



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de
Fluidos

**Diseño de enrocados de protección de la relavera La
Esperanza – Río Tulumayo**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

Modalidad M3 Suficiencia Profesional

AUTOR

Giovanny Noel MALDONADO REYMUNDO

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Maldonado, G. (2016). *Diseño de enrocados de protección de la relavera La Esperanza – Río Tulumayo*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

934



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA DE FLUIDOS

S/R
102
PP1

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS POR LA MODALIDAD M3, SUFICIENCIA PROFESIONAL

Siendo las 18:30 horas del día lunes 18 de julio de 2016 en el Aula 205 de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del MSc. Ing. SAÚL HORQQUE FERRO y con la asistencia del Ing. ALEJANDRO FLORES TALAVERA y del Ing. WILLIAM CHAUCA NOLASCO, miembros del Jurado Examinador de Monografía Técnica, de conformidad con la Resolución Rectoral N° 01934-R-02 que aprueba las diferentes modalidades de titulación profesional, se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía Técnica en la que el Bachiller GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUNDO puso a consideración del Jurado Examinador su trabajo de Monografía Técnica como parte de los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos por la Modalidad M3, Suficiencia Profesional.

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente e invitó al Bachiller GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUNDO, a realizar la exposición de su trabajo titulado "DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN DE LA RELAVERA LA ESPERANZA - RIO TULUMAYO" durante un tiempo de 30 minutos.

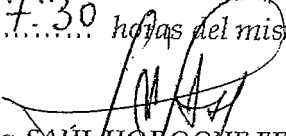
Concluida la exposición del candidato, y luego de las preguntas de rigor de parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación correspondiente. Se procedió a promediar la nota final obtenida en los cursos del Ciclo de Actualización Profesional (CAP), y el resultado se promedió a su vez con la nota de sustentación de la monografía para hallar el promedio final.

Al término de la deliberación del jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida, la misma que fue:


.....Quince..... 15.....

El Presidente del Jurado Examinador, MSc. Ing. SAÚL HORQQUE FERRO, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUNDO Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 7:30 horas del mismo día, se levantó la sesión.


MSc. Ing. SAÚL HORQQUE FERRO
Presidente de Jurado Examinador


Ing. ALEJANDRO FLORES TALAVERA
Miembro de Jurado Examinador


Ing. WILLIAM CHAUCA NOLASCO
Miembro de Jurado Examinador

ÍNDICE

1.0	CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN	1
2.0	CAPÍTULO II - GENERALIDADES	2
2.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.2	OBJETIVOS.....	3
2.2.1	Objetivo General.....	3
2.2.2	Objetivos Específicos.....	3
3.0	CAPÍTULO III - MARCO TEÓRICO	4
3.1	DEFENSA RIBEREÑA.....	4
3.1.1	Espigones.....	4
3.1.2	Recubrimientos o Muros Marginales.....	4
3.1.3	Diques Marginales.....	5
3.2	ENROCADOS DE PROTECCIÓN.....	6
3.2.1	Determinación de Parámetros Hidráulicos.....	7
3.2.2	Nivel de Cimentación del Enrocado.....	9
3.2.2.1	Análisis de Socavación.....	10
3.2.2.2	Profundidad de la Uña (P).....	11
3.2.3	Altura del Enrocado (H).....	11
3.2.4	Diámetro Medio de la Roca (D_{50}).....	12
3.2.5	Espesor Mínimo del Enrocado (T).....	13
3.2.6	Ancho de la Base (A).....	13
3.2.7	Estabilidad del Enrocado.....	13
3.2.7.1	Esfuerzo Cortante Promedio.....	13
3.2.7.2	Esfuerzo Cortante Local en un Canal muy Ancho.....	14
3.2.7.3	Esfuerzo Cortante en Curvas.....	14
3.2.7.4	Esfuerzo Cortante para Diseño de Enrocado.....	15
3.2.7.5	Factor de Seguridad al Deslizamiento.....	16
4.0	CAPÍTULO IV - DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN	19
4.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
4.2	ESTUDIOS BÁSICOS.....	22
4.2.1	Hidrología.....	22
4.2.1.1	Ubicación Hidrográfica.....	22
4.2.1.2	Caudales Medios.....	22
4.2.1.3	Caudales Máximos.....	22
4.2.2	Topografía.....	23
4.2.2.1	Sistema de Coordenadas.....	23
4.2.2.2	Puntos de Control Topográfico.....	23
4.2.3	Estudio de Canteras.....	23

4.3	DISEÑO DE LOS ENROCADOS DE PROTECCIÓN	24
4.3.1	Diseño de la sección geométrica.....	24
4.3.1.1	Modelamiento con Hec-Ras 4.1 Río Tulumayo (Forma Inicial)	24
4.3.1.2	Modelamiento con Hec-Ras 4.1 Río Tulumayo (Con Muro)	29
4.3.1.3	Trazo en Planta del Eje del Enrocado.....	31
4.3.1.4	Cálculo del Nivel de Cimentación del Enrocado	33
4.3.1.4.1	Cálculo de la Profundidad Socavación.....	33
4.3.1.4.2	Cálculo de Profundidad de la Uña (P).....	34
4.3.1.5	Cálculo de la Altura del Enrocado (H)	36
4.3.1.6	Cálculo del Diámetro Medio de la Roca (D_{50})	37
4.3.1.7	Cálculo del Espesor Mínimo del Enrocado (T).....	40
4.3.1.8	Cálculo del Ancho de la Base (A).....	40
4.3.2	Estabilidad del Enrocado.....	41
4.3.2.1	Cálculo del Esfuerzo Cortante Local	42
4.3.2.2	Cálculo del Esfuerzo Cortante Local en Curvas.....	42
4.3.2.3	Cálculo del Esfuerzo Cortante para el Fondo	43
4.3.2.4	Cálculo del Esfuerzo Cortante en el Talud.....	43
4.3.2.5	Factor de Seguridad al Deslizamiento.	43
4.3.3	Estabilidad del Talud	44
5.0	CONCLUSIONES	46
6.0	RECOMENDACIONES	49
7.0	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 3.1: Sección transversal típica de un enrocado de protección	6
Figura N° 3.2: Esfuerzo cortante en relación al D_{50} y K_2	16
Figura N° 3.3: Corte en curvas de canales.....	17
Figura N° 3.4: Cotangente de Θ en relación a K_1	17
Figura N° 3.5: Ángulo de reposo de material no cohesivo según la U.S Bureau of Reclamation	18
Figura N° 4.1: Esquema Hidráulico	20
Figura N° 4.2: Sección típica enrocado de protección	20
Figura N° 4.3: Ubicación del área de estudio	21
Figura N° 4.4: Margen derecha e izquierda en la zona de interés del río Tulumayo	26
Figura N° 4.5: Vista en Planta Modelamiento Hec-Ras río Tulumayo - Forma inicial..	27
Figura N° 4.6: Sección 0+680 Modelamiento Hec-ras río Tulumayo - Forma inicial	27
Figura N° 4.7: Vista en Planta Modelamiento Hec-Ras río Tulumayo - Con dique	29
Figura N° 4.8: Sección 0+520 Modelamiento Hec-ras río Tulumayo - Con Dique.....	31
Figura N° 4.9: Vista en Planta Eje trazo enrocado	31
Figura N° 4.10: Valores de r y w	42
Figura N° 4.11: Análisis de estabilidad del Talud – Caso Estático.....	44
Figura N° 4.12: Análisis de estabilidad del Talud – Caso Pseudo-estático	45

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 3.1: Probabilidad anual en que se presenta el gasto de diseño	10
Cuadro N° 3.2: Valores de X y $1/(1+X)$ para suelos cohesivos y no cohesivos	11
Cuadro N° 3.3: Valores del coeficiente (Φ) para diversos caudales	11
Cuadro N° 4.1: Caudales medios mensuales	22
Cuadro N° 4.2: Precipitaciones máximas en 24 h (mm) para diversos tiempos de retorno	22
Cuadro N° 4.3: Caudales máximos (m^3/s)	23
Cuadro N° 4.4: Caudal de diseño modelamiento río Tulumayo	25
Cuadro N° 4.5: Coeficientes de Manning para cauces naturales	25
Cuadro N° 4.6: Coeficientes Manning modelamiento río Tulumayo	26
Cuadro N° 4.7: Pendiente aguas arriba y abajo del río Tulumayo	26
Cuadro N° 4.8: Resultados modelamiento Hec Ras río Tulumayo (forma inicial)	28
Cuadro N° 4.9: Resultados modelamiento Hec Ras río Tulumayo (con dique)	30
Cuadro N° 4.10: Parámetros hidráulico eje del Enrocado	32
Cuadro N° 4.11: Resultados del cálculo profundidad de socavación	34
Cuadro N° 4.12: Resultados del cálculo para la profundidad de la uña (P)	35
Cuadro N° 4.13: Resultados del cálculo altura del enrocado (H)	36
Cuadro N° 4.14: Resultados del cálculo diámetro medio Enrocado	39
Cuadro N° 4.15: Resultados del cálculo ancho de la base (A)	41



1.0 CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

Los enrocados de protección son estructuras que se utilizan para la protección de taludes contra la acción erosiva del agua, generalmente están conformados por material del río, están dispuestos en forma trapezoidal y revestidos con roca pesada que pueda mantenerse estable ante el esfuerzo cortante producido.

La siguiente Monografía técnica ilustra el diseño de enrocados de protección en el talud de la Relavera “La Esperanza” que está ubicada en la margen derecha de un tramo del río Tulumayo. El tramo en estudio del río Tulumayo se encuentra en el departamento de Junín, provincia de Chanchamayo, distrito de Vitoc; a una altitud promedio de 920 m.s.n.m

El presente trabajo detalla los criterios de diseño y procedimiento a seguir para determinar el dimensionamiento de enrocados de protección en taludes pertenecientes a cauces naturales o artificiales.

En el diseño de los enrocados de protección, como fase preliminar se determinó los parámetros hidráulicos del río Tulumayo donde se realizó el modelamiento del cauce con ayuda del software HEC-RAS 4.1, luego se identificó las áreas en donde se ubicarán los enrocados, realizando el trazo en planta del eje del enrocado, seguidamente, se realizó el análisis de socavación local con tal de determinar la profundidad de cimentación de las estructuras, luego, se detalló el dimensionamiento geométrico de la sección típica del enrocado de protección (altura, ancho, espesor mínimo) y finalmente se determinó el diámetro medio de las rocas a ser utilizadas, teniendo en cuenta que las estructuras cumplan con los criterios de estabilidad.

Para el desarrollo del diseño de los enrocados de protección se recurrió a la revisión del estudio de Hidrología realizado en el área de interés, de donde se obtuvo como dato principal el caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, también se revisó el tipo de material encontrado en el fondo del cauce que fue utilizado para el análisis de socavación y modelamiento del río Tulumayo.



2.0 CAPÍTULO II - GENERALIDADES

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Relavera “La Esperanza” es un componente minero que pertenece a la compañía minera San Ignacio de Morococha S.A.A (SIMSA), ubicada en el distrito de Vitoc, en la provincia de Chanchamayo, departamento de Junín. El depósito de relaves se ubica geográficamente en la cuenca del río Tulumayo, a una altitud promedio de 920 msnm. La plataforma que se encuentra al pie del talud de la relavera se encuentra a 5 m en promedio del cauce del río Tulumayo y aproximadamente a 3 m por encima del cauce del río.

El río Tulumayo posee tirantes entre 0.7 y 1.2 m en época de estiaje y de 1.6 a 5.0 m en época de avenidas, lo que trae consigo el desbordamiento del cauce en el tramo donde se encuentra la plataforma, afectando el talud del depósito de relaves y daños a las instalaciones que se encuentran en dicha plataforma.

En consecuencia, para evitar el desbordamiento del río Tulumayo en época de avenidas, se plantea el uso de Enrocados de Protección a lo largo de la plataforma existente.

Esta medida busca controlar la desestabilización de los taludes que provoca el desbordamiento del río Tulumayo y evitar los daños a las instalaciones existentes en la Plataforma del depósito de Relaves.



2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseño de enrocados de protección de la Relavera “La Esperanza” – Río Tulumayo

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Presentar el modelamiento de un tramo del río Tulumayo, colindante con el depósito de relaves “La Esperanza”
2. Determinar las zonas donde estarán ubicadas los enrocados de protección a lo largo del río Tulumayo.
3. Determinar la profundidad de cimentación de los enrocados colocados en la margen derecha del río Tulumayo.
4. Efectuar el dimensionamiento de la sección típica de los enrocados: Altura, espesor, ancho y diámetro medio
5. Verificar la estabilidad de los enrocados de protección para el depósito de relaves “La Esperanza”



3.0 CAPÍTULO III - MARCO TEÓRICO

3.1 DEFENSA RIBEREÑA

Según J.A Maza, se entiende como condición de estabilidad dinámica de un curso de agua, al equilibrio entre la acción del flujo sobre el cauce del río y la resistencia al movimiento (erosión) de los materiales (sedimentos) que lo constituyen. Este equilibrio es alcanzado por la interacción entre el flujo de agua y los sedimentos provenientes de la cuenca hidrográfica contribuyente, considerando la evolución de las secciones, trazado y pendientes del curso de agua.

La alteración en el equilibrio puede ocurrir a través de: intervención directa, con obras en el propio curso de agua, como: rectificaciones, diques, etc.; intervención indirecta, por acciones en la cuenca hidrográfica que causen alteración en el uso del suelo, como: urbanización, cambios de cultura, deforestación, acumulación de desmonte, etc. La utilización de la protección para la estabilización de los cursos de agua naturales son necesaria para fijar el trazado del río, limitar las erosiones, proteger estructuras ribereñas (como: carreteras, ferrovías, instalaciones industriales, etc.), o para la estabilidad de canales artificiales, utilizados en obras de drenaje urbano, vías de navegación, obras para el control de crecidas, irrigación, abastecimiento, toma para hidroeléctricas, etc.

Los procedimientos más comunes para proteger las márgenes de los ríos, sobre todo las exteriores de las curvas, son: los espigones, recubrimientos marginales y los diques marginales.

3.1.1 ESPIGONES

Son estructuras interpuestas a la corriente, uno de cuyos extremos está unido a la margen. El propósito de estas estructuras consiste en alejar de la orilla a las líneas de corriente con alta velocidad, y evitar así que el material de la margen se transporte y erosione. Además, los espigones facilitan que los sedimentos se depositen entre ellos, con lo que se logra una protección adicional de la orilla. Los espigones pueden estar unidos simplemente a la orilla en contacto con ella, o bien, estar empotrados una cierta longitud dentro de la margen.

3.1.2 RECUBRIMIENTOS O MUROS MARGINALES

En general, los recubrimientos o muros marginales son protecciones que consisten en colocar, directamente sobre la orilla, un material natural o artificial que no pueda ser arrastrado por la corriente.



Para ello, normalmente se perfila la orilla con un talud que permita la colocación fácil y segura del material de protección. Entre este último material y el que forma la margen usualmente se coloca un filtro, ya sea artificial como puede ser un geotextil o natural con materiales pétreos formando una o varias capas con elementos cuyo tamaño decrece de afuera hacia la margen. El objeto del filtro es evitar que las partículas finas de la orilla salgan a través de los huecos que pueden tener la capa exterior o coraza, que es diseñada para resistir las altas velocidades del flujo. La salida o extracción de las partículas que constituyen la orilla se debe tanto a los vórtices que se generan por la presencia de los elementos de la capa protectora, como al flujo que se produce de tierra hacia el río, por efecto de lluvias intensas sobre la planicie o por descensos frecuentes y considerables del nivel del agua en el río. Los recubrimientos marginales, al apoyarse directamente contra el talud de la orilla tienen la inclinación de ésta. Sin embargo, también se construyen verticalmente formando muros sobre todo en los tramos en que los ríos cruzan ciudades y poblados.

Los recubrimientos marginales pueden ser permeables, semi-permeables e impermeables.

3.1.3 DIQUES MARGINALES

Son estructuras, en ocasiones de gran longitud, colocadas dentro del cauce y que se utilizan cuando se quiere formar una nueva orilla que permita encauzar al flujo en forma más adecuada o cuando se desea reducir el ancho del río. Al igual que los espigones, pueden iniciarse y estar unidos a la margen mientras que toda la obra está dentro del cauce. La principal diferencia entre ellos y los espigones consiste en que estos últimos interfieren con las líneas de flujo mientras que los diques se colocan y diseñan para lograr que las líneas de corriente sean paralelas a estas obras. Son construidos normalmente con materiales como arcilla, arena o materiales pétreos; su sección transversal es trapecial y el talud en contacto con la corriente del río es formado en forma similar a los recubrimientos marginales.

3.2 ENROCADOS DE PROTECCIÓN

Los enrocados de protección son estructuras conformadas en base a material de río dispuesto en forma trapezoidal y revestido con roca pesada en su cámara húmeda; pueden ser continuos o tramos priorizados donde se presenten flujos de agua que actúen con gran poder erosivo.

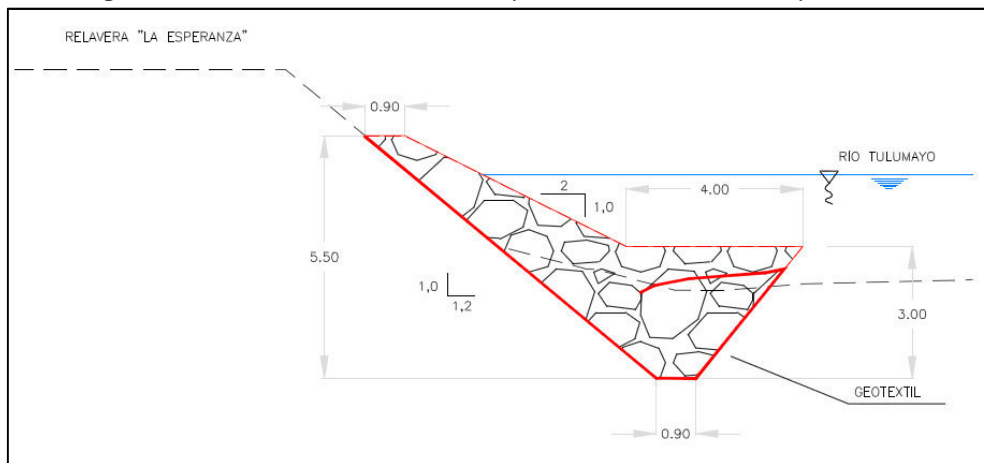
Las canteras de roca deben ser de buena calidad y estar ubicadas a una determinada distancia, recomendándose lo más cercano posible a la zona de trabajo.

Las soluciones serán las típicas utilizadas en las obras viales y obras hidráulicas, entre las que destacan los enrocados pesados, tal como se ilustra en la figura N° 3.1.

En este caso se desea proteger la margen del río ante la llegada de una avenida máxima y ante un alud, de acuerdo a la disponibilidad de materiales se procederá a la utilización de muros de enrocados tanto para proteger como para contener las estructuras antes mencionadas.

El tipo de defensa ribereña según lo mencionado en el ítem 3.1 pertenece a los muros marginales semipermeables, con la ventaja de ser económica y fácil de construir por el material existente en la zona.

Figura N° 3.1: Sección transversal típica de un enrocado de protección



Fuente: Elaboración propia

Para realizar el diseño de un enrocado de protección es necesario precisar aspectos como:

- Identificación del tramo del río a proteger, determinando los parámetros hidráulicos en los puntos de interés (tirantes, velocidad, ancho y área) que servirán para realizar los cálculos posteriores.
- Determinación del nivel de cimentación del enrocado.
- Dimensionamiento de la geometría del enrocado: altura, profundidad de la uña, espesor mínimo, etc.
- Estabilidad del enrocado, conociendo el diseño geométrico del mismo.



3.2.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS

La determinación de parámetros hidráulicos en el cauce se realizará mediante un modelamiento, para lo cual se utilizará el software HEC-RAS 4.1.

El modelo HEC-RAS 4.1, ha sido 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) y tiene como predecesor al programa HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interfase gráfica de usuario que facilita las labores de pre-proceso. El modelo número incluido en el programa permite realizar el análisis del flujo permanente y no permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

Entre sus principales características se tiene:

- Realiza el cálculo de estructuras (puentes, aliviaderos, alcantarillas, etc.)
- Permite la visualización gráfica de datos y resultados.
- Permite la edición gráfica de secciones transversales.

La aplicación del modelo HEC-RAS 4.1 es la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

El modelo hidráulico numérico por el cual se optó, fue el desarrollado por el *Hydrologic Engineering Center* (HEC) del *United States Army Corps of Engineers*, denominado HEC - RAS, modelo que permite el cálculo de perfiles hidráulicos para flujo estacionario unidimensional, gradualmente variado.

Las bases del procedimiento de cálculo corresponden a la solución de la ecuación de energía. Las pérdidas de carga por energía entre secciones transversales son evaluadas como pérdidas por fricción y pérdidas por contracción y expansión.

A continuación se muestra la ecuación general de cálculo:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde:

Y_1, Y_2 : Tirantes en las secciones transversales (m).

Z_1, Z_2 : Altura del fondo relativo al plano de referencia (m.s.n.m.).

V_1, V_2 : Velocidades medias para el total de las respectivas áreas hidráulicas (m/s).

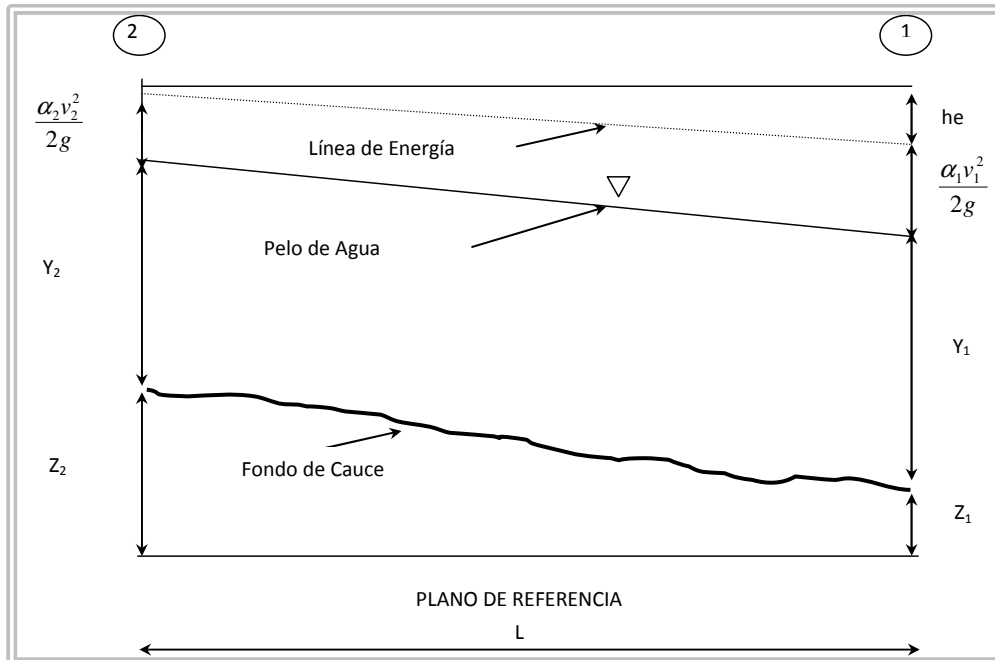
α_1, α_2 : Coeficientes de distribución de velocidades.

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

h_e : Pérdida de carga (m).

En la figura adjunta, se presenta en forma gráfica el procedimiento de cálculo por secciones.

Procedimiento de cálculo por secciones con la ecuación de Bernoulli



Fuente: Elaboración propia

La ecuación general para la determinación de las pérdidas de carga es:

$$h_e = LS_f + C \left(\frac{\alpha_2 + V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 + V_1^2}{2g} \right)$$

Donde:

- L : Longitud del tramo en cálculo (m).
- S_f : Gradiente de energía representativa entre dos secciones.
- C : Coeficiente de pérdida por contracción o expansión.

La obtención de los resultados resulta de la aplicación de la ecuación mediante un proceso iterativo, suponiendo flujo normal como condición inicial.

El caudal es calculado para cada sección mediante la siguiente forma de la ecuación de Manning:

$$Q_{total} = \sum_{i=1}^p Q_i S_f^{1/2}$$

$$Q_i = \left(\frac{1}{n_i}\right) A_i R_i^{2/3}$$

Donde:

Q_{total} : Caudal total en una sección (m^3/s).

Q_i : Caudal en la subsección i [$i = 1 \dots p$] (m^3/s).

S_f : Pendiente.

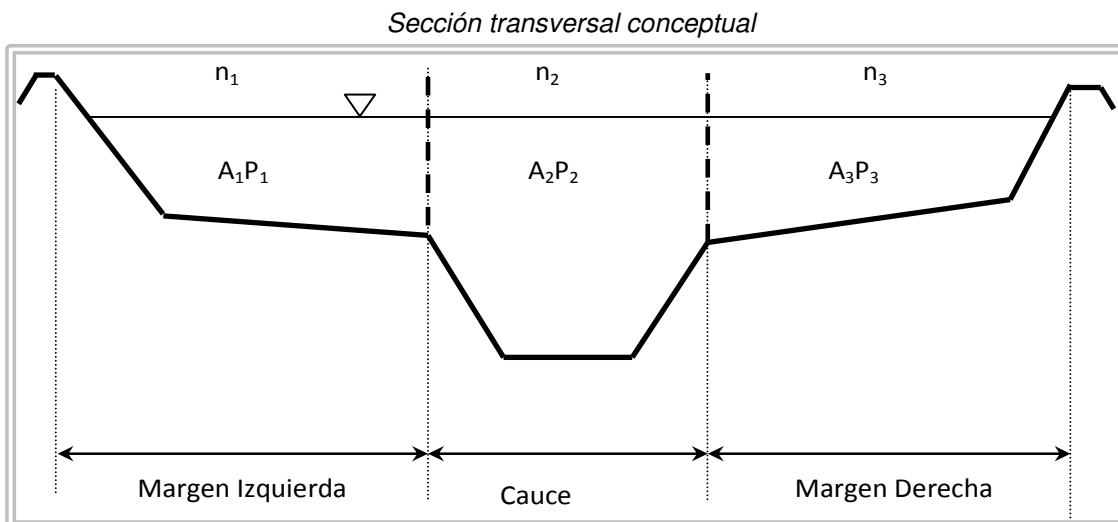
A_i : Área en la subsección i [$i = 1 \dots p$] (m^2).

R_i : Radio hidráulico en la subsección i [$i = 1 \dots p$] (m).

n_i : Coeficiente de rugosidad de Manning en la subsección.

Para el cálculo de caudales en una sección transversal, compuesta de diferentes áreas parciales, se requiere que el caudal sea subdividido en áreas por las cuales las velocidades son uniformemente distribuidas como se aprecia en la figura inferior.

Bajo esta condición se subdivide el caudal a través de la sección transversal del cauce del río en áreas, las cuales son definidas según los coeficientes de rugosidad.



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 NIVEL DE CIMENTACIÓN DEL ENROCADO

El nivel de cimentación del enrocado se determina conociendo la profundidad de socavación en dicho tramo, para lo cual se realiza el análisis de socavación general.



3.2.2.1 ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN

La socavación general de un río es aquella que se produce sobre el lecho en condiciones naturales; es decir, cuando las condiciones del cauce y flujo del río no han sido alterados por efectos de instalaciones de alguna estructura.

Para efectos del cálculo de la socavación general se ha utilizado las formulas propuestas por: **Lischtván-Levediev** su formulación matemática se presenta a continuación:

$$H_s = \left(\frac{\alpha x H_0^{5/3}}{0.68 x \beta x d_m^{0.28}} \right)^{\frac{1}{1+x}} \quad \dots (1)$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{y_m^{5/3} x B e x \mu} \quad \dots (2)$$

Dónde:

- H_s : Tirante después de la erosión (m)
- H_0 : Tirante antes de la erosión (m).
- β : Coeficiente del periodo de retorno.
- d_m : Diámetro medio de los granos de fondo (mm).
- Q_d : Caudal de diseño (m³/s).
- y_m : Tirante medio de la sección (m).
- B_e : Ancho efectivo (m).
- μ : Coeficiente de la contracción.
- x : Coeficiente que depende del diámetro medio de las partículas.

Cuadro N° 3.1: Probabilidad anual en que se presenta el gasto de diseño

Probabilidad anual (en %) de que se presente el gasto de diseño	Coeficiente B
100	0.77
50	0.82
20	0.86
10	0.9
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

Fuente: Diseño de defensas Ribereñas – Rubén Terán

Cuadro N° 3.2: Valores de X y $1/(1+X)$ para suelos cohesivos y no cohesivos

SUELOS COHESIVOS						SUELOS COHESIVOS					
Y_d (mm)	x	$1/(1+x)$	Y_d (mm)	x	$1/(1+x)$	d (mm)	x	$1/(1+x)$	d (mm)	x	$1/(1+x)$
0.80	0.52	0.66	1.20	0.39	0.72	0.05	0.43	0.70	40.00	0.30	0.77
0.83	0.51	0.66	1.20	0.38	0.72	0.15	0.42	0.70	60.00	0.29	0.78
0.86	0.50	0.67	1.28	0.37	0.73	0.50	0.41	0.71	90.00	0.28	0.78
0.88	0.49	0.67	1.34	0.36	0.74	1.00	0.40	0.71	140.00	0.27	0.79
0.90	0.48	0.67	1.40	0.35	0.74	1.50	0.39	0.72	190.00	0.26	0.79
0.93	0.47	0.68	1.46	0.34	0.75	2.50	0.38	0.72	250.00	0.25	0.80
0.96	0.46	0.68	1.52	0.33	0.75	4.00	0.37	0.73	310.00	0.24	0.81
0.98	0.45	0.69	1.58	0.32	0.76	6.00	0.36	0.74	370.00	0.23	0.81
1.00	0.44	0.69	1.64	0.31	0.76	8.00	0.35	0.74	450.00	0.22	0.83
1.04	0.43	0.70	1.71	0.30	0.77	10.00	0.34	0.75	570.00	0.21	0.83
1.08	0.42	0.70	1.80	0.29	0.78	15.00	0.33	0.75	750.00	0.20	0.83
1.12	0.41	0.71	1.89	0.28	0.78	20.00	0.32	0.76	1000.00	0.19	0.84
1.16	0.40	0.71	2.00	0.27	0.79	25.00	0.31	0.76			

Fuente: Diseño de defensas Ribereñas – Rubén Terán

3.2.2 PROFUNDIDAD DE LA UÑA (P)

Determinada la profundidad de socavación, ésta indica hasta donde excavaría el río, profundidad hasta la cual deberán llegar las cimentaciones de las estructuras, esta profundidad depende del tipo de material que se consideró en el cálculo, suelos no cohesivos.

La profundidad de la uña se puede calcular con la expresión:

$$Cota\ de\ fondo - cota\ de\ socavación = P \dots (3)$$

3.2.3 ALTURA DEL ENROCADO (H)

La altura del enrocado se define como la diferencia entre la cota del nivel de flujo y la cota socavación, más el borde libre; el valor de la cota del flujo y la velocidad se obtienen del modelamiento HEC-RAS 4.1; para el cálculo del borde libre se utilizará la expresión por energía.

$$H = cota\ flujo - cota\ socavación + f \dots (4)$$

$$f = \phi \left[\frac{V^2}{2g} \right] \dots (5)$$

Cuadro N° 3.3: Valores del coeficiente (Φ) para diversos caudales

Caudal Máximo (m3/s)	Coeficiente (Φ)
3000 – 4000	2.0
2000 – 3000	1.7
1000 – 2000	1.4
500 – 1000	1.2
100 – 500	1.1

Fuente: Diseño de defensas Ribereñas – Rubén Terán



3.2.4 DIÁMETRO MEDIO DE LA ROCA (D₅₀)

Para determinar las características del enrocado se emplea la siguiente relación:

$$D_{50} = C \frac{0.00594V^3}{y_m^{0.5} K_1^{1.5}} \dots\dots\dots (6)$$

Dónde:

- D₅₀ : Diámetro medio del enrocado de protección.
- K₁ : Coeficiente de los taludes y ángulos de reposo del enrocado de protección.
- y_m : Tirante medio del flujo al pie del enrocado.
- V : Velocidad media del flujo al pie del enrocado
- C : Coeficiente de corrección.

$$K_1 = \left[1 - \frac{\text{sen}^2 \theta}{\text{sen}^2 \phi} \right]^{0.50} \quad (7)$$

Dónde:

- = Ángulo de reposo del material del enrocado.
- θ = Ángulo del enrocado con la horizontal.

$$C = C_{sg} \cdot C_{sf}$$

$$C_{sg} = 2.12 / (S_s - 1)^{1.5} \quad (8)$$

$$C_{sf} = (SF / 1.2)^{1.5}$$

Dónde:

- C_{sg} : Coeficiente de corrección por el peso específico.
- C_{sf} : Coeficiente de corrección por factor de seguridad
- S_s : Gravedad específica del material del enrocado
- SF : Factor de seguridad, según las siguientes consideraciones:
 - ✓ Flujo uniforme, canal recto: 1,00 < SF < 1,20
 - ✓ Flujo gradualmente variado, curva moderada, impacto de escombros flotantes: 1,30 < SF < 1,60
 - ✓ Flujo rápidamente variado, tramo en curva forzada, alta Turbulencia, fuerte oleaje: 1,60 < SF < 2,0



3.2.5 ESPESOR MÍNIMO DEL ENROCADO (T)

El espesor mínimo del enrocado se determina con las recomendaciones hechas por el cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (1970).

- No debe ser menor que el tamaño máximo de la roca a usarse en el enrocado.
- No debe ser menor de $1.5D_{50}$
- Por razones constructivas no deberá ser menor de 30 cm.

De los tres valores dados por las consideraciones mencionadas, se tomará el mayor, debiéndose incrementar este valor en un 50% cuando el enrocado es colocado bajo el agua.

3.2.6 ANCHO DE LA BASE (A)

Conociendo la profundidad de socavación, se determina el valor del ancho del enrocado en la base con la siguiente expresión:

$$A = 1.5 e \quad \dots (9)$$

Donde:

A: Ancho del enrocado en la base (m)

e: Profundidad de socavación (m)

3.2.7 ESTABILIDAD DEL ENROCADO

El criterio de estabilización con enrocado está basado en la determinación analítica de los esfuerzos cortantes generados por el flujo en el cauce y la capacidad del enrocado de protección para soportar esos esfuerzos de corte actuantes.

3.2.7.1 ESFUERZO CORTANTE PROMEDIO

Esfuerzo cortante promedio en buen funcionamiento de una protección con enrocado, está relacionada con las fuerzas hidrodinámicas de arrastre y levantamiento del flujo y son proporcionales al esfuerzo cortante promedio que actúa sobre el perímetro mojado de una sección de canal, donde al flujo es uniforme y el canal es recto, está dado por:

$$\bar{\tau}_0 = \gamma RS \quad \dots (10)$$

Donde:

$\bar{\tau}_0$: Esfuerzo cortante promedio (Kg/m²)

γ : Peso específico del agua (Kg/m³)

R: Radio hidráulico (m)

S: Pendiente de la línea de energía (m/m)



Si:

$$V = C (RS)^{1/2} \quad \dots (11)$$

$$RS = \frac{V^2}{C^2} \quad \dots (12)$$

Para canales rugosos:

$$\bar{\tau}_0 = \frac{\gamma V^2}{(18 \text{Log} \frac{12.2R}{K})^2} \quad \dots (13)$$

Donde:

V : Velocidad media del agua (m/s)

R : Radio hidráulico (m)

K : Rugosidad equivalente de la superficie del canal (m)

C : Coeficiente de Chezy

3.2.7.2 ESFUERZO CORTANTE LOCAL EN UN CANAL MUY ANCHO

Esfuerzo cortante local en un canal muy ancho, el radio hidráulico se aproxima al tirante ($R = y$), si en la ecuación (13) se constituye la velocidad V por \bar{V} promedio de velocidad en una vertical, y el valor K por el diámetro promedio de la roca D_{50} , tenemos:

$$\tau_0 = \frac{\gamma \bar{V}^2}{(18 \text{Log} \frac{12.2y}{D_{50}})^2} \quad \dots (14)$$

$$\tau_0 = K_2 \bar{V}^2 \quad \dots (15)$$

$$K_2 = \frac{\gamma}{(18 \text{Log} \frac{12.2y}{D_{50}})^2} \quad \dots (16)$$

Esta ecuación representa el esfuerzo cortante en cualquier punto sobre el perímetro mojado (ver Figura N°3.2)

3.2.7.3 ESFUERZO CORTANTE EN CURVAS

Los valores de esfuerzo cortante locales obtenidos por la ecuación (14) deberán ser multiplicados por la relación τ_b/τ_a obtenido de la Figura N°3.3.

Donde:

$$\frac{\tau_b}{\tau_a} = 2.65 / \left(\frac{r}{w}\right)^{0.5} \quad \dots (a)$$

τ_a : Esfuerzo cortante promedio en el canal aguas arriba

τ_b : Esfuerzo cortante local afectado por la curva



3.2.7.4 ESFUERZO CORTANTE PARA DISEÑO DE ENROCADO

Es el esfuerzo cortante local que una roca de determinado tamaño resiste con condiciones de seguridad.

El esfuerzo cortante local permisible sobre el fondo de un canal se expresa como:

$$\tau = a(\gamma_s - \gamma)D_{50} \quad \dots (17)$$

Donde:

γ_s : Peso específico de la roca.

γ : Peso específico del agua.

a : Coeficiente, canales anchos asumir 0.04.

D_{50} : Diámetro promedio de la roca.

τ : Esfuerzo cortante local en el fondo del canal.

El esfuerzo cortante de diseño para el enrocado, Ver Figura 3.4, colocado en los taludes de un canal es dado por la relación:

$$\tau' = \tau \left(1 - \frac{\text{Sen}^2 \theta}{\text{Sen}^2 \phi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots (18)$$

$$K_1 = \frac{\tau'}{\tau} = \left(1 - \frac{\text{Sen}^2 \theta}{\text{Sen}^2 \phi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots (19)$$

Donde:

τ' : Esfuerzo cortante de diseño en los taludes.

θ : Ángulo del talud con la horizontal

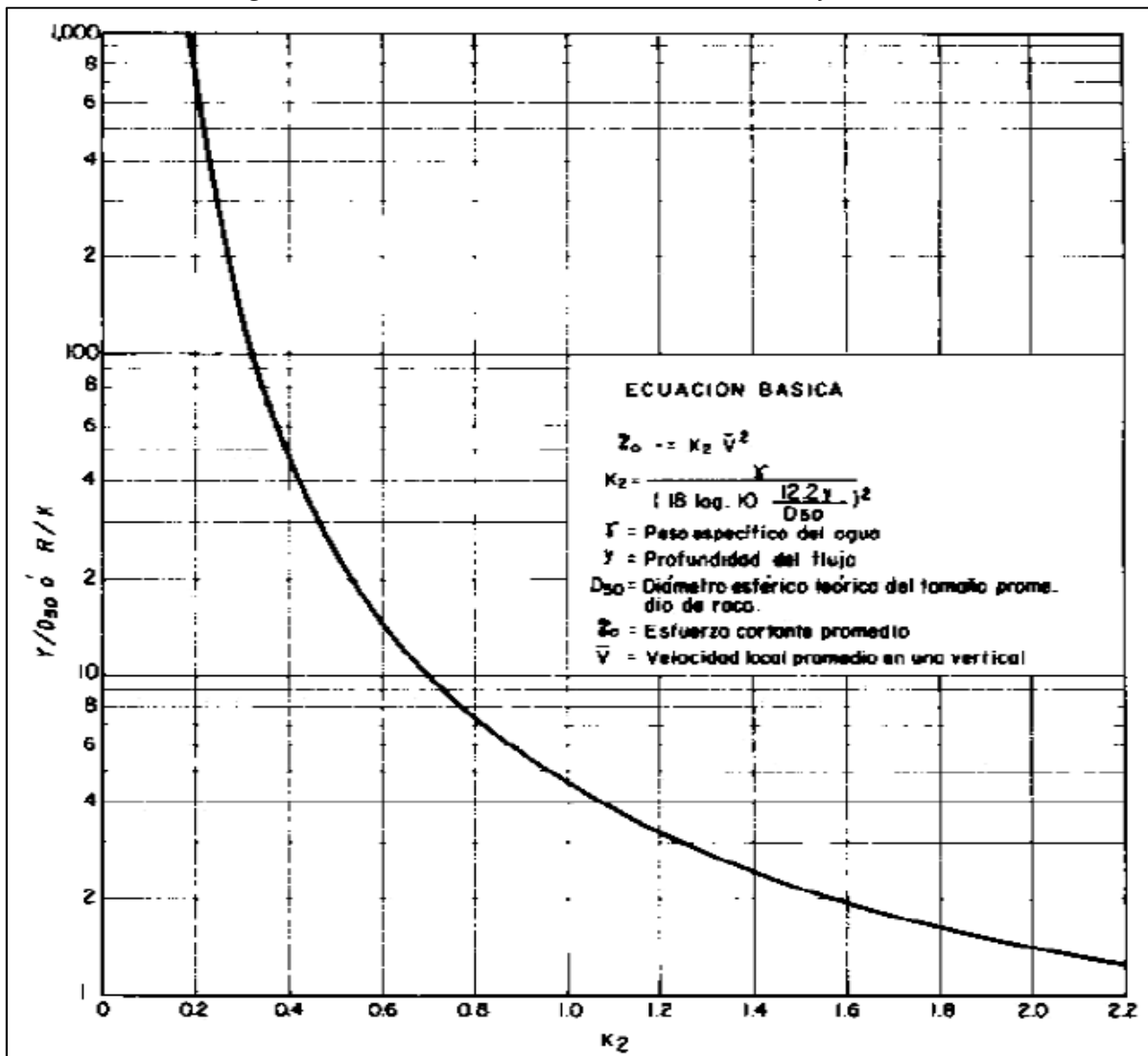
ϕ : Ángulo de reposo del enrocado, generalmente es 40°

El esfuerzo cortante local en cualquier punto de la sección de un canal revestido con roca no deberá exceder el valor de diseño permisible obtenidos por las ecuaciones (17) y (18).

$$\tau_0 \leq \tau' \quad \dots (20)$$

El valor mínimo para cotangente Θ se da cuando $m = 2$.

Figura N° 3.2: Esfuerzo cortante en relación al D50 y K2



Fuente: Técnicas de protección de riberas – cepes.org.pe

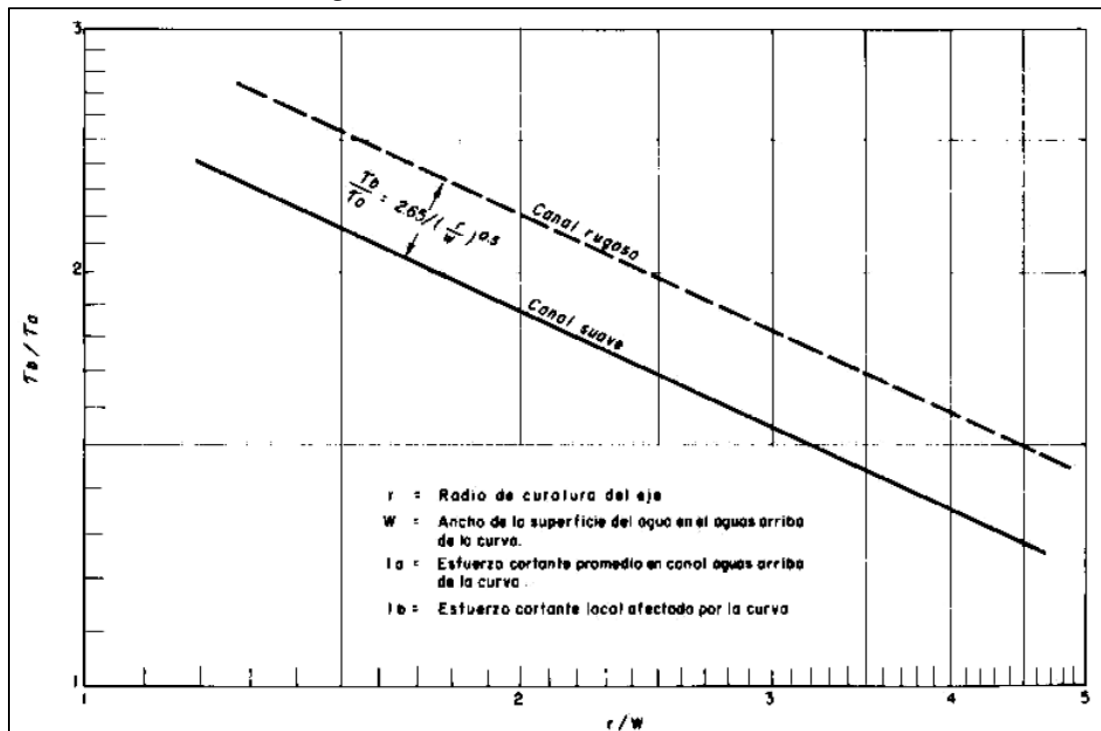
3.2.7.5 FACTOR DE SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO

El Factor de seguridad al deslizamiento del enrocado se define como el cociente entre las tangentes del ángulo de reposo ϕ y el ángulo del talud θ .

$$F.S = \frac{tg\phi}{tg\theta} \dots (21)$$

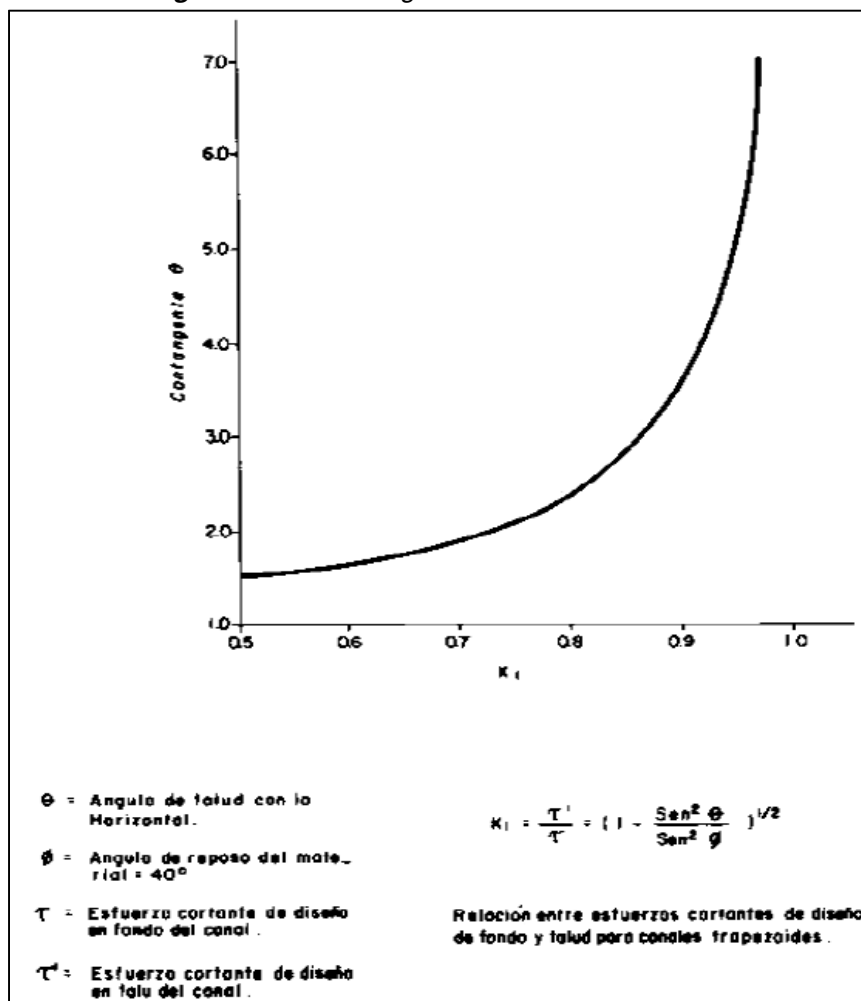
Se toma como criterio de estabilidad que el valor del factor de seguridad sea mayor a 1.5.

