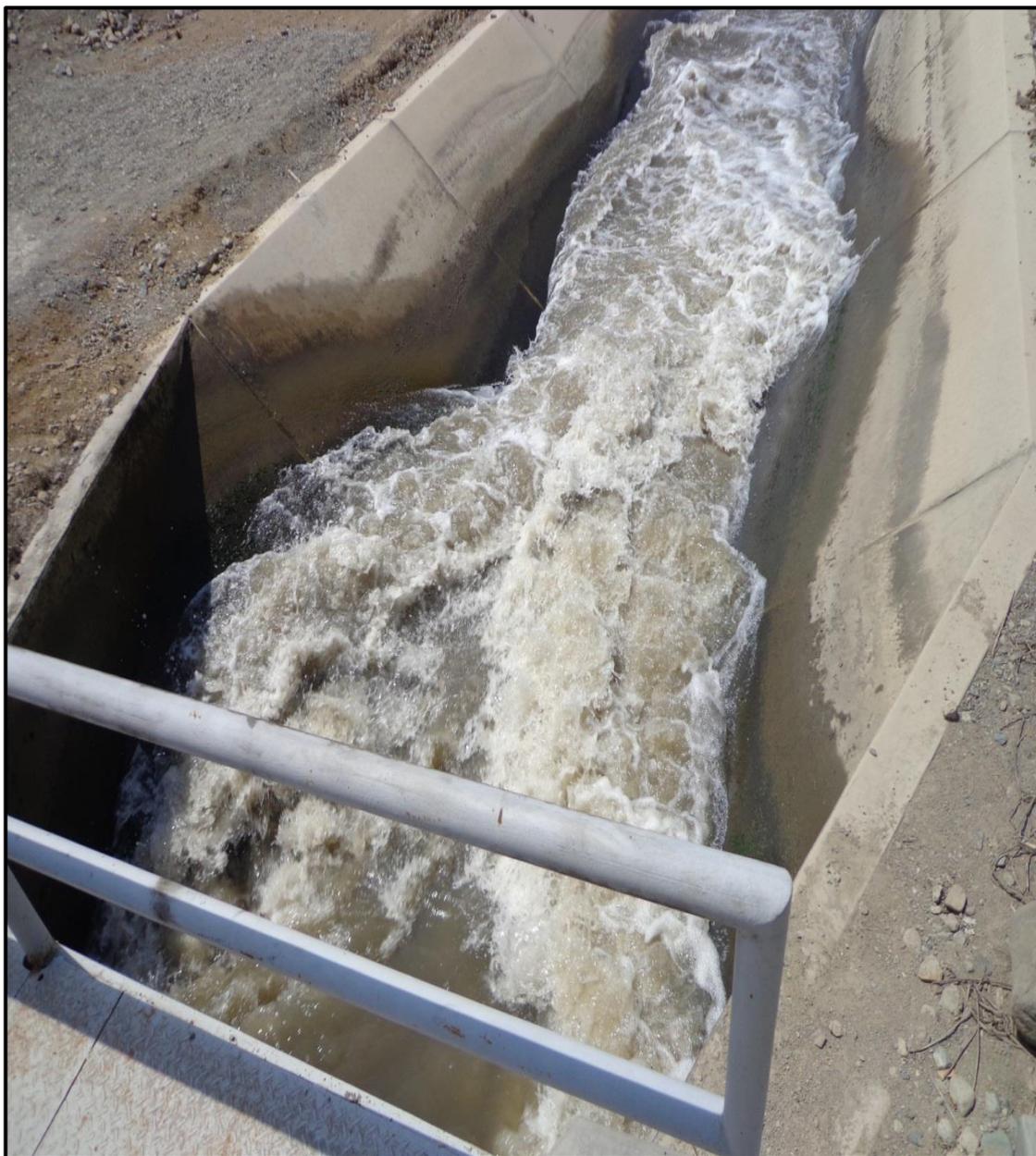


Figura 48: Entrega al canal de un flujo turbulento no controlado.

1.2 Trabajo de gabinete

1.2.1 Verificación del diseño hidráulico del canal y obras de arte, aplicando H canales y criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR)



La verificación de las características hidráulicas del canal se ha realizado mediante la interfaz numérica del Programa H-Canales para un caudal de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente como se muestra en la fig. 49-50.

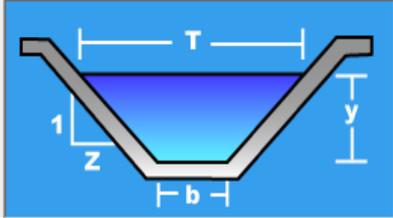
Lugar:	<input type="text" value="VIRU"/>	Proyecto:	<input type="text" value="CANAL CHAQUÍN"/>
Tramo:	<input type="text" value="km 0+000 - 1000+003"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="CONCRETO"/>
Datos:			
Caudal (Q):	<input type="text" value="3.8"/> m ³ /s		
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="1"/> m		
Talud (z):	<input type="text" value="1.25"/>		
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.015"/>		
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.002"/> m/m		
Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.9293"/> m	Perímetro (p):	<input type="text" value="3.9753"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="2.0089"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.5053"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="3.3234"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="1.8916"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.7768"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="1.1117"/> m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>		

Figura 49: Aplicación de Hcanales para un caudal de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Lugar:	<input type="text" value="VIRU"/>	Proyecto:	<input type="text" value="CANAL CHAQUÍN"/>
Tramo:	<input type="text" value="km 0+000 - 1000+003"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="CONCRETO"/>

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="1.8"/>	m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="1"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="1.25"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.015"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.002"/>	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.6409"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="3.0519"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="1.1543"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.3782"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="2.6023"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="1.5593"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.7475"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.7648"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Figura 50: Aplicación de Hcanales para un caudal de 1.8 m³/s.

La verificación de las dimensiones de la arquitectura hidráulica de las caídas verticales se ha realizado aplicando los criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR), con la ayuda de una hoja de cálculo. A continuación se presenta el cálculo para la primera caída vertical ubicada en la progresiva 0+180, cuyas características hidráulicas se muestran en la fig. 51.

- **Diseño hidráulico de la caída vertical de la progresiva 0+180:**

CALCULO DE CAIDAS VERTICALES

Datos

Características Aguas Arriba

Q=	<input type="text" value="3.80"/>	$\rho/\rho_g =$	<input type="text" value="0.04"/>
b=	<input type="text" value="1.00"/>	$\rho_a/\rho_w =$	<input type="text" value="0.0012"/>
h=	<input type="text" value="1.32"/>	Ke =	<input type="text" value="0.50"/>
$\Delta P =$	<input type="text" value="0.30"/>	f =	<input type="text" value="0.02"/>
H=	<input type="text" value="0.92"/>	Kb =	<input type="text" value="1.10"/>
y=	<input type="text" value="0.92"/>	Kex =	<input type="text" value="1.00"/>
Ltubería=	<input type="text" value="2.00"/>		

DISEÑO HIDRAULICO

$$q = 1.48 * H^{3/2}$$

$$= 1.31$$

$$B = \frac{Q}{q}$$

$$= 2.91 \text{ aprox.}$$

3

$$q = \frac{Q}{B}$$

$$= 1.27$$

$$D = \frac{q^2}{g * h^3}$$

$$= 0.07$$

$$Ld = 4.30 * h * D^{0.27}$$

$$= 2.78$$

$$Yp = 1.00 * h * D^{0.22}$$

$$= 0.74$$

$$y_1 = 0.54 * h * D^{0.425}$$

$$= 0.23$$

$$y_2 = 1.66 * h * D^{0.27}$$

$$= 1.07$$

$$Lj = 6.9 * (y_2 - y_1)$$

$$= 5.81$$

$$L = Ld + Lj$$

$$= 8.59$$

$$\Delta P = \frac{1}{6} * y_2$$

$$= 0.20$$

$$q_a = \frac{0.1 * q}{(Yp / y)^{1.5}}$$

$$= 0.19$$

$$Qa = q_a * B$$

$$= 0.57$$

$$Qa = \frac{1}{4} * \pi * D^2 * Va$$

$$\frac{Va^2}{2g} = \frac{0.048}{D^4} \quad Va = \frac{0.968}{D^2}$$

$$\frac{P}{\rho g} = \frac{\rho_a}{\rho_w} * (Ke + f * \frac{L}{D} + Kb + Kex) * \frac{Va^2}{2g}$$

D=

0.078

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$= 0.061$$

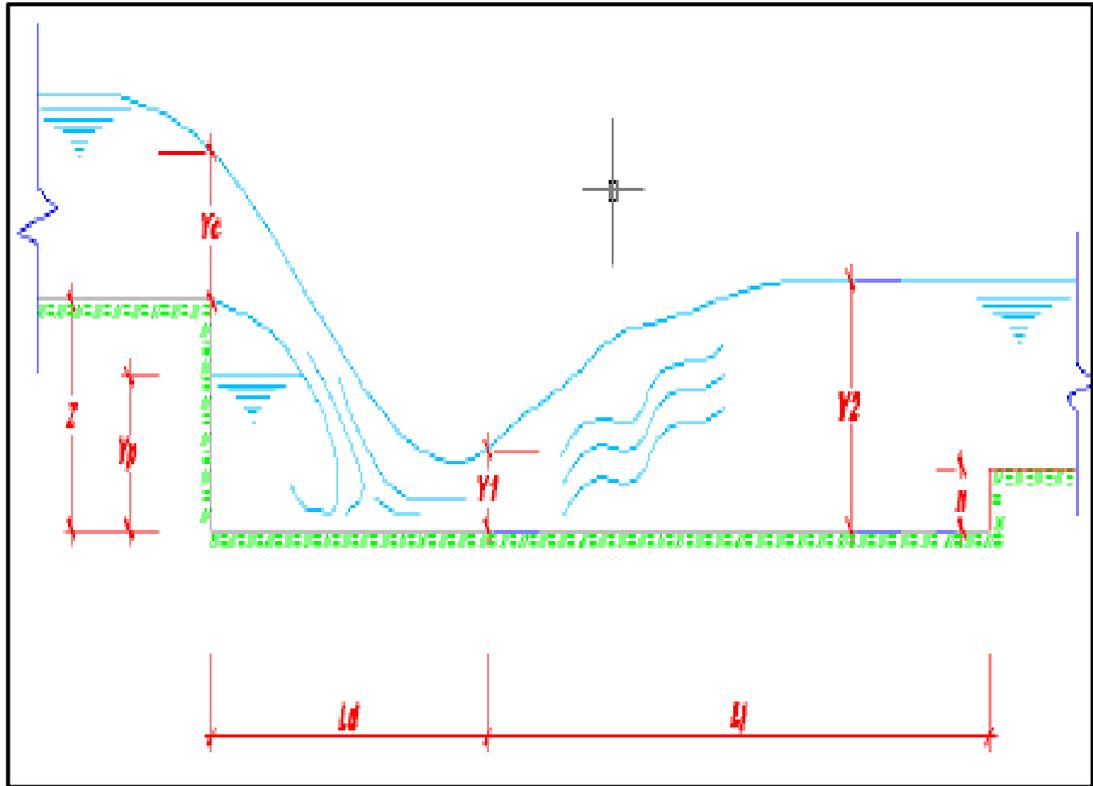


Figura 51: Características de la arquitectura hidráulica de la caída vertical

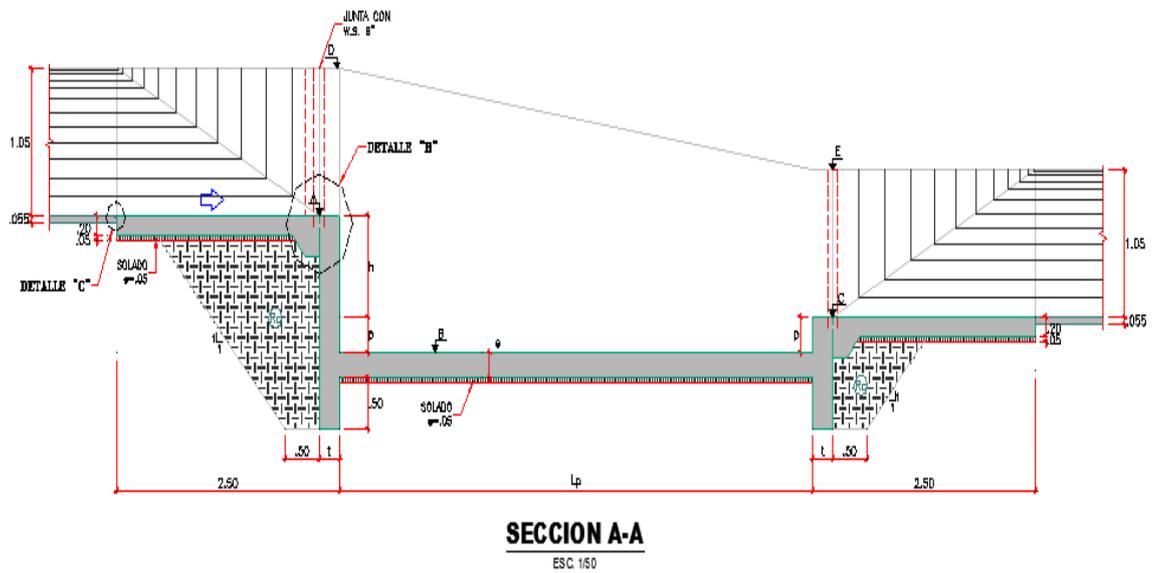


Figura 52: Sección de caída Vertical Típica – Canal “Chaquín” Margen Derecha

1.2.2 Implementación del Modelo Matemático HEC-RAS

Con toda esta información de campo del primer tramo del canal construido se crea un interfaz con el programa River Analysis System Hec-Ras para la incorporación de los diferentes datos para realizar la simulación hidráulica y obtener los parámetros de la arquitectura hidráulica del canal.

- Generación de datos para HEC-RAS

HEC-RAS permite el uso de diferentes herramientas y procesos generalizados para la recreación de la topografía real y exacta mostrada en campo y en Autocad, estando representado por Coordenadas de Este y Norte, cotas de elevación en la sección típica y en obras de arte.

Se crea un nuevo Archivo con su Nombre y su respectivo Reach mediante el trazo con sus Coordenadas UTM reales, incorporación de datos de flujo, etc. como se muestra en la fig. 52-55.

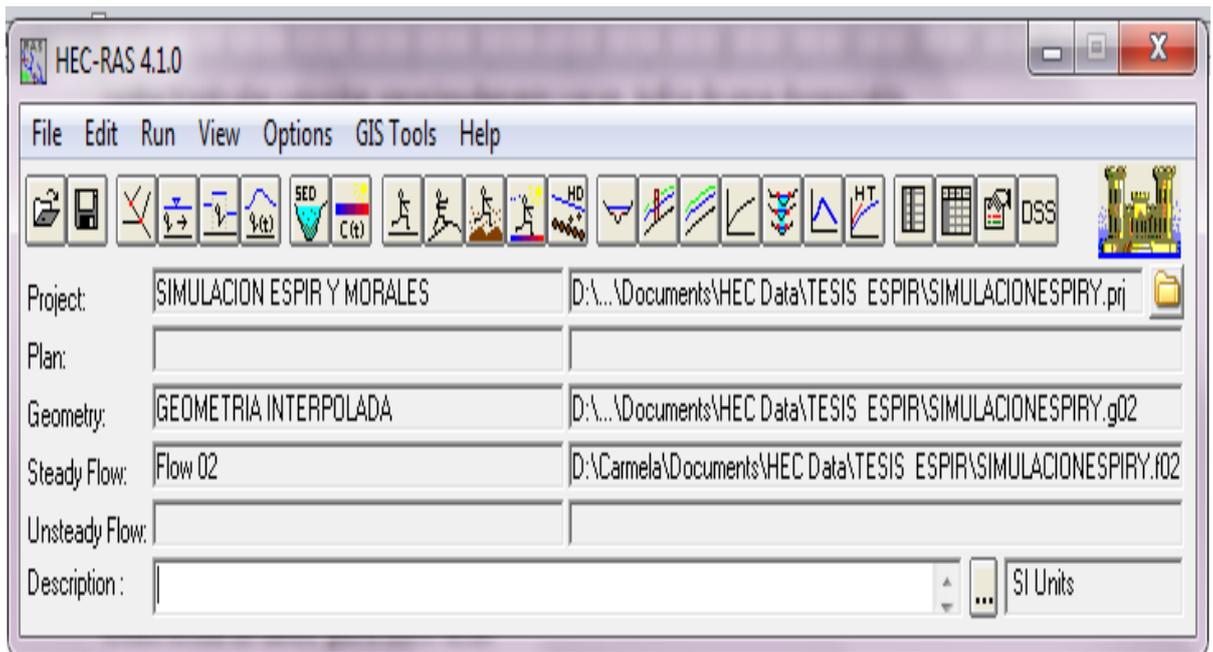


Figura 52: Creación del proyecto en el programa HEC -RAS

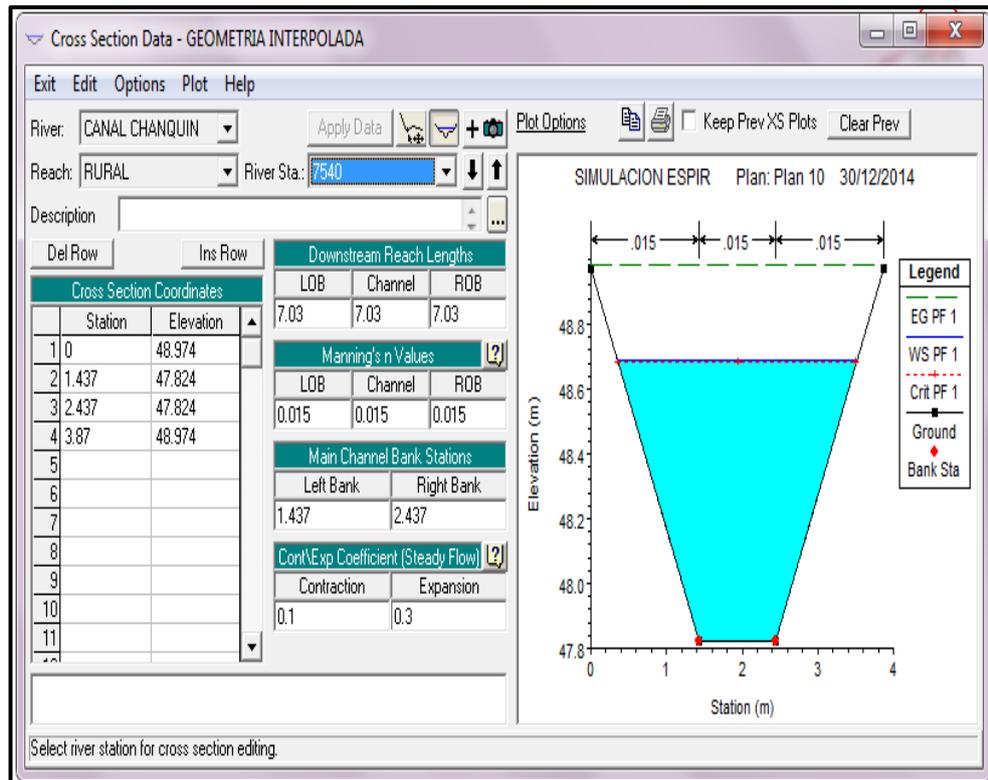


Figura 53: Ingreso de las secciones a detalle del primer tramo del canal.