Figura N° 3.3: Corte en curvas de canales



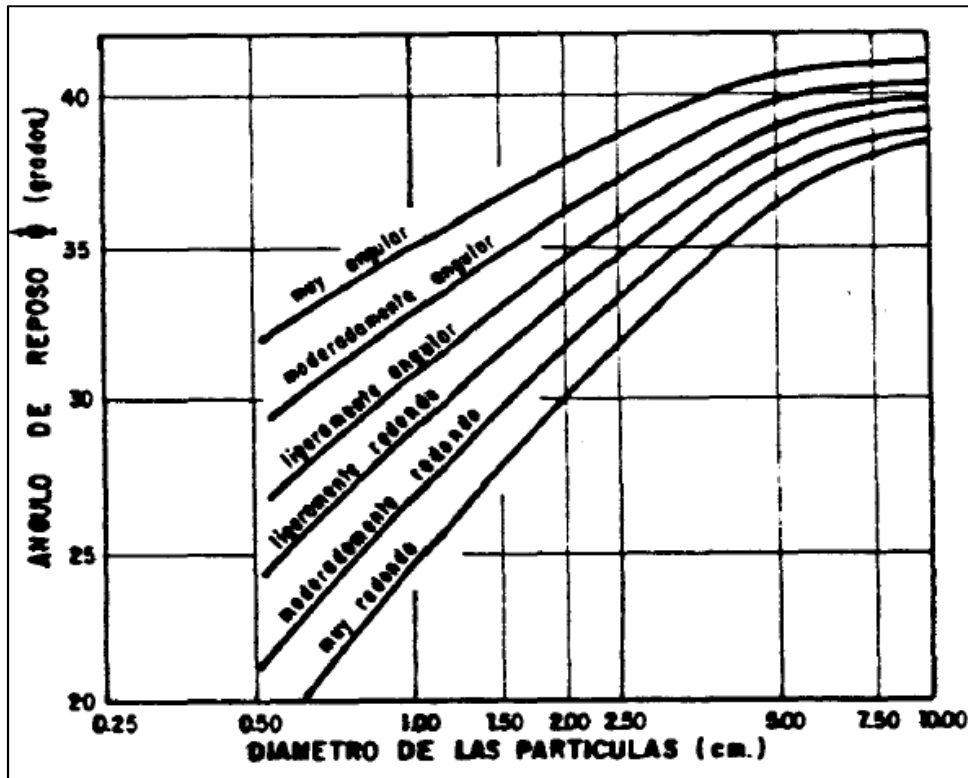
Fuente: Técnicas de protección de riberas – cepes.org.pe

Figura N° 3.4: Cotangente de Θ en relación a K_1



Fuente: Técnicas de protección de riberas – cepes.org.pe

Figura N° 3.5: Ángulo de reposo de material no cohesivo según la U.S Bureau of Reclamation



Fuente: Criterios de diseño de obras de protección de estructuras hidráulicas viales



4.0 CAPÍTULO IV - DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN

El depósito de relaves se encuentra ubicado en la margen derecha del río Tulumayo, la Plataforma que se encuentra al pie del Talud tiene una longitud aproximada de 709m a lo largo del río Tulumayo.

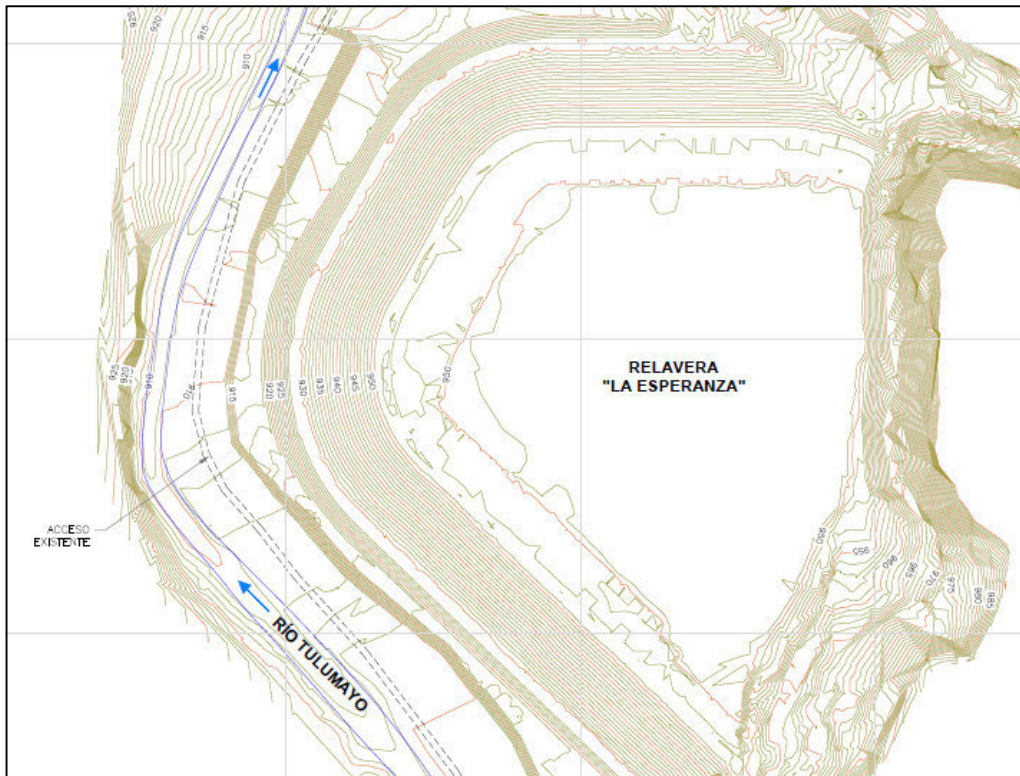
En época de avenidas se produce el desbordamiento del río en el tramo donde se ubica la Plataforma del depósito de relaves, provocando la desestabilización y erosión al pie del talud del de la relavera y daños a las instalaciones que se encuentran en dicha plataforma.

Los enrocados de protección evitarán el desbordamiento del río en época de avenidas, de esta manera proteger el talud del depósito y las instalaciones existentes.

El dimensionamiento de los enrocados de protección se realizó mediante los criterios de diseño mencionados en el Item 3.0 siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación:

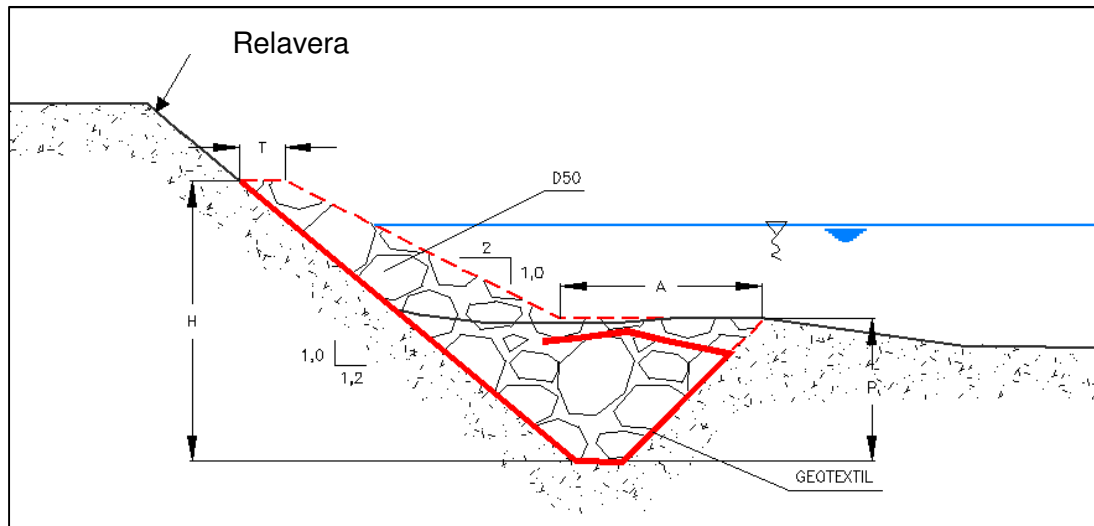
1. Ubicación del área de estudio.
2. Revisión de los estudios básicos: Hidrología y Topografía.
3. Identificación del tramo del río Tulumayo donde se encuentra en depósito de Relaves.
4. Modelamiento del río Tulumayo (forma inicial) con el software HEC-RAS 4.1 con un caudal para un periodo de retorno de 100 años, y determinar la zona de desbordamiento del río.
5. Modelamiento del río Tulumayo considerando un dique de protección en las zonas de desbordamiento y se determinará los parámetros hidráulicos del río Tulumayo utilizando el caudal para un periodo de retorno de 100 años, para lo cual se realizará utilizará el Software HEC-RAS 4.1.
6. Trazo en planta del eje de los enrocados.
7. Aproximación de los parámetros hidráulicos respecto a cada progresiva del eje de enrocado teniendo como base los datos obtenidos del modelamiento del río con HEC-RAS 4.1.
8. Determinación del nivel de cimentación de los enrocados, para ello se realizará el análisis de socavación para luego obtener la altura de la uña que tendrán los enrocados.
9. Determinación de la altura del enrocado, en donde se calculará el borde libre considerando como dato la velocidad en cada sección.
10. Determinación del diámetro medio de la roca a utilizarse.
11. Determinación del espesor del enrocado.
12. Verificación de la estabilidad del enrocado.

Figura N° 4.1: Esquema Hidráulico



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.2: Sección típica enrocado de protección



Fuente: Elaboración propia

En la figura N°4.1 - Esquema hidráulico, se aprecia el depósito de relaves que se encuentra en la margen derecha de un tramo del río Tulumayo, lugar en donde ocurre el desbordamiento en época de avenidas.

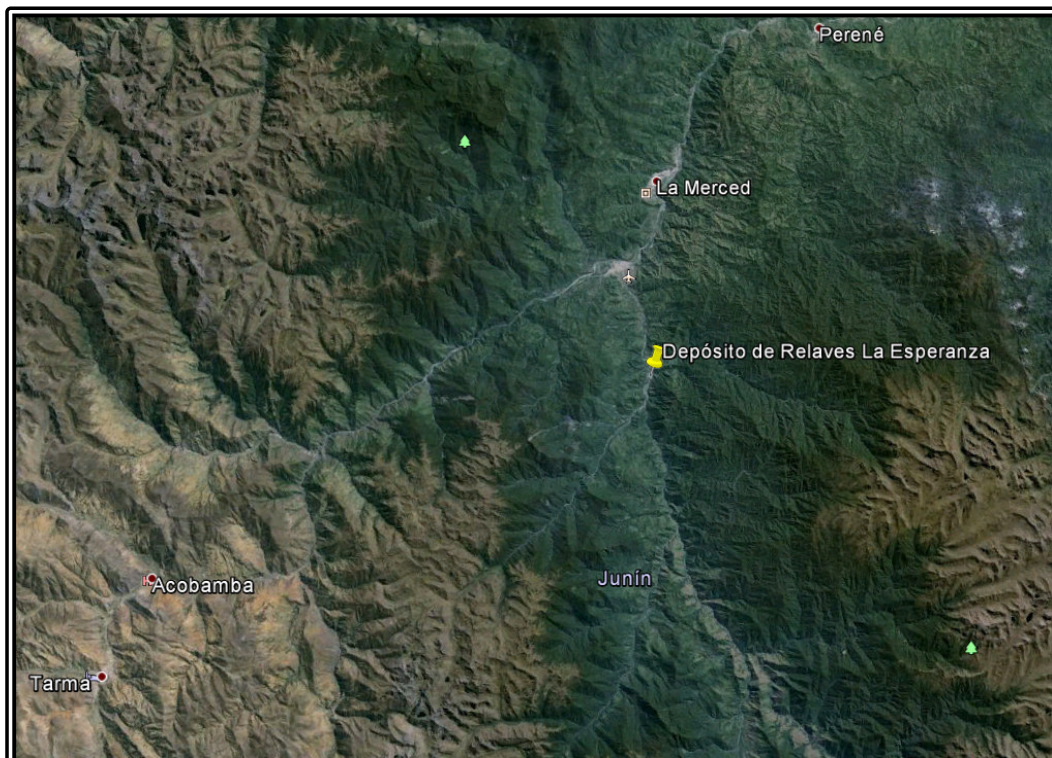
En la figura N°4.2 se observa la sección típica de los enrocados de protección, mostrándose los parámetros geométricos que se calcularán.

4.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el distrito de Vitoc, en la provincia de Chanchamayo, departamento de Junín; a una altitud promedio de 1400 a 2300 msnm. El depósito de relaves “La Esperanza”, se ubica geográficamente en la cuenca del río Tulumayo, a una altitud promedio de 920 msnm en las coordenadas UTM de ubicación, referenciales, 8 762 600 N y 464 000 E (Sistema PSAD 56, Zona 18L).

La principal vía de acceso al Proyecto es por la carretera central, partiendo de la ciudad de Lima sigue la ruta La Oroya–Tarma–San Ramón, asfaltada y en buen estado de conservación, recorriéndose en un tiempo promedio de 6 horas en camioneta desde la ciudad de Lima. Para ingresar al depósito de relave La Esperanza se debe tomar el acceso que se ubica a la altura del km 293 (ingreso a San Ramón) donde existe un desvío que lo lleva a Vitoc (aprox. a 13 km), se cruza el Tulumayo para acceder a Santa Ana y al depósito de La Esperanza. El camino, continua de Vitoc hacia las poblaciones de Aynamayo, la mina San Vicente, Monobamba, Chimay, Los Ángeles, entre otras localidades que se ubican en la quebrada del Tulumayo y afluentes.

Figura N° 4.3: Ubicación del área de estudio



Fuente: Google Earth

4.2 ESTUDIOS BÁSICOS

El resumen de los Estudios Básicos presentados a continuación fueron extraídos del estudio: “ITS de Recrecimiento del depósito de relaves La Esperanza” realizado por la consultora: Cica Ingenieros consultores Perú S.A.C en el año 2015.

4.2.1 HIDROLOGÍA

El presente apartado se basa en la revisión de la evaluación hidrológica realizada en: “Estudio hidrológico para el ITS de Recrecimiento del depósito de relaves La Esperanza”, la finalidad de esta revisión es recopilar los datos de caudales máximos obtenidos, los cuales servirán en los diseños de los enrocados de protección de la relavera “La Esperanza” en el río Tulumayo.

4.2.1.1 UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

La red hídrica en estudio, está formada por la subcuenca Tulumayo, el cual vierte sus aguas al río Chanchamayo, el cual forma parte de la cuenca del río Perene y esta unidad hidrográfica a su vez pertenece a la región hidrográfica del Atlántico.

- ✓ Región Hidrográfica : Titicaca
- ✓ Cuenca Principal : Perene
- ✓ Subcuenca : Tulumayo

4.2.1.2 CAUDALES MEDIOS

Los caudales medios fueron generados sintéticamente mediante la transposición de caudales de estaciones hidrométricas ubicadas aguas arriba o en cuencas aledañas.

Cuadro N° 4.1: Caudales medios mensuales

Subcuenca	Caudal Medio Mensual (m ³ /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Control Tulumayo	68.7	97.5	86.1	56.9	29.6	19.2	14.2	12.2	14.1	29.1	38.6	47.3

Fuente: Estudio hidrológico para el ITS de Recrecimiento del depósito de relaves La Esperanza

4.2.1.3 CAUDALES MÁXIMOS

Los caudales de diseño fueron determinados a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas asociadas a diversos periodos de retorno.

Cuadro N° 4.2: Precipitaciones máximas en 24 h (mm) para diversos tiempos de retorno

Subcuenca	Tiempo de Retorno												
	2	5	10	20	25	50	75	100	150	200	500	1000	5000
Control Tulumayo	18.6	24.4	28.0	31.3	32.3	35.3	37.0	38.2	39.9	41.0	44.5	47.0	52.3

Fuente: Estudio hidrológico para el ITS de Recrecimiento del depósito de relaves La Esperanza



Cuadro N° 4.3: Caudales máximos (m^3/s)

Subcuenca	Q100 (m^3/s)	Q500 (m^3/s)	Q1000 (m^3/s)
Control Tulumayo	124.20	168.41	184.17

Fuente: Estudio hidrológico para el ITS de Recrecimiento del depósito de relaves La Esperanza

4.2.2 TOPOGRAFÍA

4.2.2.1 SISTEMA DE COORDENADAS

El sistema de coordenadas es PSAD 56 Zona 18 Sur. Los trabajos topográficos, se ejecutaron en todo el ámbito del depósito de relaves “La Esperanza”.

4.2.2.2 PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICO

Los trabajos de relevamiento topográfico, se ejecutaron mediante levantamiento topográfico con estación total a partir de puntos de control geodésico existente en la localidad zona de estudio o de puntos auxiliares establecidos para tal efecto. Se tomaron todos los detalles planimétricos existentes dentro del área establecida, así como un número de puntos de relleno, en cantidad y ubicación suficientes para una fiel representación del relieve del terreno, de acuerdo a la escala del plano y al intervalo de curvas de nivel establecido.

4.2.3 ESTUDIO DE CANTERAS

La cantera de roca está localizada a aproximadamente 2 Km de distancia del depósito de relaves.

Los resultados obtenidos del análisis de materiales y suelos son:

- Densidad absoluta = 2.658 Kg/cm³
- Densidad Aparente = 2.42 Kg/cm³
- Absorción = 0.274 %
- Porosidad = 8.7 %
- Resistencia: carga puntual = 3608.15 Kg/cm²



4.3 DISEÑO DE LOS ENROCADOS DE PROTECCIÓN

A continuación se detalla los cálculos para determinar la sección geométrica de los enrocados de protección, al igual que la verificación de la estabilidad.

Cabe mencionar que se utilizarán algunos datos como es el peso específico de las rocas a ser utilizadas, caudales de diseño y curvas de nivel, los cuales provienen de los estudios realizados por la Consultora Cica Ingenieros SAC, que sirvieron como base para realizar el diseño:

- Estudio de Hidrología
- Estudio de Canteras
- Topografía del área de estudio

4.3.1 DISEÑO DE LA SECCIÓN GEOMÉTRICA

4.3.1.1 MODELAMIENTO CON HEC-RAS 4.1 RÍO TULUMAYO (FORMA INICIAL)

El modelamiento del río Tulumayo se realizará con el modelo matemático unidimensional Hec-Ras 4.1, software gratuito de origen Estadounidense desarrollado por parte del cuerpo de Ingenieros de la Armada (US Army Corps of Engineering).

El Software Hec-Ras 4.1 (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) es un programa de modelamiento compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente.
- Modelización de flujo en régimen no permanente.
- Modelización del transporte de sedimentos.
- Análisis de calidad de aguas.

El programa permite discutir los principales aspectos que permiten asegurar la validez o no de una simulación. Se discuten cuestiones como el espaciamiento entre secciones, análisis de las condiciones de contorno o división de la sección en canal principal y llanuras de inundación.

El programa permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua, por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundación y determinar las zonas vulnerables a tal efecto.

Los archivos de datos para un proyecto de modelamiento con Hec-Ras 4.1 se categorizan como sigue:

- Datos de planta,
- Datos geométricos,
- Datos del flujo uniforme,
- Datos de flujo variado,
- Datos de sedimentos,



- Datos de diseño hidráulico.

En el tramo en interés del río Tulumayo se realizó un modelamiento para determinar las zonas de desbordamiento ante la crecida del río para lo cual se utilizó la ayuda del software Hec-ras 4.1, se determinaron en primer lugar los datos que requiere el programa como son: caudal de diseño, coeficiente de Manning y pendiente del río.

El caudal de diseño se extrajo de los estudios básicos mencionados, en este caso el modelamiento se realizará para un caudal de máximas avenidas en un periodo de retorno de 100 años (ver cuadro N°4.4)

Cuadro N° 4.4: Caudal de diseño modelamiento río Tulumayo

Período de Retorno (años)	Caudal (m ³ /s)
100 años	124.2

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de Manning en el cauce central y en las orillas de inundación se determinaron utilizando el cuadro de valores recomendados por el software Hec-ras (ver Cuadro N°4.5).

Cuadro N° 4.5: Coeficientes de Manning para cauces naturales

	Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
A	Cauces naturales			
A.1	Cursos en planicies			
-	Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0.025	0.030	0.033
-	Rectos con algunas piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
-	Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
-	Meandros con algunas piedras y pastos	0.035	0.045	0.050
-	Meandros con muchas piedras	0.045	0.050	0.055
-	Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
-	Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0.075	0.100	0.150
A.2	Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida			
-	Cauce de grava, canto rodado y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
-	Cauce de canto rodado y grandes rocas	0.038	0.050	0.070

En la Figura N° 4.4 se observa la margen derecha e izquierda del río Tulumayo en el tramo de interés, de donde se considera que el cauce central está conformado por canto rodado y algunas rocas, y la orilla de inundación está conformada por grandes rocas. En el cuadro N° 4.6 se muestran los coeficientes de Manning a ser utilizados en el modelamiento.

Figura N° 4.4: Margen derecha e izquierda en la zona de interés del río Tulumayo



Fuente: Consultora Cica Ingeniero S.A.C

Cuadro N° 4.6: Coeficientes Manning modelamiento río Tulumayo

Zona	Coefficiente Manning
Cauce Central	0.040
Orillas de Inundación	0.038

Fuente: Elaboración propia

Las secciones transversales que sirven para ingresar al modelamiento fueron obtenidas con la ayuda del software Autocad Civil 3D (ver Plano P-03), siguiendo el procedimiento siguiente:

- Trazo en planta del eje del río.
- Pendiente del río Tulumayo (aguas arriba y abajo)
- Seccionamiento del eje cada 20 m.

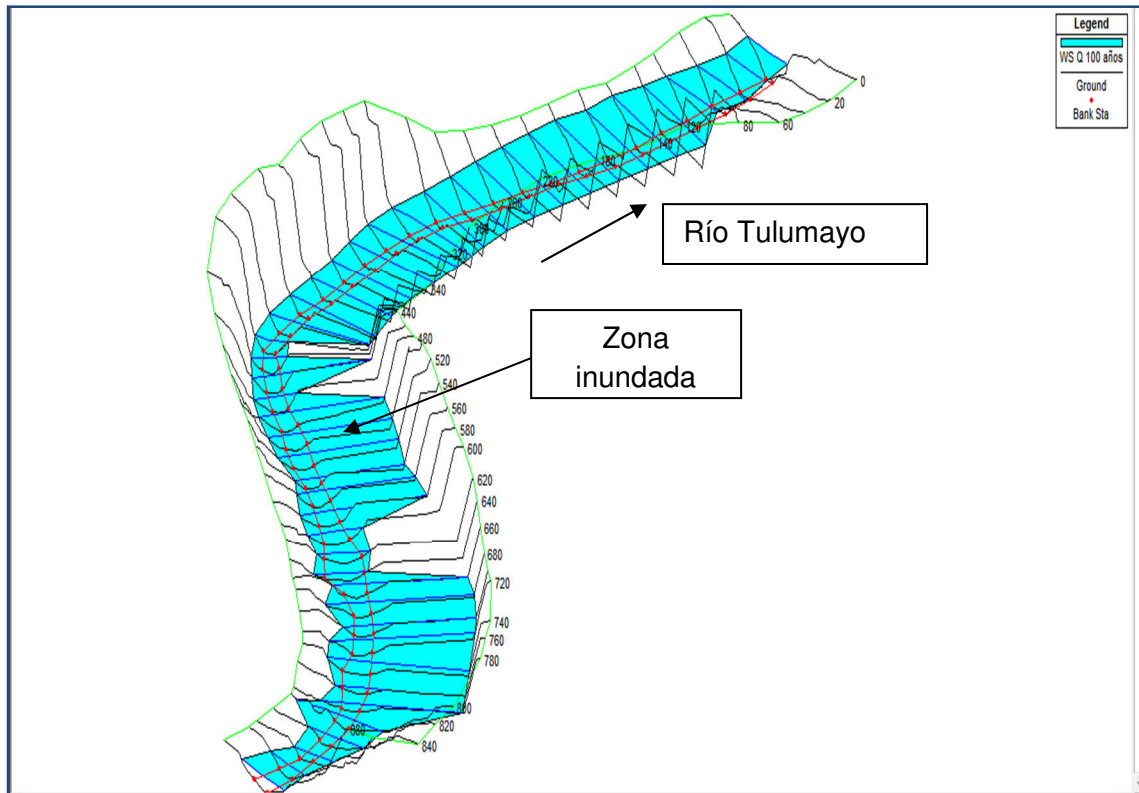
Cuadro N° 4.7: Pendiente aguas arriba y abajo del río Tulumayo

Zona	Pendiente (m/m)
Aguas arriba	0.009
Aguas abajo	0.001

Fuente: Elaboración propia

Luego, se exportaron las secciones obtenidas del Autocad Civil 3D al Hec-Ras 4.1, se añadieron los valores del caudal de diseño, pendientes y coeficientes de Manning obteniendo la planta, el perfil longitudinal y secciones transversales del modelamiento.

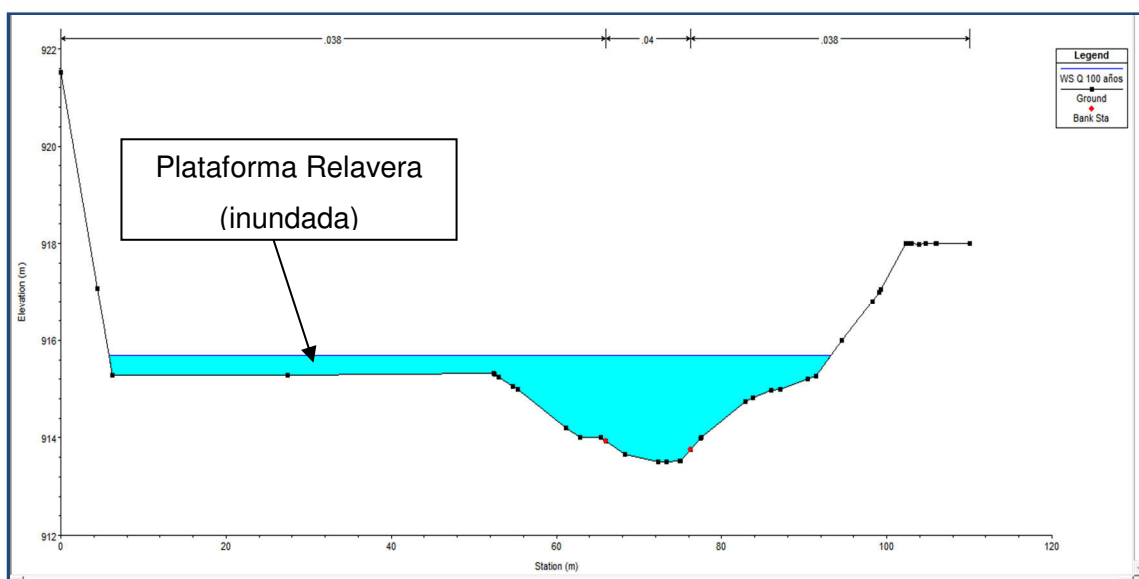
Figura N° 4.5: Vista en Planta Modelamiento Hec-Ras río Tulumayo – Forma inicial



Fuente: Elaboración propia

De la vista en Planta (Figura N°4.6) se observa que el río Tulumayo se desborda en la margen derecha ante un evento de 100 años de periodo de retorno, inundando el acceso que se encuentra al pie del talud de la relavera existente.

Figura N° 4.6: Sección 0+680 Modelamiento Hec-ras río Tulumayo – Forma inicial



Fuente: Elaboración propia

La zona inundada se encuentra entre las progresivas 0+080 y 0+780, las demás secciones obtenidas en el modelamiento se puede observar en el Anexo 2.1 – Salidas



Hec-Ras (forma natural). En el cuadro N° 4.8 se muestran los parámetros hidráulicos obtenidos en el modelamiento.

Cuadro N° 4.8: Resultados modelamiento Hec Ras río Tulumayo (forma inicial)

Progresiva Km	Tr (años)	Nivel de Flujo m.s.n.m.	Cota Fondo m.s.n.m.	Espejo de agua (m)	Área (m ²)	V m/s	Tirante (Y _m) m	Número de Froude
0+000	100	919.23	916.99	38.03	49.39	3.07	2.24	0.69
0+020	100	918.76	916.74	30.76	37.81	3.96	2.02	0.91
0+040	100	917.94	916.52	26.78	27.54	5.14	1.42	1.41
0+060	100	917.97	916.27	37.59	37.17	4.16	1.70	1.04
0+080	100	917.70	916.03	51.34	39.77	4.10	1.67	1.08
0+100	100	916.66	915.53	83.81	33.45	5.73	1.13	1.77
0+120	100	915.88	914.99	29.18	16.00	8.65	0.89	3.22
0+140	100	916.59	914.60	83.63	96.32	1.66	1.99	0.38
0+160	100	916.57	914.22	85.12	106.31	1.58	2.35	0.34
0+180	100	915.43	913.84	65.31	29.82	5.07	1.59	1.32
0+200	100	915.69	913.50	87.40	71.12	2.70	2.19	0.60
0+220	100	915.16	913.15	65.65	40.51	3.74	2.01	0.90
0+240	100	913.79	912.62	31.72	23.97	5.44	1.17	1.81
0+260	100	913.57	911.98	31.55	31.37	4.22	1.59	1.21
0+280	100	913.70	911.70	33.24	44.91	3.18	2.00	0.74
0+300	100	913.65	911.42	39.96	50.11	2.91	2.23	0.64
0+320	100	913.51	911.13	71.14	56.18	3.21	2.38	0.70
0+340	100	912.28	910.85	48.81	29.31	5.84	1.43	1.61
0+360	100	912.77	910.57	72.50	97.54	1.59	2.20	0.35
0+380	100	912.76	910.29	74.73	113.00	1.36	2.47	0.29
0+400	100	912.74	910.01	75.56	112.35	1.47	2.73	0.29
0+420	100	912.19	909.74	26.10	41.18	3.64	2.45	0.75
0+440	100	912.10	909.47	53.03	43.88	3.44	2.63	0.69
0+460	100	911.59	909.21	21.25	33.05	4.33	2.38	0.94
0+480	100	911.08	909.00	20.38	29.25	5.06	2.08	1.12
0+500	100	911.38	909.00	64.97	53.42	3.62	2.38	0.75
0+520	100	911.28	909.00	63.87	59.09	3.30	2.28	0.70
0+540	100	911.35	909.00	59.61	83.37	1.99	2.35	0.41
0+560	100	911.35	908.78	58.76	97.86	1.51	2.57	0.31
0+580	100	911.35	908.60	62.43	115.93	1.22	2.75	0.25
0+600	100	911.30	908.41	65.98	101.48	1.62	2.89	0.32
0+620	100	911.30	908.23	64.63	114.77	1.39	3.07	0.26
0+640	100	911.26	908.05	62.27	102.21	1.68	3.21	0.31
0+660	100	911.27	907.85	59.10	131.92	1.18	3.42	0.20
0+680	100	911.26	907.63	61.21	134.76	1.20	3.63	0.20
0+700	100	911.26	907.42	63.89	154.46	1.00	3.84	0.17
0+720	100	911.26	907.21	65.38	160.25	0.97	4.05	0.16
0+740	100	911.26	907.00	67.32	172.44	0.93	4.26	0.15
0+760	100	911.25	906.98	65.12	182.48	0.84	4.27	0.13
0+780	100	911.25	906.95	67.47	191.70	0.80	4.30	0.12
0+800	100	911.25	906.93	65.78	203.14	0.72	4.32	0.11
0+820	100	911.17	906.90	44.58	105.14	1.58	4.27	0.25
0+840	100	911.17	906.88	43.45	111.18	1.43	4.29	0.22
0+860	100	911.11	906.86	34.31	88.54	1.80	4.25	0.28
0+880	100	911.08	906.83	35.16	82.59	2.05	4.25	0.32

Fuente: Elaboración propia

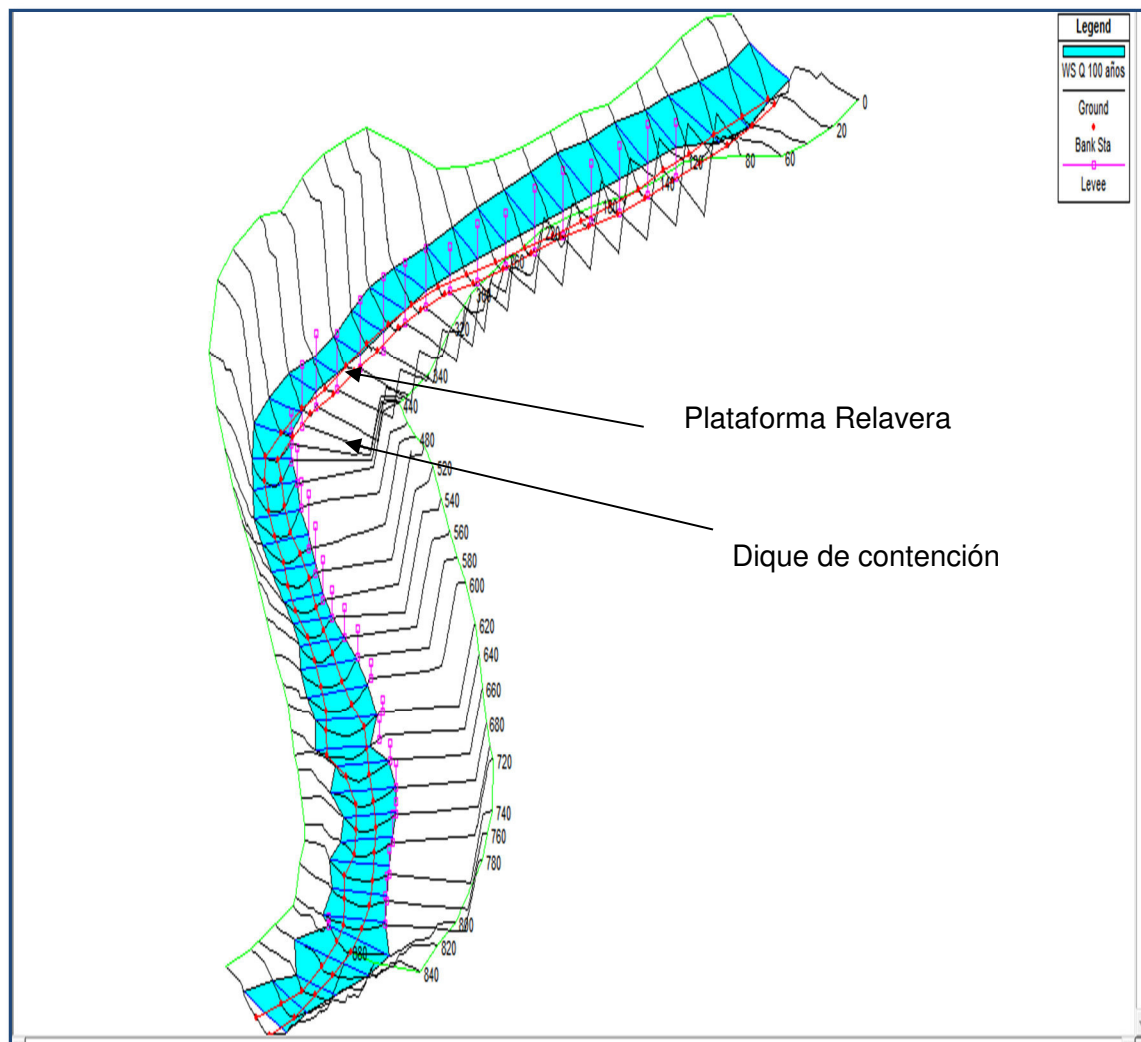
4.3.1.2 MODELAMIENTO CON HEC-RAS 4.1 RÍO TULUMAYO (CON MURO)

Al realizarse el modelamiento del río Tulumayo se observó el desbordamiento en ciertos tramos afectando la plataforma de la Relavera, por lo tanto, se realizó un nuevo modelamiento del río considerando un dique en las zonas donde se produce el desbordamiento, de esta manera se obtuvieron los parámetros hidráulicos deseados en cada progresiva.

El procedimiento para realizar el modelamiento fue el mismo que se describió en el ítem 4.3.1.1, los resultados que se obtuvieron son los que servirán para realizar el diseño de los enrocados de protección.

En la Figura 4.7 se observa la vista en planta del modelamiento del río Tulumayo con muro y en el cuadro N°4.9 los resultados obtenidos.

Figura N° 4.7: Vista en Planta Modelamiento Hec-Ras río Tulumayo – Con dique



Fuente: Elaboración propia



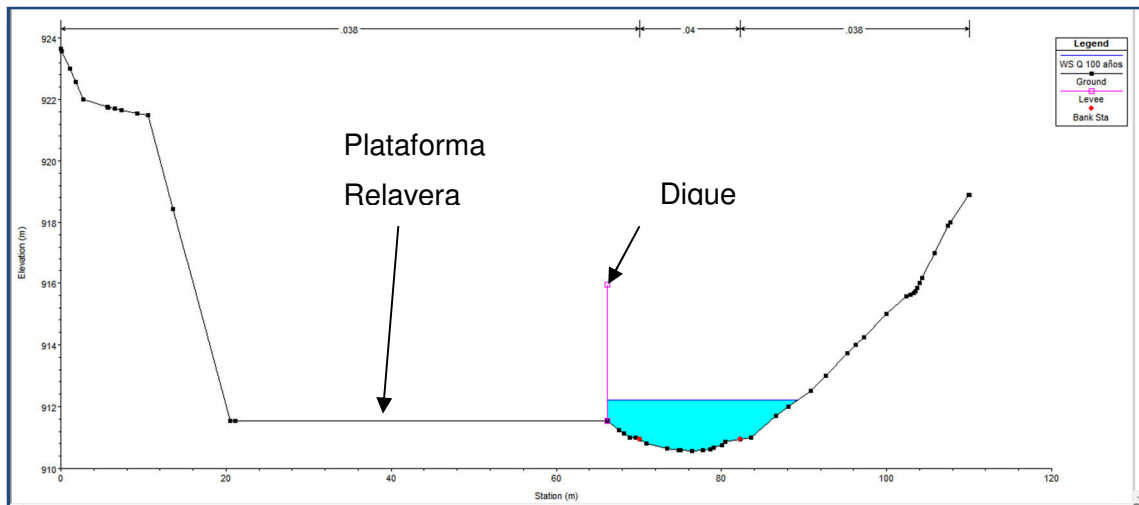
Cuadro N° 4.9: Resultados modelamiento Hec Ras río Tulumayo (con dique)

Progresiva Km	Tr (años)	Nivel de Flujo m.s.n.m.	Cota Fondo m.s.n.m.	Espejo de agua (m)	Área (m ²)	V m/s	Tirante (Y _m) m	Número de Froude
0+000	100	911.08	916.99	35.16	82.59	2.05	4.25	0.32
0+020	100	911.11	916.74	34.31	88.54	1.80	4.25	0.28
0+040	100	911.17	916.52	43.45	111.18	1.43	4.29	0.22
0+060	100	911.17	916.27	44.58	105.14	1.58	4.27	0.25
0+080	100	911.17	916.03	32.32	91.90	1.72	4.24	0.27
0+100	100	911.18	915.53	34.67	86.55	1.95	4.23	0.30
0+120	100	911.18	914.99	32.88	81.68	2.05	4.20	0.32
0+140	100	911.21	914.60	35.18	83.66	2.01	4.21	0.32
0+160	100	911.21	914.22	33.43	75.70	2.18	4.00	0.36
0+180	100	911.23	913.84	32.17	72.03	2.28	3.81	0.38
0+200	100	911.25	913.50	29.44	68.97	2.30	3.62	0.39
0+220	100	911.26	913.15	25.76	62.53	2.46	3.41	0.43
0+240	100	911.23	912.62	24.57	50.41	3.05	3.18	0.57
0+260	100	911.28	911.98	24.68	48.20	3.18	3.05	0.60
0+280	100	911.42	911.70	26.62	51.59	2.91	3.01	0.56
0+300	100	911.48	911.42	23.50	49.14	2.91	2.88	0.58
0+320	100	911.38	911.13	19.91	35.95	4.10	2.60	0.85
0+340	100	911.49	910.85	18.15	34.01	4.43	2.49	0.90
0+360	100	911.94	910.57	20.20	43.48	3.50	2.94	0.65
0+380	100	912.17	910.29	21.35	52.13	2.83	3.17	0.51
0+400	100	912.26	910.01	23.26	55.30	2.70	3.26	0.48
0+420	100	912.25	909.74	22.77	47.72	3.02	3.04	0.57
0+440	100	912.34	909.47	26.65	49.21	3.04	2.87	0.58
0+460	100	912.39	909.21	27.67	46.76	3.23	2.65	0.64
0+480	100	912.57	909.00	28.32	50.21	2.91	2.56	0.60
0+500	100	912.60	909.00	26.65	43.96	3.20	2.31	0.71
0+520	100	912.21	909.00	23.06	27.28	5.09	1.64	1.33
0+540	100	912.81	909.00	23.24	30.43	4.77	1.96	1.12
0+560	100	913.38	908.78	26.81	36.54	3.98	2.25	0.90
0+580	100	913.95	908.60	33.94	59.31	2.45	2.53	0.50
0+600	100	913.97	908.41	36.13	54.30	2.67	2.27	0.58
0+620	100	914.01	908.23	36.02	46.22	2.94	2.03	0.72
0+640	100	913.81	908.05	31.92	24.35	5.36	1.19	1.78
0+660	100	915.05	907.85	31.17	35.20	4.11	1.90	1.02
0+680	100	915.24	907.63	38.18	35.07	4.54	1.74	1.14
0+700	100	915.56	907.42	30.78	33.21	4.48	1.72	1.12
0+720	100	916.07	907.21	30.58	37.99	3.83	1.85	0.93
0+740	100	916.55	907.00	35.01	53.19	2.58	1.95	0.61
0+760	100	916.45	906.98	32.52	33.75	4.08	1.46	1.14
0+780	100	916.63	906.95	36.34	25.90	5.66	1.10	1.78
0+800	100	917.90	906.93	41.12	42.29	3.71	1.87	0.92
0+820	100	918.15	906.90	50.12	44.97	3.59	1.88	0.85
0+840	100	917.94	906.88	26.78	27.54	5.14	1.42	1.41
0+860	100	918.76	906.86	30.76	37.81	3.96	2.02	0.91
0+880	100	919.23	906.83	38.03	49.39	3.07	2.24	0.69

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°4.8 se observa la sección 0+520 del modelamiento considerando el dique en la zona en donde existía el desbordamiento.

Figura N° 4.8: Sección 0+520 Modelamiento Hec-ras río Tulumayo – Con Dique



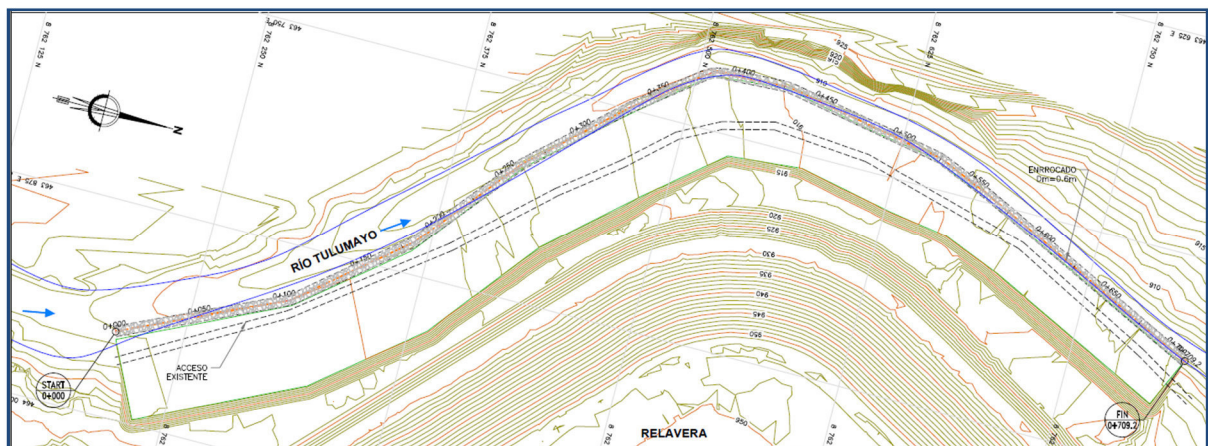
Fuente: Elaboración propia

4.3.1.3 TRAZO EN PLANTA DEL EJE DEL ENROCADO

Del modelamiento realizado en el río Tulumayo, se determinaron las zonas de desbordamiento del cauce en época de avenidas, esta zona se encuentra en el ámbito de la plataforma que se encuentra al pie del Talud de la Relavera.

El eje del enrocado se trazó a lo largo de la plataforma mencionada, en total 709m de longitud. (Ver Figura N° 4.9)

Figura N° 4.9: Vista en Planta Eje trazo enrocado



Fuente: Elaboración propia

Los parámetros hidráulicos, que sirven como datos para el diseño, pertenecientes a cada progresiva del eje del enrocado propuesto se obtuvieron relacionándolo con el eje del río que fue utilizado para el modelamiento. (Ver Cuadro N° 4.10)



Cuadro N° 4.10: Parámetros hidráulicos eje del Enrocado

Progresiva Modelo	Progresiva eje Enrocado	Q (m ³ /s)	Nivel de Flujo	Cota Fondo	V (m/s)	Tirante (m)	A (m ²)	Espejo de agua (m)	Número de Froude
0+780	0+000	124.20	916.63	915.53	3.14	1.10	25.90	36.34	1.78
0+760	0+020	124.20	916.45	914.99	4.08	1.46	33.75	32.52	1.14
0+740	0+040	124.20	916.55	914.60	2.58	1.95	53.19	35.01	0.61
0+720	0+060	124.20	916.07	914.22	3.83	1.85	37.99	30.58	0.93
0+700	0+080	124.20	915.56	913.84	4.48	1.72	33.21	30.78	1.12
0+680	0+100	124.20	915.24	913.50	4.54	1.74	35.07	38.18	1.14
0+660	0+120	124.20	915.05	913.15	4.11	1.90	35.20	31.17	1.02
0+640	0+140	124.20	913.81	912.62	3.83	1.19	24.35	31.92	1.78
0+620	0+160	124.20	914.01	911.98	2.94	2.03	46.22	36.02	0.72
0+600	0+180	124.20	913.97	911.70	2.67	2.27	54.30	36.13	0.58
0+580	0+200	124.20	913.95	911.42	2.45	2.53	59.31	33.94	0.50
0+560	0+220	124.20	913.38	911.13	3.98	2.25	36.54	26.81	0.90
0+540	0+240	124.20	912.81	910.85	4.77	1.96	30.43	23.24	1.12
0+520	0+260	124.20	912.21	910.57	5.09	1.64	27.28	23.06	1.33
0+500	0+280	124.20	912.60	910.29	3.20	2.31	43.96	26.65	0.71
0+480	0+300	124.20	912.57	910.01	2.91	2.56	50.21	28.32	0.60
0+460	0+320	124.20	912.39	909.74	3.23	2.65	46.76	27.67	0.64
0+440	0+340	124.20	912.34	909.47	3.04	2.87	49.21	26.65	0.58
0+420	0+360	124.20	912.25	909.21	3.02	3.04	47.72	22.77	0.57
0+400	0+380	124.20	912.26	909.00	2.70	3.26	55.30	23.26	0.48
0+380	0+400	124.20	912.17	909.00	2.83	3.17	52.13	21.35	0.51
0+360	0+420	124.20	911.94	909.00	3.50	2.94	43.48	20.20	0.65
0+340	0+440	124.20	911.49	909.00	4.43	2.49	34.01	18.15	0.90
0+320	0+460	124.20	911.38	908.78	4.10	2.60	35.95	19.91	0.85
0+300	0+480	124.20	911.48	908.60	3.78	2.88	49.14	23.50	0.58
0+280	0+500	124.20	911.42	908.41	3.78	3.01	51.59	26.62	0.56
0+260	0+520	124.20	911.28	908.23	4.13	3.05	48.20	24.68	0.60
0+240	0+540	124.20	911.23	908.05	3.97	3.18	50.41	24.57	0.57
0+220	0+560	124.20	911.26	907.85	3.20	3.41	62.53	25.76	0.43
0+200	0+580	124.20	911.25	907.63	2.99	3.62	68.97	29.44	0.39
0+180	0+600	124.20	911.23	907.42	2.96	3.81	72.03	32.17	0.38
0+160	0+620	124.20	911.21	907.21	2.83	4.00	75.70	33.43	0.36
0+140	0+640	124.20	911.21	907.00	2.61	4.21	83.66	35.18	0.32
0+120	0+660	124.20	911.18	906.98	2.67	4.20	81.68	32.88	0.32
0+100	0+680	124.20	911.18	906.95	2.54	4.23	86.55	34.67	0.30
0+080	0+700	124.20	911.17	906.93	2.24	4.24	91.90	32.32	0.27
0+080	0+709	124.20	911.17	906.93	2.24	4.24	91.90	32.32	0.27

Fuente: Elaboración propia

Las velocidad promedio obtenida es 3.39 m/s, siendo la velocidad mínima 2.24 y la máxima 5.09 m/s, los tirantes van desde 1.10 a 4.24 m como mínimo y máximo respectivamente y el tirante promedio es 2.74 m. Se observa el número de Froude mayor a 1 entre las progresivas 0+000 al 0+140 (excepto 0+040 y 0+060) esto debido a que en dichas zonas se presentan los tirantes mínimos entre 1.10 y 1.72 m.



4.3.1.4 CÁLCULO DEL NIVEL DE CIMENTACIÓN DEL ENROCADO

4.3.1.4.1 CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD SOCAVACIÓN

El nivel de cimentación del enrocado se determinará a partir del análisis de socavación para el cual utilizará el método propuesto por LISCHTVAN-LEBEDIEV, para suelos no cohesivos.

$$H_s = \left(\frac{\alpha \cdot H_0^{5/3}}{0.68 d_m^{0.28} \cdot \beta} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$
$$\alpha = \frac{Q}{Be \cdot y_m^{5/3}}$$

Dónde:

H_s : Profundidad total de erosión (m)

H_0 : Profundidad media (m)

Be : Sección estable determinada (m)

β : Coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida de análisis

d_m : Diámetro medio de los granos de fondo (mm)

x : Exponente para material no cohesivo en función del peso específico

y_m : Tirante medio (m)

Datos iniciales:

$$d_m = 0.50 \text{ mm}$$

$$\beta = 1.01 \text{ (ver cuadro N}^\circ\text{3.1)}$$

$$x = 0.30 \text{ (ver cuadro N}^\circ\text{ 3.2)}$$

Para la progresiva 0+000

- Cálculo del valor de α :

$$\alpha = \frac{124.2}{36.24 \times 0.71^{5/3}}$$
$$\alpha = 6.01$$

- Cálculo del valor de H_s :

$$H_s = \left(\frac{6.01 \times 0.71^{5/3}}{0.68 \times 0.50^{0.28} \times 1.01} \right)^{\frac{1}{1+0.30}}$$
$$H_s = 3.58 \text{ m}$$

- Cálculo de la profundidad de socavación (e):

$$e = H_s - H_0$$

$$e = 2.87 \text{ m}$$



La profundidad de socavación que se produce en la progresiva 0+000 es de 2.87 m, los resultados para las demás progresivas se muestran en el cuadro N° 4.11.