Primera Sección. Fuente: Simulación Hidráulica Propia.

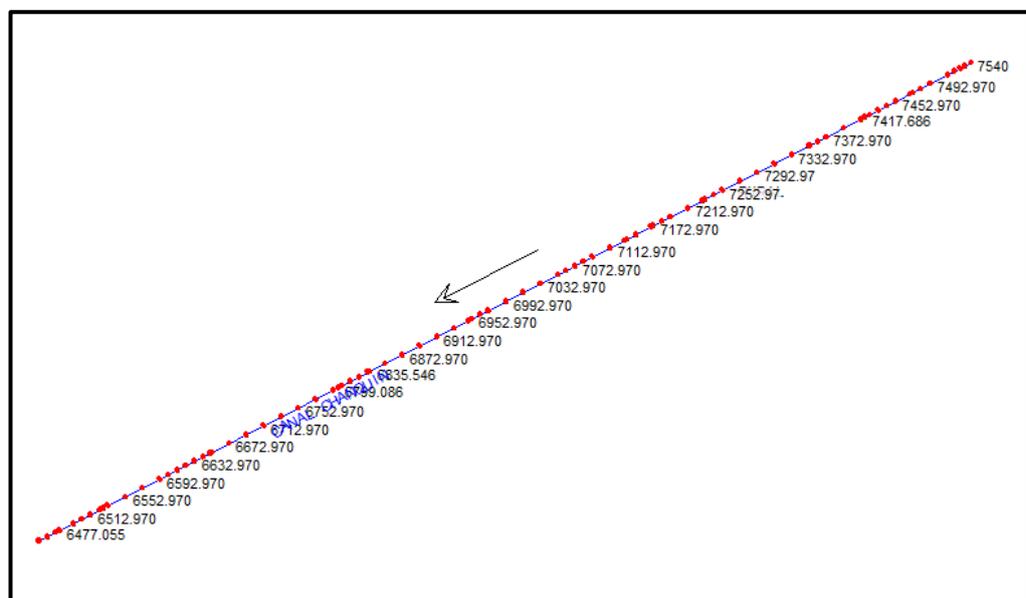


Figura 54: Vista de planta de todas las Secciones sin usar el Trazo del Canal Para Análisis Lineal, graficados en el Interfaz de Geometry Data del HEC-RAS. Fuente: Simulación Hidráulica Propia.

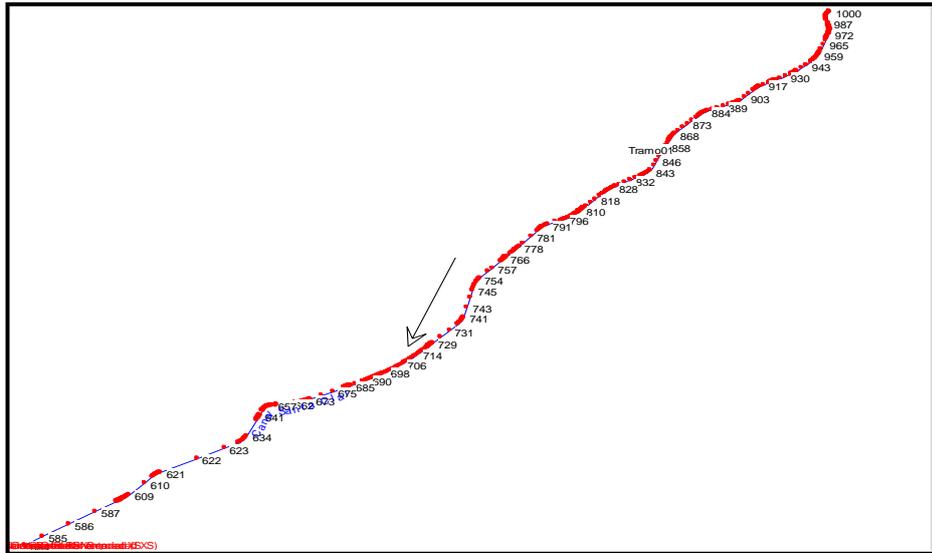


Figura 55: Vista de planta del Trazo del Canal Para Análisis, graficados en el Interfaz de Geometry Data del HEC-RAS. Fuente: Simulación Hidráulica Propia

Ingreso de datos del flujo mediante la herramienta Steady Flow y Edit Number of Profiles: $Q = 3.8 \text{ m}^3/\text{seg.}$, el cuales automáticamente será Profile 01 (PF1) como se muestra en la fig. 56.

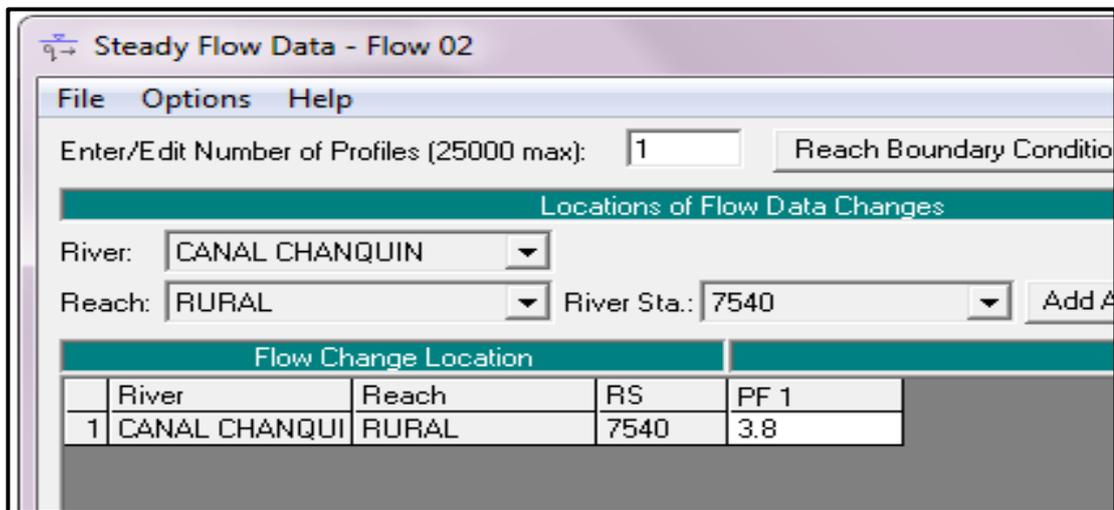


Figura 56: Herramientas del Programa Hec-Ras para Edición del Flujo Permanente. Fuente: Simulación Hidráulica Propia.

En el análisis del flujo permanente del Hec-Ras, el último paso para culminar la aplicación del Programa Hec-Ras, para llegar a la Herramienta del “Steady Flow Analysis” solo tenemos que llegar desde “Run”, como se muestra en la fig. 57. Cabe resaltar que para un análisis más completo del caso realizamos varias plantillas de datos y simulaciones.

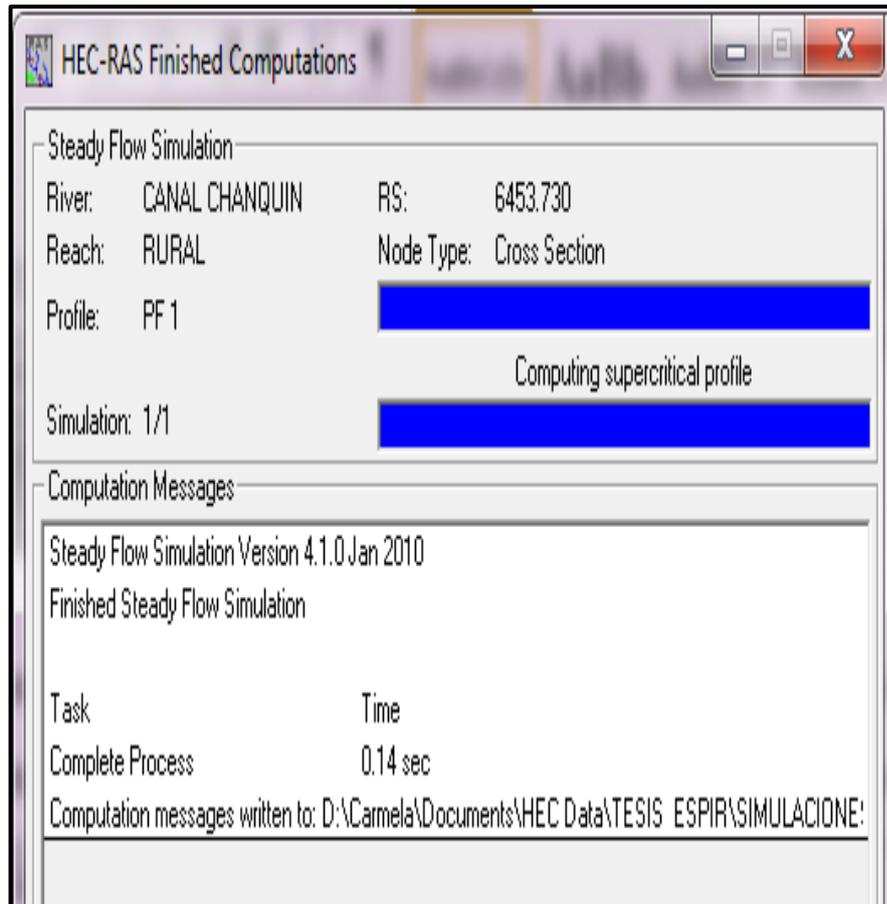


Figura 57: Ventana de Finalización del Análisis de nuestro canal con el Programa Hec-Ras. Fuente: Simulación Hidráulica Propia

- Resultados Gráficos: Perfil Bidimensional

Los Resultados Gráficos del Análisis Bidimensional nos muestran el análisis del canal tal como se muestran en las figuras 58-63; usando las secciones y las elevaciones a detalle, éste análisis nos permite revisar a plenitud la intervención de la pendiente en el canal, además de las obras de arte y sección en sí.

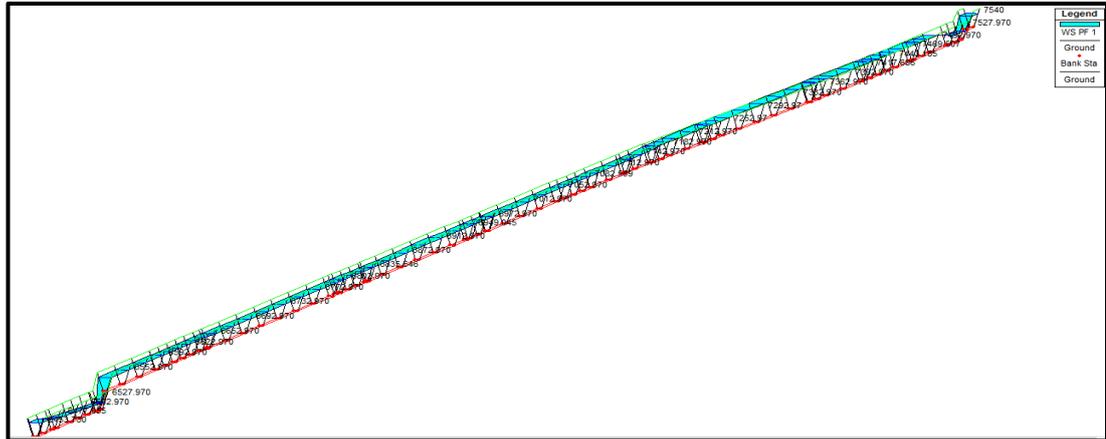


Figura 58: Vista Isométrica del canal sin utilizar el Trazo, Análisis Bidimensional.

Fuente: Simulación Hidráulica Propia.

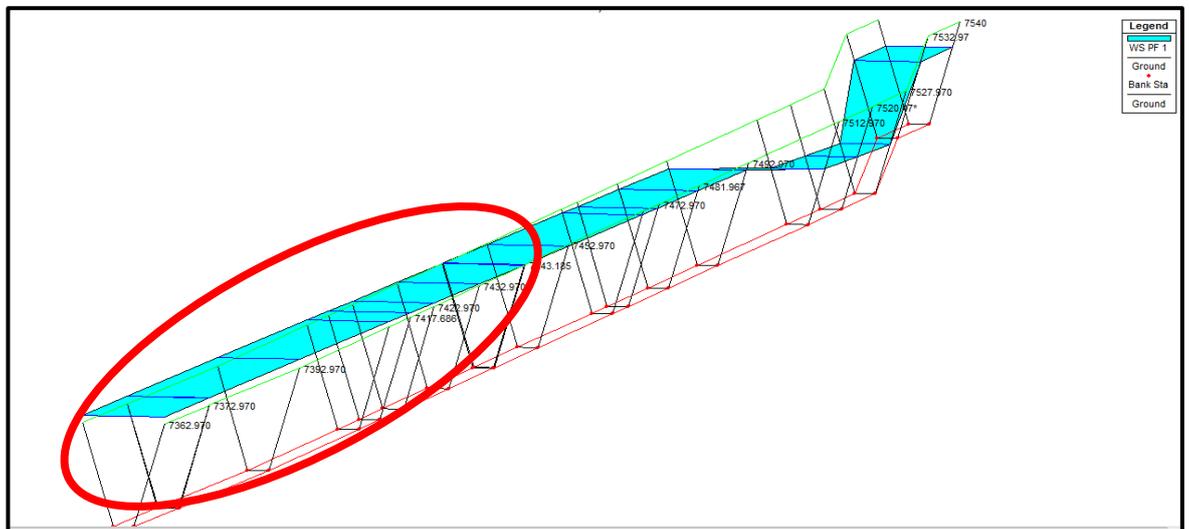


Figura 59: Inicio de la Estructura (Progresiva 00+142 a 00+469 Aproximadamente), en donde se puede apreciar que el espejo de agua sobrepasa (Rebalsa) la sección trapezoidal, generando un desborde del agua con un caudal de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$.

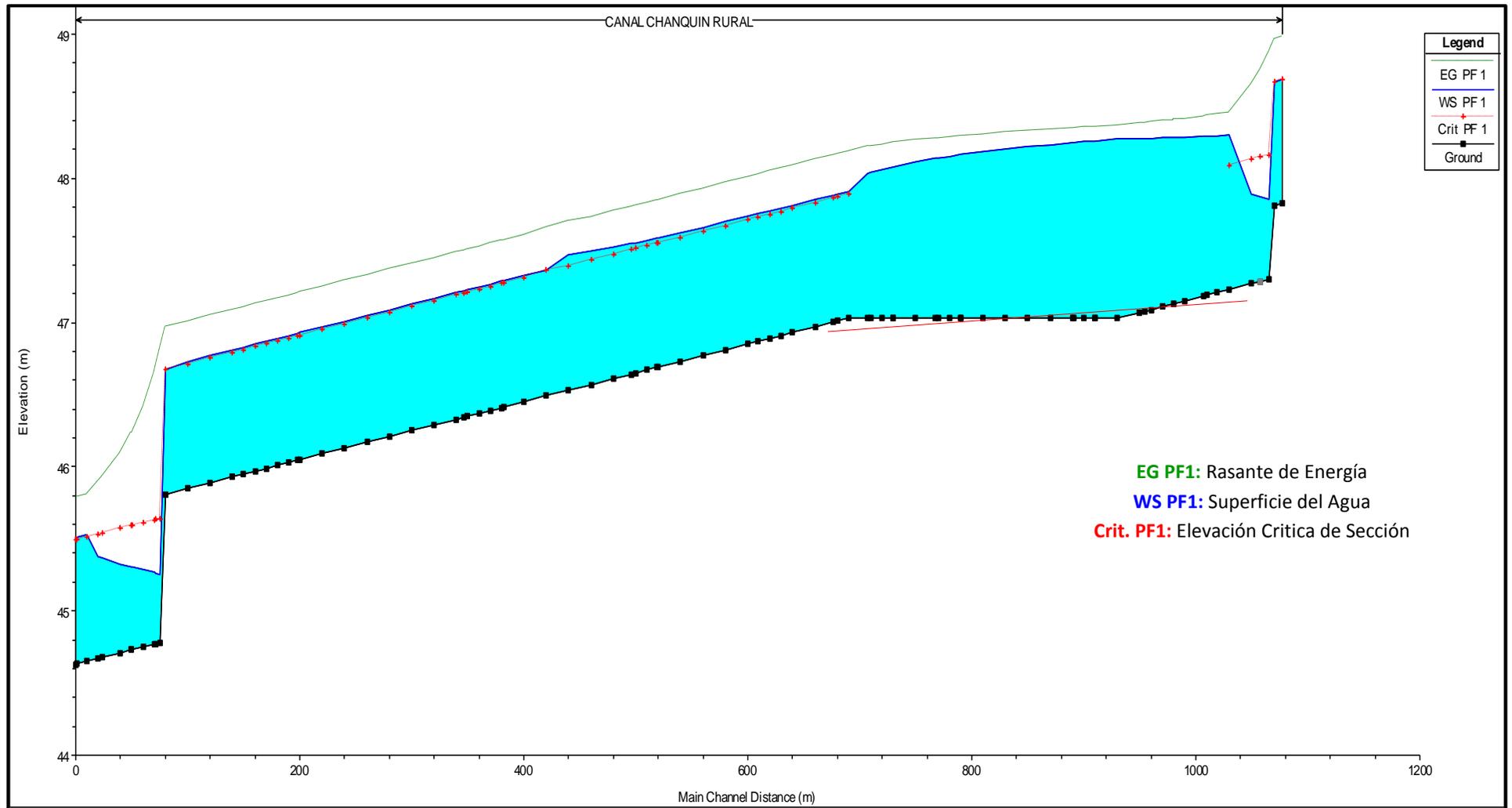


Figura 60: Perfil de la simulación del Canal Chaquín en el Programa HEC- RAS, Fuente: Simulación Hidraulica propia.