Cuadro N° 4.11: Resultados del cálculo profundidad de socavación

Progresiva	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Ho (m)	Be (m)	A (m ²)	y _m (m)	d _m (mm)	β	x	α	Hs (m)	Socavación(e) (m)
0+000	124.2	5.66	0.71	36.34	25.90	0.71	0.50	1.01	0.41	6.01	3.58	2.87
0+020	124.2	4.08	1.04	32.52	33.75	1.04	0.50	1.01	0.41	3.59	3.87	2.84
0+040	124.2	2.58	1.52	35.01	53.19	1.52	0.50	1.01	0.41	1.77	3.68	2.16
0+060	124.2	3.83	1.24	30.58	37.99	1.24	0.50	1.01	0.41	2.83	4.05	2.81
0+080	124.2	4.48	1.08	30.78	33.21	1.08	0.50	1.01	0.41	3.56	4.03	2.95
0+100	124.2	4.54	0.92	38.18	35.07	0.92	0.50	1.01	0.41	3.75	3.46	2.54
0+120	124.2	4.11	1.13	31.17	35.20	1.13	0.50	1.01	0.41	3.25	3.99	2.86
0+140	124.2	5.36	0.76	31.92	24.35	0.76	0.50	1.01	0.41	6.11	3.93	3.16
0+160	124.2	2.94	1.28	36.02	46.22	1.28	0.50	1.01	0.41	2.28	3.60	2.32
0+180	124.2	2.67	1.50	36.13	54.30	1.50	0.50	1.01	0.41	1.74	3.60	2.09
0+200	124.2	2.45	1.75	33.94	59.31	1.75	0.50	1.01	0.41	1.44	3.76	2.01
0+220	124.2	3.98	1.36	26.81	36.54	1.36	0.50	1.01	0.41	2.77	4.44	3.08
0+240	124.2	4.77	1.31	23.24	30.43	1.31	0.50	1.01	0.41	3.41	4.92	3.61
0+260	124.2	5.09	1.18	23.06	27.28	1.18	0.50	1.01	0.41	4.07	4.94	3.76
0+280	124.2	3.20	1.65	26.65	43.96	1.65	0.50	1.01	0.41	2.02	4.46	2.81
0+300	124.2	2.91	1.77	28.32	50.21	1.77	0.50	1.01	0.41	1.69	4.27	2.50
0+320	124.2	3.23	1.69	27.67	46.76	1.69	0.50	1.01	0.41	1.87	4.35	2.66
0+340	124.2	3.04	1.85	26.65	49.21	1.85	0.50	1.01	0.41	1.68	4.46	2.62
0+360	124.2	3.02	2.10	22.77	47.72	2.10	0.50	1.01	0.41	1.59	4.99	2.89
0+380	124.2	2.70	2.38	23.26	55.30	2.38	0.50	1.01	0.41	1.26	4.91	2.54
0+400	124.2	2.83	2.44	21.35	52.13	2.44	0.50	1.01	0.41	1.31	5.22	2.78
0+420	124.2	3.50	2.15	20.20	43.48	2.15	0.50	1.01	0.41	1.71	5.43	3.28
0+440	124.2	4.43	1.87	18.15	34.01	1.87	0.50	1.01	0.41	2.40	5.86	3.99
0+460	124.2	4.10	1.81	19.91	35.95	1.81	0.50	1.01	0.41	2.33	5.49	3.68
0+480	124.2	2.91	2.09	23.50	49.14	2.09	0.50	1.01	0.41	1.55	4.88	2.79
0+500	124.2	2.91	1.94	26.62	51.59	1.94	0.50	1.01	0.41	1.55	4.47	2.53
0+520	124.2	3.18	1.95	24.68	48.20	1.95	0.50	1.01	0.41	1.65	4.71	2.76
0+540	124.2	3.05	2.05	24.57	50.41	2.05	0.50	1.01	0.41	1.53	4.73	2.68
0+560	124.2	2.46	2.43	25.76	62.53	2.43	0.50	1.01	0.41	1.10	4.57	2.14
0+580	124.2	2.30	2.34	29.44	68.97	2.34	0.50	1.01	0.41	1.02	4.16	1.82
0+600	124.2	2.28	2.24	32.17	72.03	2.24	0.50	1.01	0.41	1.01	3.90	1.67
0+620	124.2	2.18	2.26	33.43	75.70	2.26	0.50	1.01	0.41	0.95	3.80	1.54
0+640	124.2	2.01	2.38	35.18	83.66	2.38	0.50	1.01	0.41	0.83	3.66	1.29
0+660	124.2	2.05	2.48	32.88	81.68	2.48	0.50	1.01	0.41	0.83	3.84	1.36
0+680	124.2	1.95	2.50	34.67	86.55	2.50	0.50	1.01	0.41	0.78	3.70	1.21
0+700	124.2	1.72	2.84	32.32	91.90	2.84	0.50	1.01	0.41	0.67	3.89	1.05
0+709	124.2	1.72	2.84	32.32	91.90	2.84	0.50	1.01	0.41	0.67	3.89	1.05

Fuente: Elaboración propia

Las profundidades de socavación obtenidas tienen como mínimo valor a 1.05m y 3.99m como máximo y 2.40m como promedio.

4.3.1.4.2 CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE LA UÑA (P)

Determinada la profundidad de socavación, ésta indica hasta donde excavaría el río, profundidad hasta la cual deberán llegar las cimentaciones de las estructuras, esta



profundidad depende del tipo de material que se consideró en el cálculo, suelos no cohesivos.

De las profundidades de socavación obtenidas se observa que: entre las progresivas 0+000 al 0+560 existe en promedio 3.00m de profundidad y entre las progresivas 0+560 al 0+709 hay 1.50m en promedio, lo que indica que el valor de la profundidad de la uña (P) adopta los valores mencionados de 3.00 y 1.50m para cada tramo mencionado.

Cuadro N° 4.12: Resultados del cálculo para la profundidad de la uña (P)

Progresiva	Tr (años)	Cota Fondo	Socavación	Cota de Socavación	Altura de la uña (P)
m	años	m.s.n.m.	m	m.s.n.m.	m
0+000	100	915.53	2.87	912.66	3.00
0+020	100	914.99	2.84	912.15	
0+040	100	914.60	2.16	912.44	
0+060	100	914.22	2.81	911.41	
0+080	100	913.84	2.95	910.89	
0+100	100	913.50	2.54	910.96	
0+120	100	913.15	2.86	910.29	
0+140	100	912.62	3.16	909.46	
0+160	100	911.98	2.32	909.66	
0+180	100	911.70	2.09	909.61	
0+200	100	911.42	2.01	909.41	
0+220	100	911.13	3.08	908.05	
0+240	100	910.85	3.61	907.24	
0+260	100	910.57	3.76	906.81	
0+280	100	910.29	2.81	907.48	
0+300	100	910.01	2.50	907.51	
0+320	100	909.74	2.66	907.08	
0+340	100	909.47	2.62	906.85	
0+360	100	909.21	2.89	906.32	
0+380	100	909.00	2.54	906.46	
0+400	100	909.00	2.78	906.22	
0+420	100	909.00	3.28	905.72	
0+440	100	909.00	3.99	905.01	
0+460	100	908.78	3.68	905.10	
0+480	100	908.60	2.79	905.81	
0+500	100	908.41	2.53	905.88	
0+520	100	908.23	2.76	905.47	
0+540	100	908.05	2.68	905.37	
0+560	100	907.85	2.14	905.71	
0+580	100	907.63	1.82	905.81	1.50
0+600	100	907.42	1.67	905.75	
0+620	100	907.21	1.54	905.67	
0+640	100	907.00	1.29	905.71	
0+660	100	906.98	1.36	905.62	
0+680	100	906.95	1.21	905.74	
0+700	100	906.93	1.05	905.88	
0+709	100	906.93	1.05	905.88	

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.5 CÁLCULO DE LA ALTURA DEL ENROCADO (H)

La altura del enrocado se define como la diferencia entre la cota del nivel de flujo y la cota socavación, más el borde libre; el valor de la cota del flujo y la velocidad se obtienen del modelamiento HEC RAS del río Tulumayo; para el cálculo del borde libre se utilizará la expresión por energía.

$$H = \text{cotaflujo} - \text{cotasocavación} + f$$

$$f = \phi \left[\frac{V^2}{2g} \right]$$

Donde:

H : Altura del enrocado

f : Borde libre (m)

V : Velocidad (m/s)

ϕ : Coeficiente en función de la máxima descarga

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

Datos:

$\phi = 1.1$ (Ver Cuadro N° 3.3)

Para la progresiva 0+000

- Cálculo del borde libre:

$$f = 1.1 \times \frac{3.14^2}{2 \times 9.81}$$
$$f = 0.55 \text{ m}$$

- Cálculo de la altura del enrocado:

$$H = 916.63 - 912.66 + 0.55$$
$$H = 4.52 \text{ m}$$

La altura del enrocado en la progresiva 0+000 resulta 4.52 m, en el Cuadro N°4.13 se muestran las alturas para las demás progresivas.

Cuadro N° 4.13: Resultados del cálculo altura del enrocado (H)

Progresiva	Tr (años)	Nivel de Flujo	V	Borde Libre	Cota de Socavación	Altura Enrocado	Altura Total Enrocado (H)
m	años	m.s.n.m.	m/s	m	m.s.n.m.	m	m
0+000	100	916.63	3.14	0.55	912.66	4.52	5.50
0+020	100	916.45	4.08	0.93	912.15	5.23	
0+040	100	916.55	2.58	0.37	912.44	4.48	
0+060	100	916.07	3.83	0.82	911.41	5.48	
0+080	100	915.56	4.48	1.13	910.89	5.80	
0+100	100	915.24	4.54	1.16	910.96	5.44	



Progresiva	Tr (años)	Nivel de Flujo	V	Borde Libre	Cota de Socavación	Altura Enrocado	Altura Total Enrocado (H)
m	años	m.s.n.m.	m/s	m	m.s.n.m.	m	m
0+120	100	915.05	4.11	0.95	910.29	5.71	
0+140	100	913.81	3.83	0.82	909.46	5.18	
0+160	100	914.01	2.94	0.48	909.66	4.84	
0+180	100	913.97	2.67	0.40	909.61	4.76	
0+200	100	913.95	2.45	0.34	909.41	4.88	
0+220	100	913.38	3.98	0.89	908.05	6.22	6.50
0+240	100	912.81	4.77	1.28	907.24	6.84	
0+260	100	912.21	5.09	1.45	906.81	6.85	
0+280	100	912.60	3.20	0.57	907.48	5.70	
0+300	100	912.57	2.91	0.47	907.51	5.54	
0+320	100	912.39	3.23	0.58	907.08	5.89	
0+340	100	912.34	3.04	0.52	906.85	6.00	
0+360	100	912.25	3.02	0.51	906.32	6.44	
0+380	100	912.26	2.70	0.41	906.46	6.21	
0+400	100	912.17	2.83	0.45	906.22	6.40	
0+420	100	911.94	3.50	0.69	905.72	6.91	
0+440	100	911.49	4.43	1.10	905.01	7.58	
0+460	100	911.38	4.10	0.94	905.10	7.22	
0+480	100	911.48	3.78	0.80	905.81	6.47	
0+500	100	911.42	3.78	0.80	905.88	6.34	
0+520	100	911.28	4.13	0.96	905.47	6.77	
0+540	100	911.23	3.97	0.88	905.37	6.74	
0+560	100	911.26	3.20	0.57	905.71	6.13	
0+580	100	911.25	2.99	0.50	905.81	5.94	6.00
0+600	100	911.23	2.96	0.49	905.75	5.97	
0+620	100	911.21	2.83	0.45	905.67	5.99	
0+640	100	911.21	2.61	0.38	905.71	5.88	
0+660	100	911.18	2.67	0.40	905.62	5.96	
0+680	100	911.18	2.54	0.36	905.74	5.80	
0+700	100	911.17	2.24	0.28	905.88	5.57	
0+709	100	911.17	2.24	0.28	905.88	5.57	

Fuente: Elaboración propia

De los cálculos realizados para cada progresiva se obtuvieron diversos valores, siendo el mínimo 4.48 m y el máximo 6.91 m. Para uniformizar la sección del enrocado a lo largo del tramo en estudio se agrupó los valores similares siendo estos:

- Progresiva 0+000 al 0+200 = Altura 5.50 m
- Progresiva 0+200 al 0+560 = Altura 6.50 m
- Progresiva 0+560 al 0+709 = Altura 6.00 m

4.3.1.6 CÁLCULO DEL DIÁMETRO MEDIO DE LA ROCA (D50)

Para determinar el diámetro de la roca se utilizará el método de U.S Department of Transportation, el cual propone las siguientes relaciones:



$$D'_{50} = \frac{0.00594V^3}{\gamma_m^{0.5} \cdot K_1^{1.5}}$$
$$K_1 = \left(1 - \frac{\text{sen}^2\theta}{\text{sen}^2\varphi}\right)^{0.50}$$
$$C = C_{sg} \cdot C_{sf}$$
$$C_{sg} = \frac{2.12}{(\gamma_s - 1)^{1.5}}$$
$$C_{sf} = \left(\frac{FS}{1.2}\right)^{1.5}$$
$$D_{50} = C \cdot D'_{50}$$

Donde:

D_{50} : Diámetro medio de las rocas (m) (el 50% de la muestra tiene el diámetro máximo)

V : Velocidad media del flujo (m/s)

y : Profundidad de flujo (m)

K_1 : Factor de corrección

θ : Ángulo de inclinación del talud

φ : Ángulo de reposo del material enrocado.

C : Factor de corrección

γ_s : Peso específico del material del enrocado.

FS : Factor de seguridad

Datos:

$$\theta = 26.57^\circ \text{ (Talud } Z = 2)$$

$$\varphi = 41^\circ \text{ (Ver Figura N}^\circ \text{ 3.5)}$$

$$\gamma_s = 2.658 \text{ Tn/m}^3 \text{ (estudio de canteras)}$$

Para la progresiva 0+000

- Cálculo K_1 :

$$K_1 = \left(1 - \frac{\text{sen}^2 26.57}{\text{sen}^2 41}\right)^{0.50}$$
$$K_1 = 0.73$$

- Cálculo del factor de corrección por gravedad específica:

$$C_{sg} = \frac{2.12}{(2.658 - 1)^{1.5}}$$
$$C_{sg} = 0.99$$

- Cálculo del factor de corrección por estabilidad, considerando el valor de

FS=1.6:

$$C_{sf} = \left(\frac{1.60}{1.2}\right)^{1.5}$$



$$C_{sf} = 1.54$$

- Cálculo del coeficiente de corrección:

$$C = 0.99 \times 1.54$$

$$C = 1.53$$

- Cálculo del diámetro medio de las rocas:

$$D'_{50} = \frac{0.00594 \times 2.0^3}{2.16^{0.5} \times 0.27^{1.5}}$$

$$D'_{50} = 0.23$$

Multiplicando por el valor del coeficiente de corrección, se obtiene:

$$D_{50} = 0.23 \times 2.14$$

$$D_{50} = 0.43 \text{ m}$$

En el caso de la progresiva 0+000, el valor resultante es 0.43 m como diámetro medio del enrocado, en el cuadro N° 4.14 se observan los resultados para las otras progresivas.

Cuadro N° 4.14: Resultados del cálculo diámetro medio Enrocado

Sección	Tr (años)	Q (m³/s)	V (m/s)	Y _m (m)	K1	φ (°)	D'₅₀ (m)	C	D50 (m)
0+000	100	124.20	3.14	1.10	0.73	41.00	0.28	1.53	0.43
0+020	100	124.20	4.08	1.46	0.73	41.00	0.53	1.53	0.82
0+040	100	124.20	2.58	1.95	0.73	41.00	0.12	1.53	0.18
0+060	100	124.20	3.83	1.85	0.73	41.00	0.39	1.53	0.60
0+080	100	124.20	4.48	1.72	0.73	41.00	0.65	1.53	1.00
0+100	100	124.20	4.54	1.74	0.73	41.00	0.67	1.53	1.03
0+120	100	124.20	4.11	1.90	0.73	41.00	0.48	1.53	0.73
0+140	100	124.20	3.83	1.19	0.73	41.00	0.49	1.53	0.75
0+160	100	124.20	2.94	2.03	0.73	41.00	0.17	1.53	0.26
0+180	100	124.20	2.67	2.27	0.73	41.00	0.12	1.53	0.18
0+200	100	124.20	2.45	2.53	0.73	41.00	0.09	1.53	0.13
0+220	100	124.20	3.98	2.25	0.73	41.00	0.40	1.53	0.61
0+240	100	124.20	4.77	1.96	0.73	41.00	0.74	1.53	1.13
0+260	100	124.20	5.09	1.64	0.73	41.00	0.98	1.53	1.49
0+280	100	124.20	3.20	2.31	0.73	41.00	0.20	1.53	0.31
0+300	100	124.20	2.91	2.56	0.73	41.00	0.15	1.53	0.22
0+320	100	124.20	3.23	2.65	0.73	41.00	0.20	1.53	0.30
0+340	100	124.20	3.04	2.87	0.73	41.00	0.16	1.53	0.24
0+360	100	124.20	3.02	3.04	0.73	41.00	0.15	1.53	0.23
0+380	100	124.20	2.70	3.26	0.73	41.00	0.10	1.53	0.16
0+400	100	124.20	2.83	3.17	0.73	41.00	0.12	1.53	0.18
0+420	100	124.20	3.50	2.94	0.73	41.00	0.24	1.53	0.36
0+440	100	124.20	4.43	2.49	0.73	41.00	0.52	1.53	0.80
0+460	100	124.20	4.10	2.60	0.73	41.00	0.41	1.53	0.62
0+480	100	124.20	3.78	2.88	0.73	41.00	0.30	1.53	0.46
0+500	100	124.20	3.78	3.01	0.73	41.00	0.30	1.53	0.45
0+520	100	124.20	4.13	3.05	0.73	41.00	0.38	1.53	0.59
0+540	100	124.20	3.97	3.18	0.73	41.00	0.33	1.53	0.51
0+560	100	124.20	3.20	3.41	0.73	41.00	0.17	1.53	0.26
0+580	100	124.20	2.99	3.62	0.73	41.00	0.13	1.53	0.20



Sección	Tr (años)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Y _m (m)	K1	φ (°)	D' ₅₀ (m)	C	D50 (m)
0+600	100	124.20	2.96	3.81	0.73	41.00	0.13	1.53	0.19
0+620	100	124.20	2.83	4.00	0.73	41.00	0.11	1.53	0.17
0+640	100	124.20	2.61	4.21	0.73	41.00	0.08	1.53	0.13
0+660	100	124.20	2.67	4.20	0.73	41.00	0.09	1.53	0.13
0+680	100	124.20	2.54	4.23	0.73	41.00	0.08	1.53	0.11
0+700	100	124.20	2.24	4.24	0.73	41.00	0.05	1.53	0.08
0+709	100	124.20	2.24	4.24	0.73	41.00	0.05	1.53	0.08

Fuente: Elaboración propia

En promedio resulta un valor de 0.44 m, por lo tanto, para fines constructivos se utilizará como diámetro medio $D_{50} = 0.60$ m

4.3.1.7 CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DEL ENROCADO (T)

El espesor mínimo del enrocado se determina con las recomendaciones hechas por el cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (1970).

- No debe ser menor que el tamaño máximo de la roca a usarse en el enrocado.

$$T = D_{100} = 0.90 \text{ m}$$

- No debe ser menor de $1.5D_{50}$

$$T = 1.5D_{50} = 0.90 \text{ m}$$

- Por razones constructivas, no deberá ser menor a 30 cm

$$T_{\min} = 0.30 \text{ m}$$

Por lo tanto el espesor de diseño elegido:

$$T_{\text{diseño}} = 0.90 \text{ m}$$

4.3.1.8 CÁLCULO DEL ANCHO DE LA BASE (A)

Calculado la profundidad de socavación, se determinó el valor del ancho del enrocado en la base utilizando la siguiente expresión:

$$A = 1.5e$$

Donde:

A: Ancho del enrocado en la base (m)

e: Profundidad de socavación (m)

Para la progresiva 0+000

- Cálculo de A:

$$A = 1.5 \times 2.62$$

$$A = 3.92 \text{ m}$$

En el cálculo realizado se obtuvieron anchos variables entre 1.57 m como mínimo y 5.64 m como máximo, con la finalidad de uniformizar y definir la sección típica del



enrocado, se agrupó en dos tramos: desde la progresiva 0+000 hasta 0+560 el valor de 4 m y desde la 0+560 a 0+790 el valor de 2.0 m.

Cuadro N° 4.15: Resultados del cálculo ancho de la base (A)

Progresiva	Tr (años)	Socavación	Ancho de la base (A)	Ancho de la base a utilizar (A)
m	años	m	m	m
0+000	100	2.87	4.30	4.00
0+020	100	2.84	4.26	
0+040	100	2.16	3.24	
0+060	100	2.81	4.21	
0+080	100	2.95	4.42	
0+100	100	2.54	3.81	
0+120	100	2.86	4.30	
0+140	100	3.16	4.75	
0+160	100	2.32	3.48	
0+180	100	2.09	3.14	
0+200	100	2.01	3.02	
0+220	100	3.08	4.62	
0+240	100	3.61	5.41	
0+260	100	3.76	5.64	
0+280	100	2.81	4.22	
0+300	100	2.50	3.75	
0+320	100	2.66	3.98	
0+340	100	2.62	3.92	
0+360	100	2.89	4.34	
0+380	100	2.54	3.81	
0+400	100	2.78	4.17	
0+420	100	3.28	4.92	
0+440	100	3.99	5.98	
0+460	100	3.68	5.52	
0+480	100	2.79	4.18	
0+500	100	2.53	3.79	
0+520	100	2.76	4.14	
0+540	100	2.68	4.01	
0+560	100	2.14	3.22	2.00
0+580	100	1.82	2.72	
0+600	100	1.67	2.50	
0+620	100	1.54	2.30	
0+640	100	1.29	1.93	
0+660	100	1.36	2.04	
0+680	100	1.21	1.81	
0+700	100	1.05	1.57	
0+709	100	1.05	1.57	

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 ESTABILIDAD DEL ENROCADO

El análisis de estabilidad de los enrocados se realizará siguiendo los pasos mencionados en el ítem 3.7 utilizando parámetros críticos.

4.3.2.1 CÁLCULO DEL ESFUERZO CORTANTE LOCAL

Utilizando la ec (14)

$$\tau_0 = \frac{\gamma \bar{V}^2}{(18 \text{Log} \frac{12.2y}{D50})^2} \quad \dots (14)$$

De donde se tiene los siguientes datos:

γ : Peso específico del agua = 1000 Kg/m³

V : Velocidad media del agua (m/s) = 3.39 m/s

y : Tirante (m) = 2.74 m

$D50$: Diámetro medio = 0.6 m

Reemplazando los datos en la ecuación (14) se obtiene:

$$\tau_0 = 11.64 \text{ Kg/m}^2$$

4.3.2.2 CÁLCULO DEL ESFUERZO CORTANTE LOCAL EN CURVAS

Para el cálculo de este parámetro se utilizará la Figura N° 3.3, en donde se observa la ecuación siguiente:

$$\frac{\tau_b}{\tau_a} = 2.65 / \left(\frac{r}{w}\right)^{0.5} \quad \dots (a)$$

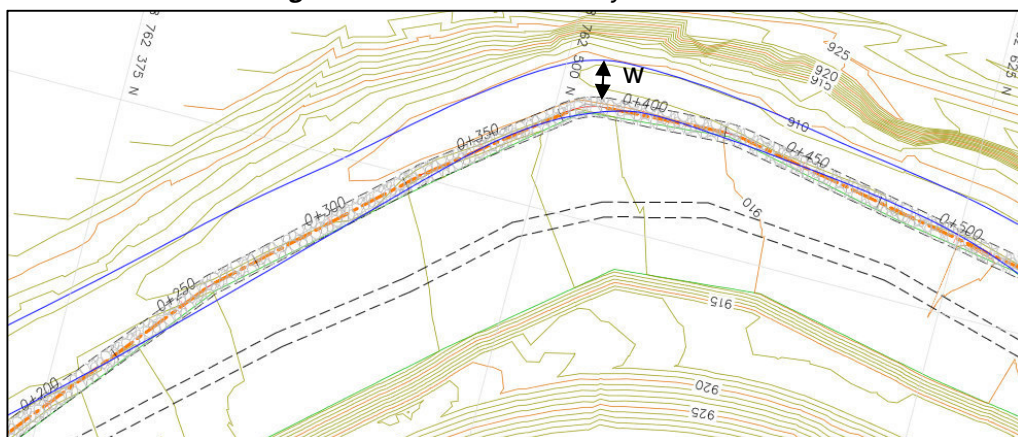
Donde:

r : Radio de curvatura del eje

w : Ancho de la superficie del agua (aguas arriba de la curvatura)

Los valores de r y w se obtienen del Plano P-05 y de la figura N°4.10 para la progresiva 0+400.

Figura N° 4.10: Valores de r y w



Fuente: Elaboración propia

$$r = 40 \text{ m}$$

$$w = 21.35 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación (a) se obtiene:

$$\frac{\tau_b}{\tau_a} = 1.94$$

Luego, el nuevo valor del esfuerzo cortante será:

$$\tau'_0 = 1.94 \times 11.64 = 22.53 \text{ Kg/m}^2$$

4.3.2.3 CÁLCULO DEL ESFUERZO CORTANTE PARA EL FONDO

Utilizando la ec (17)

$$\tau = a(\gamma_s - \gamma)D_{50} \quad \dots (17)$$

De donde se tiene los siguientes datos:

γ_s : Peso específico de la roca. = 2658 Kg/m³

γ : Peso específico del agua. = 1000 Kg/m³

a : Coeficiente, canales anchos asumir 0.04.

D_{50} : Diámetro promedio de la roca. = 0.6 m

Reemplazando en la ecuación (17) se obtiene:

$$\tau = 39.79 \text{ Kg/m}^2$$

4.3.2.4 CÁLCULO DEL ESFUERZO CORTANTE EN EL TALUD

Utilizando la ec (18)

$$\tau' = \tau \left(1 - \frac{\text{Sen}^2 \theta}{\text{Sen}^2 \phi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots (18)$$

Donde:

τ' : Esfuerzo cortante de diseño en los taludes.

θ : Ángulo del talud con la horizontal = 26.57 °

ϕ : Ángulo de reposo del enrocado = 41 °

Reemplazando en la ecuación (18) se obtiene:

$$\tau' = 29.11 \text{ Kg/m}^2$$

Luego, se cumple la relación (20)

$$\tau_0 \leq \tau' \quad \dots (20)$$

$$22.53 \leq 29.11$$

4.3.2.5 FACTOR DE SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO.

Utilizando la ecuación (21)

$$F.S = \frac{tg\phi}{tg\theta} \quad \dots (21)$$

$$F.S = \frac{tg41^\circ}{tg26.57^\circ} = 1.6$$

Conocidos los valores de ϕ y θ , el valor del factor de seguridad resulta:

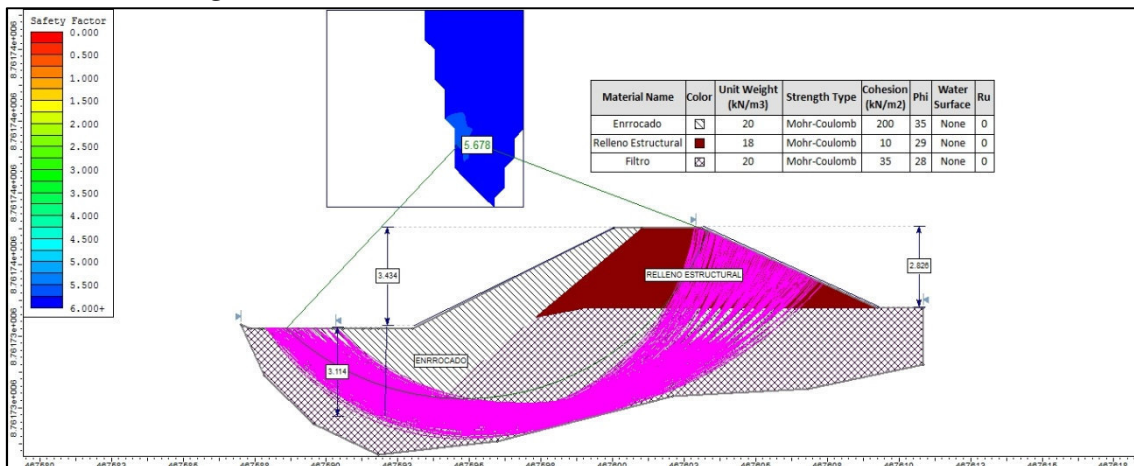
$$F.S = 1.7$$

Se observa que el valor del factor de seguridad es mayor a 1.5, por lo tanto cumple con la seguridad al deslizamiento.

4.3.3 ESTABILIDAD DEL TALUD

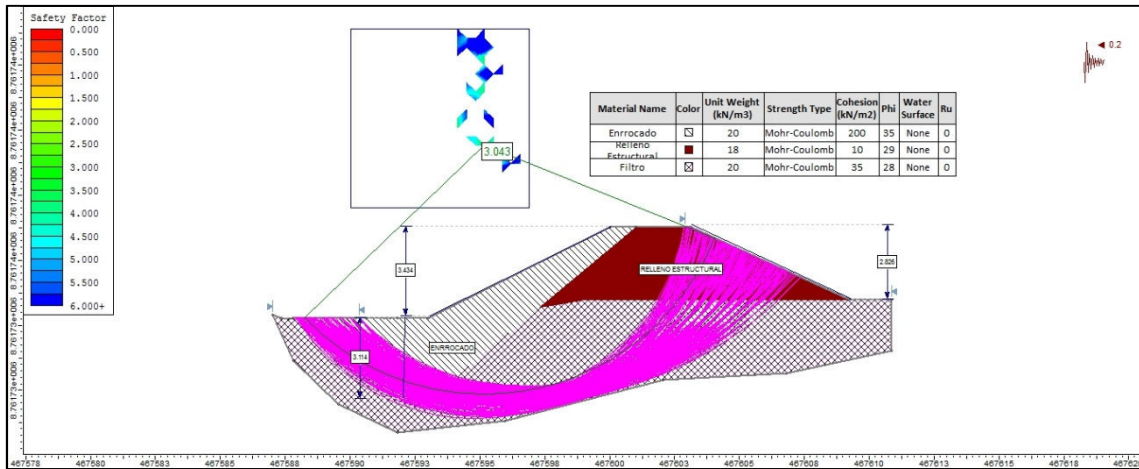
- En elementos no rígidos, como es el caso de un enrocado de protección que consiste en piedra colocada de un diámetro mínimo tal que su peso propio vence a la fuerza de arrastre provocada por el agua, no aplica los análisis para calcular los factores de seguridad al volteo y al deslizamiento.
- Considerando la forma del enrocado se debería aplicar las teorías relacionadas a la estabilidad de taludes, tales como: método de equilibrio límite o métodos numéricos. El método que usualmente se realiza es el de las Dovelas, en donde se obtiene un factor de seguridad que es la relación entre las fuerzas resistentes y las actuantes (recomendado mayor a 1.5 para el caso estático y 1.05 para el caso pseudo-estático).
- Se realizó el análisis de estabilidad del Talud para el caso estático y pseudo-estático del enrocado de protección y el relleno en donde se encuentra acomodado, para ello se utilizó el software Slide 6.0, en donde obtuvo los factores de seguridad global para ambos casos (FS=5.678 para el análisis estático y 3.043 para el análisis pseudo-estático), el resultado del análisis está en el punto más crítico (es decir donde el factor de seguridad es el menor del conjunto de secciones del enrocado)

Figura N° 4.11: Análisis de estabilidad del Talud – Caso Estático



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.12: Análisis de estabilidad del Talud – Caso Pseudo-estático



Fuente: Elaboración propia

5.0 CONCLUSIONES

1. Se realizaron en total 2 modelamientos del río Tulumayo en la zona donde se encuentra en contacto con la plataforma del depósito de relaves “La Esperanza”, utilizando un periodo de retorno de 100 años que tiene un caudal de máximas avenidas de 124.2 m³/s; el primer modelamiento se realizó con el río en su forma inicial con ello se determinó las zonas donde ocurre el desbordamiento y el segundo se realizó con un dique de contención en las zonas de desbordamiento. Los modelamientos se realizaron utilizando el Software HEC RAS 4.1, donde se obtuvieron parámetros hidráulicos como son: velocidad, tirantes y espejo de agua. En el tramo en donde se ubica la plataforma del depósito de relaves se encontraron velocidades que van desde 2.24 a 5.09 m/s y tirantes entre 1.1 y 4.24 m.
2. Con el modelamiento del río Tulumayo se observaron las zonas en donde ocurre el desbordamiento del río, éstas se encuentran en la plataforma de la relavera “La Esperanza”.
Luego, se procedió a trazar el eje del enrocado, para ello se utilizó la vista en planta y se obtuvo un total de 709 m de longitud, cuyo inicio y final del eje se muestra en el cuadro siguiente:

DESCRIPCIÓN	COORDENADAS GAUSS KRÜGER - FAJA(2)			
	INICIO		FINAL	
	Este	Norte	Este	Norte
Eje Enrocado	463949	8762210	463810	8762815

3. Se realizó el análisis de socavación en el río Tulumayo para el eje del enrocado obteniéndose las siguientes profundidades de socavación:

Progresiva	Ho (m)	Hs (m)	Socavación(e) (m)
0+000	0.71	3.58	2.87
0+020	1.04	3.87	2.84
0+040	1.52	3.68	2.16
0+060	1.24	4.05	2.81
0+080	1.08	4.03	2.95



Progresiva	Ho (m)	Hs (m)	Socavación(e) (m)
0+100	0.92	3.46	2.54
0+120	1.13	3.99	2.86
0+140	0.76	3.93	3.16
0+160	1.28	3.60	2.32
0+180	1.50	3.60	2.09
0+200	1.75	3.76	2.01
0+220	1.36	4.44	3.08
0+240	1.31	4.92	3.61
0+260	1.18	4.94	3.76
0+280	1.65	4.46	2.81
0+300	1.77	4.27	2.50
0+320	1.69	4.35	2.66
0+340	1.85	4.46	2.62
0+360	2.10	4.99	2.89
0+380	2.38	4.91	2.54
0+400	2.44	5.22	2.78
0+420	2.15	5.43	3.28
0+440	1.87	5.86	3.99
0+460	1.81	5.49	3.68
0+480	2.09	4.88	2.79
0+500	1.94	4.47	2.53
0+520	1.95	4.71	2.76
0+540	2.05	4.73	2.68
0+560	2.43	4.57	2.14
0+580	2.34	4.16	1.82
0+600	2.24	3.90	1.67
0+620	2.26	3.80	1.54
0+640	2.38	3.66	1.29
0+660	2.48	3.84	1.36
0+680	2.50	3.70	1.21
0+700	2.84	3.89	1.05
0+709	2.84	3.89	1.05

Para fines de constructivos, se uniformizó las profundidades de cimentación, agrupándolos por progresivas, como se muestra en el cuadro siguiente:

Descripción	Progresiva	Altura de la uña (P)
		m
Eje enrocado	0+000 al 0+560	3.0
	0+560 al 0+709	1.5



4. Los resultados de la sección geométrica como son: la altura (H), espesor mínimo (T), ancho (A) y diámetro medio (D50) de los enrocados de protección se muestran en el siguiente cuadro:

Descripción	Progresiva	Altura (H)	Espesor (T)	Ancho (A)	Diámetro medio D50
Eje Enrocado	0+000 al 0+200	5.5	0.9	4.0	0.6
	0+200 al 0+650	6.5	0.9	4.0	0.6
	0+650 al 0+709	6.0	0.9	2.0	0.6

5. La verificación de la estabilidad se realizó en una sección típica, se utilizaron parámetros críticos para asegurar la estabilidad en donde se comprobó que:

- El esfuerzo cortante en el Talud es mayor al esfuerzo cortante local:

$$\tau_0 \leq \tau' \rightarrow 22.53 \leq 29.11$$

- El factor de seguridad al deslizamiento F.S resulta 1.7 que es mayor a 1.5, lo cual asegura la estabilidad.



6.0 RECOMENDACIONES

- Los cálculos de socavación son válidos para ríos con fondos de suelo no cohesivos y sin presencia de rocas.
- Los enrocados deben ejecutarse en la época de estiaje, es decir, entre los meses de mayo a noviembre.
- En caso se encuentre la presencia de roca en la excavación de la profundidad del enrocado, se recomienda colocar la uña hasta el nivel encontrado.
- Se recomienda realizar el mantenimiento del enrocado, en caso se observen los materiales desplazados por cualquier causa, estos deberán colocarse nuevamente de acuerdo a los planos de diseño.



7.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIO MAZA ÁLVAREZ Y MANUEL GARCÍA FLORES.- "Estabilización y Rectificación de ríos", Capítulo 14 del Manual de Ingeniería de Ríos, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1985

LEVIANSKY. - "Introducción a la Hidráulica Fluvial". Editorial Uteha, 1962

LINSLEY KOLHER. - "Hidrología para Ingenieros". Editorial Limusa, USA, 1968

ARTURO ROCHA. - "Introducción a la Hidráulica Fluvial". UNI-FIC, Perú, 1998

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. - "Hidrología Aplicada". McGraw – Hill Interamericana, S.A. Bogotá. Colombia, 1994.

RUBÉN TERÁN - "Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas", Escuela Superior de Administración de Aguas Charles Sutton, 1998

MARTIN VIDE JUAN P. – "Ingeniería Fluvial". Edición Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2003

MARTINEZ MARÍN EDUARDO. – "Hidráulica Fluvial Principios y Práctica", Editorial Bellisco, 2001

CICA INGENIEROS CONSULTORES PERÚ SAC. – "Estudio de Hidrología para el ITS de Recrecimiento del depósito de relaves La Esperanza" - 2015



ANEXO 1

MODELAMIENTO CON HEC-RAS

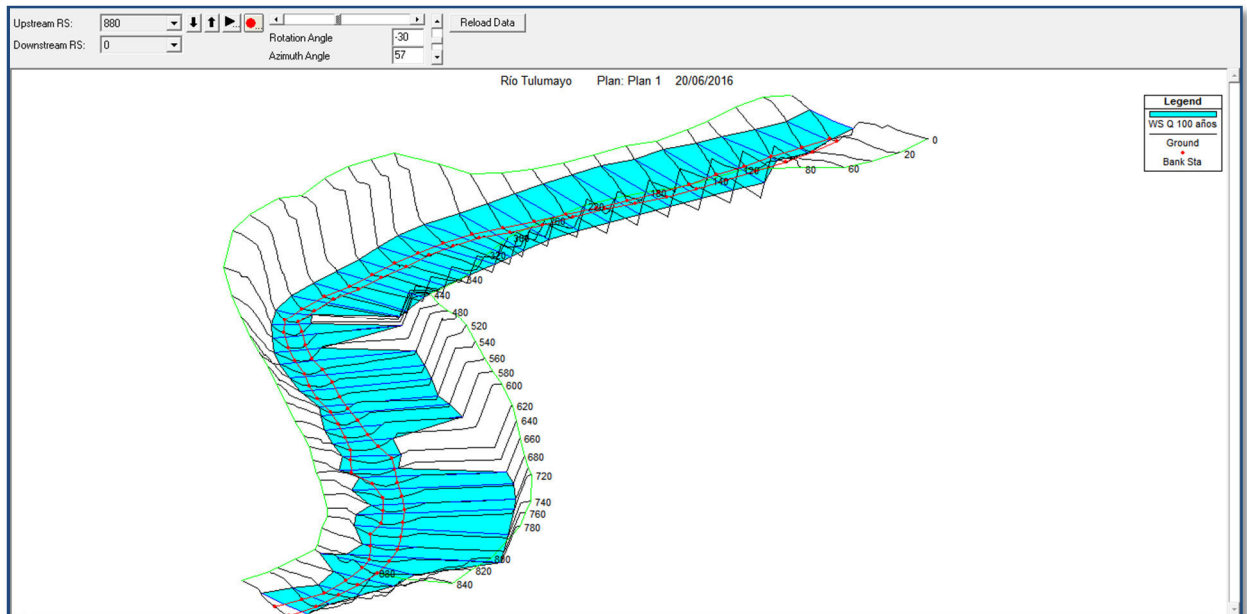
RIO TULUMAYO

(EN FORMA NATURAL)

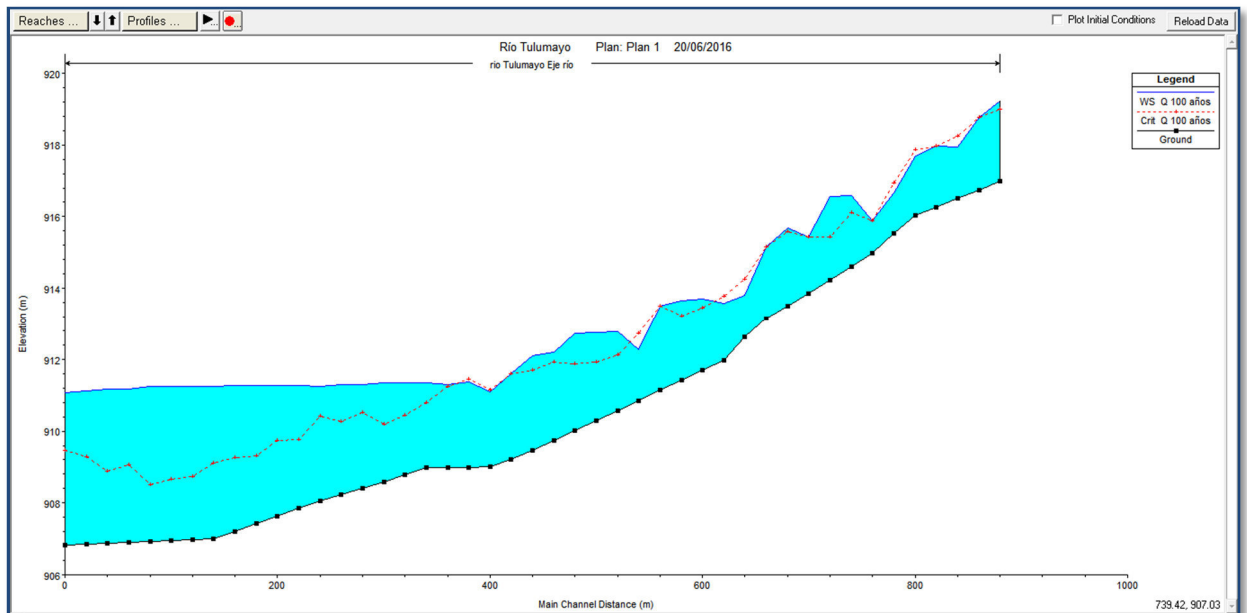


MODELAMIENTO CON HEC RAS RÍO TULUMAYO (EN FORMA NATURAL)

1. PLANTA

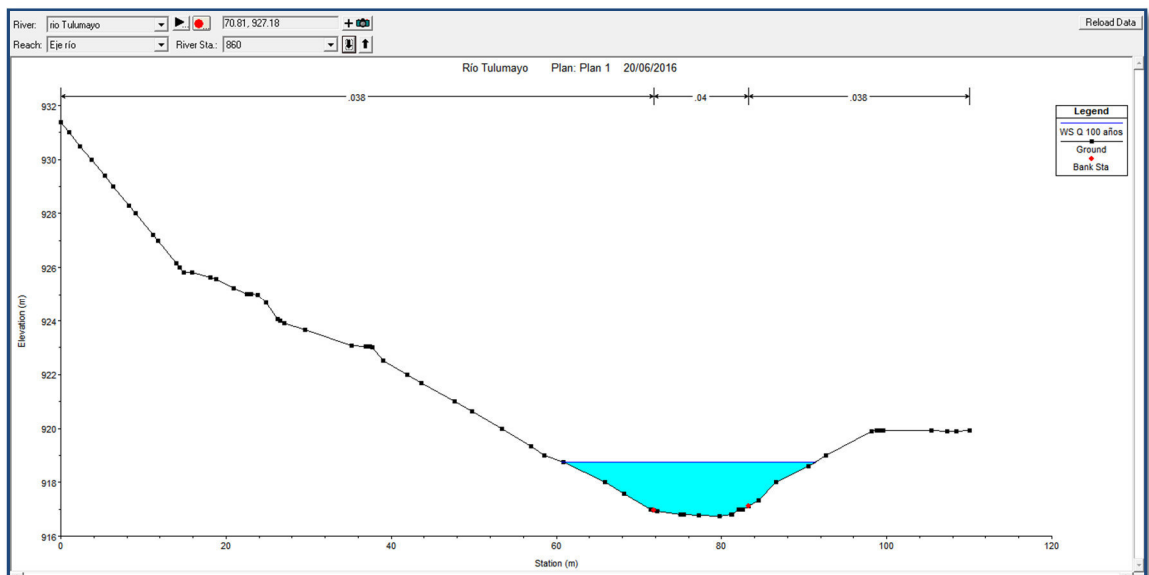
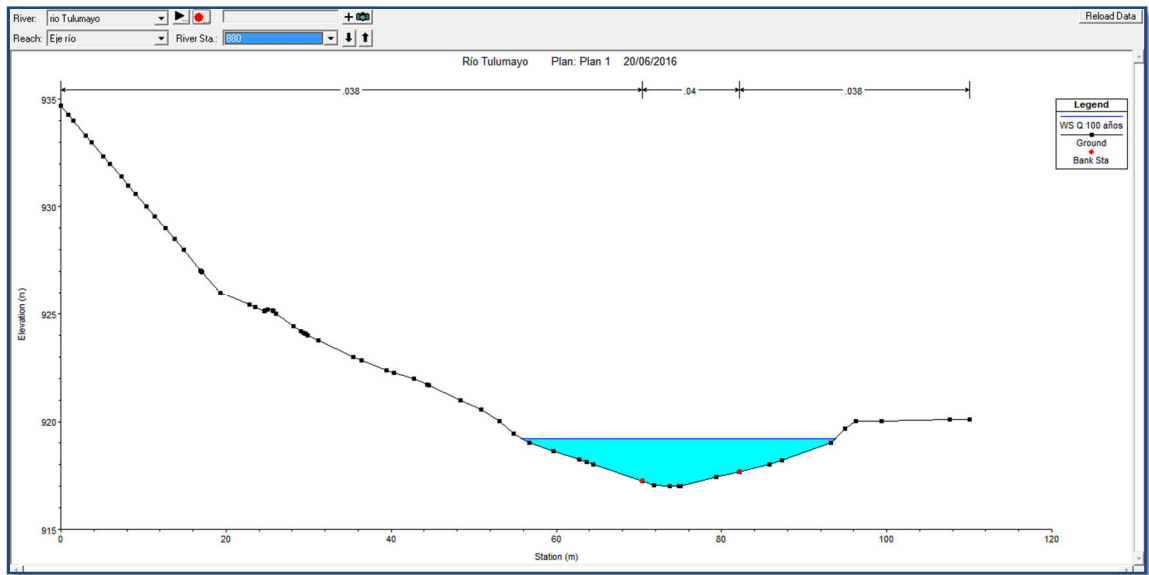


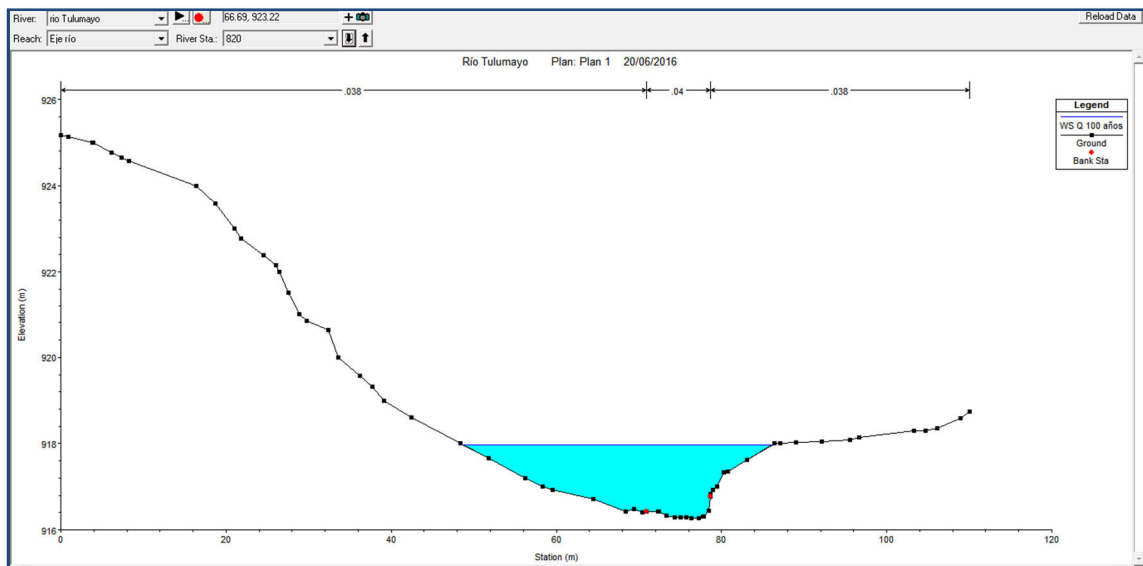
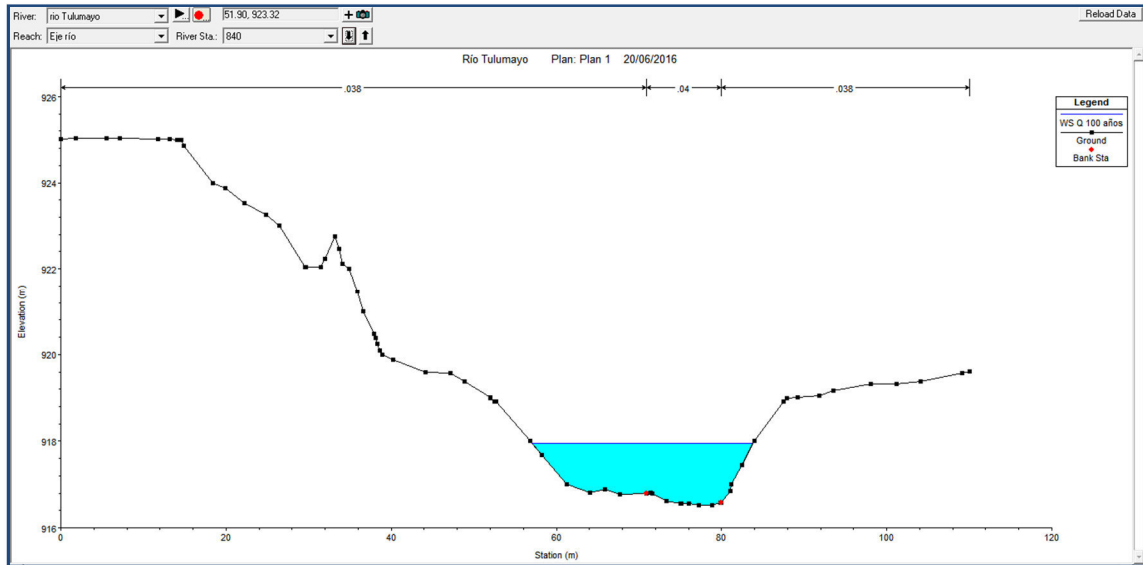
2. PERFIL