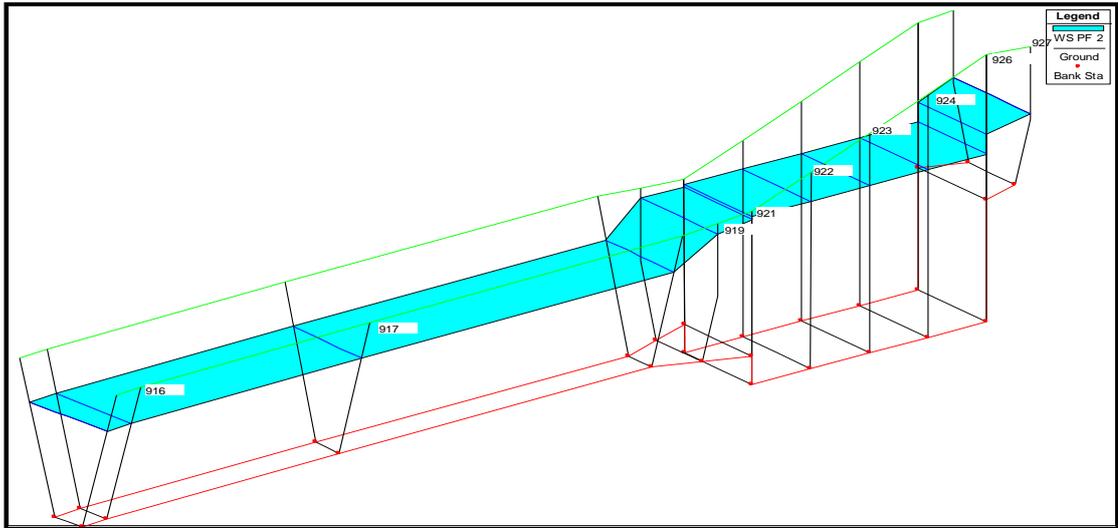


Figura 61: Vista de la primera caída vertical típica.

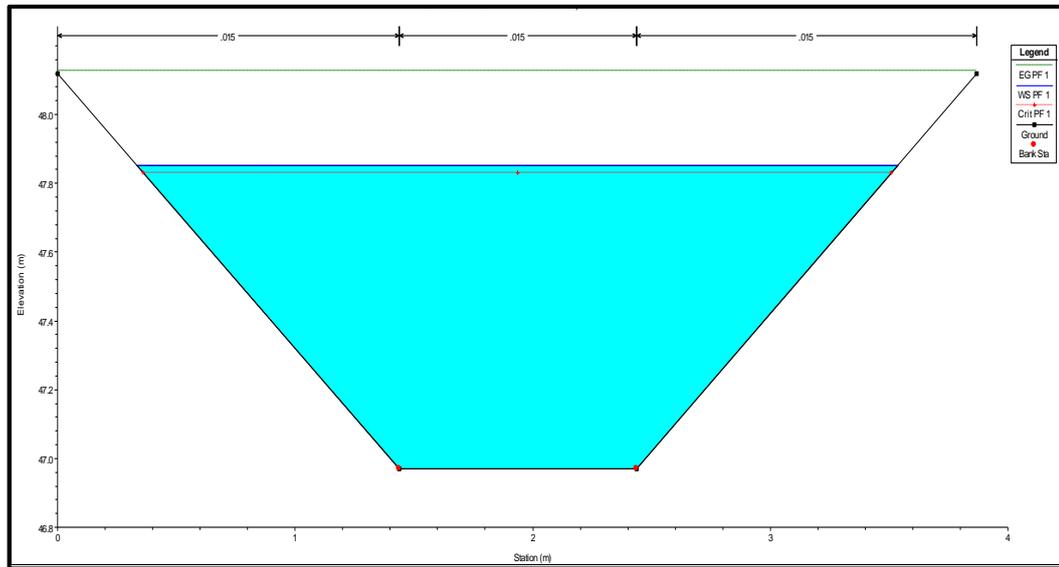


Figura 62: Sección Trapezoidal Típica del Canal.

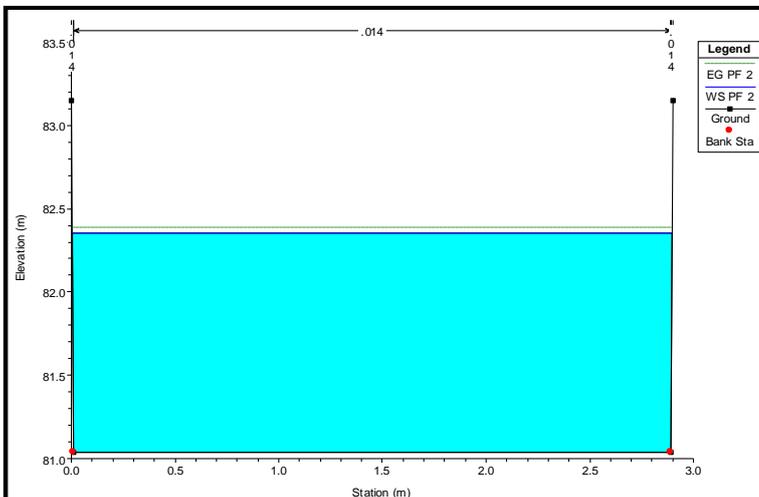


Figura 63: Sección Rectangular Típica de las Caídas Verticales.

- **Resultados Gráficos: Perfil Pseudo Tridimensional**

Los resultados gráficos que se presentan en las figuras 64-70, para el perfil Pseudo Tridimensional de flujo usando el trazo del canal, muestran un funcionamiento similar al análisis bidimensional, el cual corroboraremos con los Resultados.

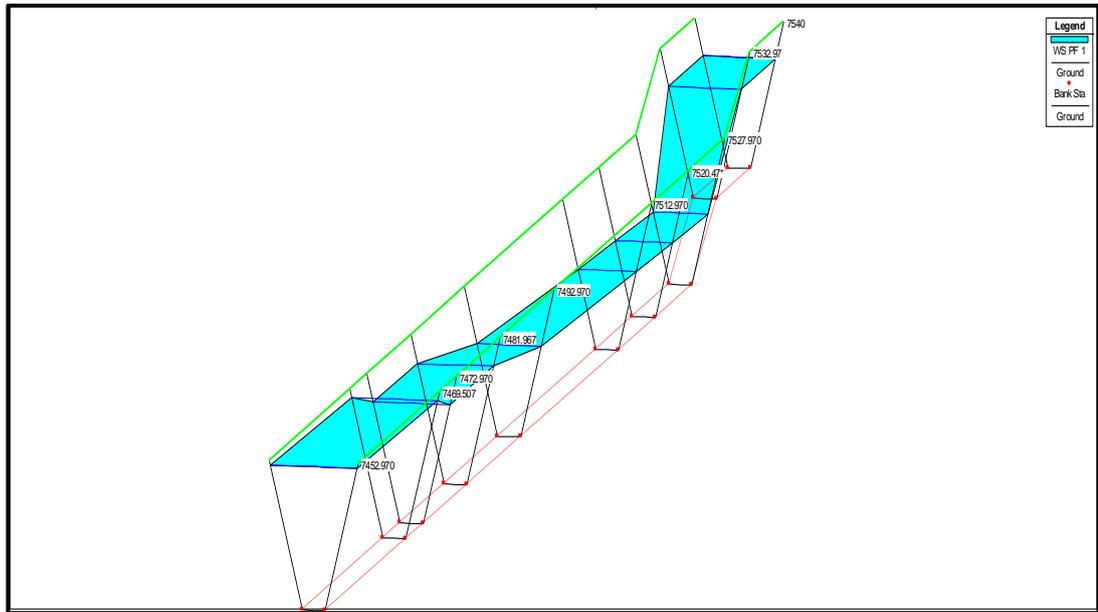


Figura 64: Vista Pseudo Tridimensional de la Estructura de Inicio, de Sección trapezoidal

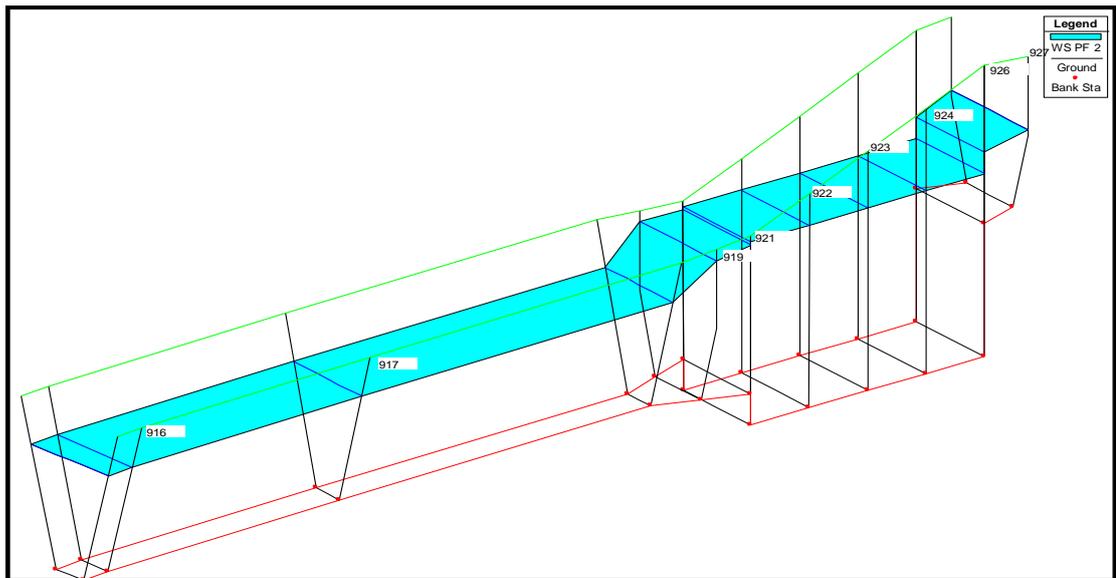


Figura 65: Vista Pseudo Tridimensional de la primera caída vertical.