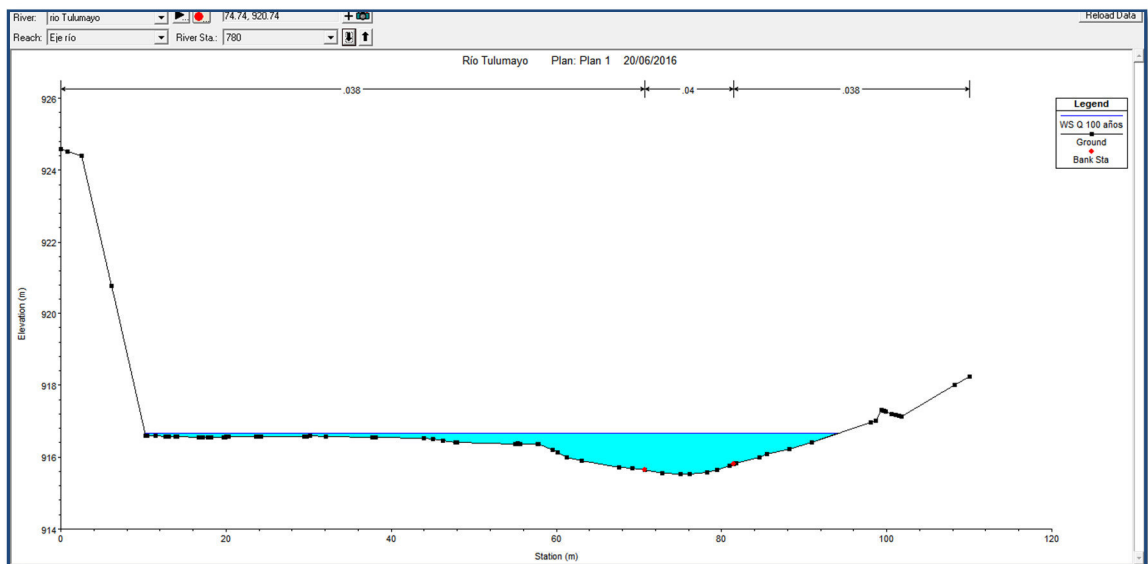
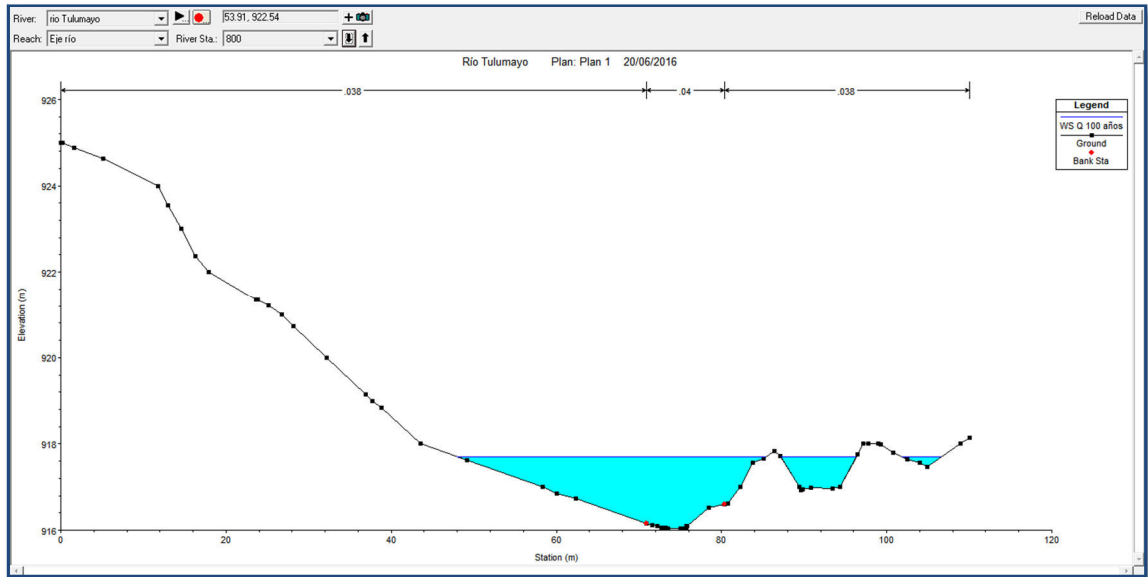


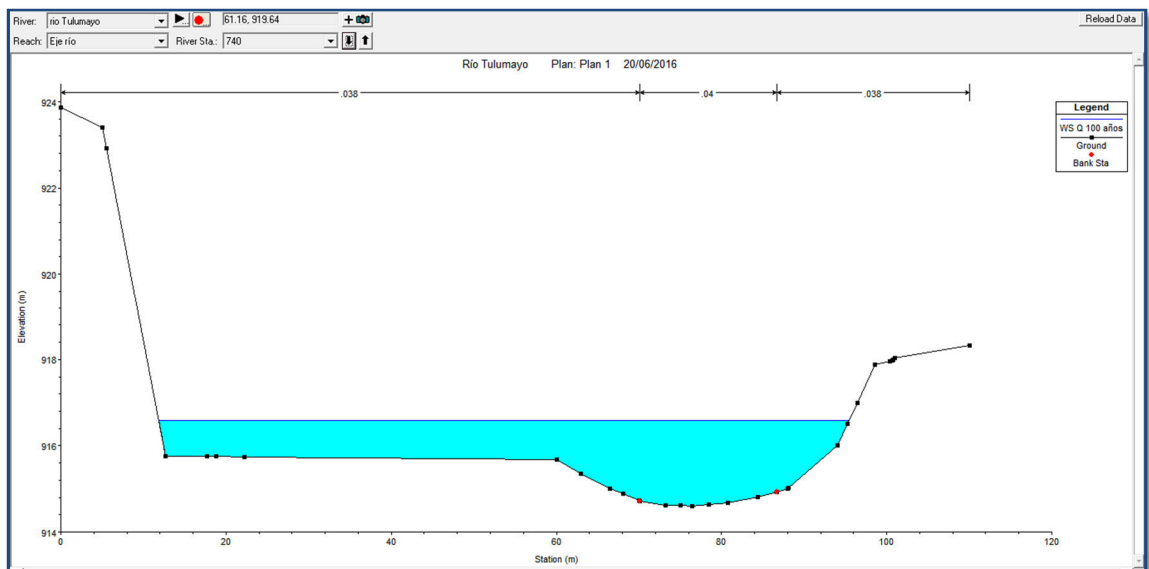
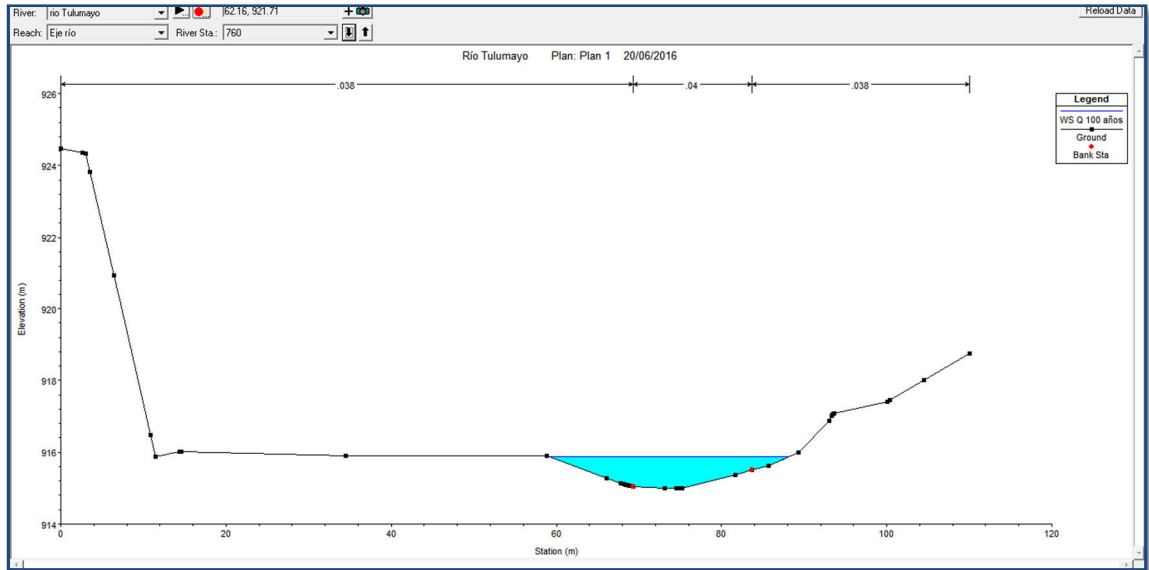


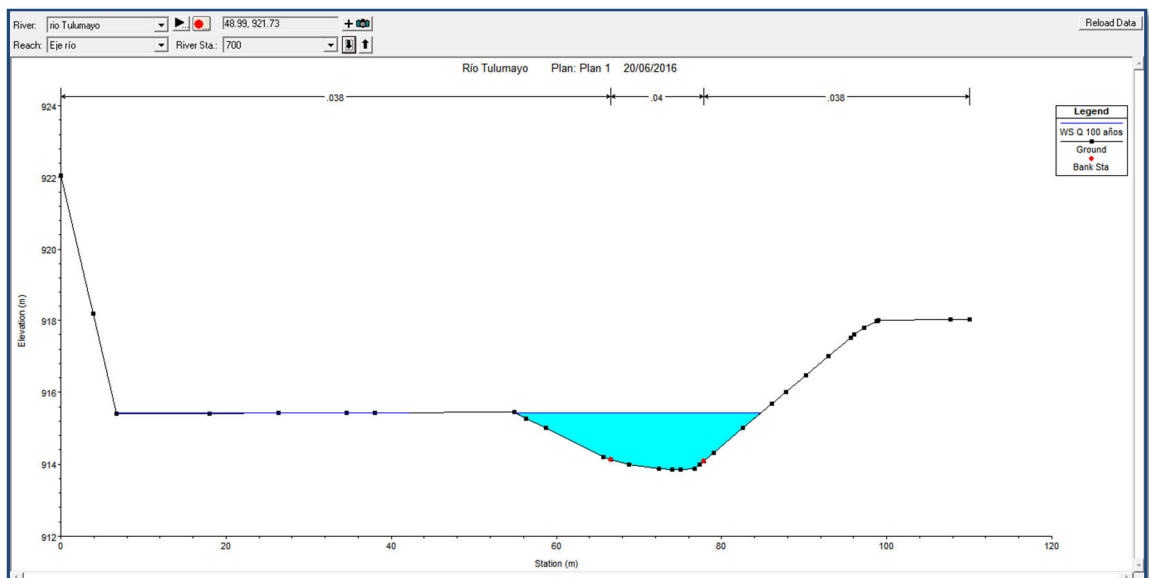
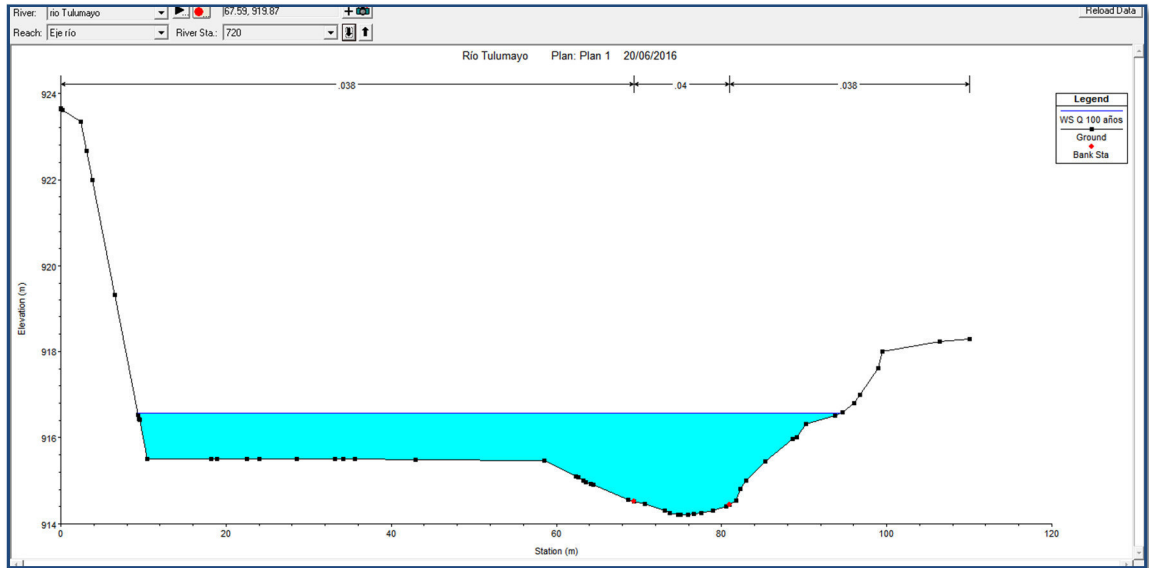
3. SECCIONES

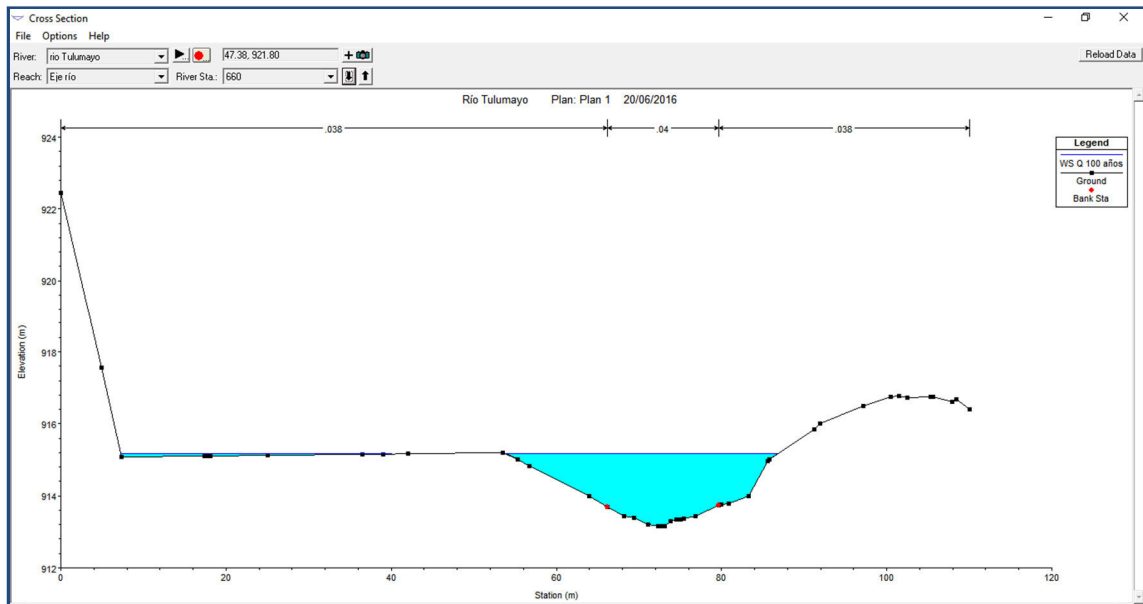
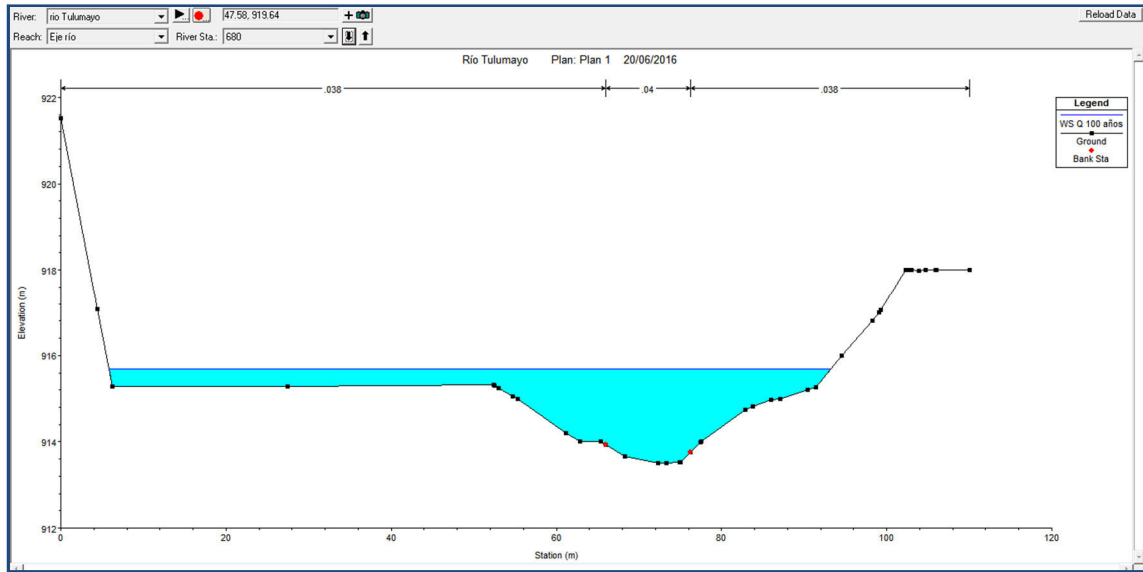


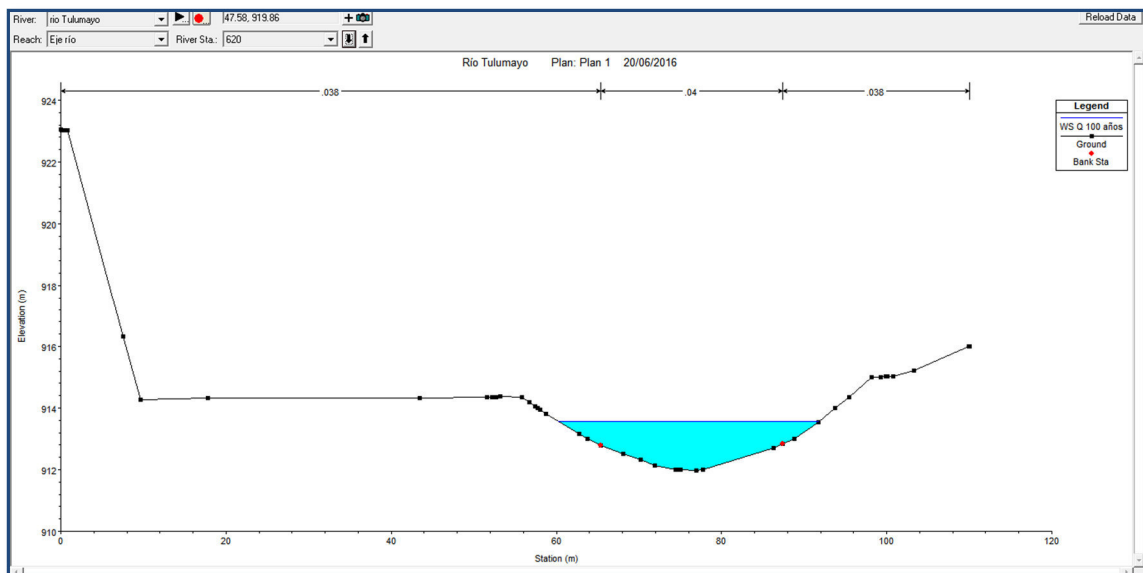
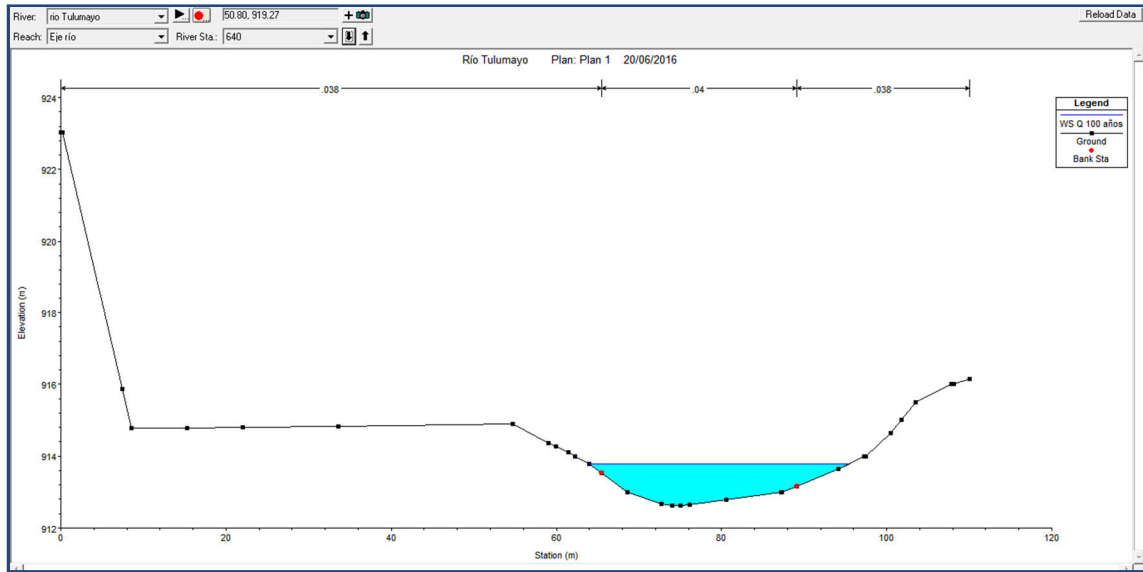


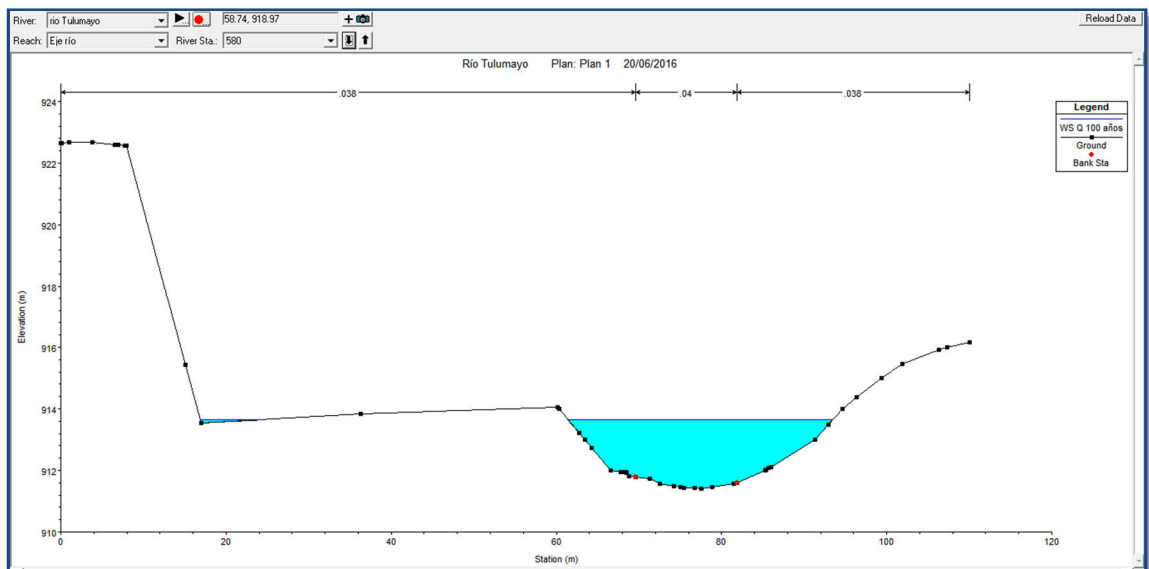
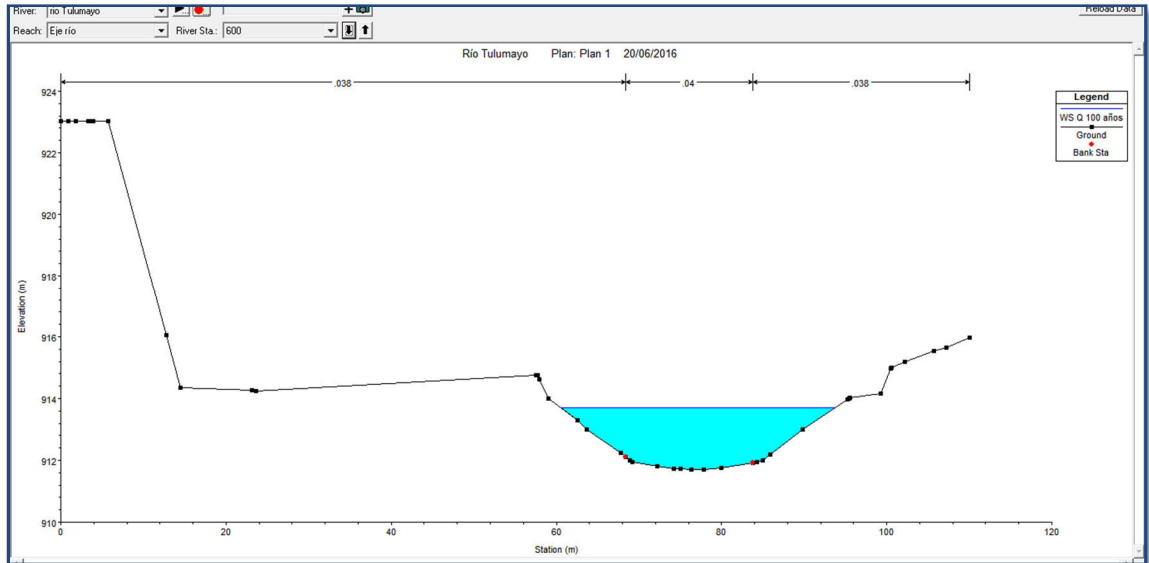


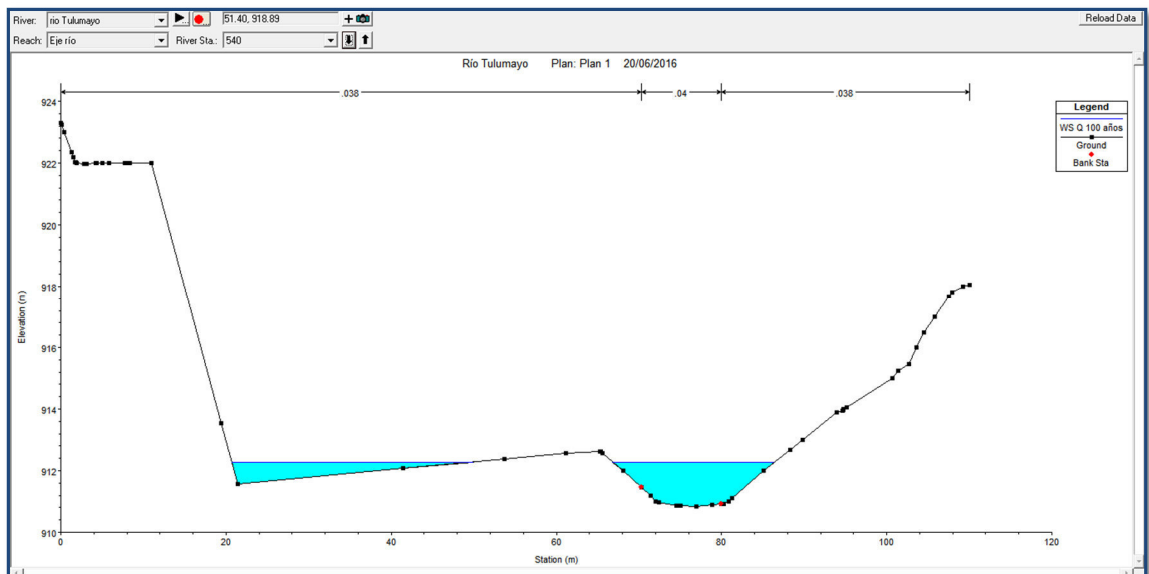
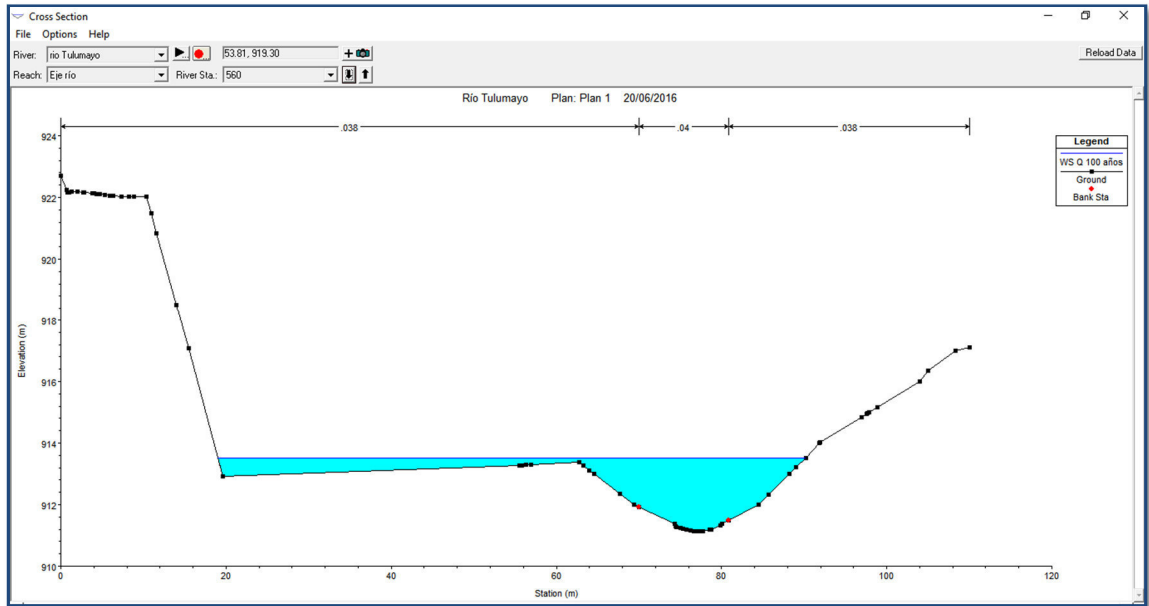


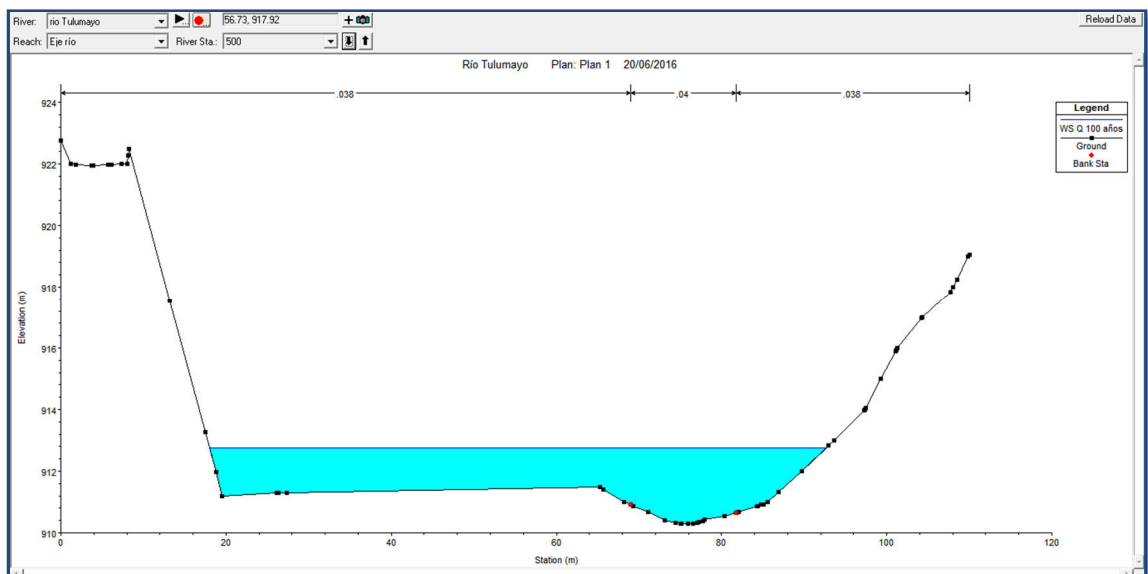
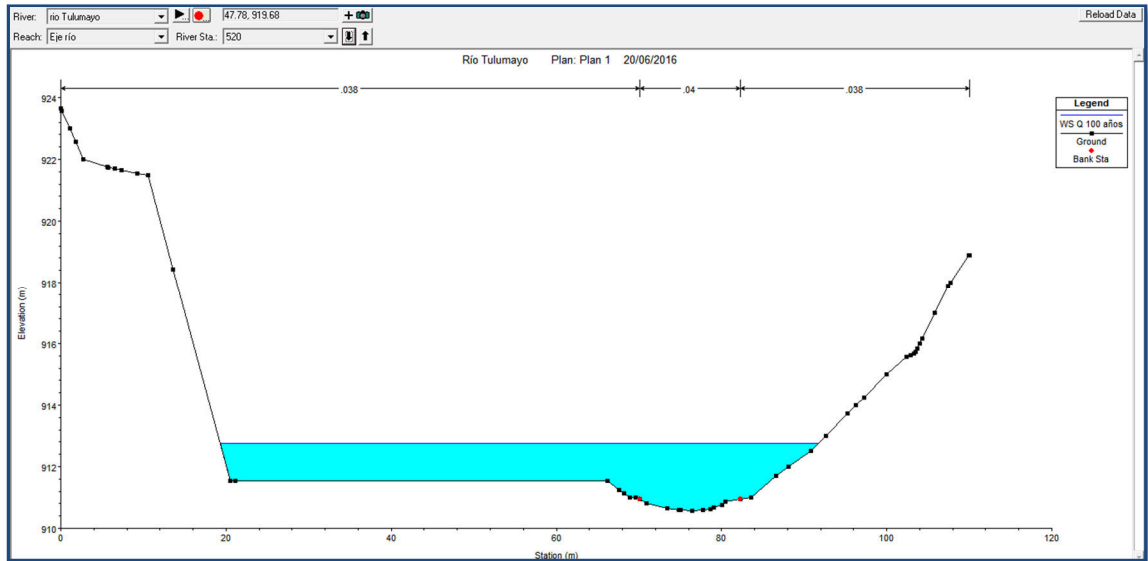


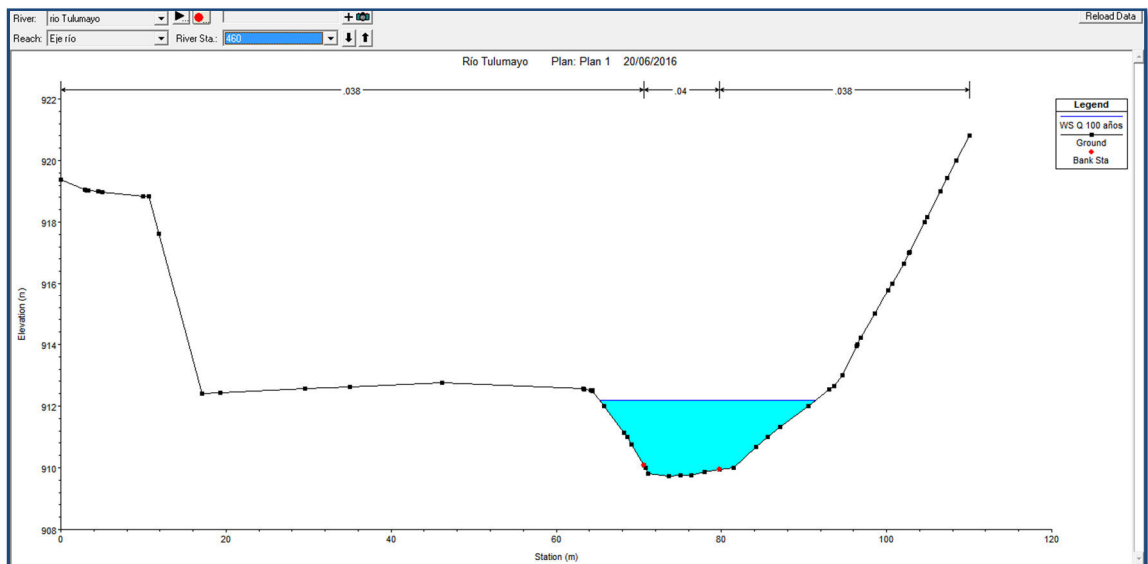
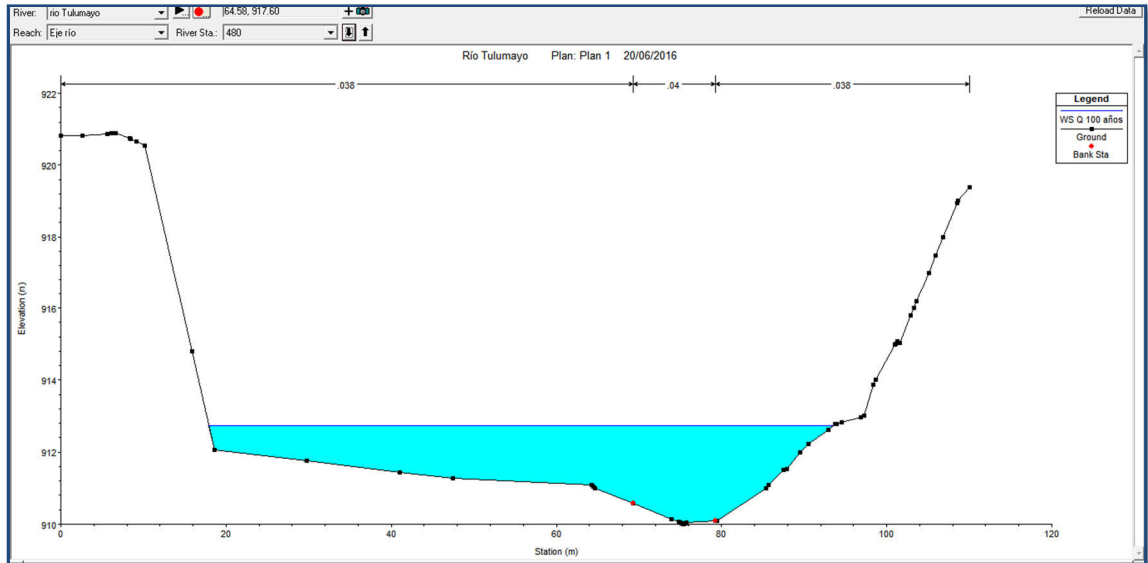


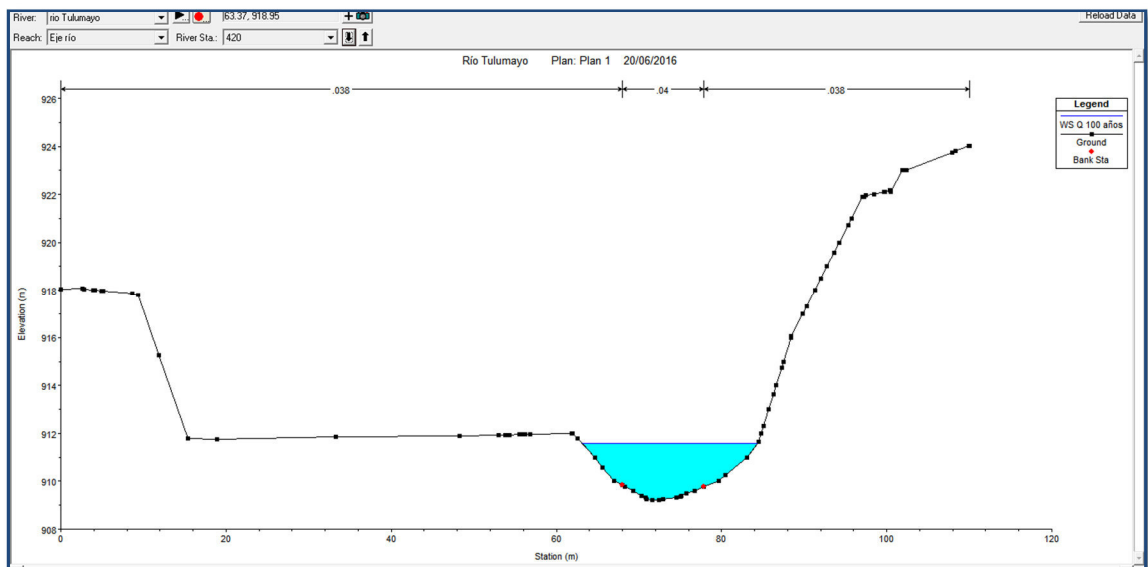
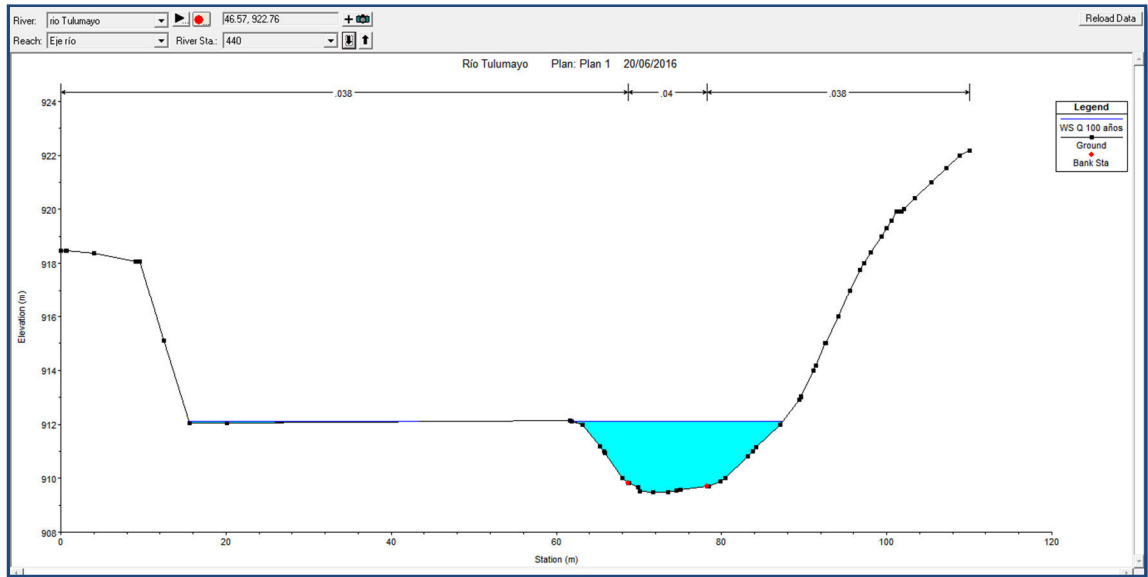


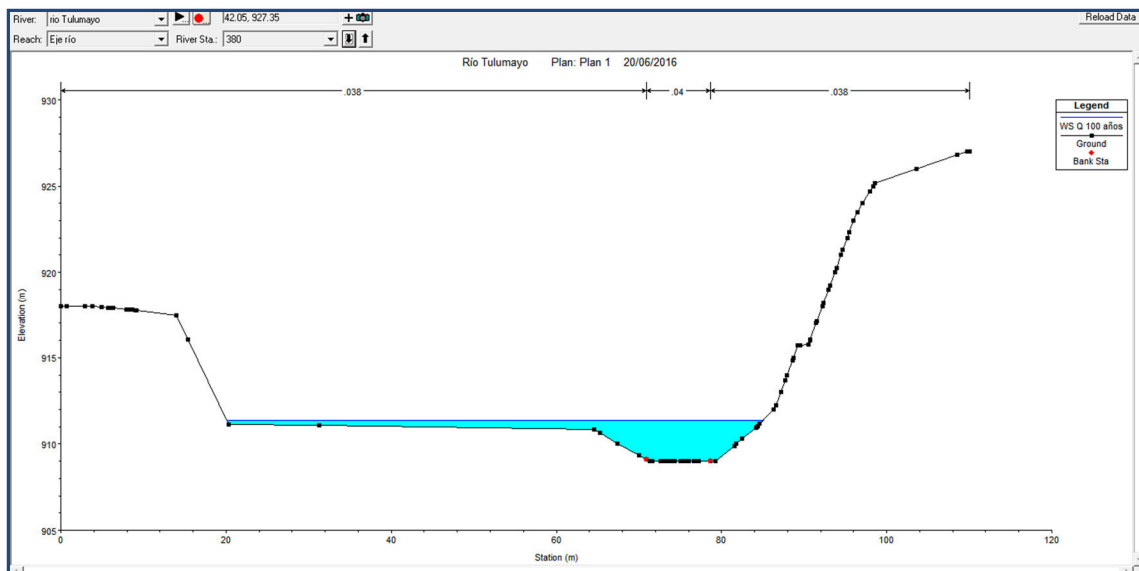
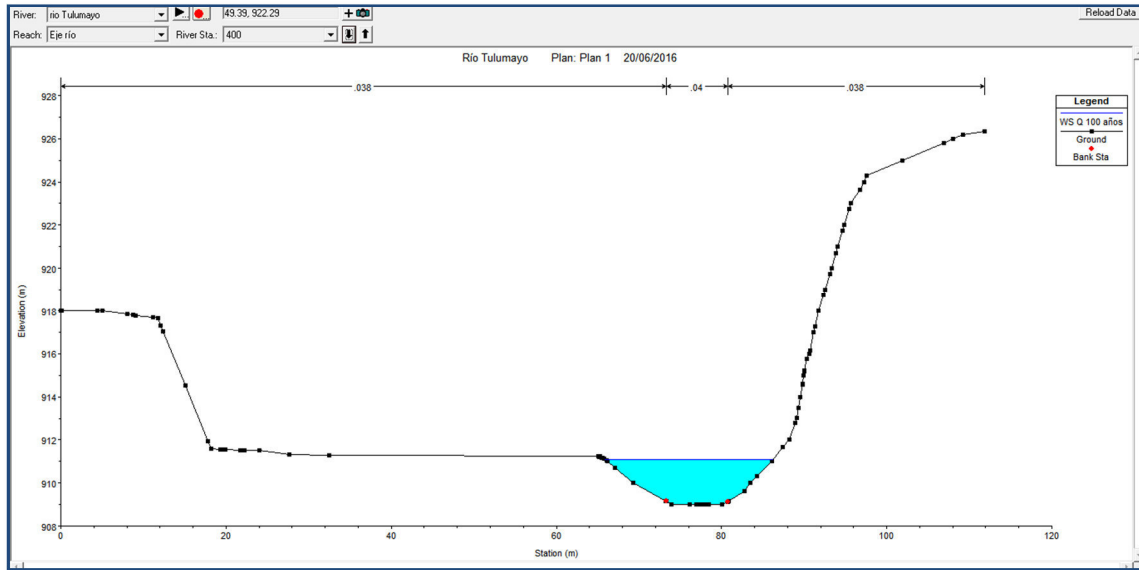


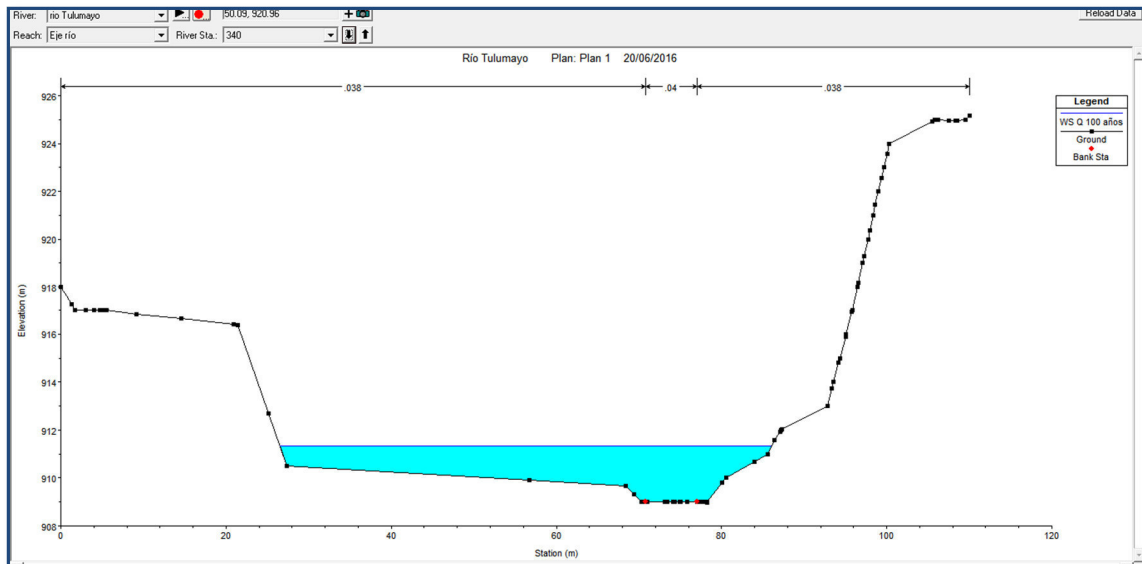
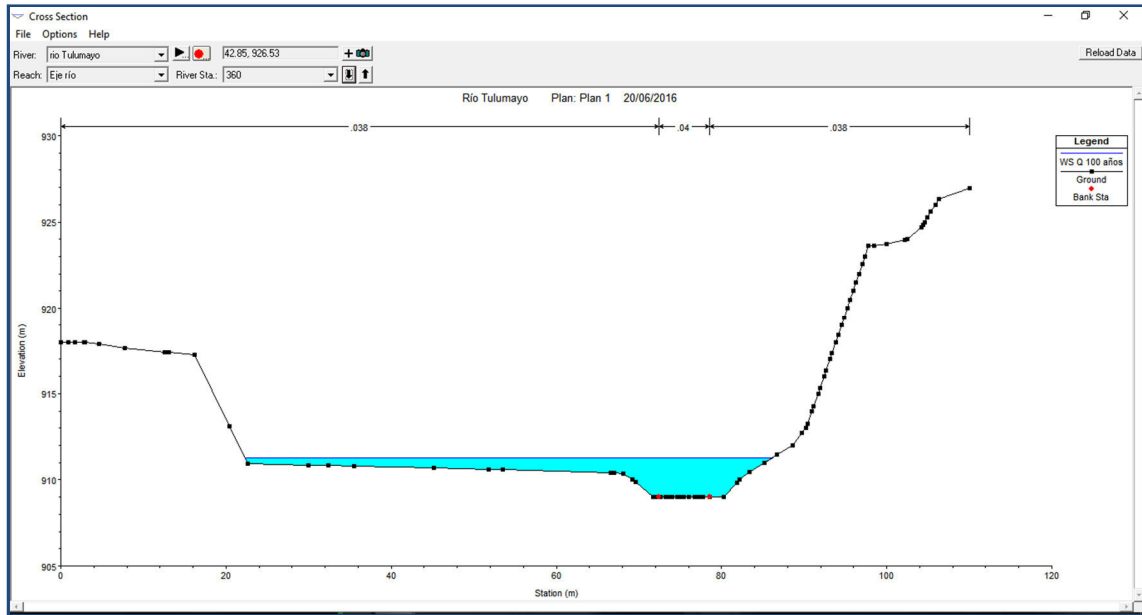


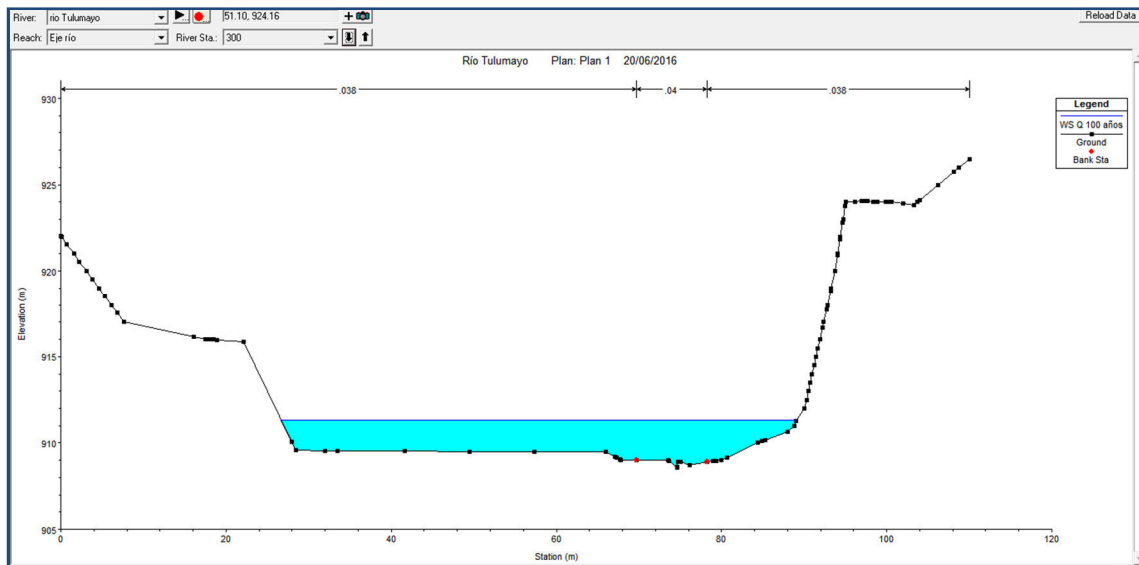
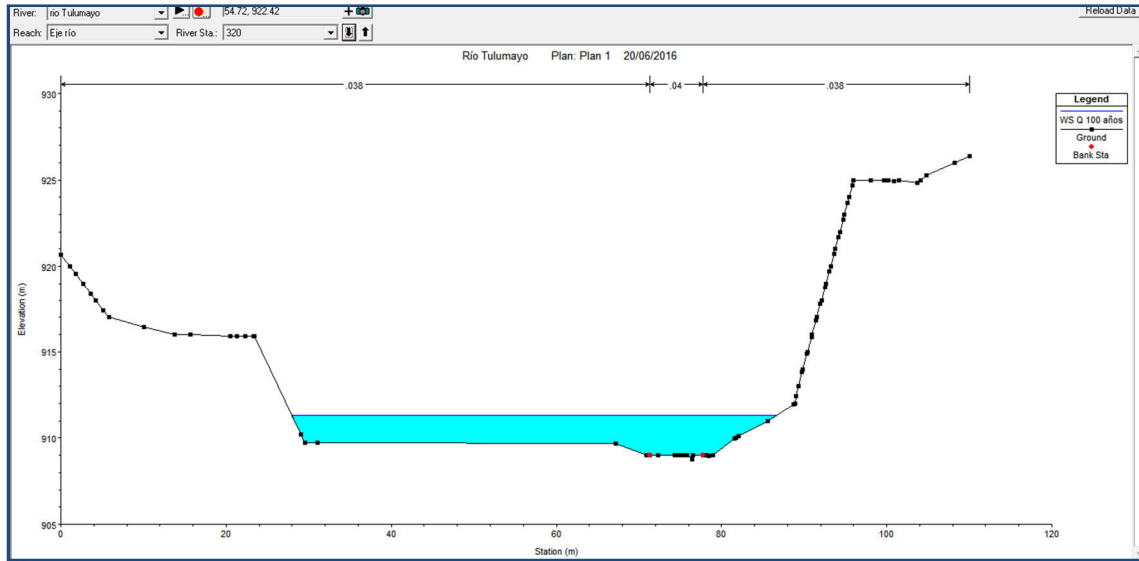


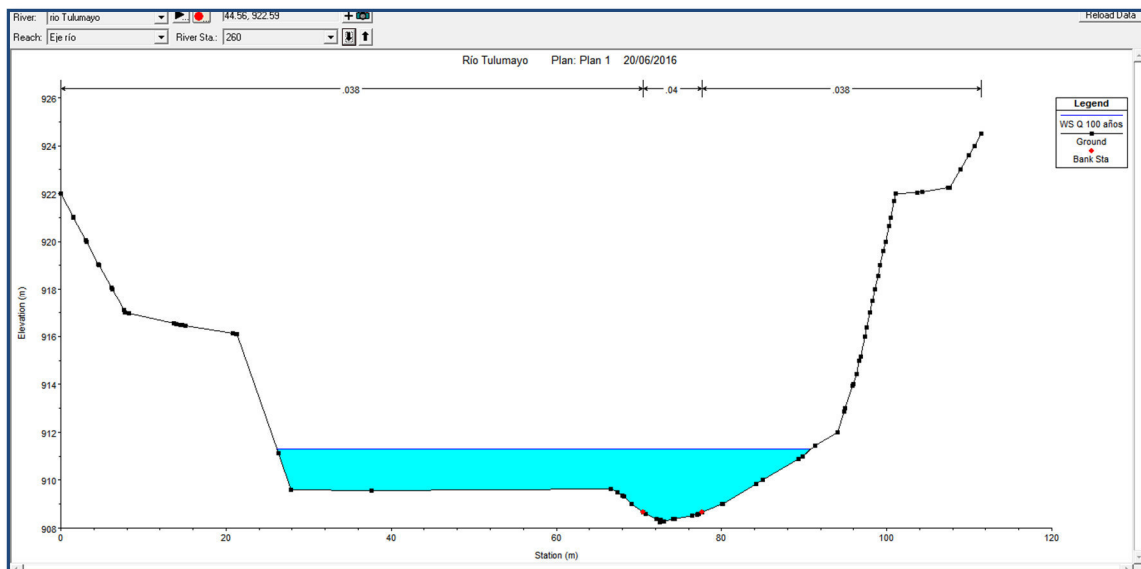
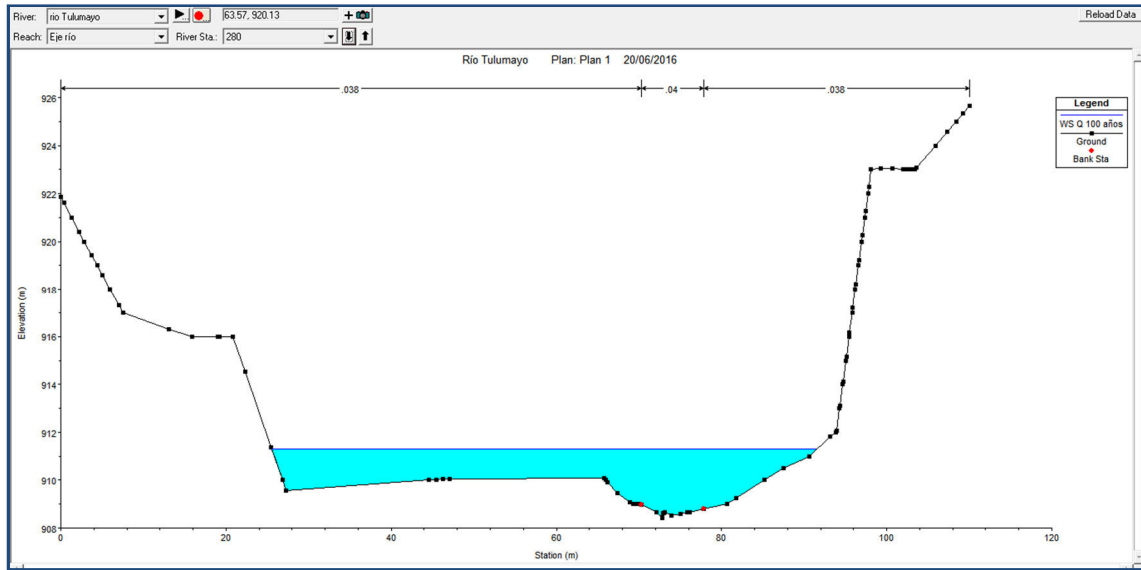


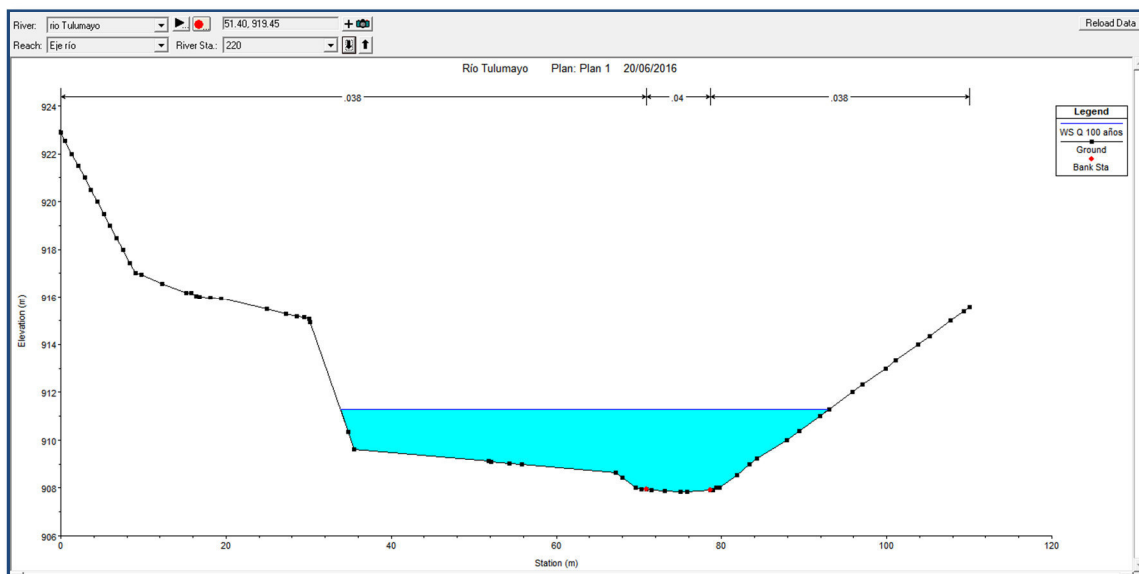
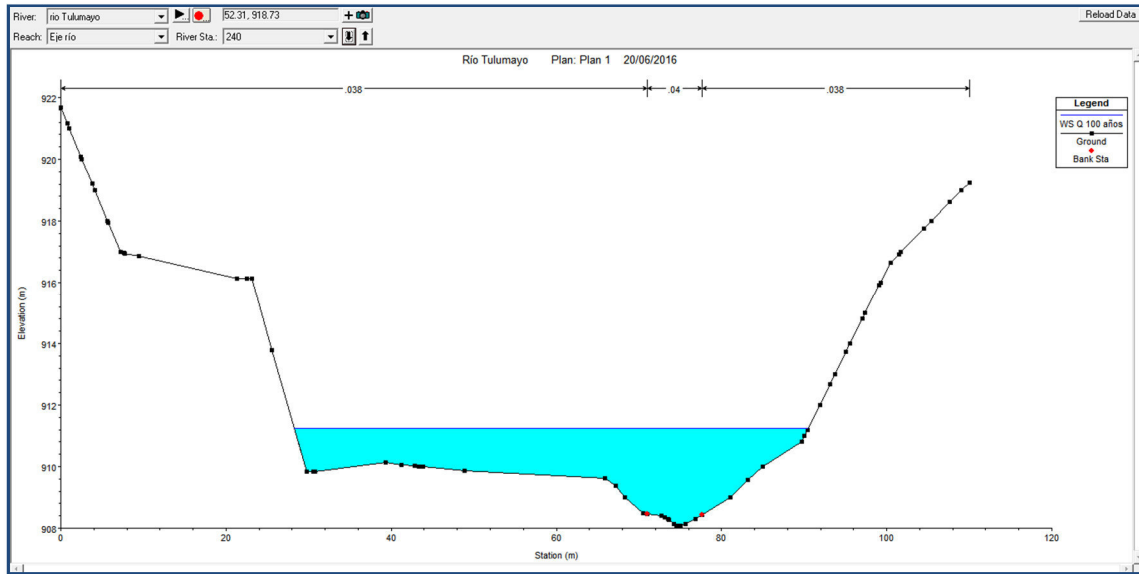


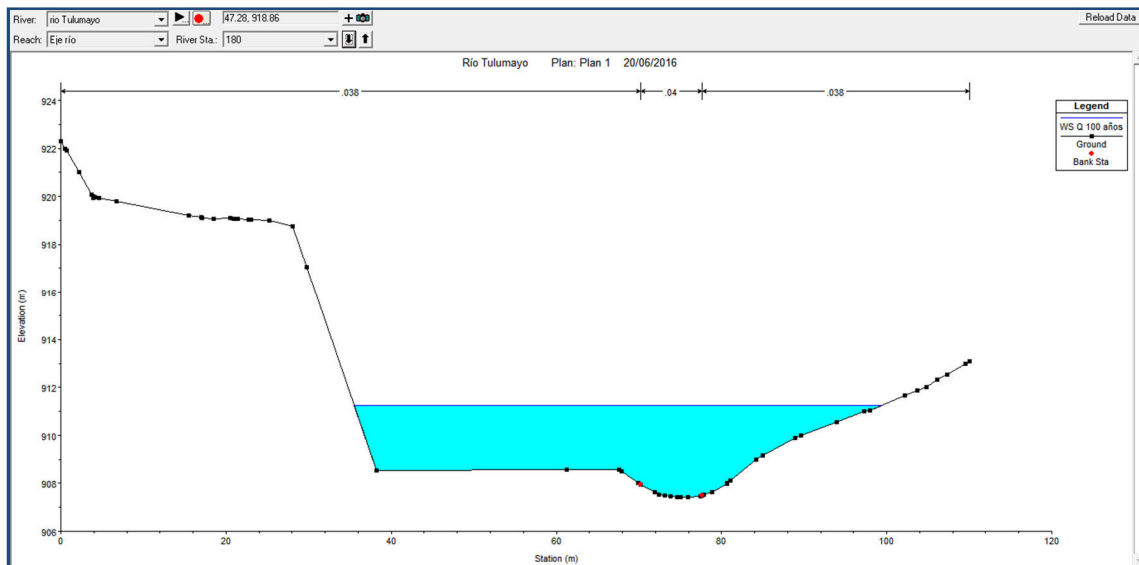
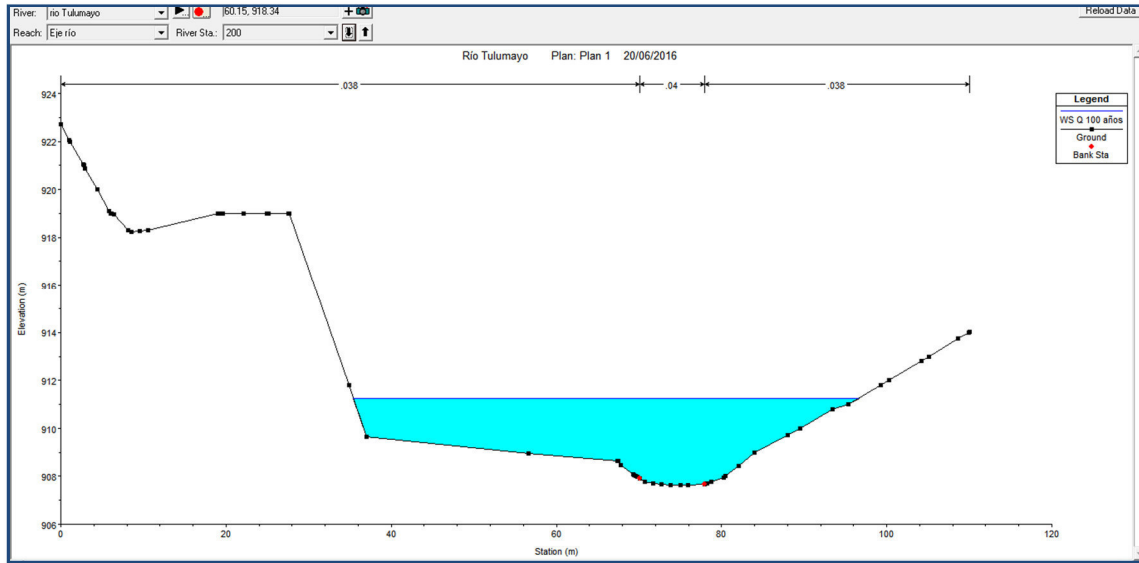


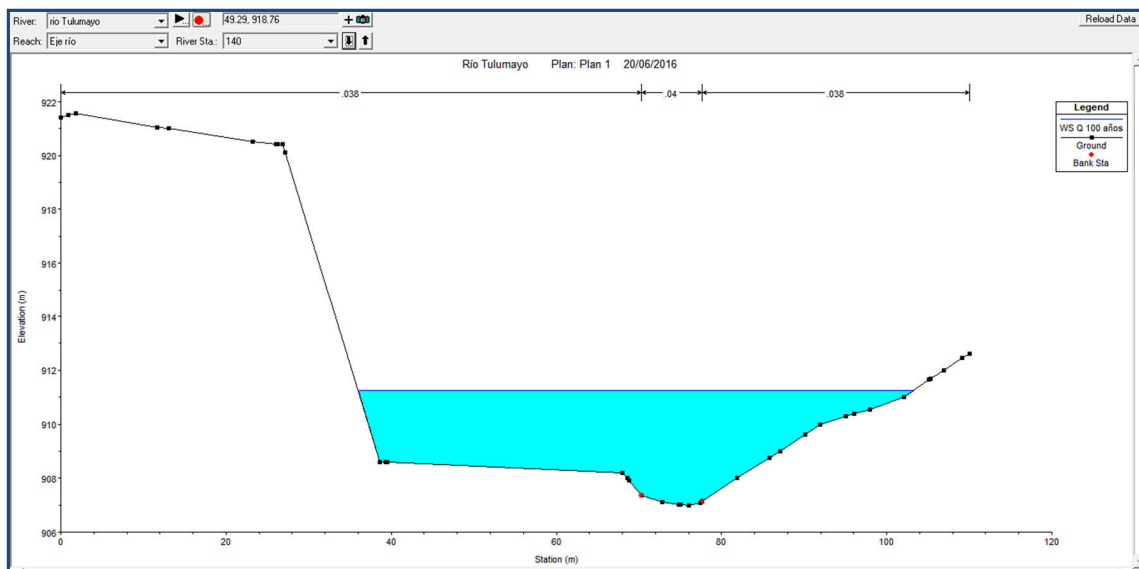
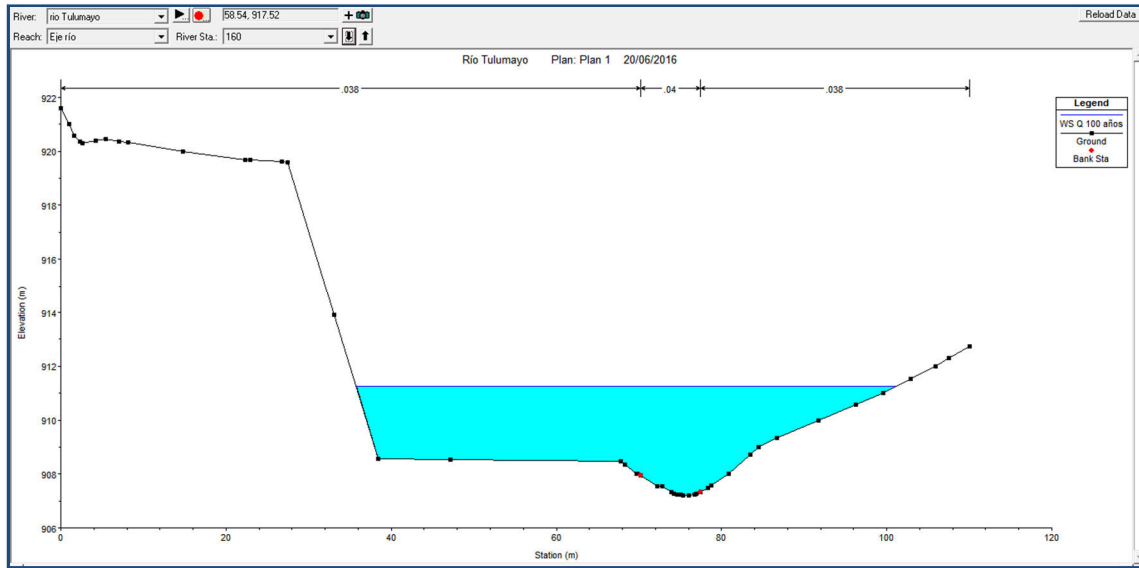


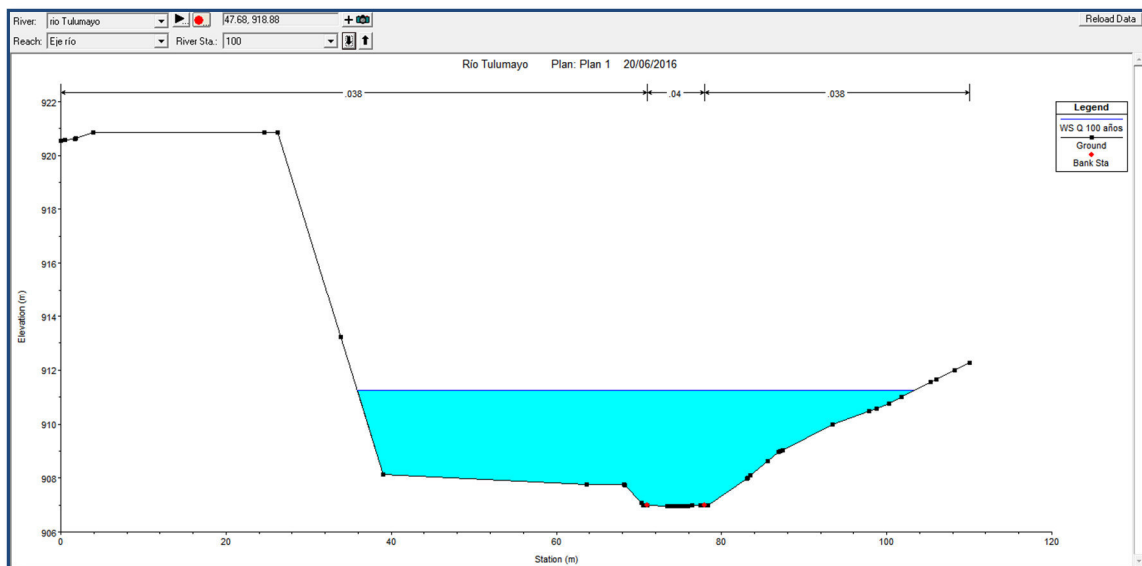
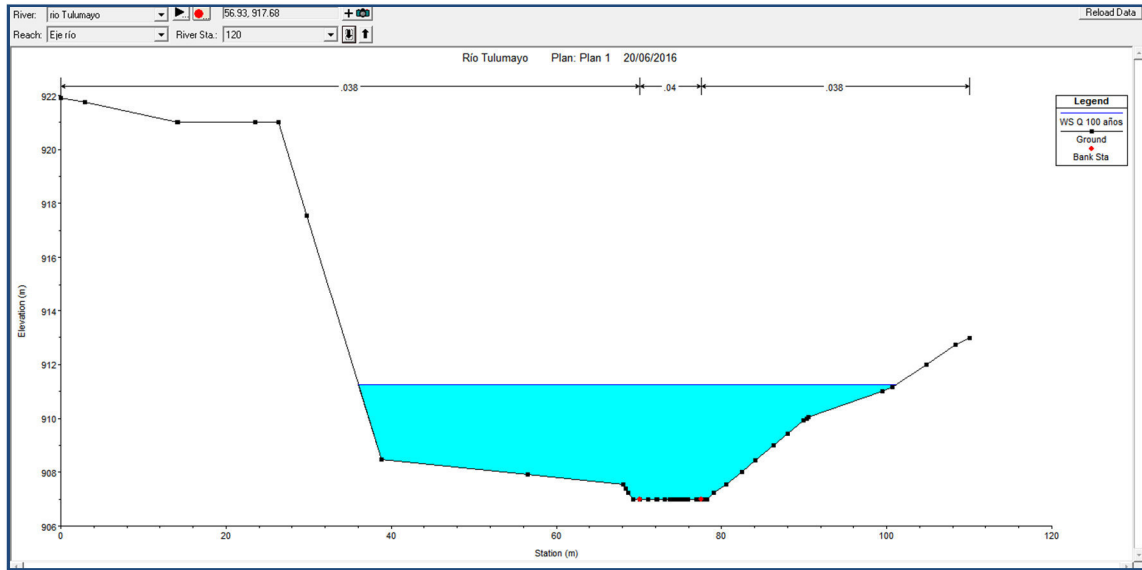


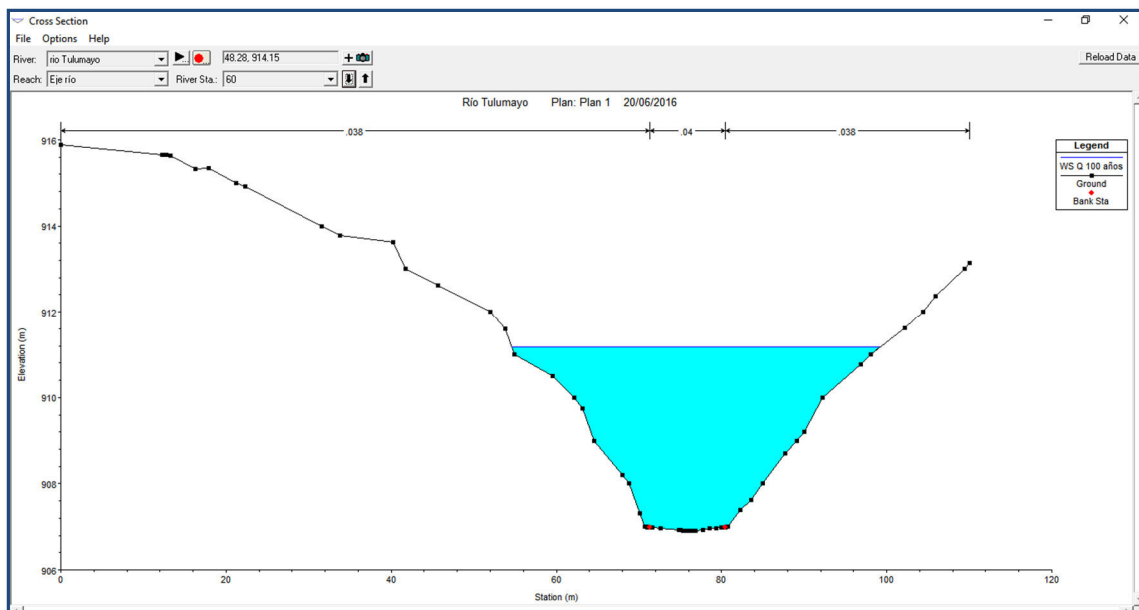
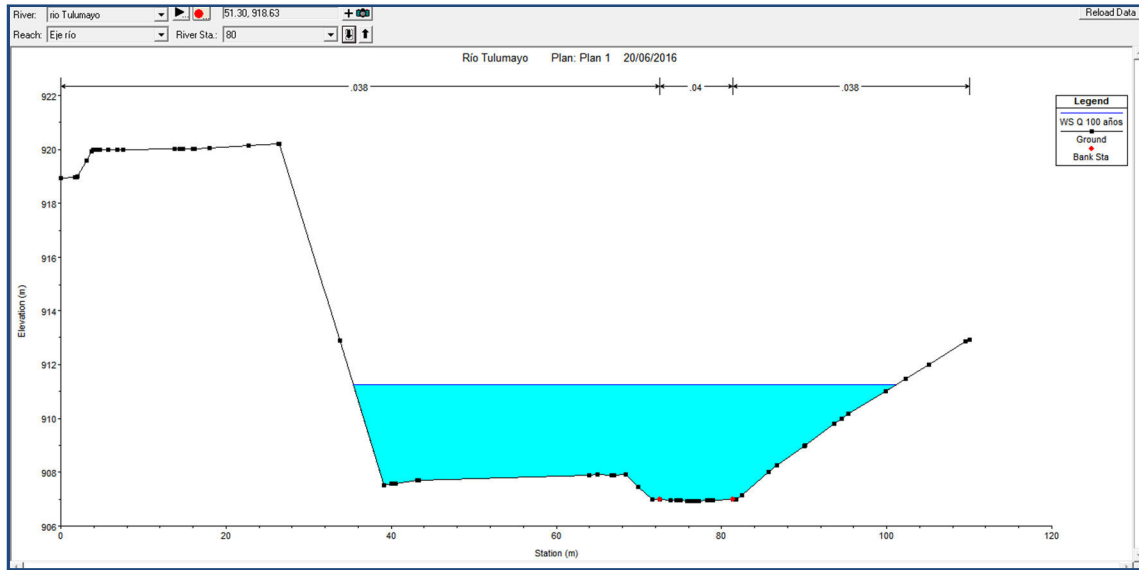


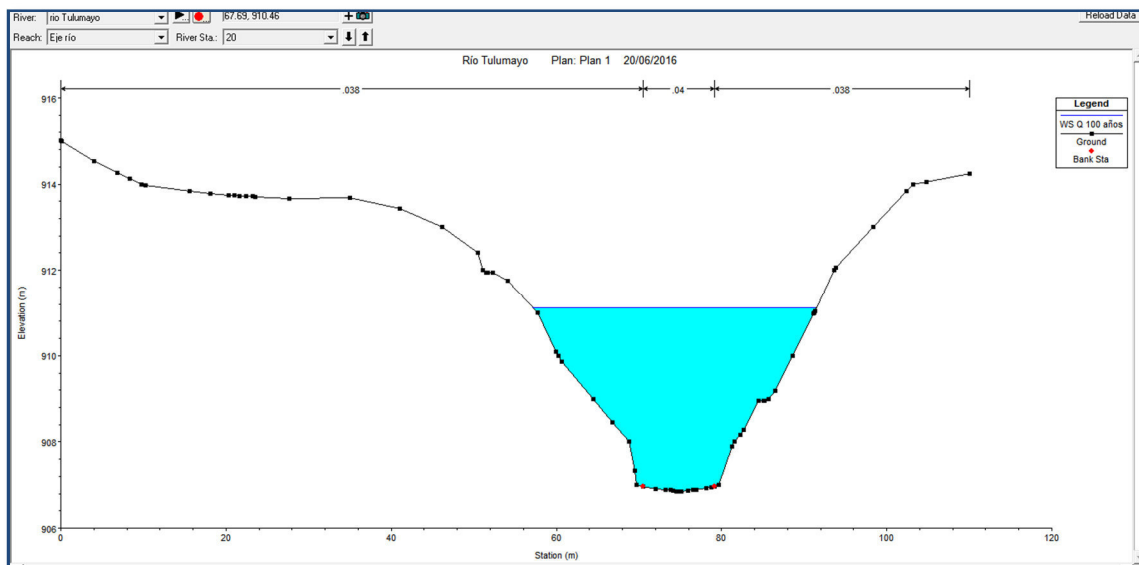
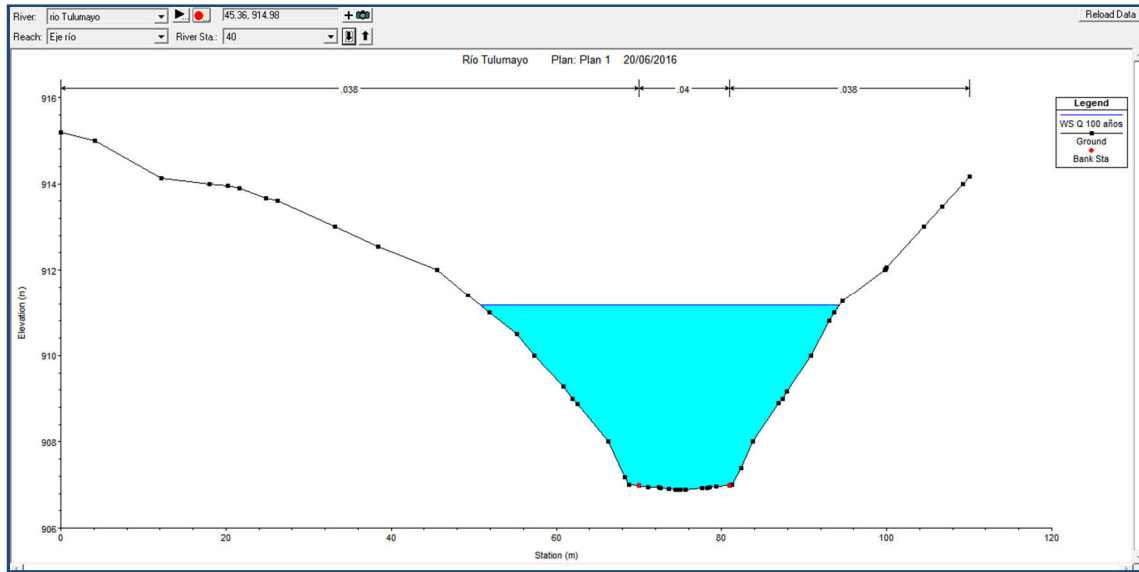


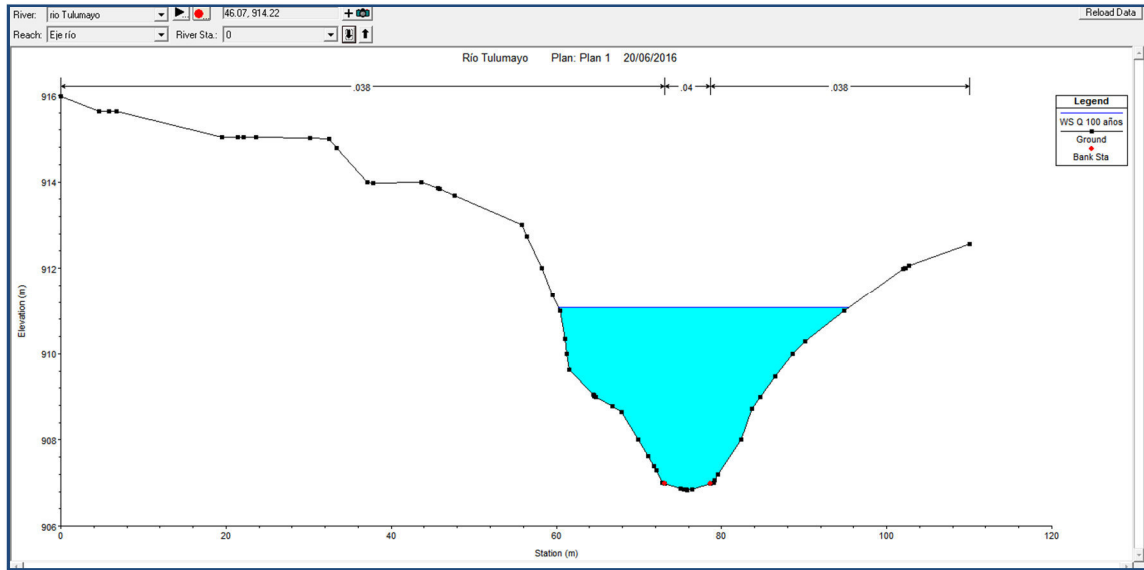














Reach	RiverSta	Profile	Q Total	Min ChEI	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # ChI
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
RIO	880	100 años	124.2	916.99	919.23	919.00	919.59	0.0060	3.07	49.39	38.03	0.69
RIO	860	100 años	124.2	916.74	918.76	918.76	919.40	0.0105	3.96	37.81	30.76	0.91
RIO	840	100 años	124.2	916.52	917.94	918.25	919.03	0.0285	5.14	27.54	26.78	1.41
RIO	820	100 años	124.2	916.27	917.97	917.97	918.61	0.0149	4.16	37.17	37.59	1.04
RIO	800	100 años	124.2	916.03	917.70	917.86	918.29	0.0163	4.10	39.77	51.34	1.08
RIO	780	100 años	124.2	915.53	916.66	916.93	917.72	0.0486	5.73	33.45	83.81	1.77
RIO	760	100 años	124.2	914.99	915.88	915.88	919.21	0.1809	8.65	16.00	29.18	3.22
RIO	740	100 años	124.2	914.60	916.59	916.12	916.68	0.0019	1.66	96.32	83.63	0.38
RIO	720	100 años	124.2	914.22	916.57	915.44	916.64	0.0014	1.58	106.31	85.12	0.34
RIO	700	100 años	124.2	913.84	915.43	915.43	916.48	0.0241	5.07	29.82	65.31	1.32
RIO	680	100 años	124.2	913.50	915.69	915.59	915.91	0.0044	2.70	71.12	87.40	0.60
RIO	660	100 años	124.2	913.15	915.16	915.16	915.74	0.0106	3.74	40.51	65.65	0.90
RIO	640	100 años	124.2	912.62	913.79	914.25	915.24	0.0533	5.44	23.97	31.72	1.81
RIO	620	100 años	124.2	911.98	913.57	913.77	914.43	0.0213	4.22	31.37	31.55	1.21
RIO	600	100 años	124.2	911.70	913.70	913.46	914.14	0.0069	3.18	44.91	33.24	0.74
RIO	580	100 años	124.2	911.42	913.65	913.24	914.00	0.0050	2.91	50.11	39.96	0.64
RIO	560	100 años	124.2	911.13	913.51	913.51	913.88	0.0062	3.21	56.18	71.14	0.70
RIO	540	100 años	124.2	910.85	912.28	912.71	913.54	0.0375	5.84	29.31	48.81	1.61
RIO	520	100 años	124.2	910.57	912.77	912.13	912.86	0.0015	1.59	97.54	72.50	0.35
RIO	500	100 años	124.2	910.29	912.76	911.93	912.82	0.0010	1.36	113.00	74.73	0.29
RIO	480	100 años	124.2	910.01	912.74	911.87	912.80	0.0010	1.47	112.35	75.56	0.29
RIO	460	100 años	124.2	909.74	912.19	911.93	912.72	0.0067	3.64	41.18	26.10	0.75
RIO	440	100 años	124.2	909.47	912.10	911.69	912.58	0.0056	3.44	43.88	53.03	0.69
RIO	420	100 años	124.2	909.21	911.59	911.59	912.40	0.0109	4.33	33.05	21.25	0.94
RIO	400	100 años	124.2	909.00	911.08	911.13	912.12	0.0156	5.06	29.25	20.38	1.12
RIO	380	100 años	124.2	909.00	911.38	911.44	911.81	0.0066	3.62	53.42	64.97	0.75
RIO	360	100 años	124.2	909.00	911.28	911.23	911.60	0.0058	3.30	59.09	63.87	0.70
RIO	340	100 años	124.2	909.00	911.35	910.78	911.47	0.0020	1.99	83.37	59.61	0.41
RIO	320	100 años	124.2	908.78	911.35	910.44	911.43	0.0012	1.51	97.86	58.76	0.31
RIO	300	100 años	124.2	908.60	911.35	910.20	911.40	0.0007	1.22	115.93	62.43	0.25
RIO	280	100 años	124.2	908.41	911.30	910.52	911.38	0.0012	1.62	101.48	65.98	0.32
RIO	260	100 años	124.2	908.23	911.30	910.27	911.36	0.0008	1.39	114.77	64.63	0.26
RIO	240	100 años	124.2	908.05	911.26	910.43	911.34	0.0011	1.68	102.21	62.27	0.31
RIO	220	100 años	124.2	907.85	911.27	909.76	911.31	0.0004	1.18	131.92	59.10	0.20
RIO	200	100 años	124.2	907.63	911.26	909.74	911.31	0.0004	1.20	134.76	61.21	0.20
RIO	180	100 años	124.2	907.42	911.26	909.31	911.30	0.0003	1.00	154.46	63.89	0.17
RIO	160	100 años	124.2	907.21	911.26	909.27	911.29	0.0003	0.97	160.25	65.38	0.16
RIO	140	100 años	124.2	907.00	911.26	909.11	911.28	0.0002	0.93	172.44	67.32	0.15
RIO	120	100 años	124.2	906.98	911.25	908.74	911.28	0.0002	0.84	182.48	65.12	0.13
RIO	100	100 años	124.2	906.95	911.25	908.66	911.28	0.0001	0.80	191.70	67.47	0.12
RIO	80	100 años	124.2	906.93	911.25	908.51	911.27	0.0001	0.72	203.14	65.78	0.11
RIO	60	100 años	124.2	906.90	911.17	909.05	911.26	0.0006	1.58	105.14	44.58	0.25
RIO	40	100 años	124.2	906.88	911.17	908.89	911.25	0.0005	1.43	111.18	43.45	0.22
RIO	20	100 años	124.2	906.86	911.11	909.29	911.23	0.0008	1.80	88.54	34.31	0.28
RIO	0	100 años	124.2	906.83	911.08	909.47	911.21	0.0010	2.05	82.59	35.16	0.32



ANEXO 2

MODELAMIENTO CON HEC-RAS

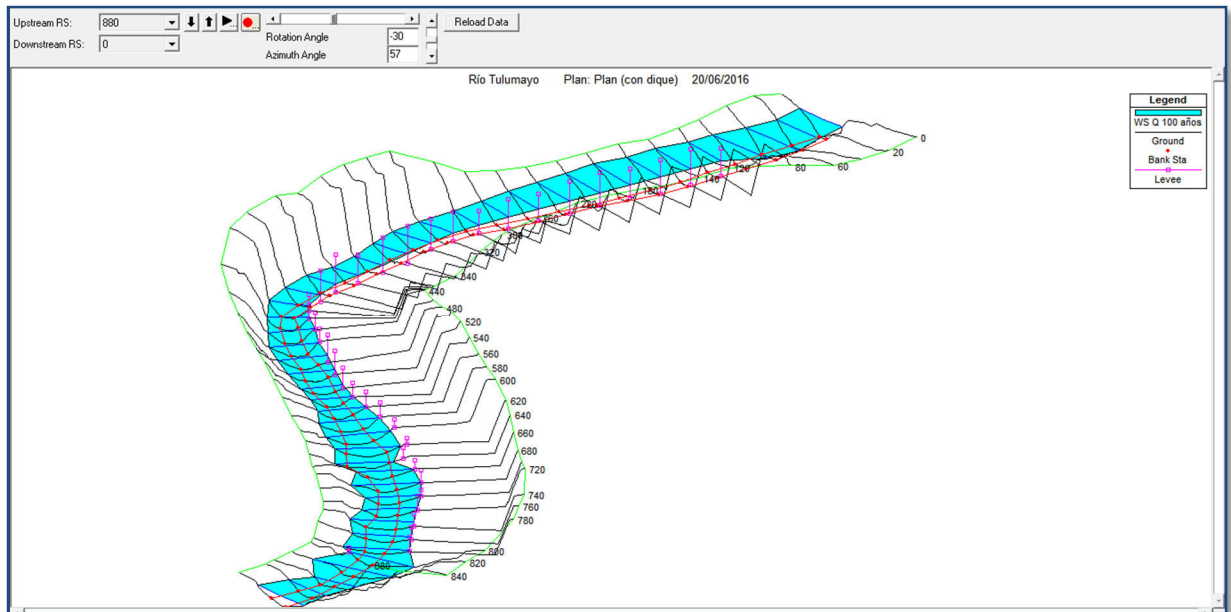
RIO TULUMAYO

(CON DIQUE)

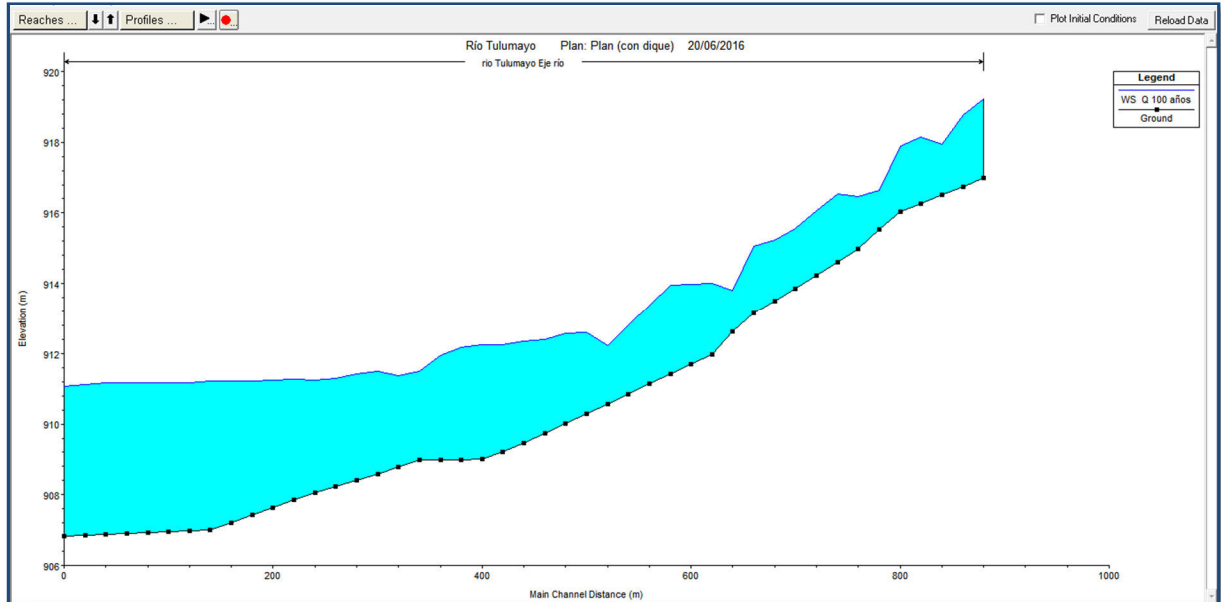


MODELAMIENTO CON HEC RAS RÍO TULUMAYO (CON DIQUE)