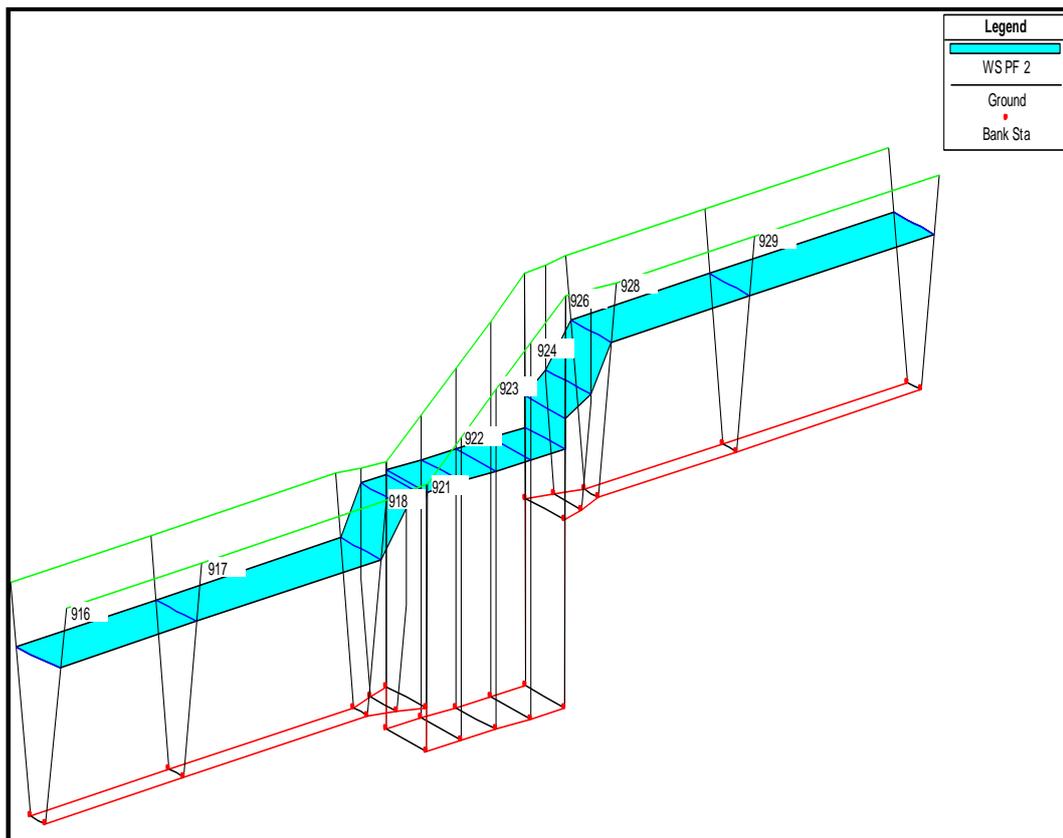


Figura 66: Vista Pseudo Tridimensional en Tramo de Sección Trapezoidal Típica y de la Caída Vertical Nro. 03

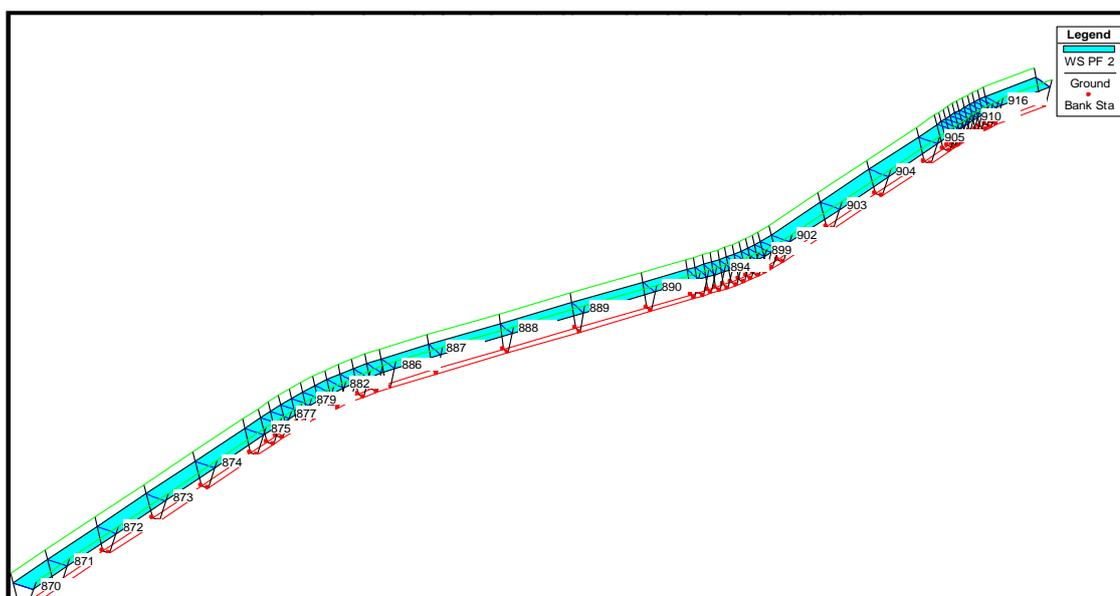


Figura 67. Vista Pseudo Tridimensional en Tramo de Sección Trapezoidal Típica en curvatura doble

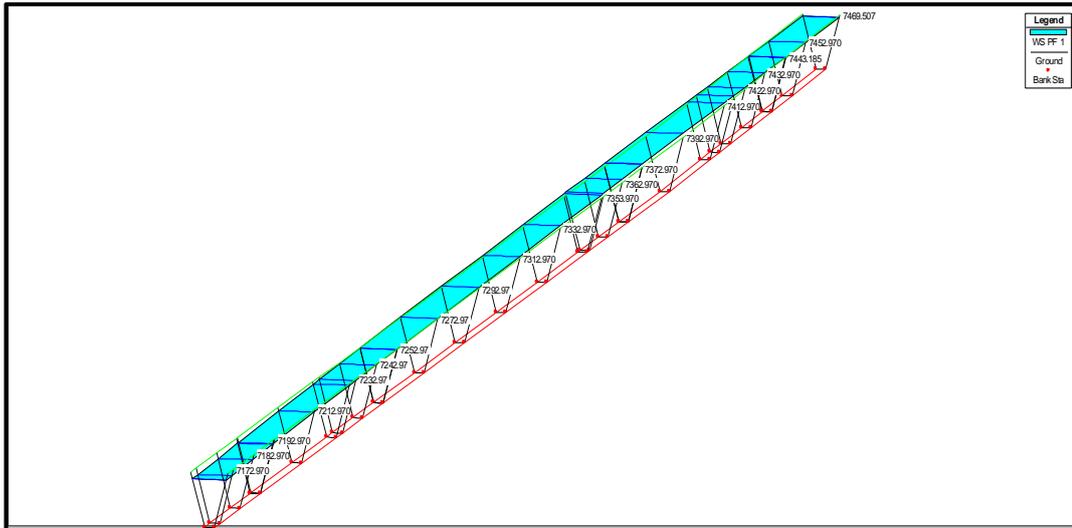


Figura 68: Tramo donde muestra el desborde, aprox. entre las progresivas 00+142 a 00+469.