1. PLANTA

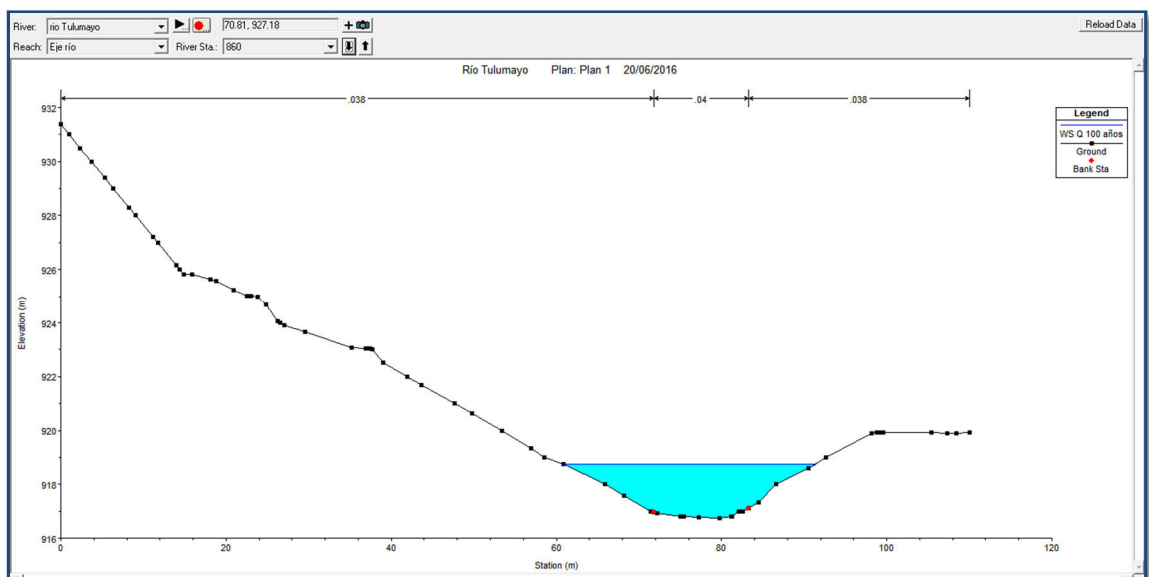
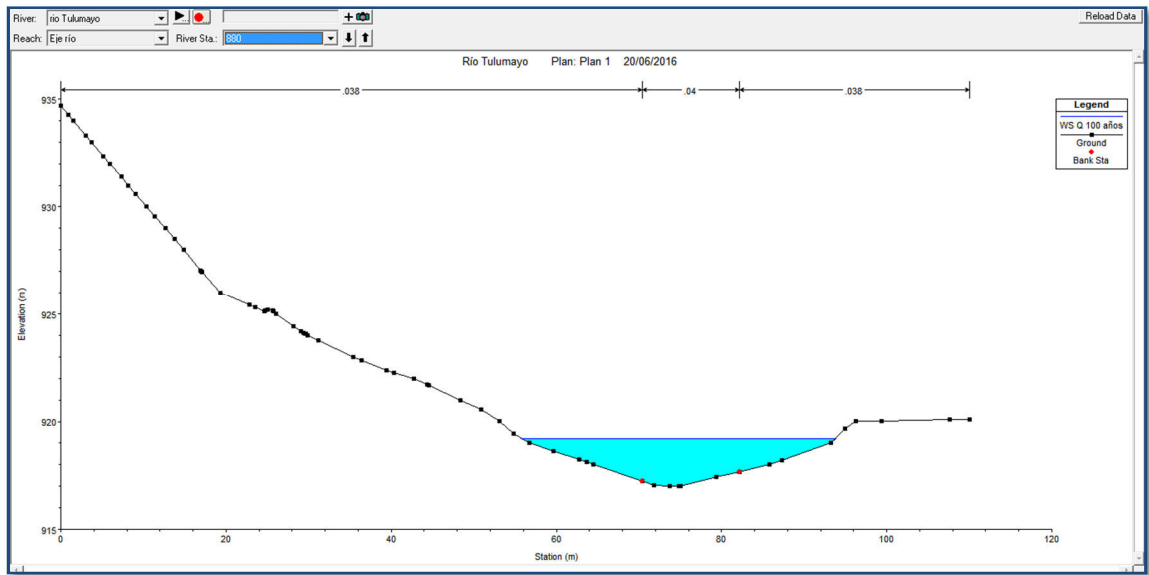


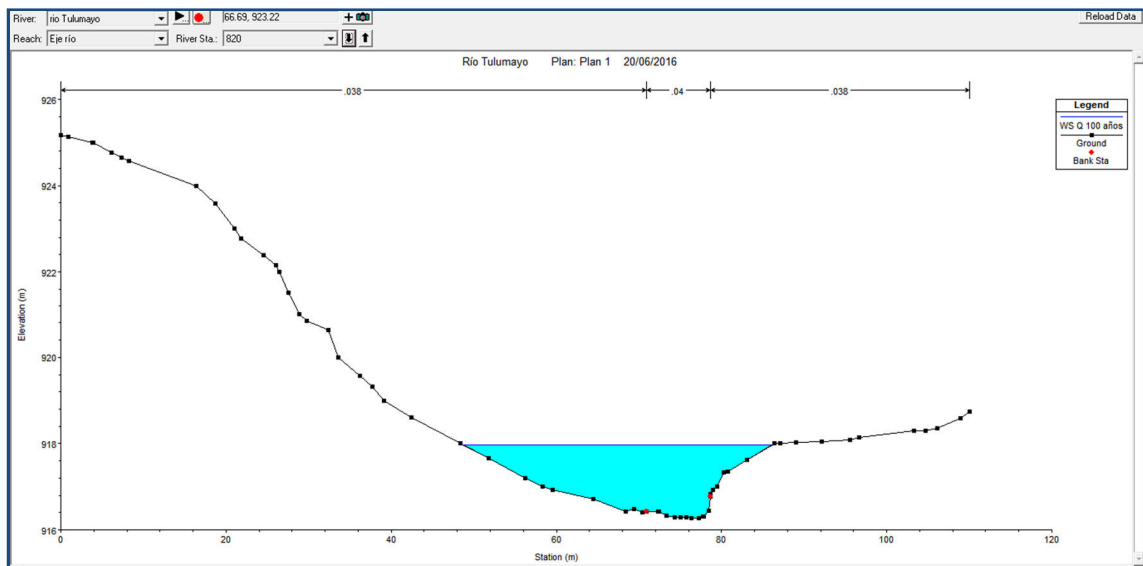
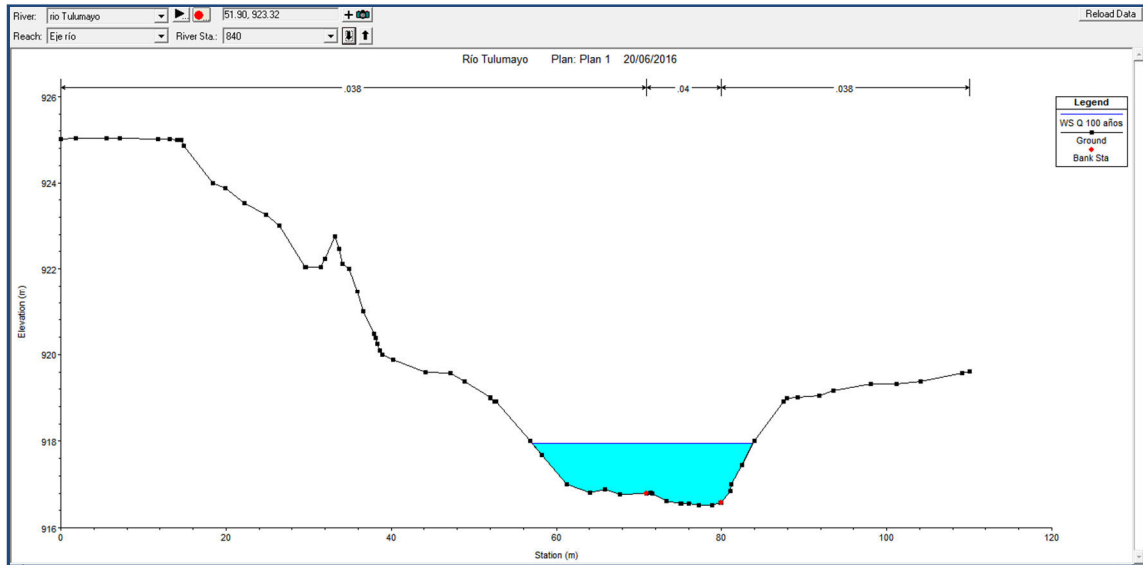
2. PERFIL

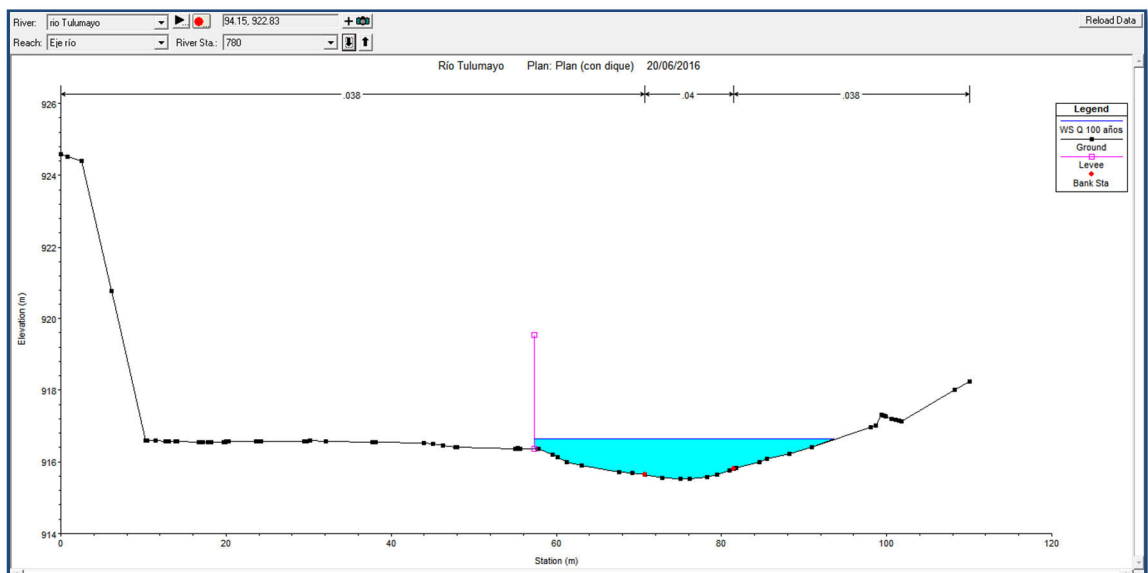
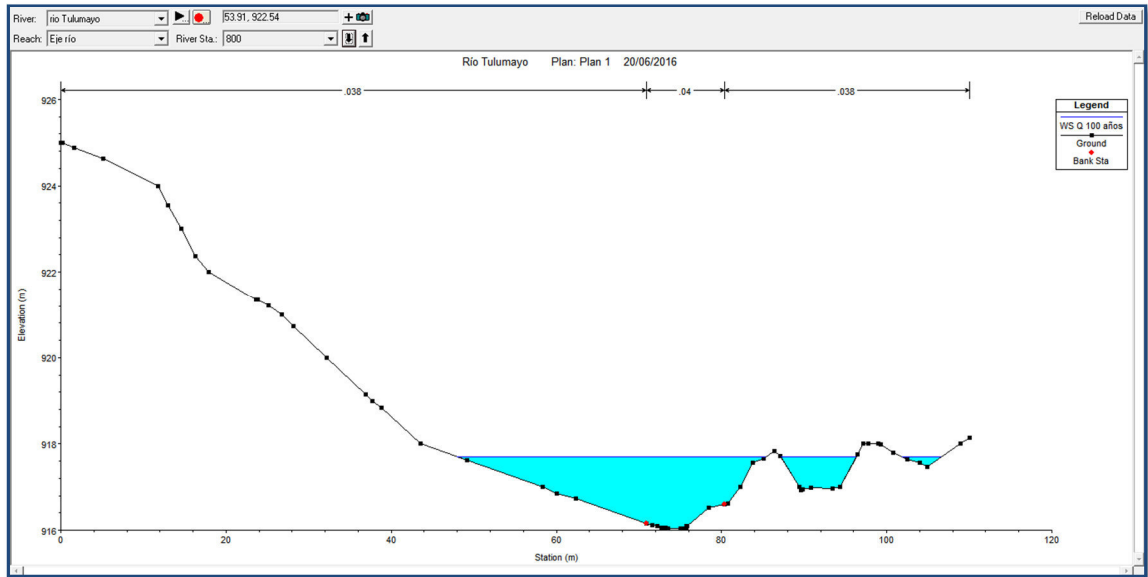


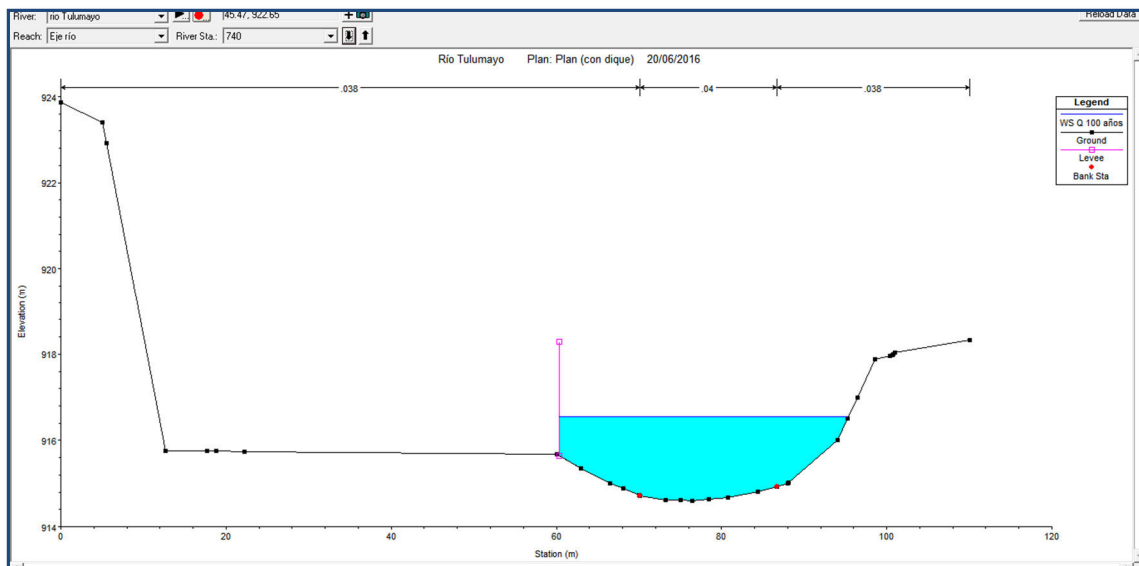
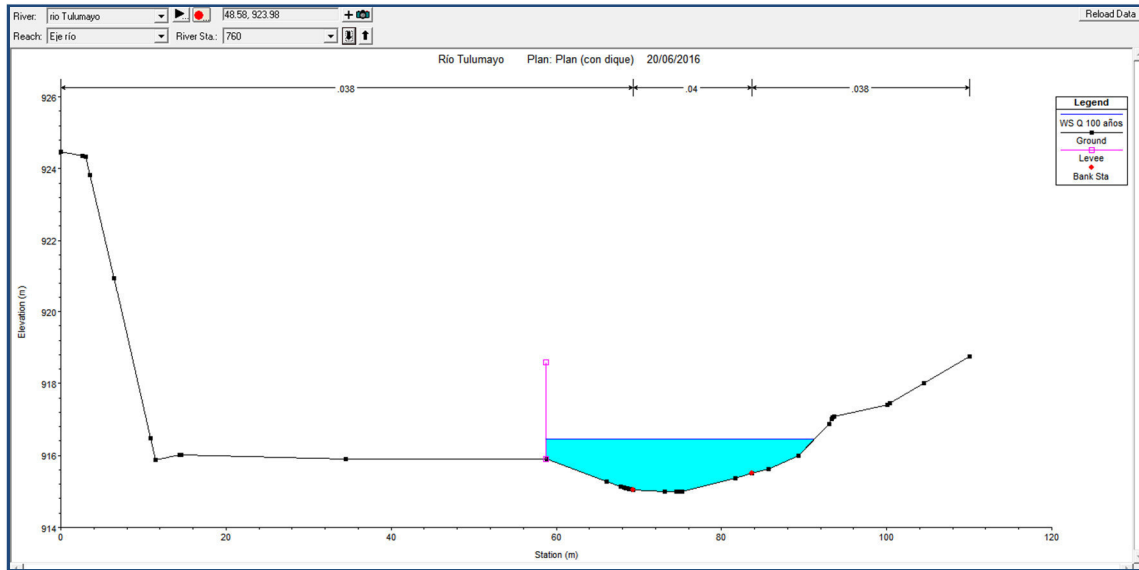


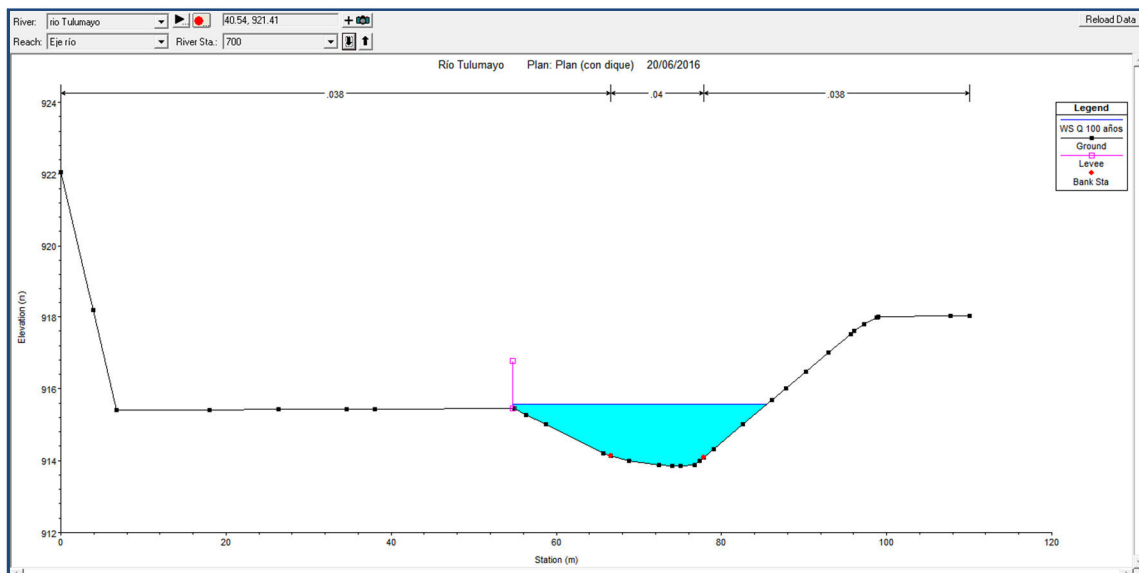
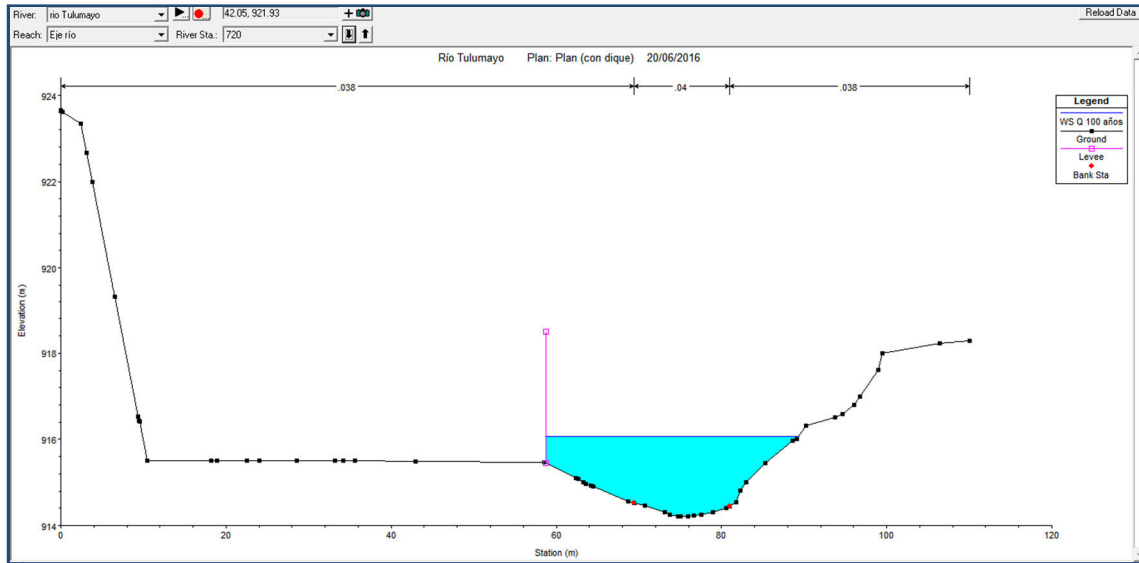
3. SECCIONES

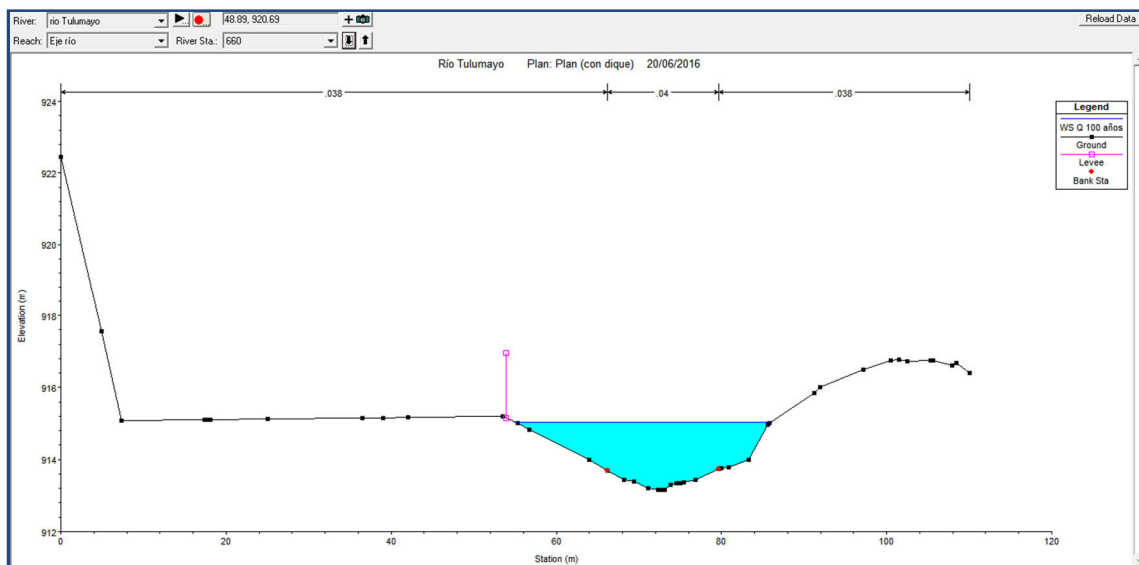
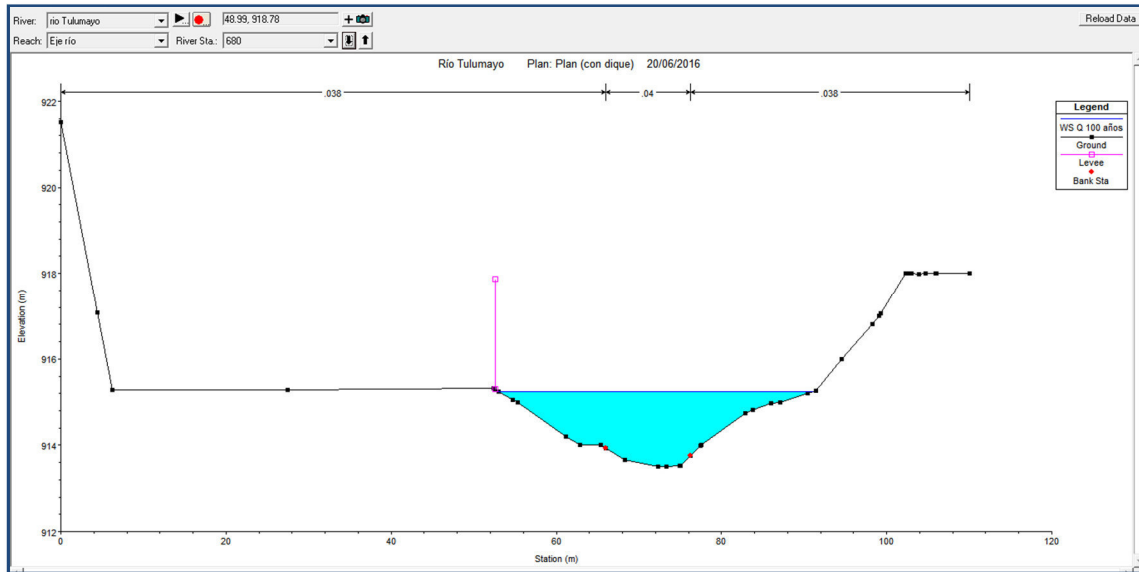


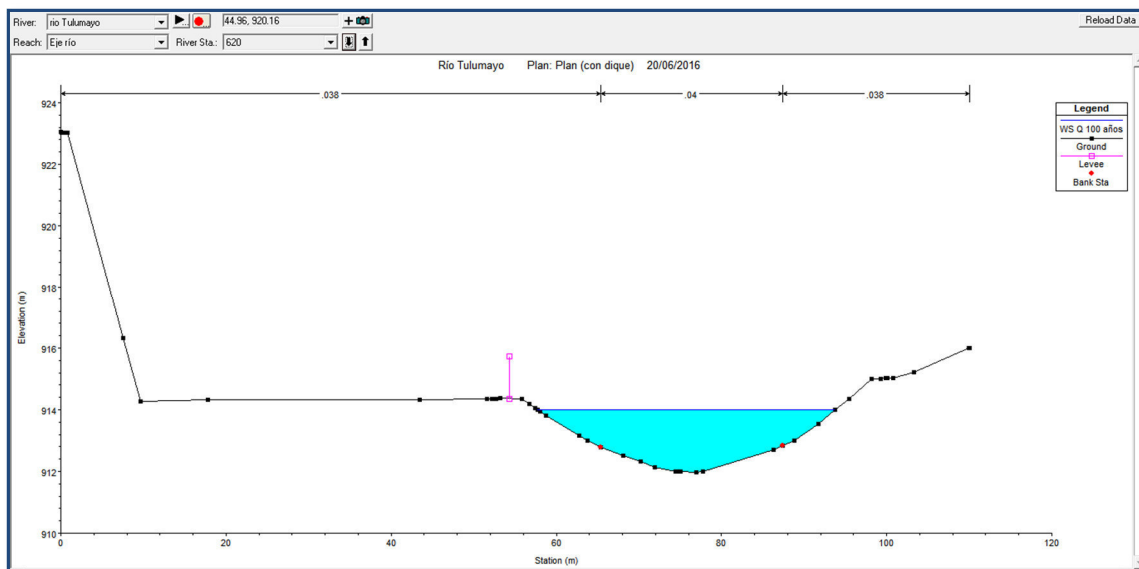
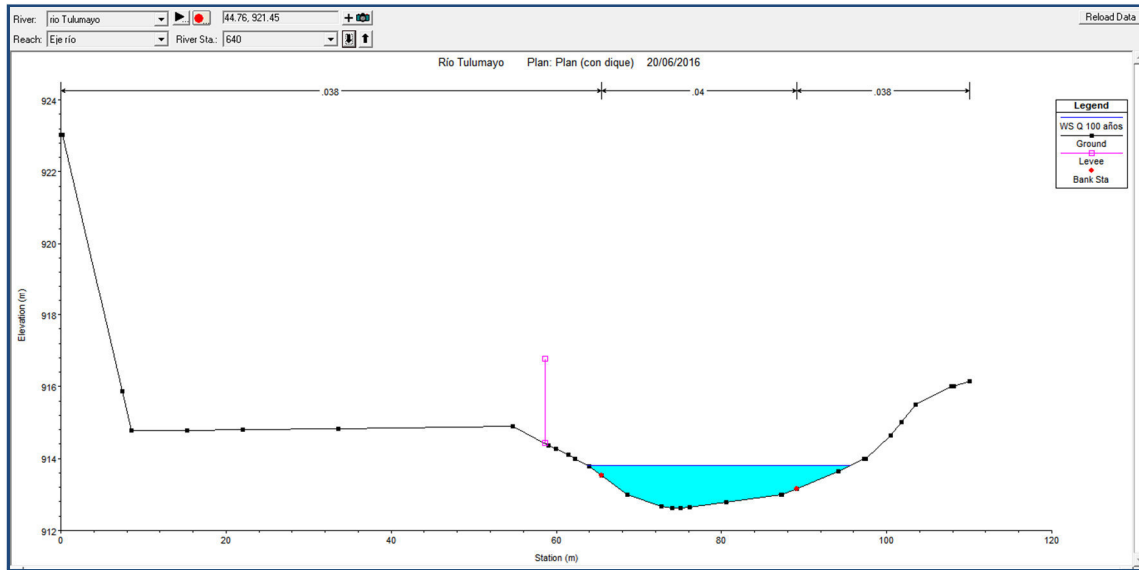


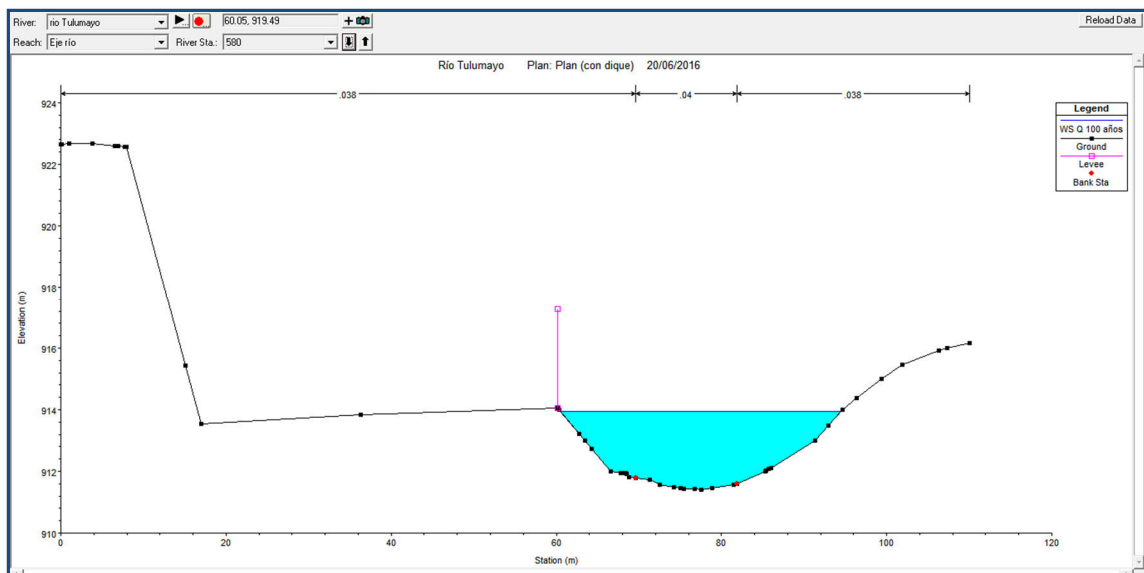
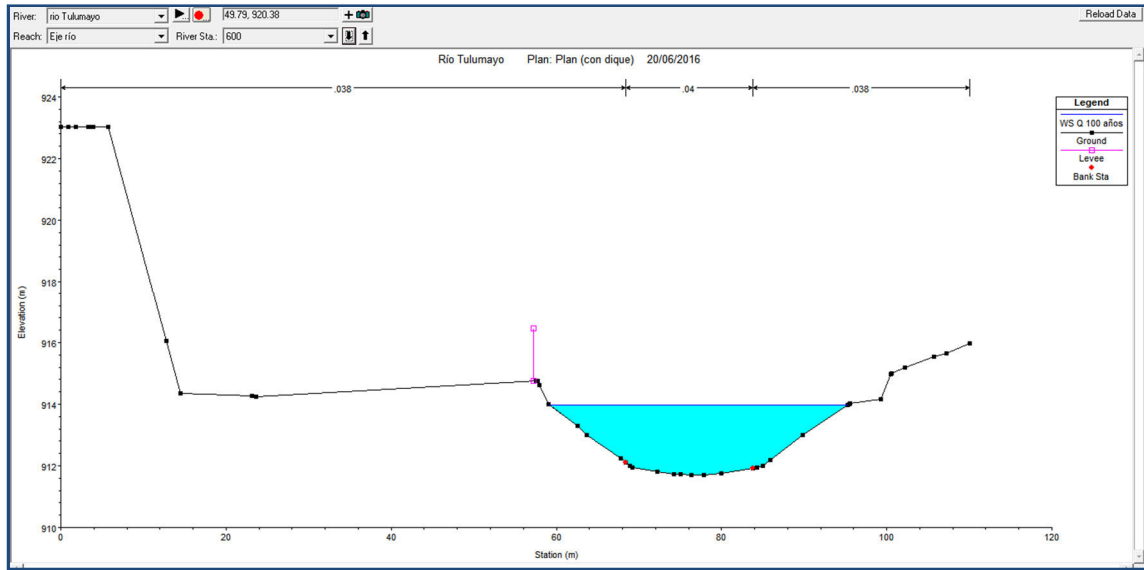


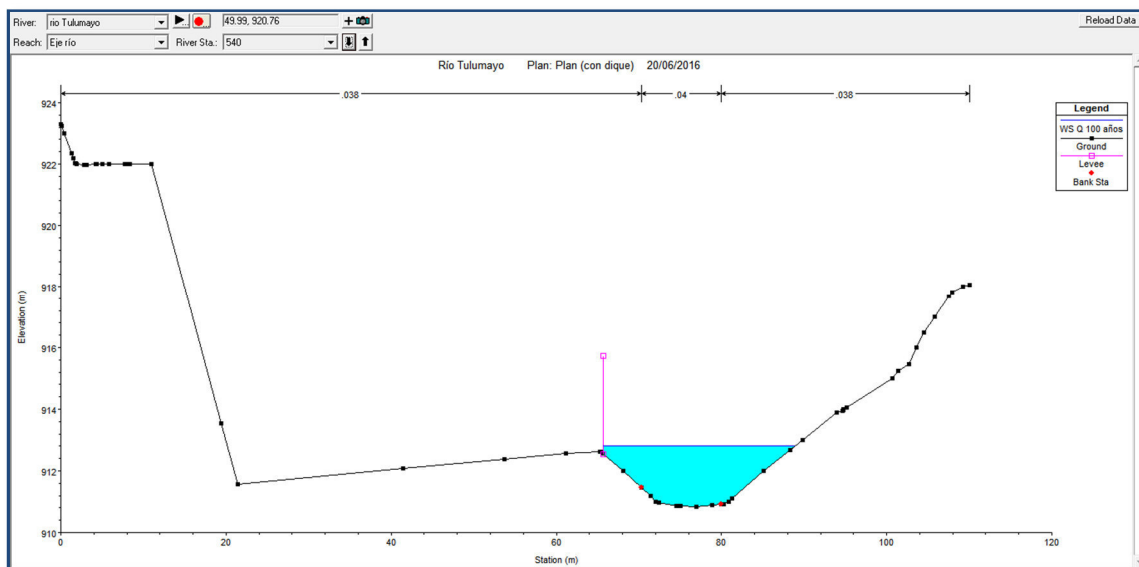
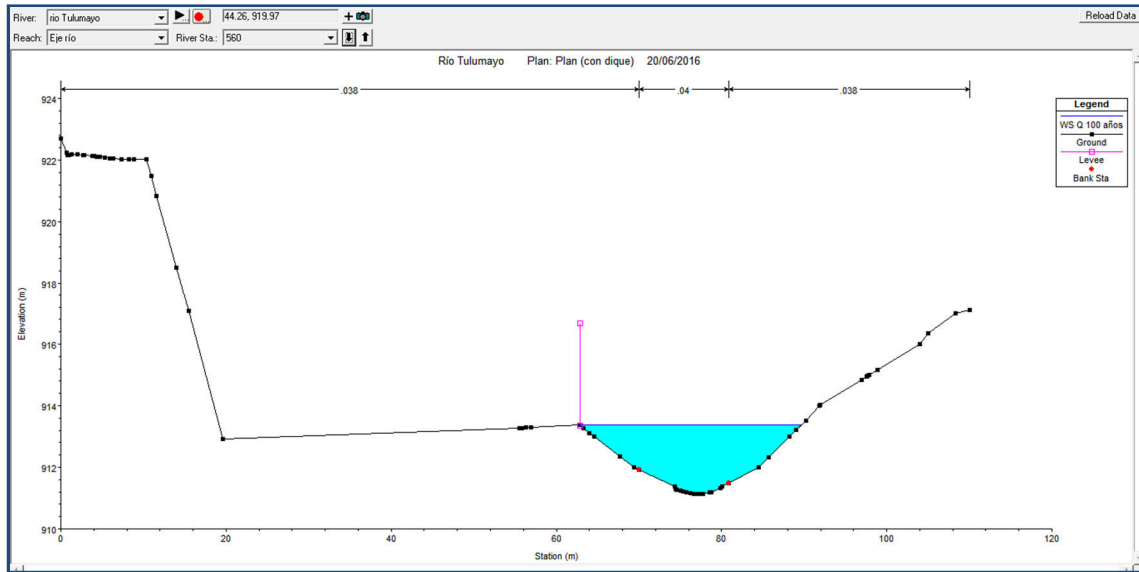


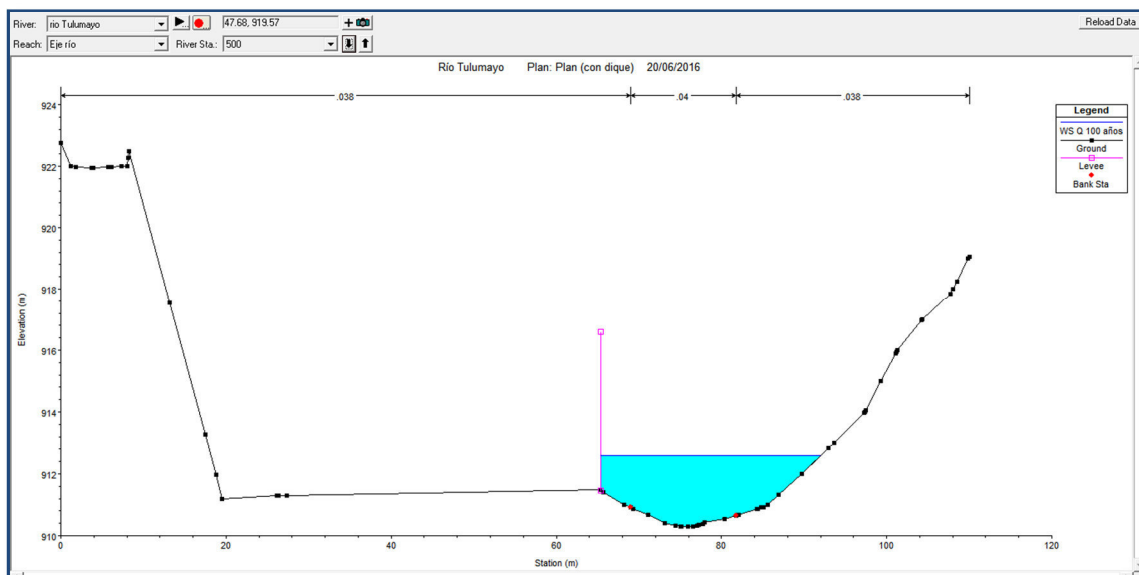
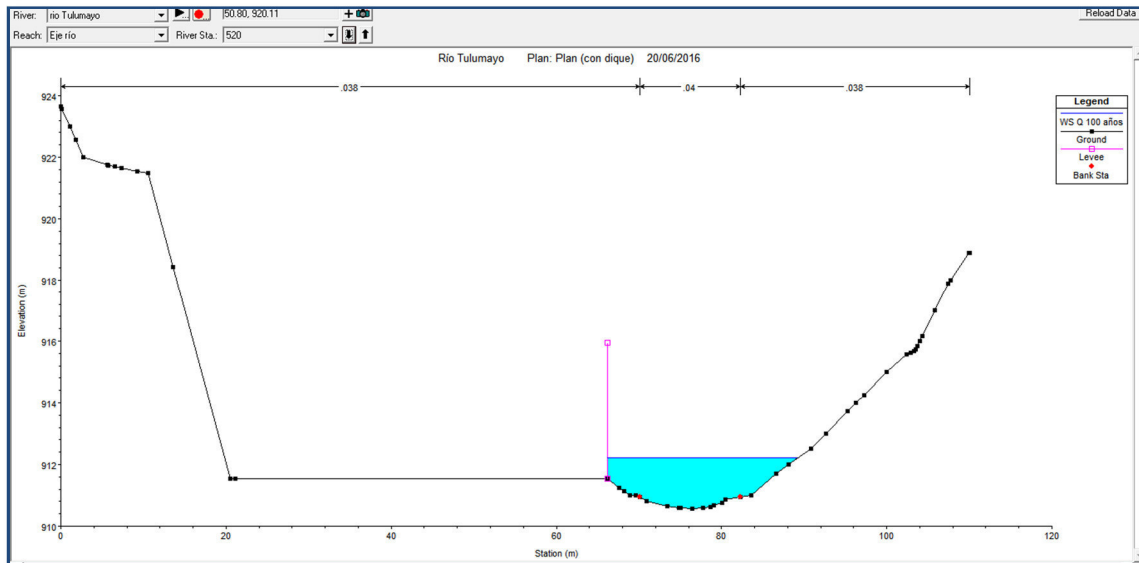


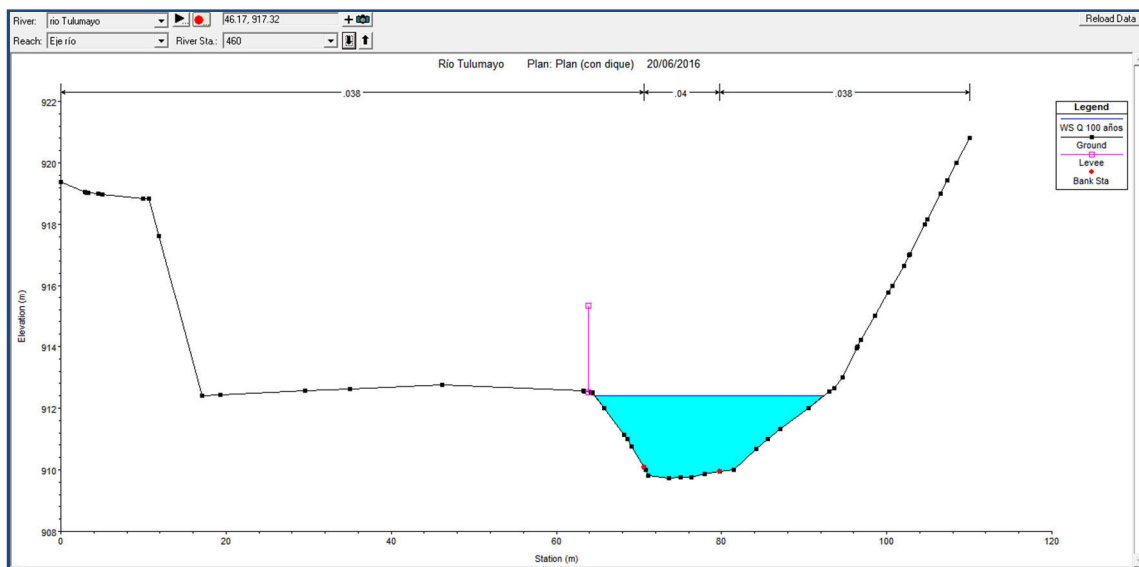
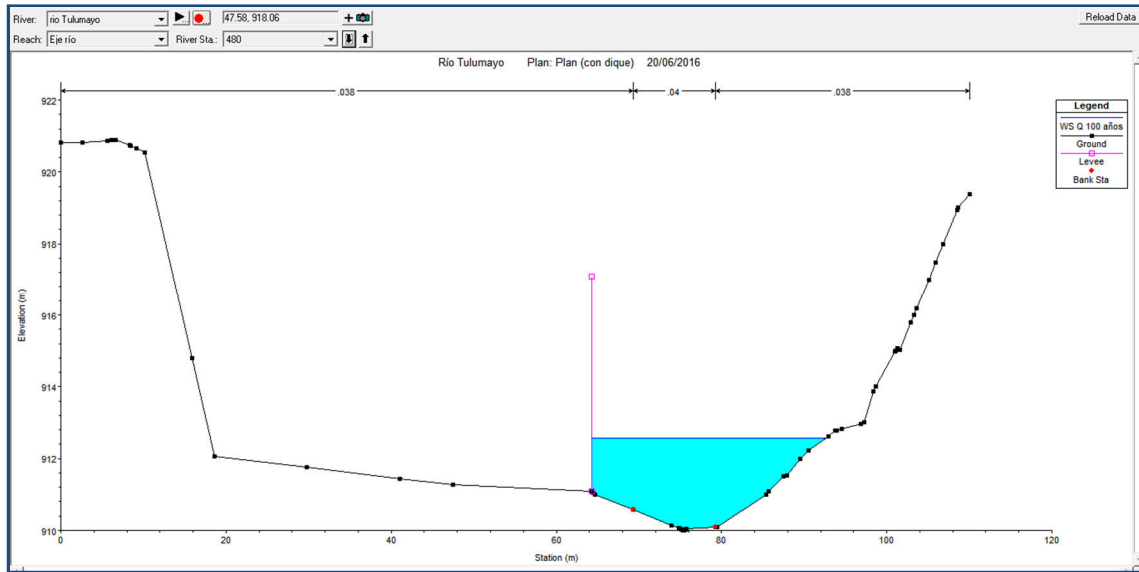


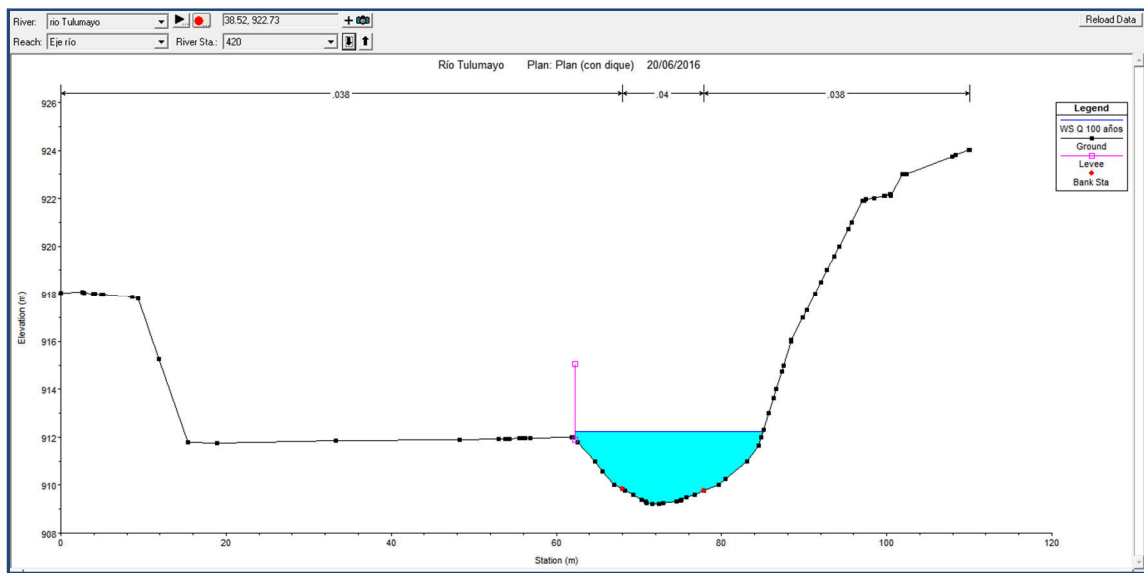
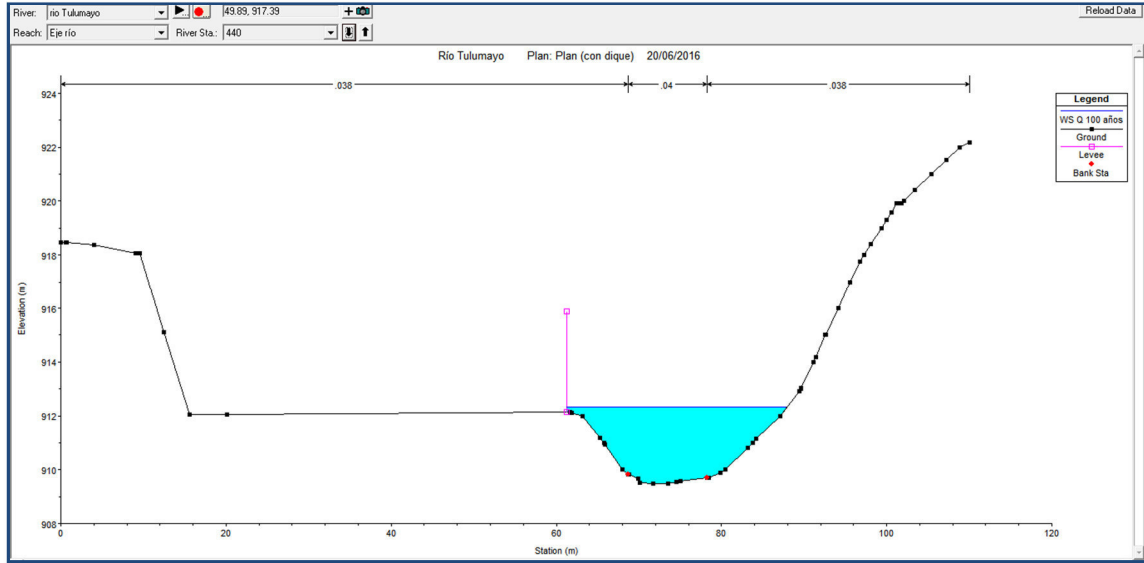