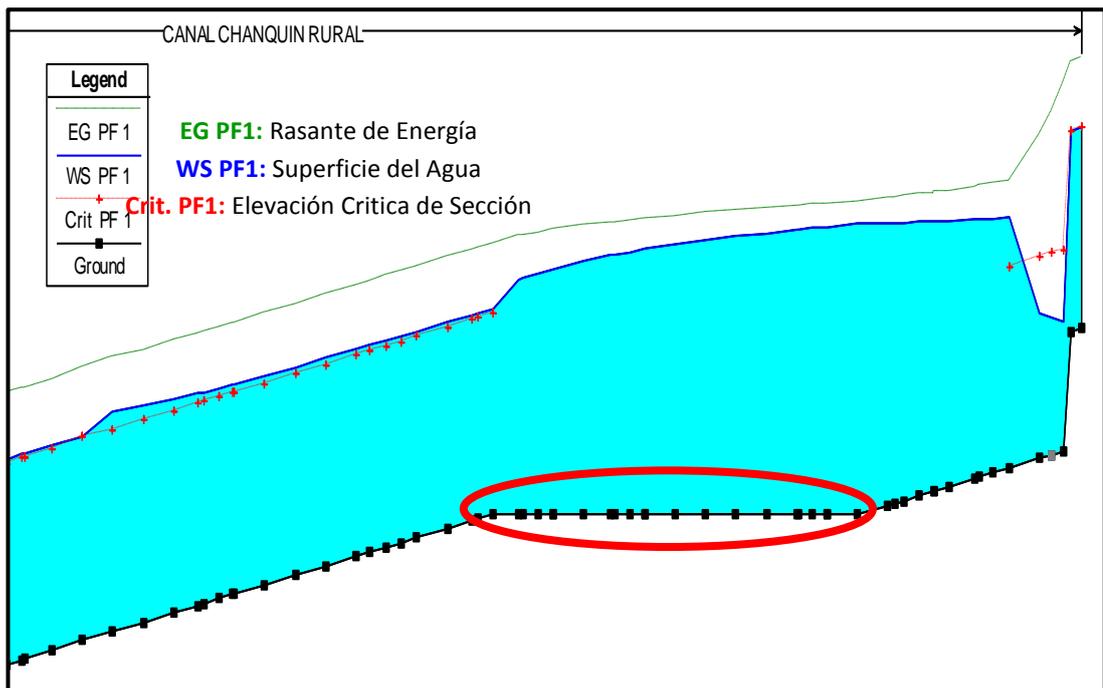


Figura 69: Parte del Perfil que Muestra desbordes. Además que nos deja ver que en donde se produce el mayor desborde No tiene pendiente (Pendiente es cero "0"). Fuente. Simulación Hidráulica Propia.

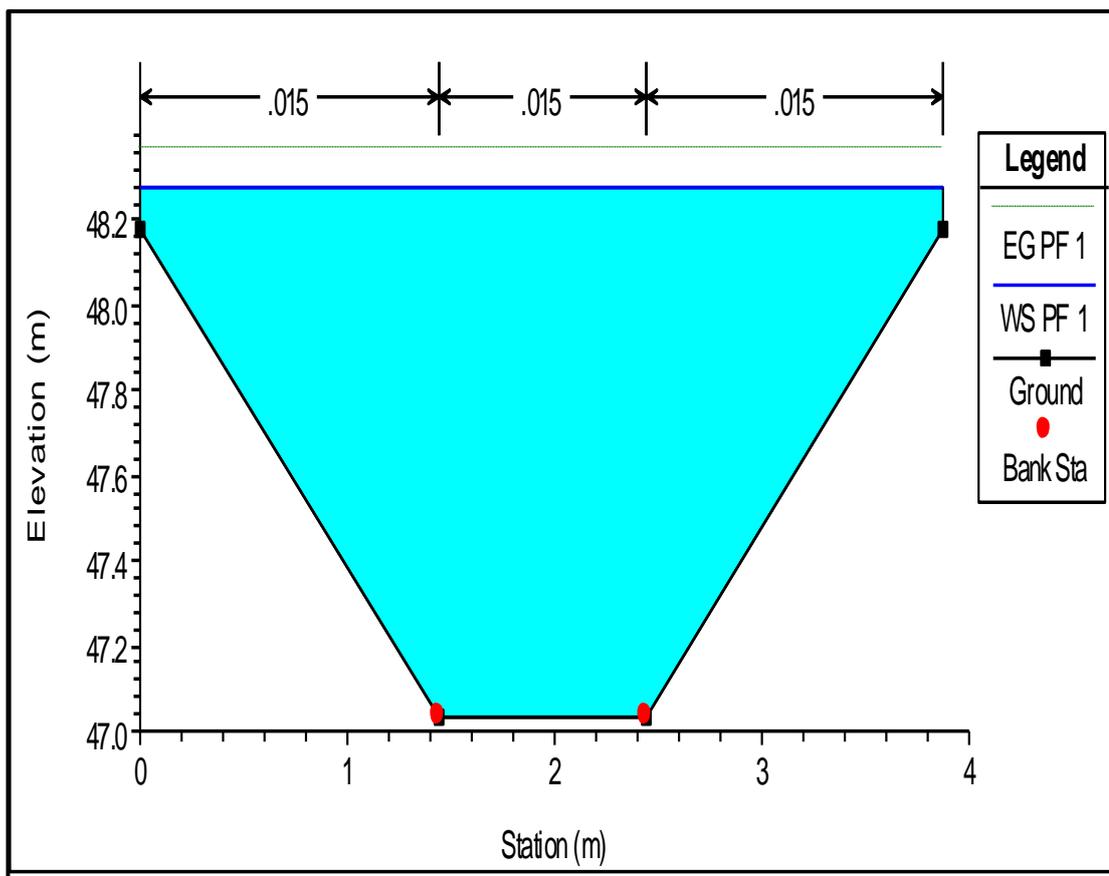


Figura 70: Sección Transversal en donde se muestra que hay desborde ya que el WS (superficie del agua) sobrepasa el Ground (suelo).

Fuente. Simulación Hidráulica Propia.

- **Resultados numéricos de la Simulación Hidráulica**

Se presenta un Cuadro mostrando las coordenadas y resultados del Analisis de la Simulacion Hidraulica:

**TABLA N° 1: COORDENADAS DE LAS SECCIONES DEL CANAL
CHAQUIN – PRIMER TRAMO**

**TABLA N° 2: CANAL CHAQUIN VALLE VIRU – ANALISIS
TRIDIMENSIONAL HEC-RAS 4.1.0**

**TABLA N° 3: CANAL CHAQUIN VALLE VIRU – ANALISIS
BIDIMENSIONAL HEC-RAS 4.1.0**

II. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

El primer tramo del Canal “Chaquín” tiene una longitud de 1087.30 m, diseñado para una conducción de $3.80 \text{ m}^3/\text{s}$ y beneficiara un área de riego correspondiente a 4,866.86 ha. Tiene su inicio desde una toma lateral del Canal Madre del proyecto CHAVIMOCHIC, cuya arquitectura hidráulica está conformada por las siguientes estructuras:

- Una estructura de inicio cuyo tramo incluye una transición de salida de 2.50m, seguida de la sección típica trapezoidal, sin contar con algún otro tipo de transición.
- El canal tiene una sección trapezoidal típica (1.00 m de base, 1.15 m de altura y talud 1:1.25).
- Por su trazo el canal en su primer tramo no presenta curvas marcadas, un solo tramo presenta una contra curva o curvatura doble, pero en la visita al canal y en el análisis podemos ver que no es de influencia significativa para el tránsito del flujo.
- Para salvar los desniveles topográficos se ha construido 3 caídas verticales de sección rectangular típica con profundidades de 0.50 m hasta 1.00 m, con la finalidad de disipar la energía a través de un resalto hidráulico, complementándose con las transiciones de entrada y salida de 2.50 m.
- Para el riego de las parcelas se ha construido 4 tomas laterales de sección rectangular.
- Se ha construido 6 Entregas de Desagüe Superficial (EDS) que servirán para evacuar los excesos superficiales originados por mal manejo del agua de riego, formado por una transición de entrada y conducto de entrega.

El problema del flujo turbulento no controlado que se observa está directamente ligada a la Arquitectura Hidráulica del canal, especialmente a la ausencia de transiciones adecuadas al inicio de la estructura, por otro lado el diseño de las caídas Verticales, cuyas variables más importantes son la profundidad, ancho y longitud de la poza disipadora construidas para mitigar el resalto hidráulico, observándose que no cumple esta función cuando al entregar el caudal al canal

mediante sus transiciones presenta un flujo turbulento desordenado con salpicaduras casi al borde de las paredes laterales del canal para un caudal menor al diseñado. Se puede notar según nuestro análisis, que en nuestro caso el trazo y pendiente influyen pero no de manera significativa a la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos, ya que el origen de estos se ve ligado a la estructura en sí, con la ausencia de una transición inicial, y un diseño adecuado de las caídas verticales las cuales en la actualidad contribuyen a mantener la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos (resaltos hidráulicos y remansos), produciendo un flujo turbulento permanentemente desordenado con la conducción de un caudal menor al del diseño.

Cabe resaltar que desde la estructura de inicio se observó la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos con puntos críticos de elevación del nivel del agua a pesar que el caudal de conducción actual es menor a $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$, según los cálculos realizados. En el caso de someter el canal “Chaquin” al caudal de diseño inicial de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ es muy evidente que la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos se incrementarían causando en caso extremo pequeñas inundaciones a las parcelas y viviendas colindantes.

La decisión por parte de Junta de Usuarios del Valle de Virú, de reducir y mantener un caudal menor al diseñado, ha ocasionado problemas adicionales como se describe a continuación:

- Debido al poco caudal, manteniendo la misma sección inicial, se tiene una altura de agua (tirante) menor al calculado (0.93 m), ocasionando un problema a los pobladores al no poder derivar el caudal suficiente para el riego de sus parcelas, obligado a los agricultores a colocar una estructura metálica de sección trapezoidal a 0.50 m de la toma lateral, la cual hace las veces de un barraje para elevar el nivel del agua y poder derivar el caudal necesario, como la que se muestra en la fig. 64, ubicado después de la Toma-1 del Km 0+564.30.



Figura 64: Se muestra la toma lateral y la estructura metálica ubicada para elevar el nivel del agua. Progresiva 0+564.30

- También con esta solución práctica, aguas abajo de esta estructura metálica se observa que la formación de los fenómenos hidráulicos se han incrementado y que obliga a un más a no aumentar el caudal de conducción por el temor de un desbordamiento e inundación de las parcelas. La formación de este fenómeno hidráulico es muy diferente, observándose una succión interna para luego ser expulsada, como hacen los pulpos para impulsarse, la cual se muestra en la fig. 65-66.