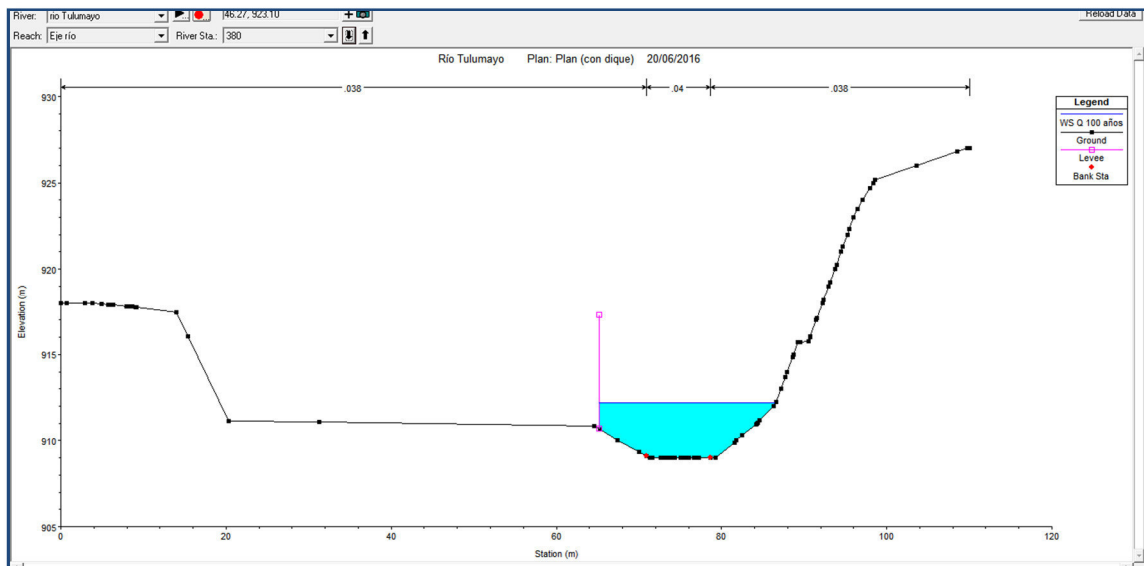
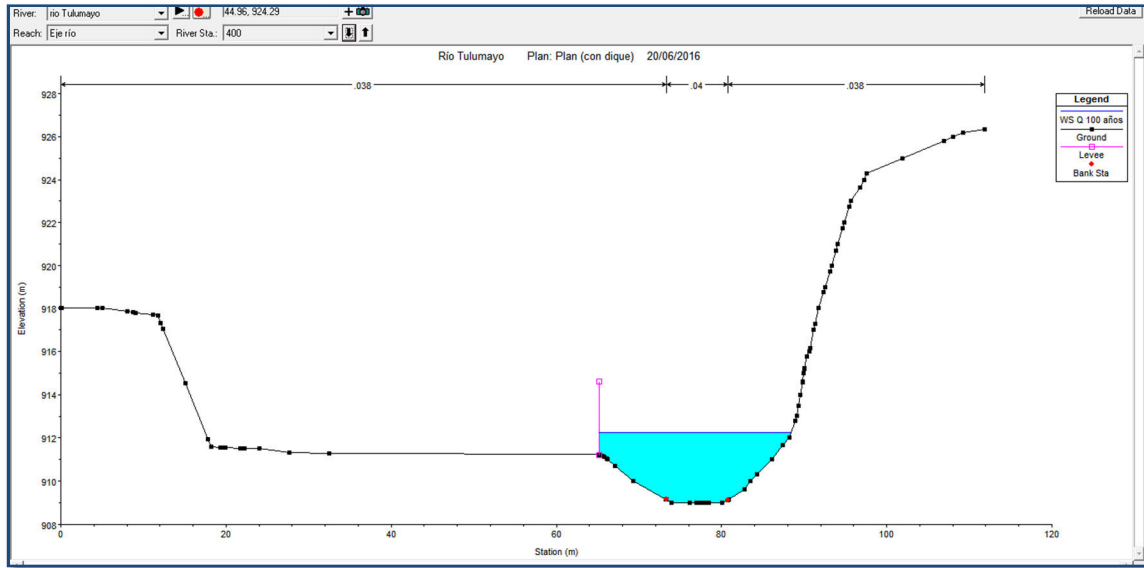


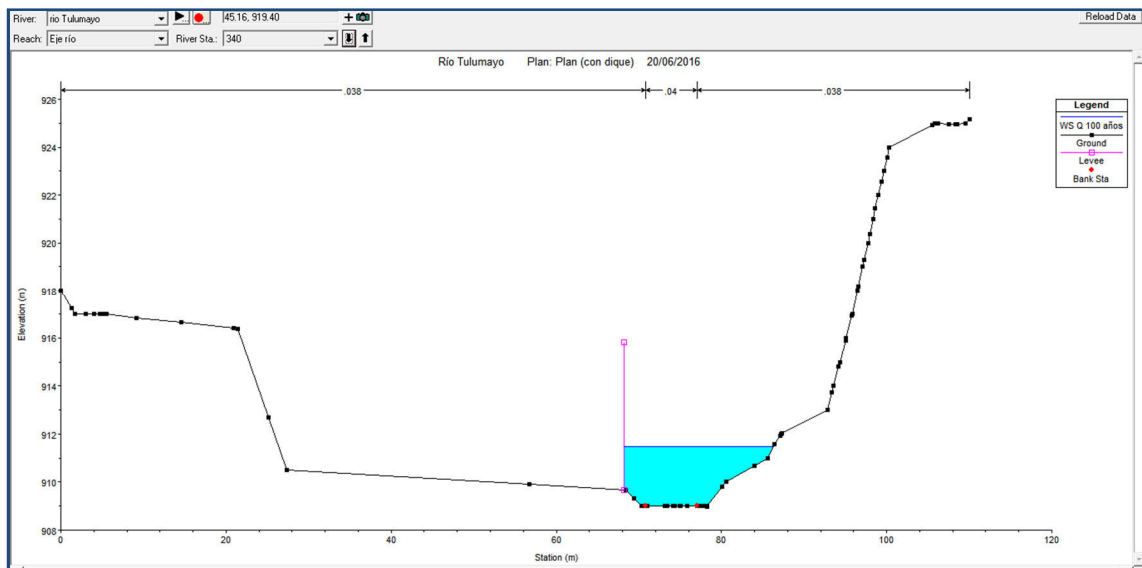
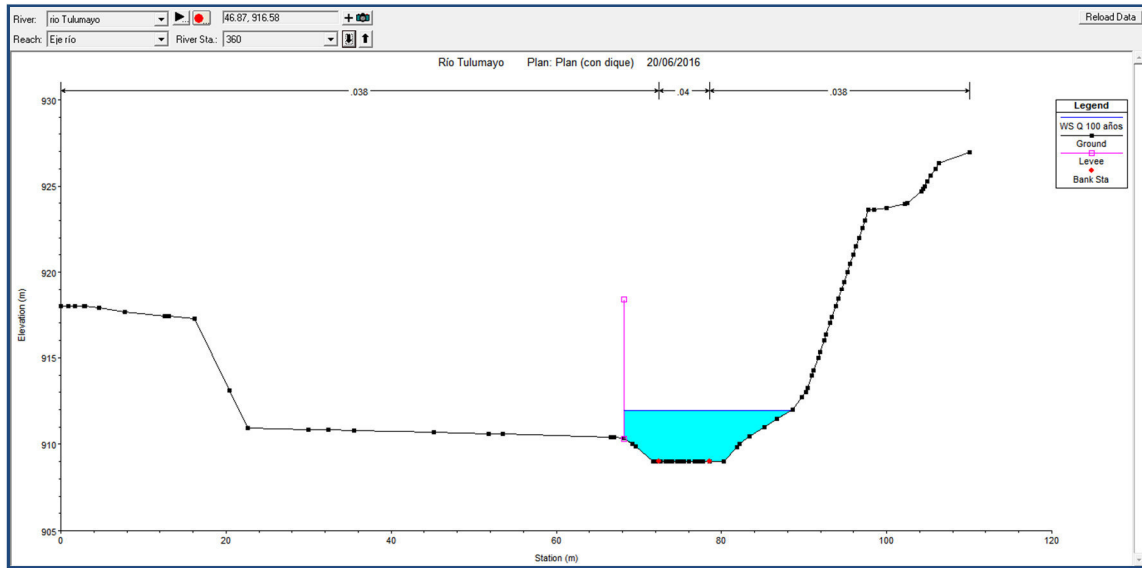


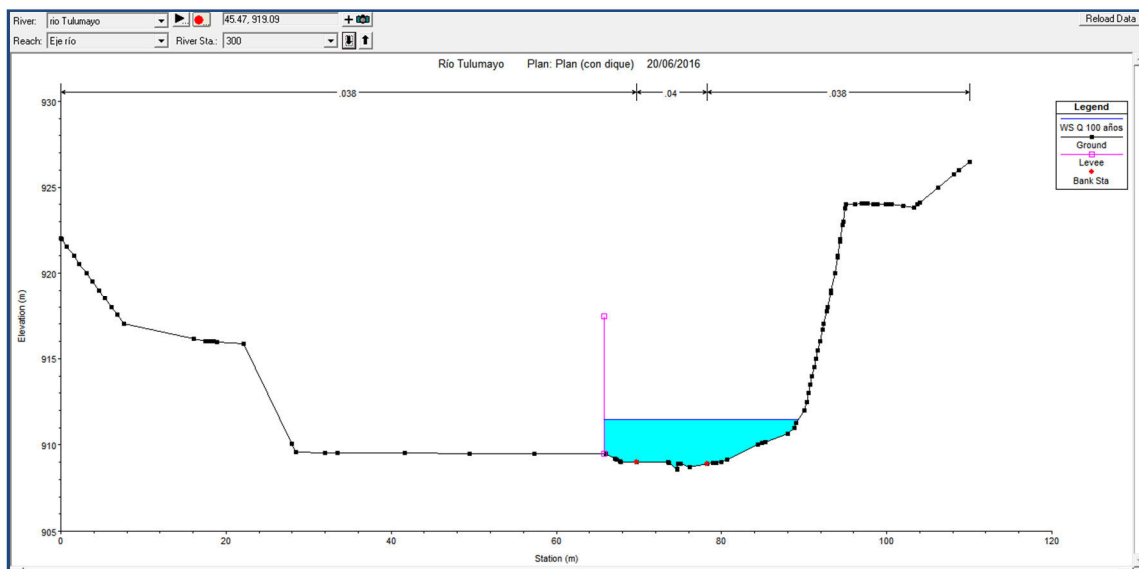
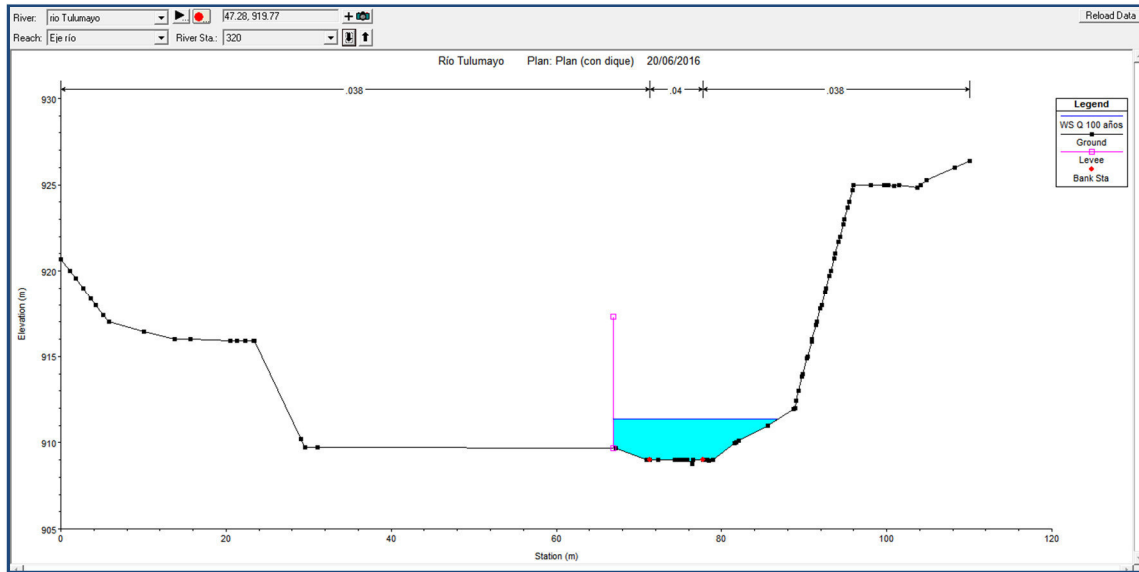


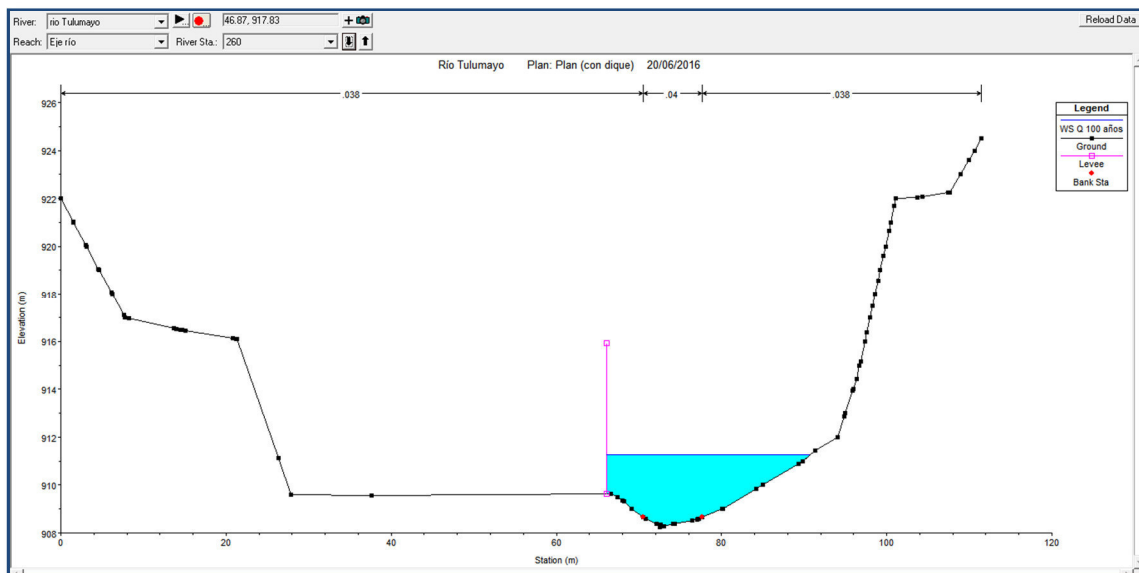
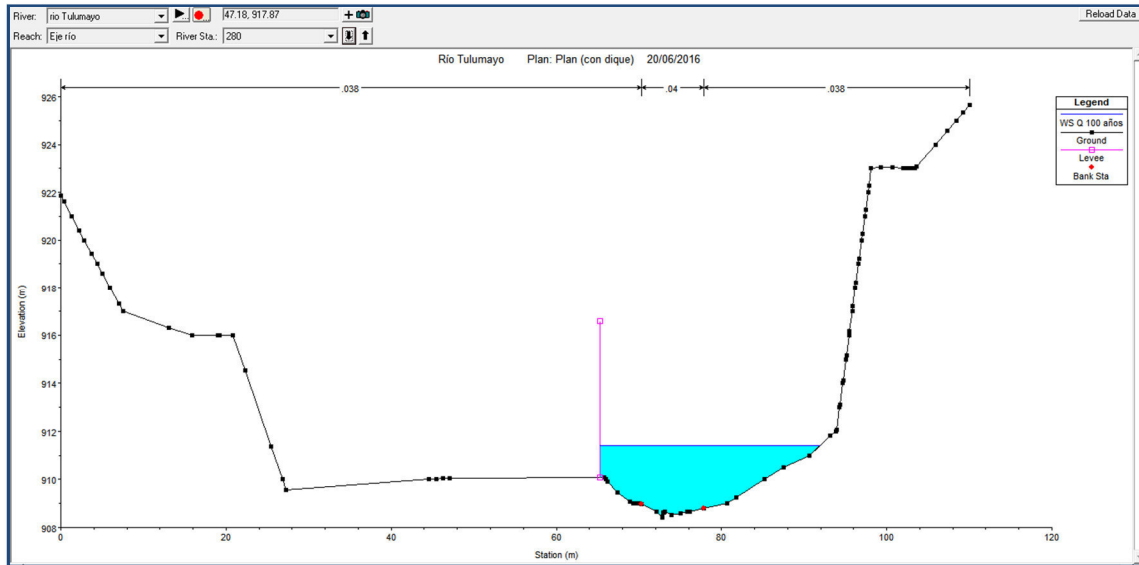


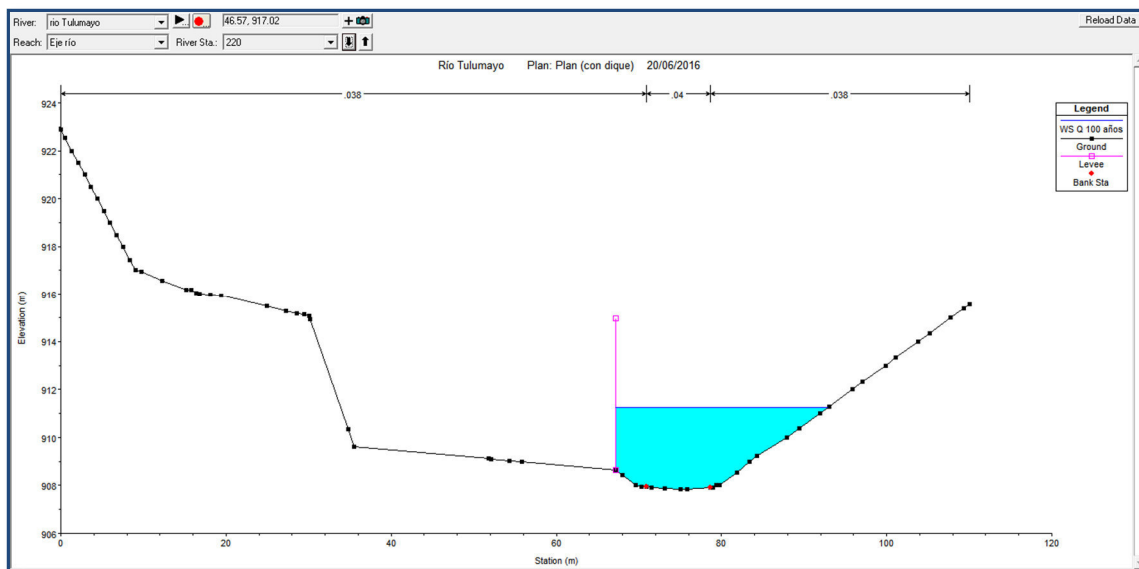
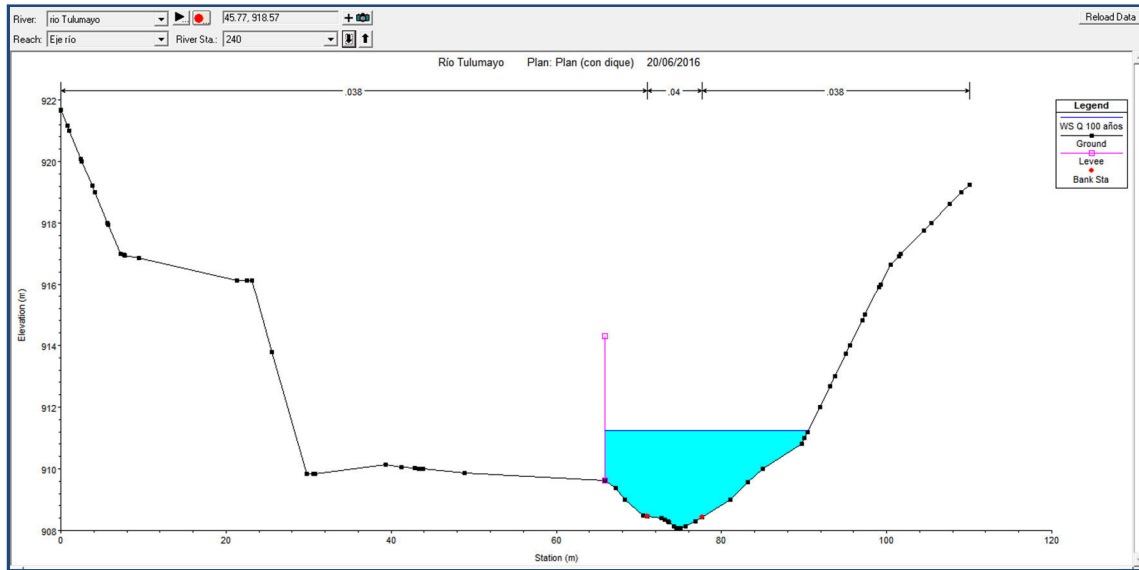


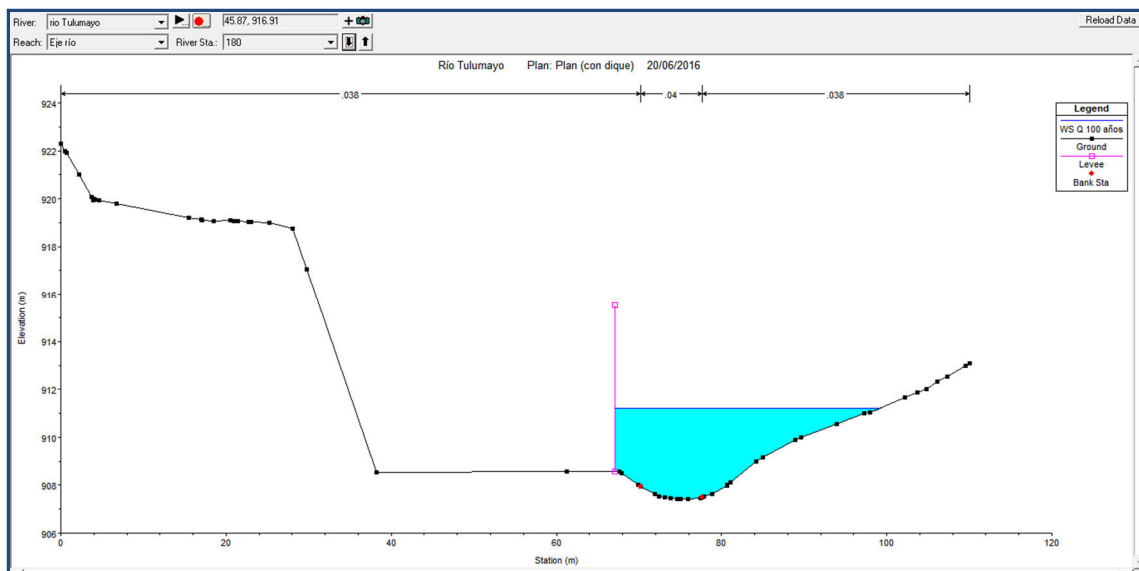
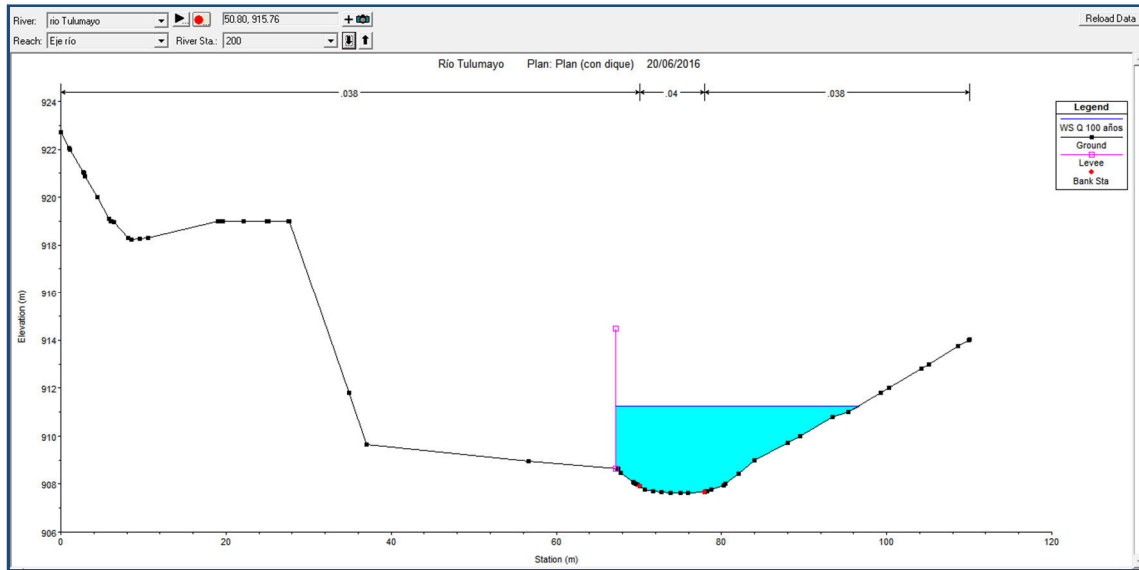


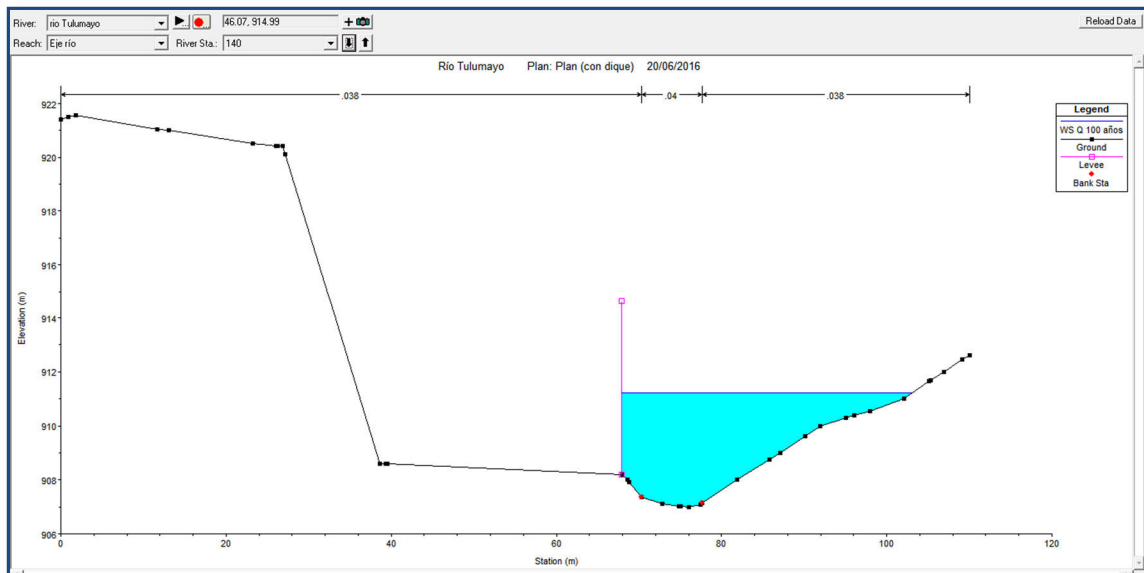
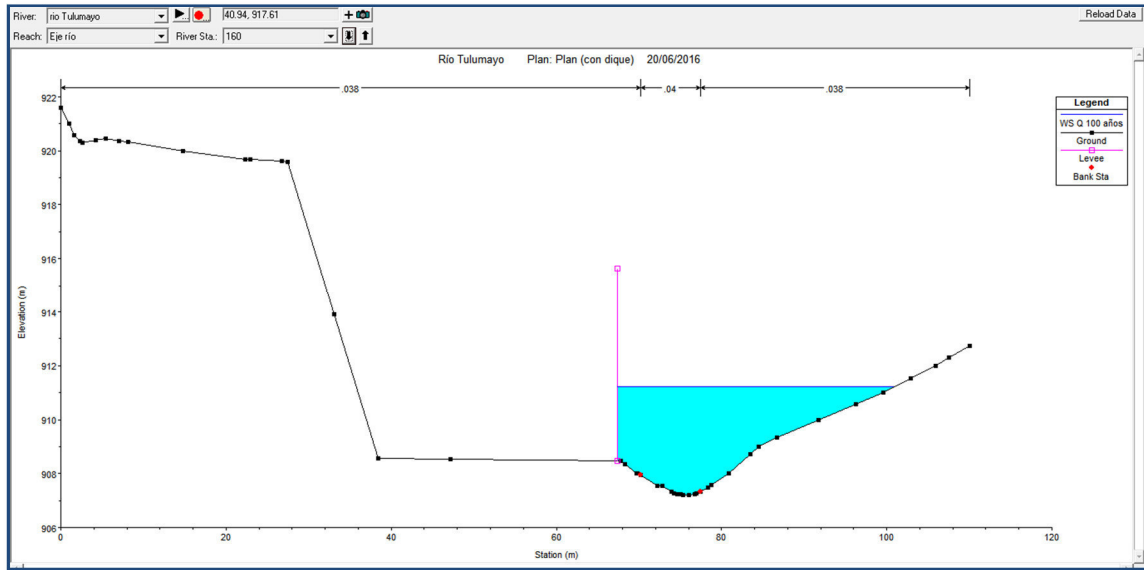


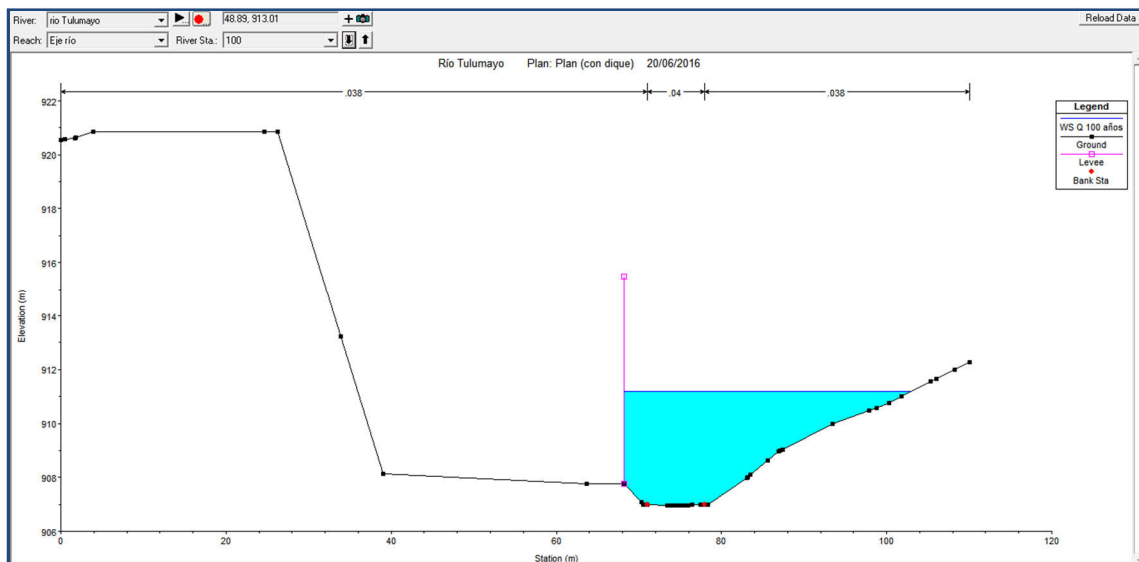
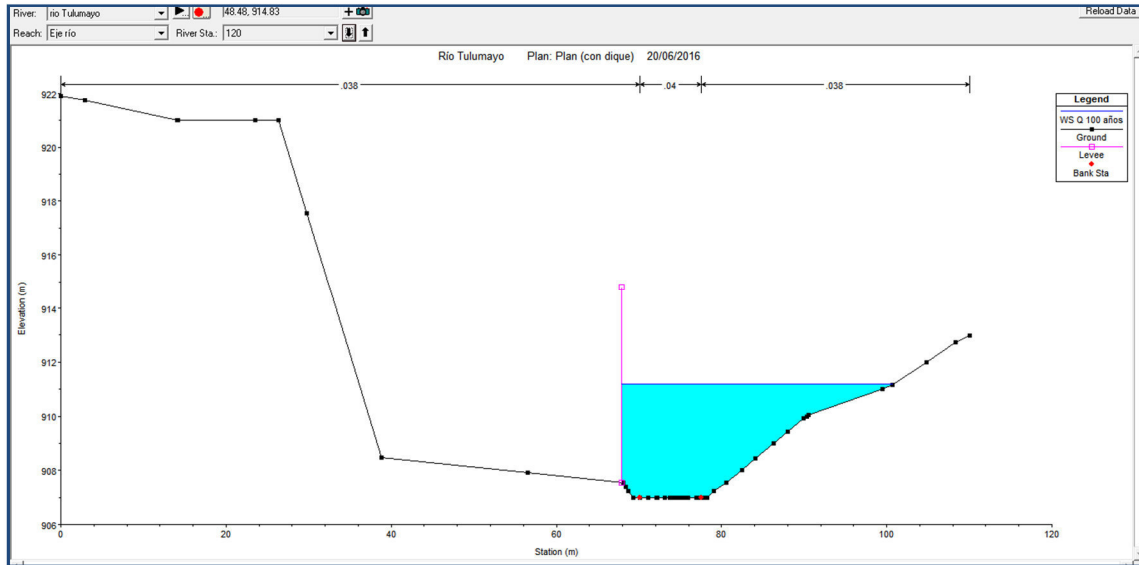


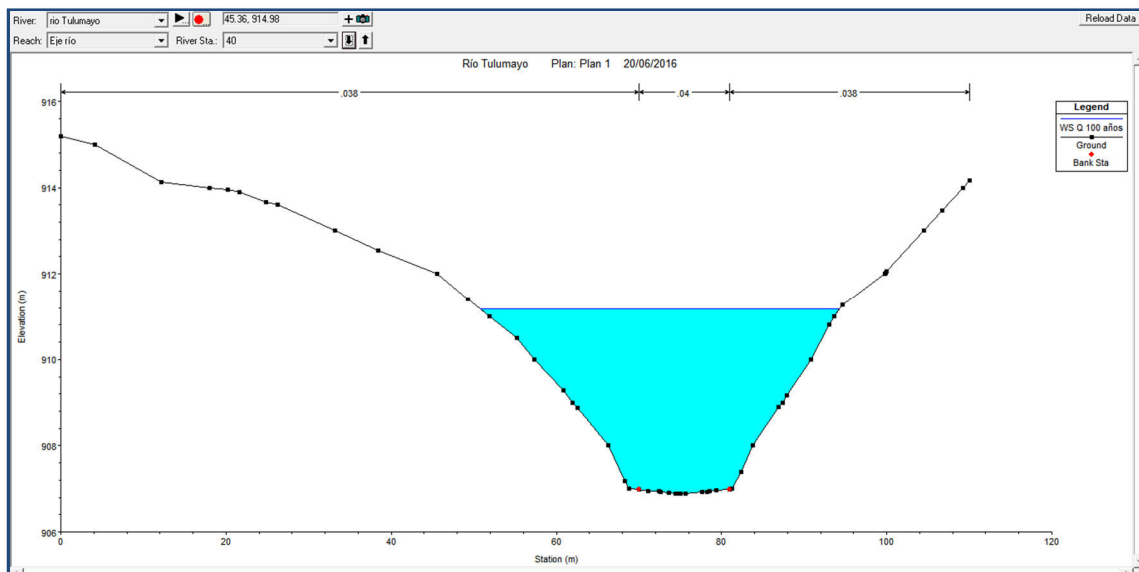
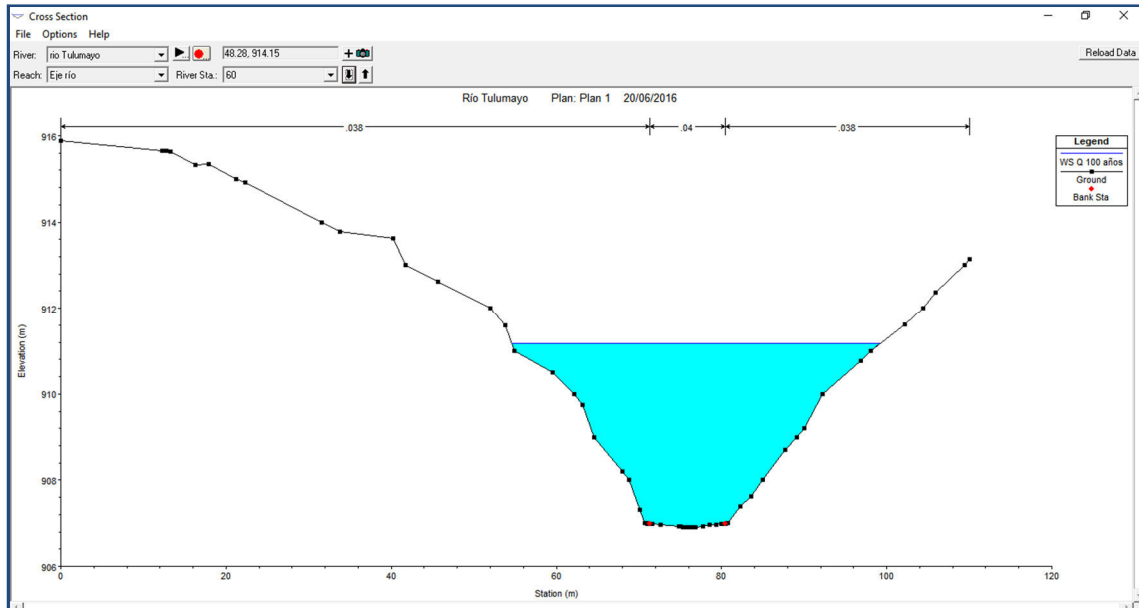


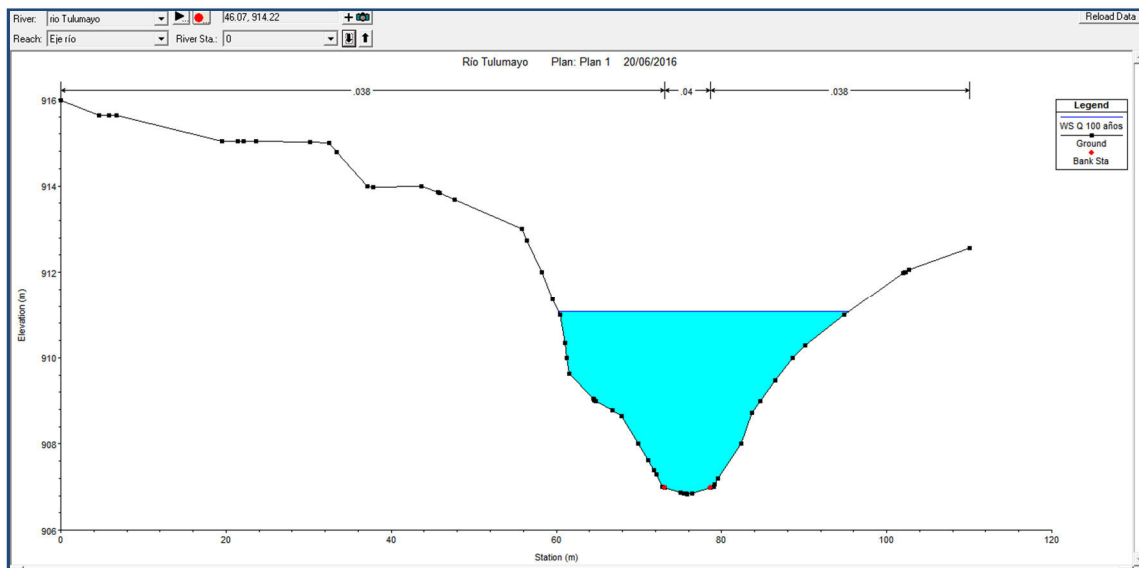
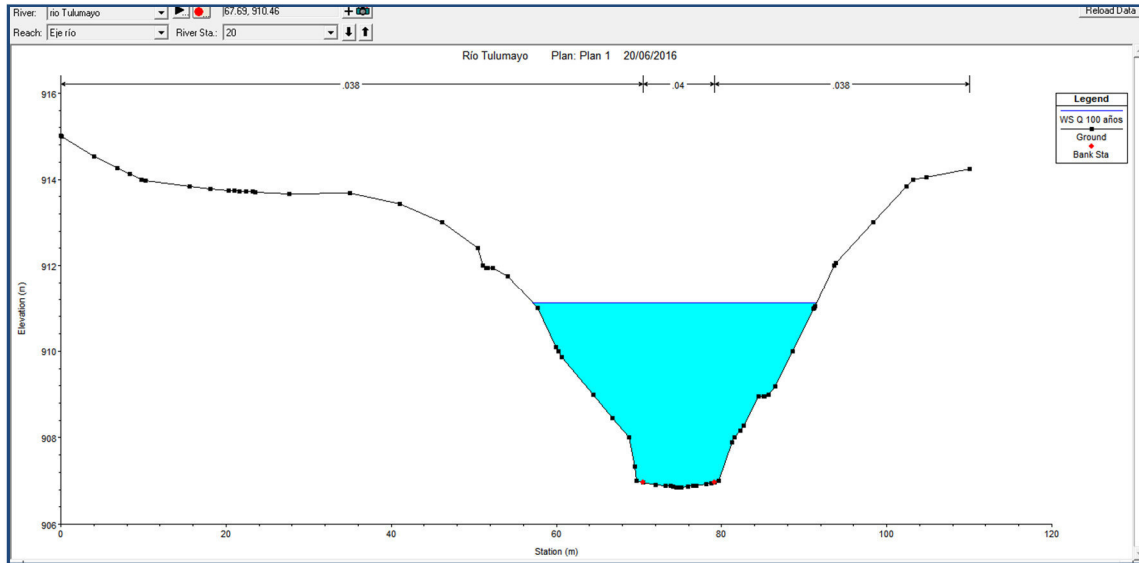












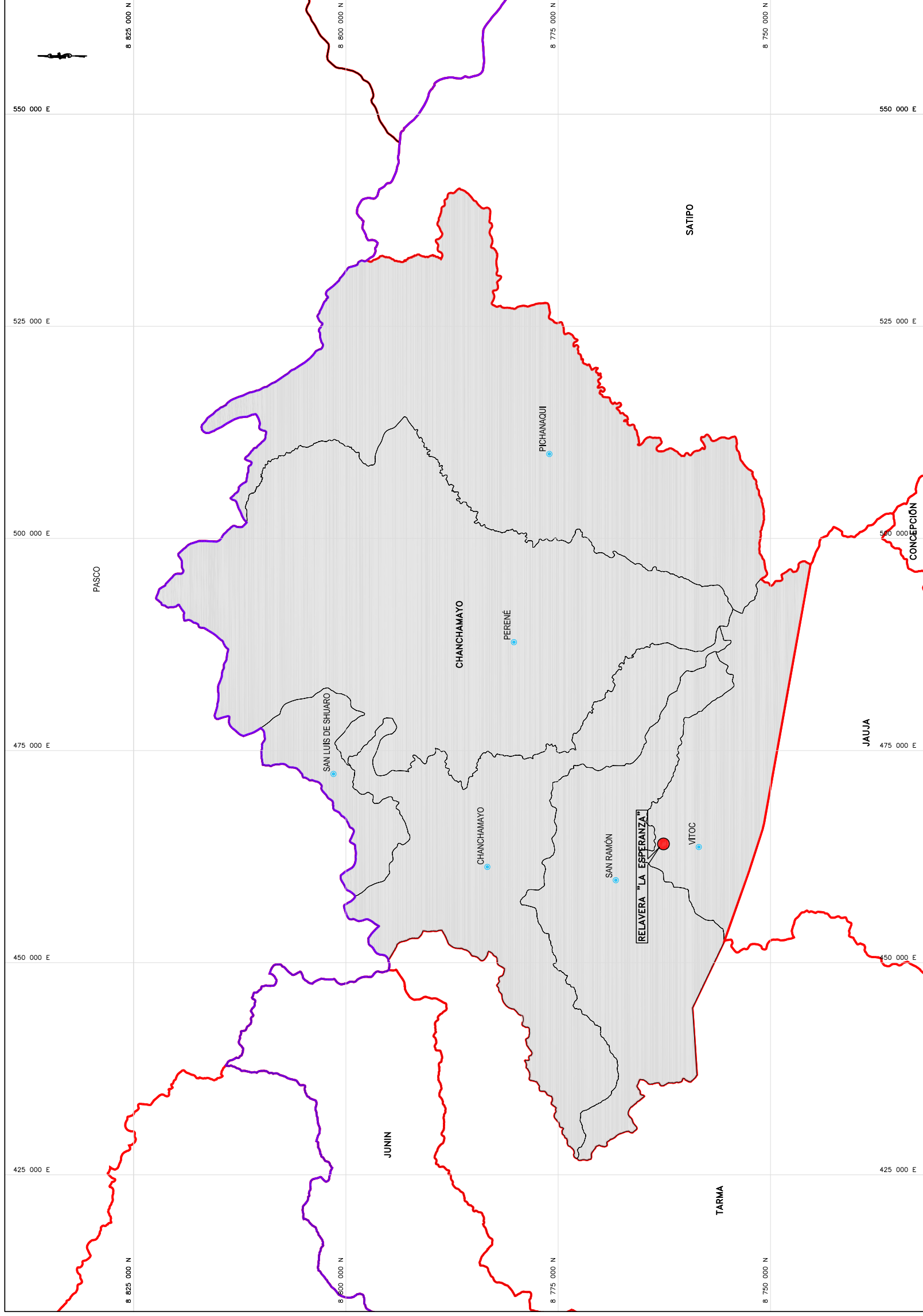


Reach	RiverSta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
RIO	880	100 años	124.2	916.99	919.23	919.00	919.59	0.0060	3.07	49.39	38.03	0.69
RIO	860	100 años	124.2	916.74	918.76	918.76	919.40	0.0105	3.96	37.81	30.76	0.91
RIO	840	100 años	124.2	916.52	917.94	918.25	919.03	0.0285	5.14	27.54	26.78	1.41
RIO	820	100 años	124.2	916.27	918.15	917.97	918.61	0.0097	3.59	44.97	50.12	0.85
RIO	800	100 años	124.2	916.03	917.90	917.90	918.40	0.0112	3.71	42.29	41.12	0.92
RIO	780	100 años	124.2	915.53	916.63	917.04	917.92	0.0491	5.66	25.90	36.34	1.78
RIO	760	100 años	124.2	914.99	916.45	916.58	917.18	0.0187	4.08	33.75	32.52	1.14
RIO	740	100 años	124.2	914.60	916.55	916.13	916.84	0.0047	2.58	53.19	35.01	0.61
RIO	720	100 años	124.2	914.22	916.07	916.07	916.67	0.0112	3.83	37.99	30.58	0.93
RIO	700	100 años	124.2	913.84	915.56	915.74	916.38	0.0169	4.48	33.21	30.78	1.12
RIO	680	100 años	124.2	913.50	915.24	915.45	916.03	0.0173	4.54	35.07	38.18	1.14
RIO	660	100 años	124.2	913.15	915.05	915.11	915.77	0.0140	4.11	35.20	31.17	1.02
RIO	640	100 años	124.2	912.62	913.81	914.25	915.21	0.0509	5.36	24.35	31.92	1.78
RIO	620	100 años	124.2	911.98	914.01	913.78	914.41	0.0069	2.94	46.22	36.02	0.72
RIO	600	100 años	124.2	911.70	913.97	913.47	914.27	0.0041	2.67	54.30	36.13	0.58
RIO	580	100 años	124.2	911.42	913.95	913.25	914.19	0.0030	2.45	59.31	33.94	0.50
RIO	560	100 años	124.2	911.13	913.38	913.38	914.05	0.0103	3.98	36.54	26.81	0.90
RIO	540	100 años	124.2	910.85	912.81	913.00	913.77	0.0161	4.77	30.43	23.24	1.12
RIO	520	100 años	124.2	910.57	912.21	912.53	913.36	0.0242	5.09	27.28	23.06	1.33
RIO	500	100 años	124.2	910.29	912.60	912.25	913.04	0.0062	3.20	43.96	26.65	0.71
RIO	480	100 años	124.2	910.01	912.57	911.99	912.91	0.0043	2.91	50.21	28.32	0.60
RIO	460	100 años	124.2	909.74	912.39	911.94	912.81	0.0048	3.23	46.76	27.67	0.64
RIO	440	100 años	124.2	909.47	912.34	911.70	912.71	0.0039	3.04	49.21	26.65	0.58
RIO	420	100 años	124.2	909.21	912.25	911.61	912.63	0.0037	3.02	47.72	22.77	0.57
RIO	400	100 años	124.2	909.00	912.26	911.32	912.54	0.0024	2.70	55.30	23.26	0.48
RIO	380	100 años	124.2	909.00	912.17	911.21	912.49	0.0028	2.83	52.13	21.35	0.51
RIO	360	100 años	124.2	909.00	911.94	911.30	912.40	0.0046	3.50	43.48	20.20	0.65
RIO	340	100 años	124.2	909.00	911.49	911.37	912.25	0.0093	4.43	34.01	18.15	0.90
RIO	320	100 años	124.2	908.78	911.38	911.17	912.04	0.0087	4.10	35.95	19.91	0.85
RIO	300	100 años	124.2	908.60	911.48	910.82	911.83	0.0040	2.91	49.14	23.50	0.58
RIO	280	100 años	124.2	908.41	911.42	910.75	911.75	0.0037	2.91	51.59	26.62	0.56
RIO	260	100 años	124.2	908.23	911.28	910.68	911.66	0.0041	3.18	48.20	24.68	0.60
RIO	240	100 años	124.2	908.05	911.23	910.53	911.58	0.0036	3.05	50.41	24.57	0.57
RIO	220	100 años	124.2	907.85	911.26	909.98	911.49	0.0019	2.46	62.53	25.76	0.43
RIO	200	100 años	124.2	907.63	911.25	909.84	911.44	0.0016	2.30	68.97	29.44	0.39
RIO	180	100 años	124.2	907.42	911.23	909.76	911.41	0.0015	2.28	72.03	32.17	0.38
RIO	160	100 años	124.2	907.21	911.21	909.71	911.38	0.0013	2.18	75.70	33.43	0.36
RIO	140	100 años	124.2	907.00	911.21	909.40	911.35	0.0010	2.01	83.66	35.18	0.32
RIO	120	100 años	124.2	906.98	911.18	909.17	911.33	0.0010	2.05	81.68	32.88	0.32
RIO	100	100 años	124.2	906.95	911.18	909.17	911.30	0.0009	1.95	86.55	34.67	0.30
RIO	80	100 años	124.2	906.93	911.17	908.97	911.28	0.0007	1.72	91.90	32.32	0.27
RIO	60	100 años	124.2	906.90	911.17	909.05	911.26	0.0006	1.58	105.14	44.58	0.25
RIO	40	100 años	124.2	906.88	911.17	908.89	911.25	0.0005	1.43	111.18	43.45	0.22
RIO	20	100 años	124.2	906.86	911.11	909.29	911.23	0.0008	1.80	88.54	34.31	0.28
RIO	0	100 años	124.2	906.83	911.08	909.47	911.21	0.0010	2.05	82.59	35.16	0.32