Figura 65-66: Incremento de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos aguas bajo de la estructura metálica.

Para verificar el diseño de la arquitectura hidráulica del canal se utilizó la interfaz numérica del Programa H-Canales para un caudal de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ resultando valores similares al de diseño original: tirante de 0.93 m con un borde libre de 0.22 m haciendo una altura de canal de 1.15 m para un caudal de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Además se analizó para el caudal de $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ resultando un tirante hidráulico de 0.60 m con un borde libre de 0.55 m cuyos valores indican que el caudal observado in situ es menor al proporcionado por los miembros de la Junta de Usuarios en su estación de aforo (tirante hidráulico de 0.60 m).

La aplicación de los criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR) para determinar la arquitectura hidráulica de las caídas verticales, presentan valores similares a los del diseño original, como se muestra para la primera caída vertical: longitud de transición de entrada y salida 2.50 m, ancho de poza 2.90m y longitud de poza 7.50m. Estas dimensiones de la poza disipadora muestra el control del resalto hidráulico mediante la verificación de los niveles de energía (NE) en la poza disipadora (NEC=85.79) es menor en la transición de salida (NEE= 86.17).

Con estos resultados numéricos se está demostrado el control del salto hidráulico en la poza disipadora el cual en la realidad se ha observado que no es así, esto hace suponer que el diseño individual de una obra hidráulica debe de ser analizada en conjunto de las obras del proyecto considerando el trazo, longitudes de canal y el caudal de diseño, además se sabe que los criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR) se basa en formulas empíricas para un análisis unidimensional y bidimensional de los parámetros hidráulicos, que no se ha tenido en cuenta para este proyecto a pesar de la experiencia profesional de sus proyectistas.

La deducción anterior se refleja también al aplicar el modelo matemático Hec-Ras, donde sus resultados hidráulicos para el perfil Pseudo Tridimensional presentan una variación mínima en sus parámetros hidráulicos con el diseño individual de la sección transversal y de las caídas verticales; observándose que para un caudal de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ presenta un control adecuado de los fenómenos hidráulicos especialmente del resalto hidráulico de las caídas verticales.

- ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN HIDRÁULICA

Por la importancia que tiene el Canal Chaquin para Sistema de Riego del Valle Virú, que pretende beneficiar un área de riego correspondiente a 4,866.86 ha. la cual representa 52.65% del área beneficiada. Es necesario mejorar la arquitectura hidráulica del canal construido para mitigar el efecto de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos, para esto se propone las siguientes soluciones hidráulicas que necesariamente deben ser desarrolladas y evaluadas técnica y económicamente para su ejecución:

- **Alternativa N°01:** Se propone un cambio de sección en la estructura entre las progresivas 00+142 a 00+469 km, con la finalidad de disminuir la turbulencia de flujo, debido a que entre estas progresivas se genera un rebalse supercrítico con el caudal de diseño, de esta manera se asegura la conducción de los $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$, y con esto controlar el efecto del desbordamiento lateral al aumentarse la formación de los fenómenos hidráulicos que se vas a presentar en el resto de la estructura.
- **Alternativa N°02 :** Se propone la construcción de una poza disipadora en la transición de entrada al canal y la colocación de obstáculos en las posas disipadoras para mitigar el efecto de resalto hidráulico no controlado actualmente, eliminándose también las estructuras metálicas colocadas hasta el momento.
- **Alternativa N°03:** Esta propuesta considera las dos alternativas anteriores, el cambio de sección en un tramo del canal, la construcción de la poza disipadora en la estructura de entrada y colocación de obstáculos en las pozas disipadoras de las caídas inclinadas.

III. CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se ha llegado en este trabajo de investigación respecto a la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos en el canal “Chaquin” debido a su Arquitectura Hidráulica, son los siguientes:

- El canal “Cahquin” en su primer tramo tiene una sección trapezoidal típica con una longitud de 1,087.03 m, diseñado para una conducción de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$, que beneficiara un área de riego de 4,866.86 ha., el cual se inicia de una toma lateral del Canal Madre del proyecto CHAVIMOCHIC, con una arquitectura hidráulica conformada por una estructura de inicio que consiste en una transición de 2.50m , 3 caídas verticales, 4 tomas laterales y 6 entregas de desagüe superficial.
- El problema que presenta este primer tramo es la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos, observándose un flujo turbulento permanentemente desordenado con salpicaduras al borde de las paredes laterales del canal, y desbordes ,obligando a reducir su caudal de conducción.
- Este problema se entorna crítico porque al reducir el caudal de diseño, baja el tirante hidráulico y no se puede derivar el caudal suficiente para el riego de las parcelas, obligado a los agricultores a colocar una estructura metálica de sección trapezoidal a 0.50 m aproximadamente de la toma lateral, la cual hace las veces de un barrage para elevar el nivel del agua como la colocada en la Toma-1 de la progresiva 0+564.30. Con esta solución práctica se presenta dos problemas adicionales que son la alteración de los parámetros de la estación de aforo y la amplificación de los fenómenos hidráulicos aguas abajo, observándose en el canal unas ondas oleaje de mayor longitud. El problema en el canal “Chaquin” también se debe a la ausencia de una posa disipadora en la estructura de inicio para el control del flujo turbulento, lo que genera la formación de oleajes y fenómenos Hidráulicos desde el inicio del canal.

- Se ha evaluado in situ que el flujo turbulento permanente no controlado que se presenta en el canal para un caudal menor al diseñado, está directamente ligada a la arquitectura hidráulica que conforman el canal especialmente por las caídas verticales, cuyas variables más importantes son la profundidad, ancho y longitud de la poza disipadora construidas para mitigar el resalto hidráulico, observándose que no cumple esta función cuando al entregar el caudal al canal mediante sus transiciones se mantiene el mismo tipo de flujo con salpicaduras casi al borde de las paredes laterales del canal. Además que entre las progresivas 00+142 a 00+469 km presenta un rebalse crítico con el caudal de diseño, debido a que en este tramo no existe pendiente en la estructura generando que el fluido desborde la misma .
- Se ha verificado el diseño de la arquitectura hidráulica del canal y de las caídas verticales mediante la aplicación de la interfaz numérica del Programa H-Canales y con los criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR) respectivamente, para un caudal de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$, resultando valores similares al de diseño original. Según los resultados numéricos las dimensiones de la poza disipadora muestran el control del resalto hidráulico mediante la verificación de los niveles de energía, pero en el canal en estudio se ha observado que no es así, esto hace deducir que el diseño individual de una obra hidráulica debe ser analizada en conjunto de las obras del proyecto considerando el trazo, pendiente, longitudes de tramos de canal y el caudal de diseño, donde la experiencia profesional del proyectista es muy importante para la decisión final de cualquier proyecto hidráulico. Además se sabe que los criterios de diseño U.S. Bureau of Reclamation (USBR) se basan en formulas empíricas para un análisis unidimensional y bidimensional de los parámetros hidráulicos.
- Se aplicó el Modelo Matemático Para Hec-Ras como herramienta para realizar una simulación hidráulica que integre el conjunto de obras del tramo de canal en estudio y determinar los parámetros de la Arquitectura Hidráulica en Régimen Permanente para un caudal de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$, obteniendo resultados

hidráulicos con una variación mínima al diseño original para el perfil Pseudo Tridimensional, porque este modelo también realiza un análisis unidimensional y bidimensional.

Para dar solución a la problemática y recuperar al canal para conducir los $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ de caudal considerado inicialmente, se propone tres alternativas de solución hidráulica para mitigar el efecto de la formación de oleajes y fenómenos hidráulicos, estas soluciones prácticas básicamente se refieren a la construcción de una poza disipadora en la estructura de inicio, el cambio de sección del canal entre las progresivas 00+142 a 00+469 km en donde se presenta desborde supercrítico debido a su pendiente existente y la colocación de obstáculos en las pozas disipadoras de las caídas verticales; las cuales necesariamente deben ser desarrolladas y evaluadas técnica y económicamente para su ejecución.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) AGUIRRE PE, JULIÁN. (1974). Hidráulica de Canales, Centro Interamericano de Desarrollo de Aguas y Tierras – CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- (2) CHOW VEN TE. (1994). Hidráulica de Canales Abiertos. Santafé de Bogotá; McGraw Hill, 667p
- (3) PROYECTO ESPECIAL CHAVIMOCHIC-VIRU. (2009). Expediente Técnico del Proyecto Construcción de Canales Integradores Valle Virú.
- (4) GARCÍA ELMER. (1987). Manual de Diseño Hidráulico de Canales y Obras de Arte Primera Edición. Chiclayo 1987.
- (5) HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER HEC – RAS. (2008). Sistema de Análisis de Ríos, Hydraulic Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers; Davis. CA. USA.
- (6) ROCHA ARTURO. (2005) “Hidráulica de Tuberías y Canales”. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.
- (7) TRUEBA, SAMUEL. (1995). Hidráulica. CECSA. Decimonovena Edición. México.
- (8) VILLÓN BEJAR M. (1995). Hidráulica de Canales. Departamento de Ingeniería Agrícola-Instituto Tecnológico de Costa Rica, Editorial Hozlo, Lima.

V.- ANEXOS