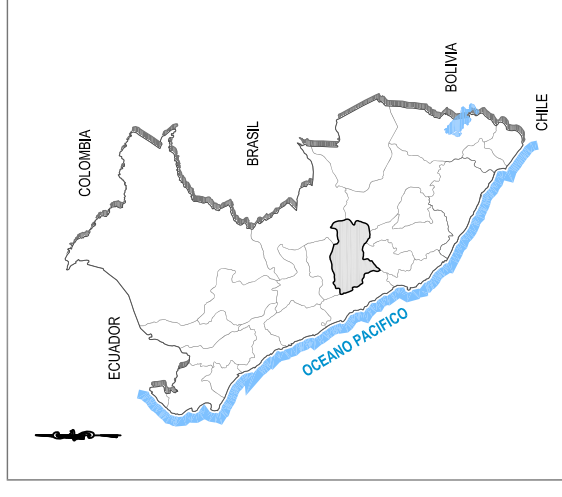


ANEXO 3

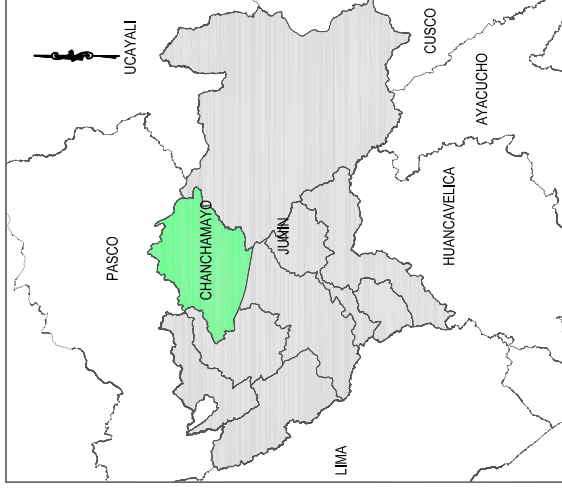
PLANOS



PROVINCIA
CHANCHAMAYO
ESC: 1:250000



MAPA DE UBICACION
NIVEL NACIONAL
ESC: SE



DEPARTAMENTO
JUNIN
ESC: SE



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR
DE SAN MARCOS**
Decana de América

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
EAP: INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS**

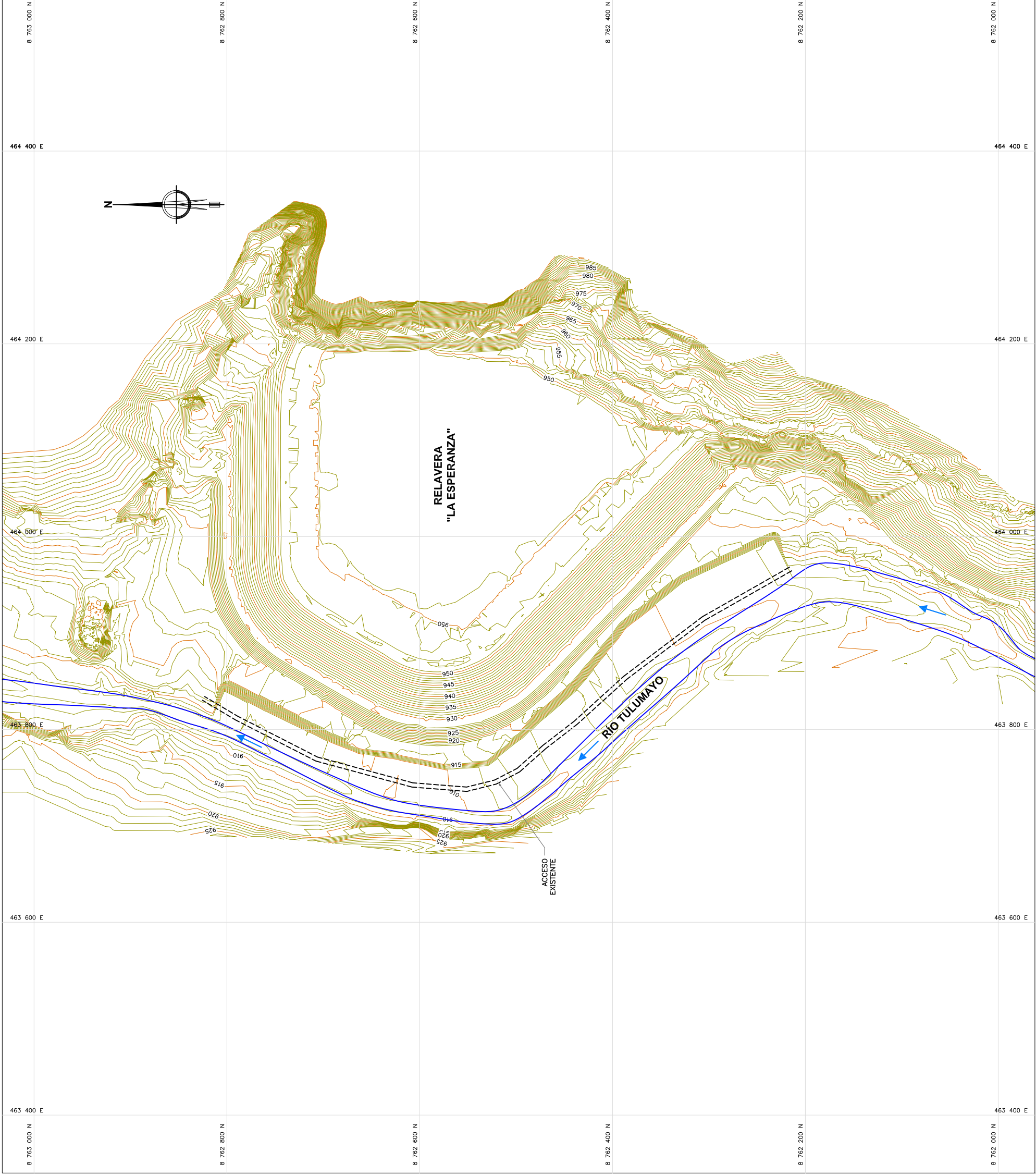
**MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS**

TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA:
**DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN
DE LA RELAVERA "LA ESPERANZA" - RÍO TULUMAYO**

ALUMNO: **GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUNDO** CÓDIGO: 06130064

TÍTULO DEL PLANO:
ING. JOSÉ FELICIANO JUAREZ CÉSPEDES

PLANO DE UBICACIÓN
PLANO N°: **P-01**
FECHA: **JUNIO 2016**



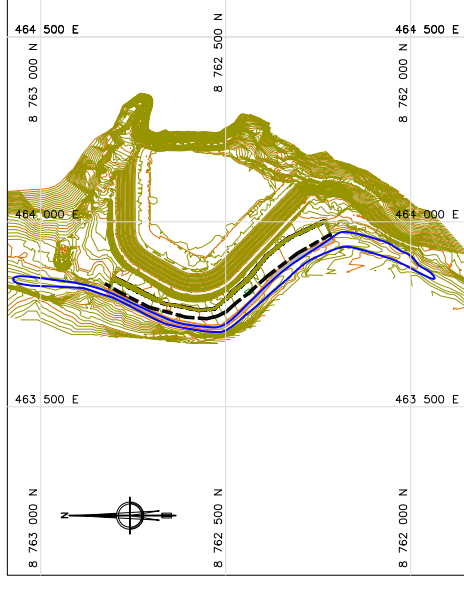
LEYENDA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	CURVA MAYOR
	CURVA MENOR
	ACCESOS
	CAUCE DE RIO
	SENTIDO DE FLUJO

NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
 3.- SISTEMA DE COORDENADAS UTM- DATUM PSAD 56 - ZONA 18
 1:1 000 0 20 40 60 80 100 m



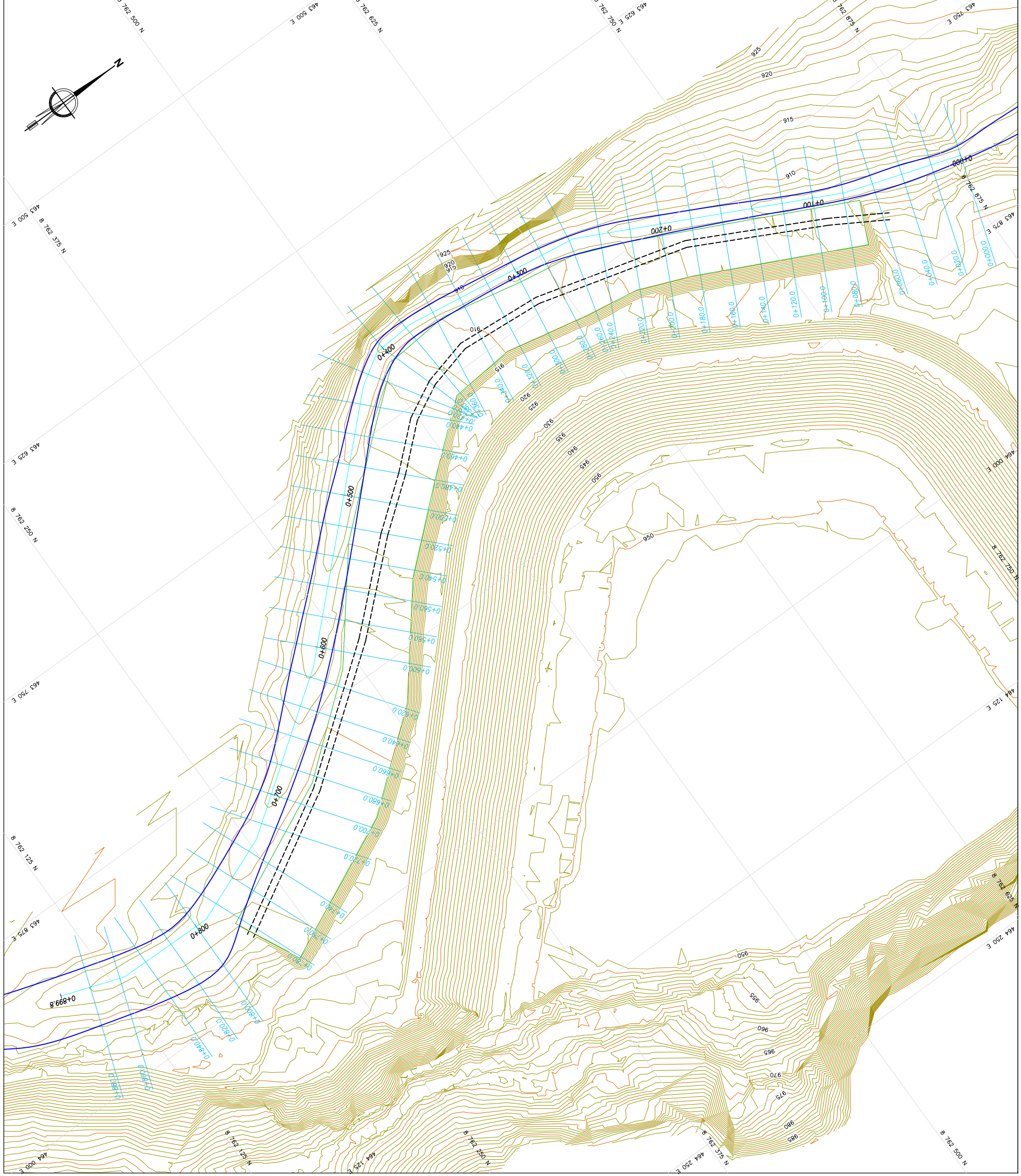
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
EAP: INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS
MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS
 TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA:
DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN DE LA RELAVERA "LA ESPERANZA" - RIO TULUMAYO
 ALUMNO: GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUNDO CÓDIGO: 06130064
 ASESOR: ING. JOSÉ FELICIANO JUÁREZ CÉSPEDES
 TÍTULO DEL PLANO:
TOPOGRAFÍA GENERAL DEL PROYECTO
 PLANO N°: P-02
 FECHA: JUNIO 2016

PLANTA
 ESC. 1:2 000



UBICACIÓN
ESC. 1:10 000

LEYENDA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	CURVA MAYOR
	CURVA MENOR
	ACCESOS
	CAUCE DE RÍO
	SENTIDO DE FLUJO



NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
 3.- SISTEMA DE COORDENADAS UTM- DATUM PSAO 56 - ZONA 18
 1:1 000 0 20 40 60 80 100 m

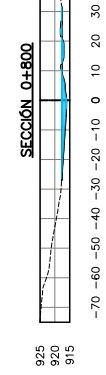
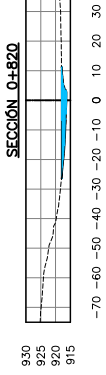
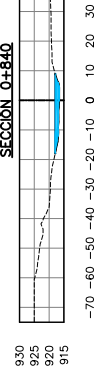
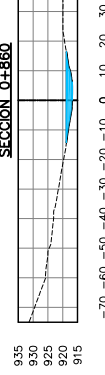
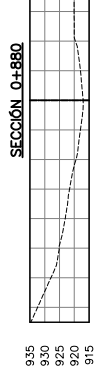
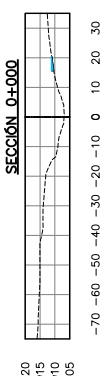
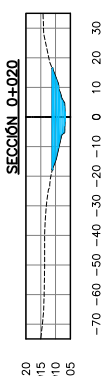
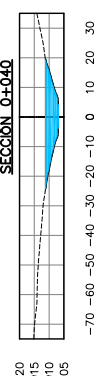
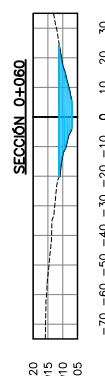
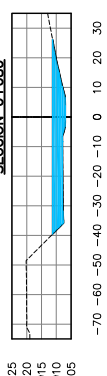
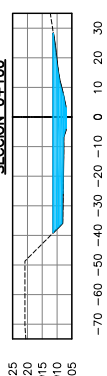
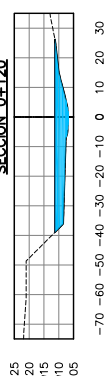
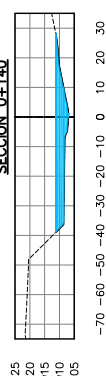
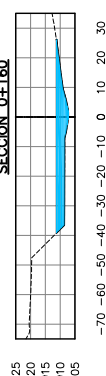
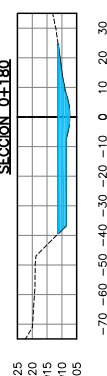
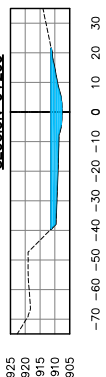
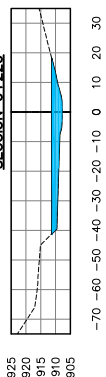
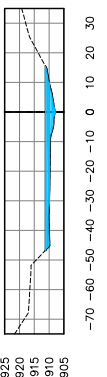
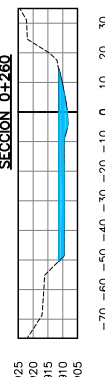
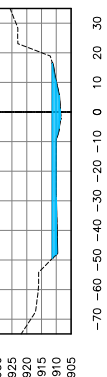
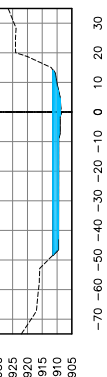
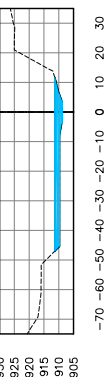
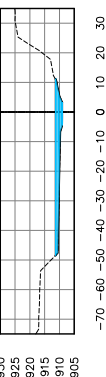
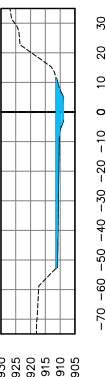
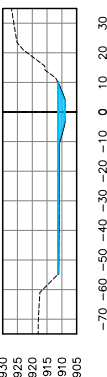
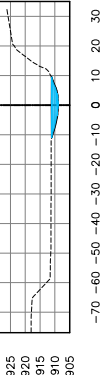
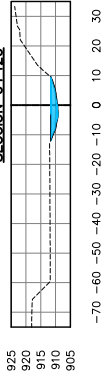
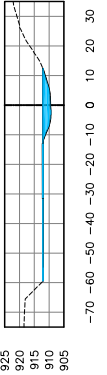
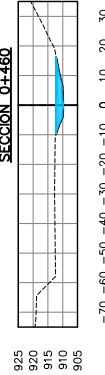
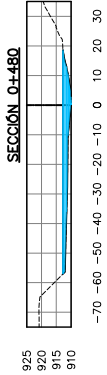
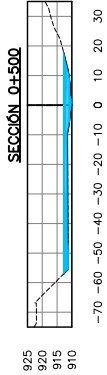
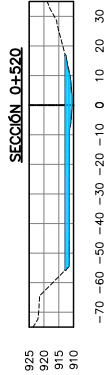
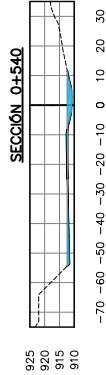
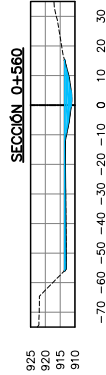
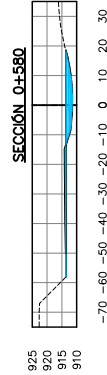
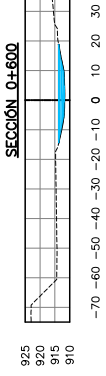
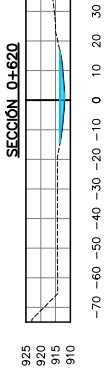
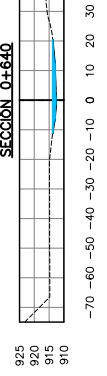
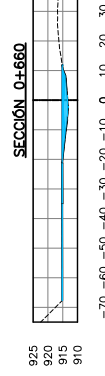
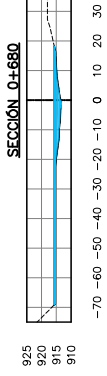
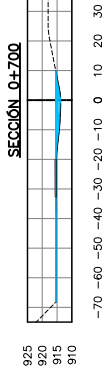
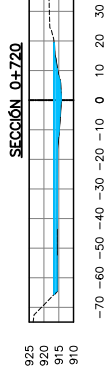
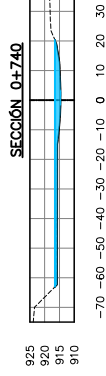
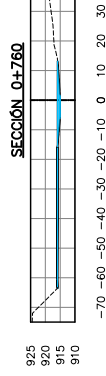
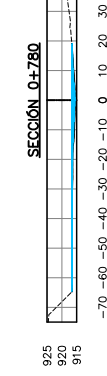


UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
EAP: INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS
MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS
 TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA:
DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN DE LA RELAVERA "LA ESPERANZA" - RÍO TULUMAYO
 ALUMNO: GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUNDO CÓDIGO: 06130064
 ASESOR: ING. JOSÉ FELICIANO JUÁREZ CÉSPEDES

TÍTULO DEL PLANO:
PLANTA - RÍO TULUMAYO
 PLANO N°: **P-03**
 FECHA: **JUNIO 2016**

PLANTA
 ESC. 1:1 250

LEYENDA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
---	SECCIÓN PROYECTADA
---	NIVEL DE FLUJO
---	TERRENO NATURAL
---	AGUA



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
EAP: INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS
MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS

TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA:
DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN DE LA RELAVERA "LA ESPERANZA" - RÍO TULUMAYO

ALUMNO: **GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUÑO** CÓDIGO: 06130064

ASESOR: **ING. JOSE FELICIANO JUAREZ CÉSPEDES**

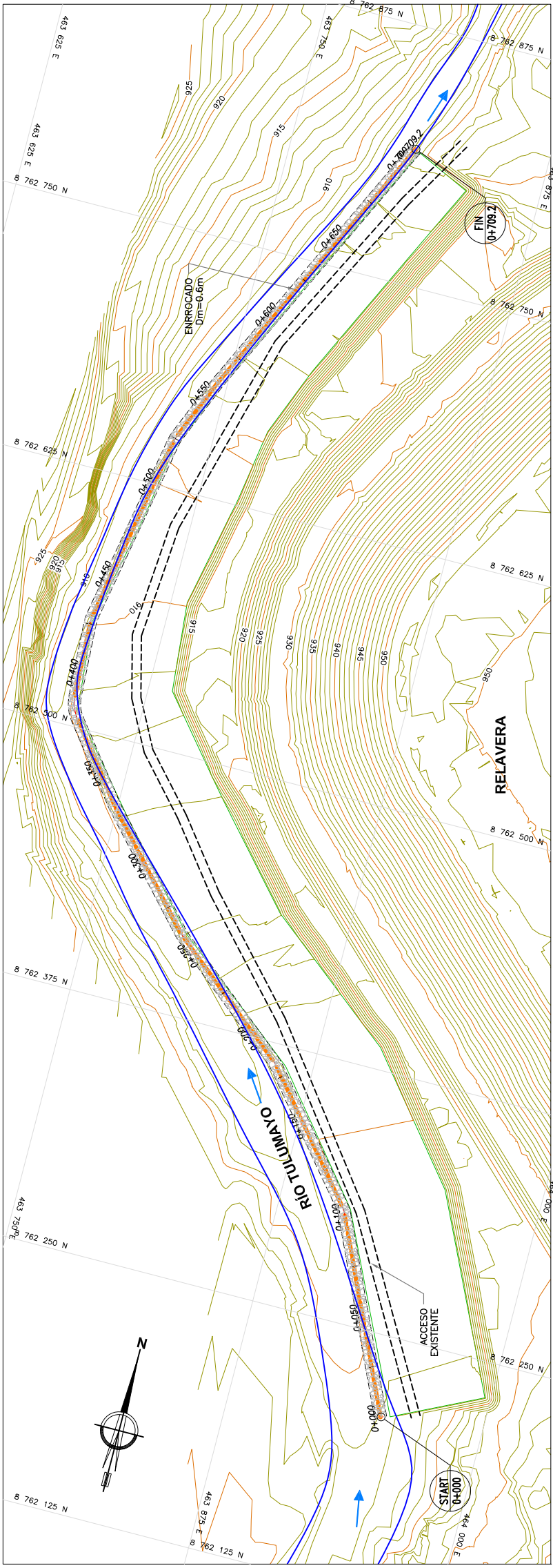
TÍTULO DEL PLANO:
SECCIONES TRANSVERSALES RÍO TULUMAYO

PLANO N°: **P-04**

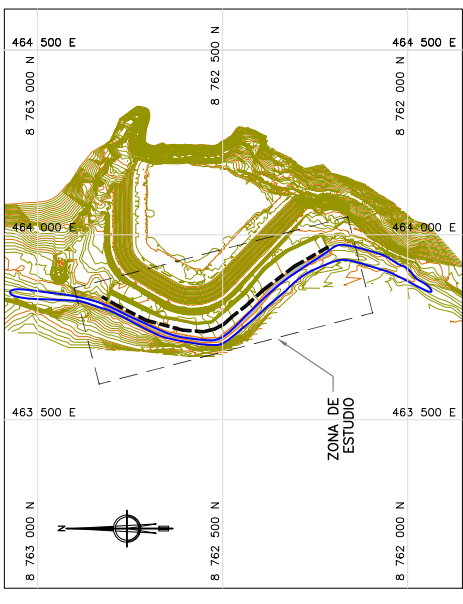
FECHA: **JUNIO 2016**

SECCIONES TRANSVERSALES

ESC. 1/150

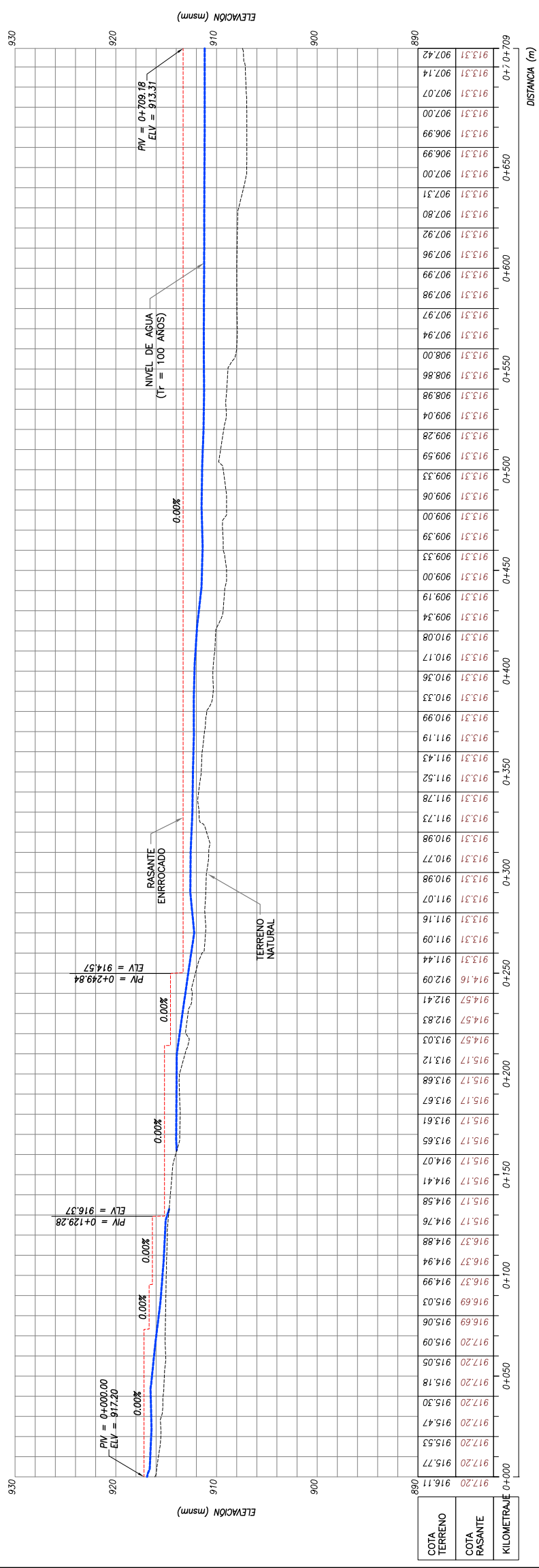


PLANTA
ESC. 1:1 250



UBICACIÓN
ESC. 1:10 000

LEYENDA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	CURVA MAYOR
	CURVA MENOR
	ACCESOS
	CAUCE DE RIO
	SENTIDO DE FLUJO
	ENROCCADO



PLANTA
ESC. H: 1:1 250
ESC. V: 1: 250

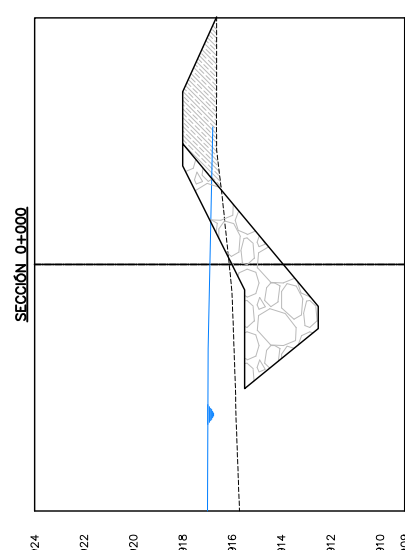
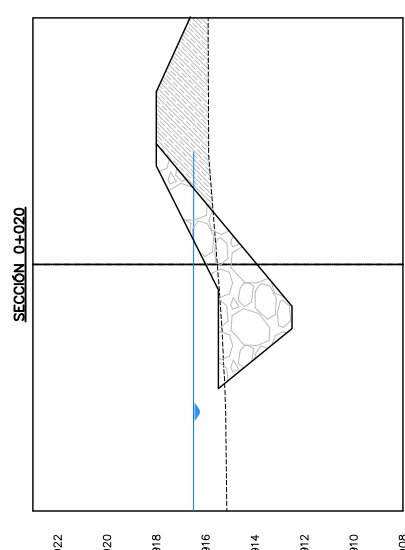
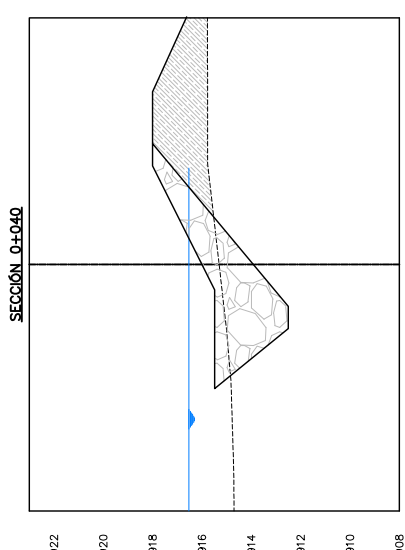
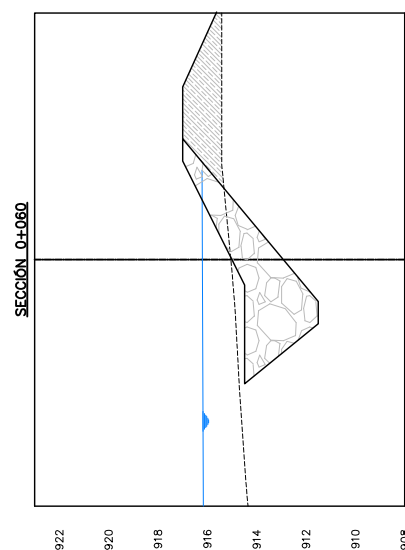
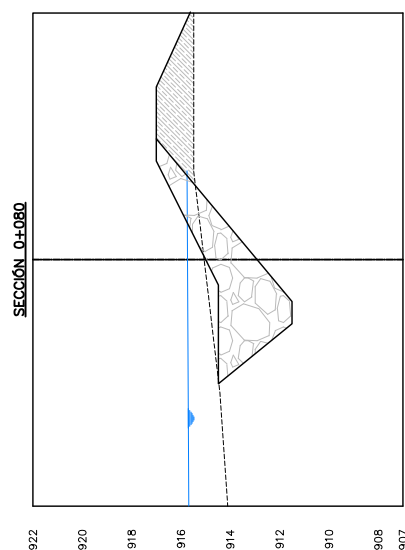
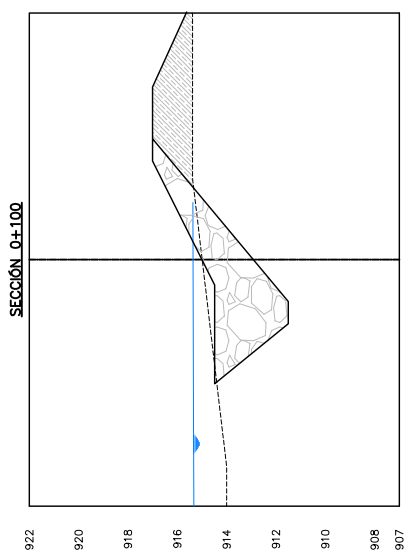
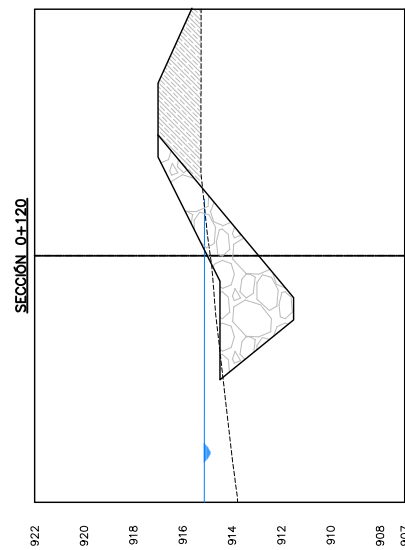
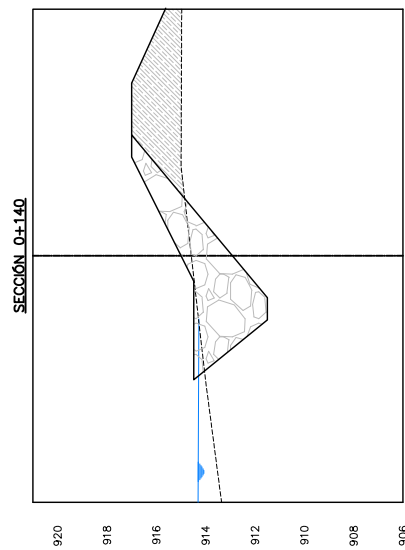
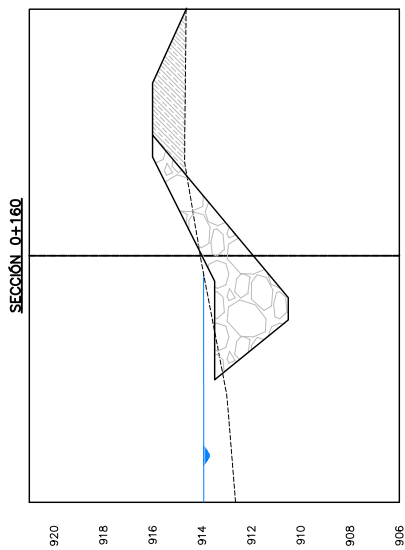
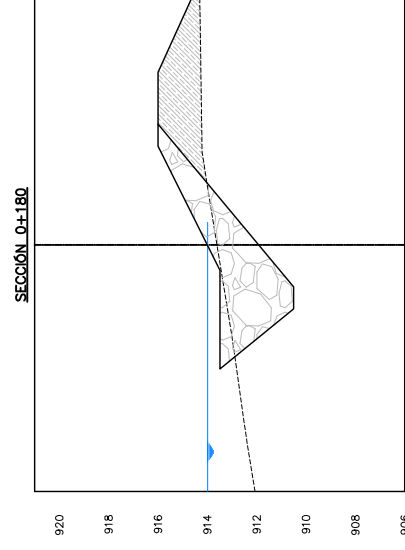
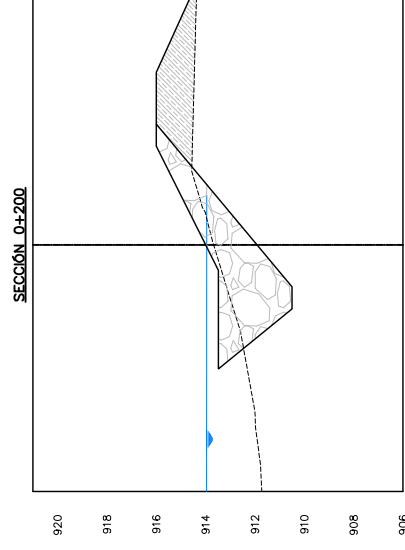
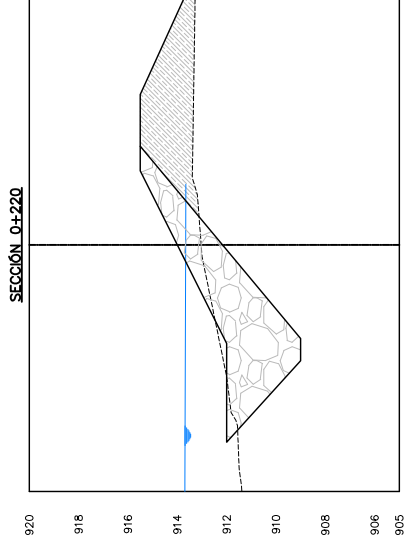
NOTAS :
1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
3.- SISTEMA DE COORDENADAS UTM- DATUM PSAD 56 - ZONA 18
1:1 000 0 20 40 60 80 100 m



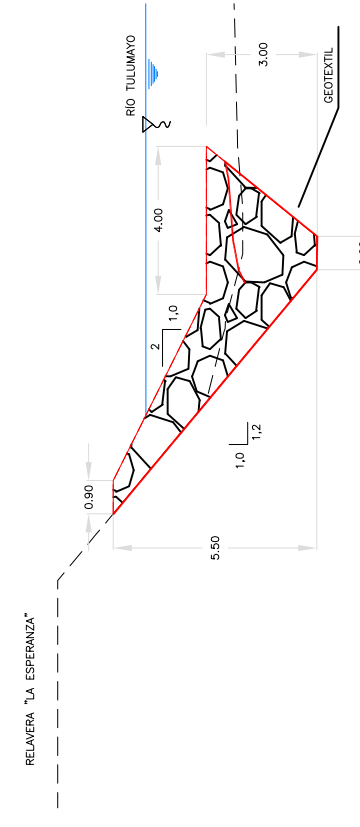
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
EAP: INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS
MONOGRAFIA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS

TÍTULO DE LA MONOGRAFIA:
DISEÑO DE ENROCCADOS DE PROTECCIÓN DE LA RELAVERA "LA ESPERANZA" - RIO TULUMAYO
ALUMNO: **GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUNDO** CÓDIGO: 06130064
ASESOR: **ING. JOSE FELICIANO JUAREZ CÉSPEDES**
TÍTULO DEL PLANO:
PLANTA - PERFIL LONGITUDINAL MURO DE ENROCCADO
PLANO N°: **P-05**
FECHA: **JUNIO 2016**

LEYENDA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
---	SECCIÓN PROYECTADA
—	NIVEL DE FLUJO
—	TERRENO NATURAL
▨	ENROCADO



SECCIONES TRANSVERSALES
ESC. 1/150



SECCIÓN TÍPICA TRAMO I
 PROG.: 0+000 - 0+200
 ESC. 1/100

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
EAP: INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS

TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA:
DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN DE LA RELAVERA "LA ESPERANZA" - RÍO TULUMAYO

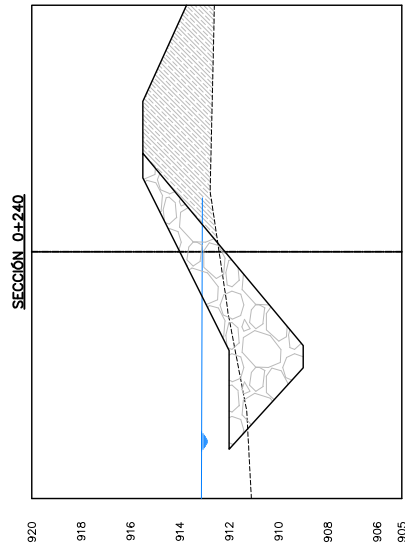
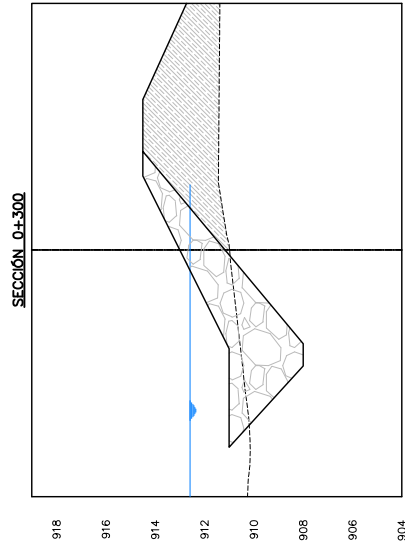
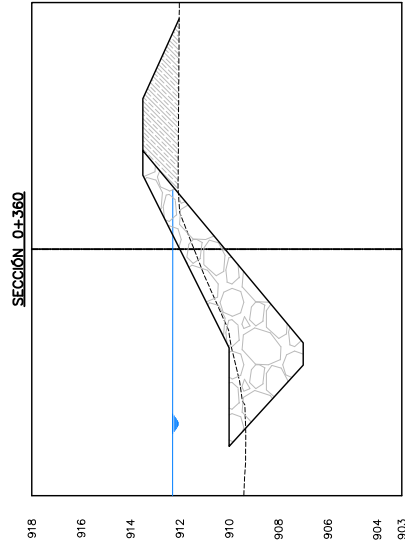
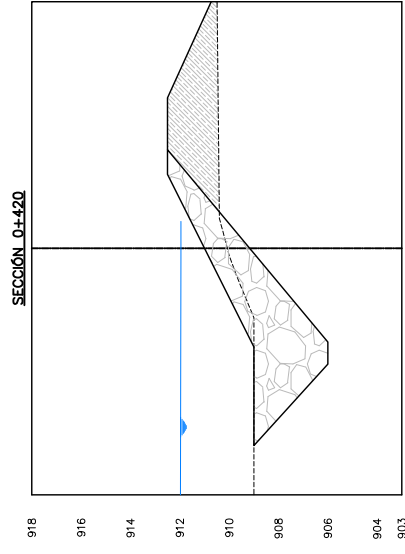
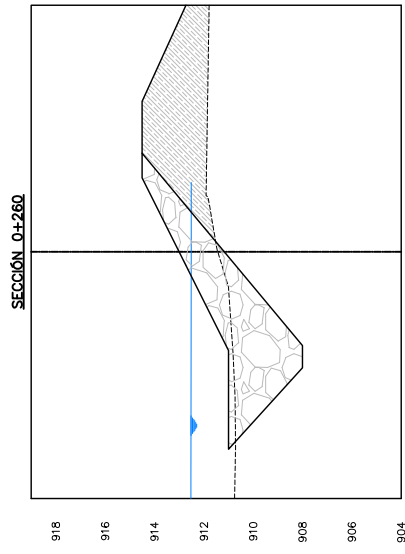
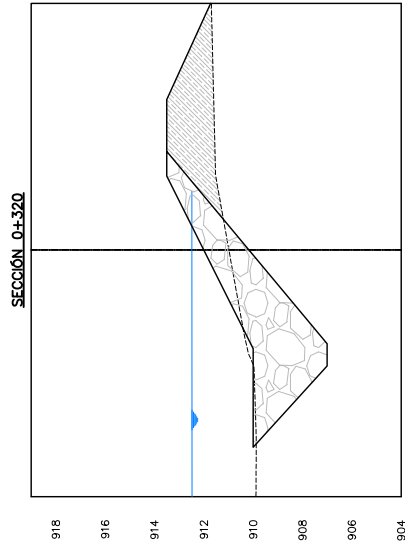
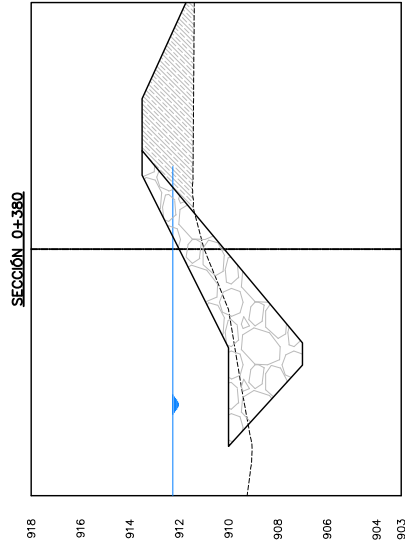
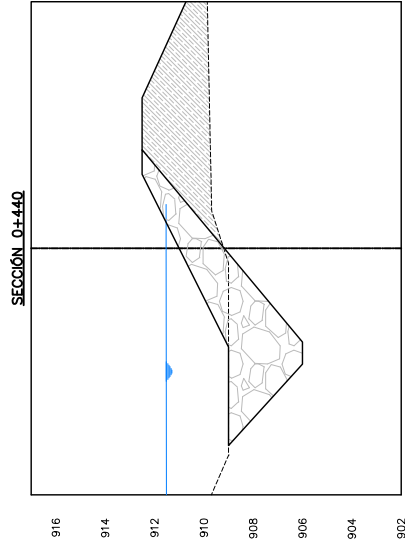
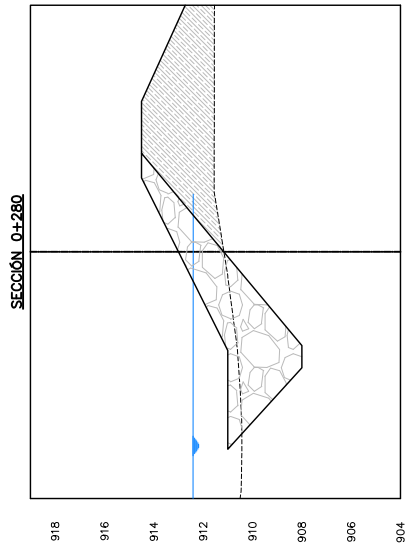
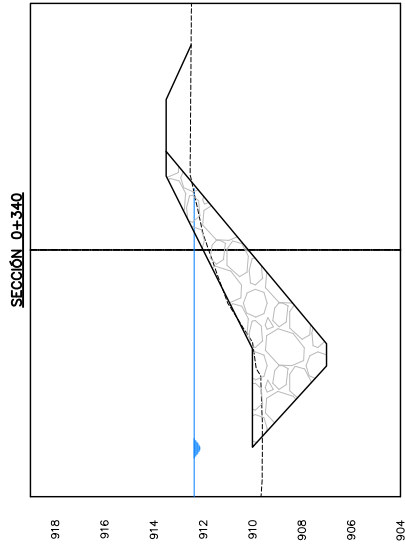
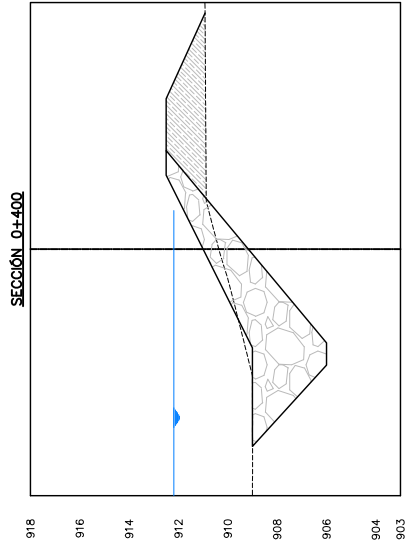
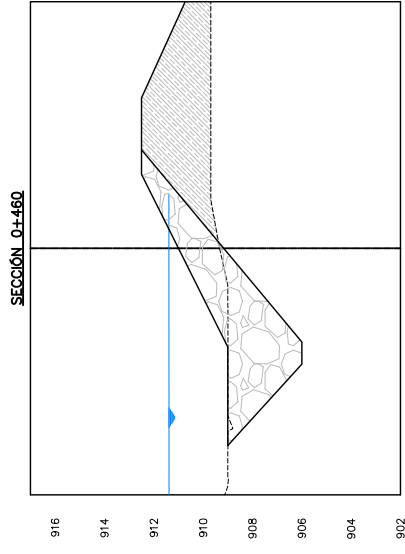
ALUMNO: GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUÑO CODIGO: 06130064

ASESOR: ING. JOSE FELICIANO JUAREZ CÉSPEDES

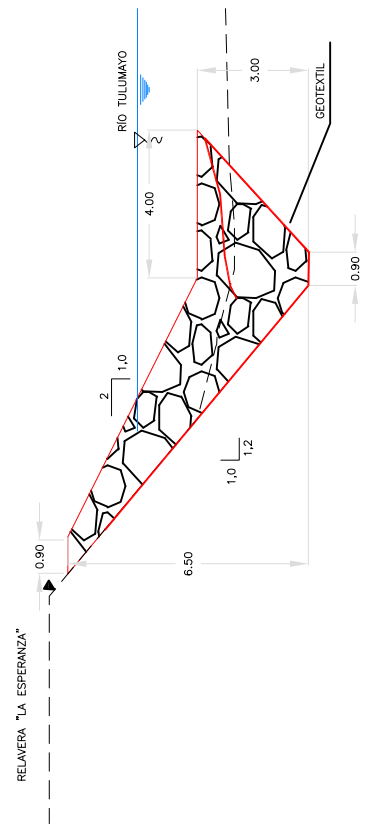
TÍTULO DEL PLANO:
SECCIONES TRANSVERSALES MURO DE ENROCADO

PLANO N°: P-06
 FECHA: JUNIO 2016

LEYENDA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
---	SECCIÓN PROYECTADA
—	NIVEL DE FLLUD
—	TERRENO NATURAL
█	ENROCCADO



SECCIONES TRANSVERSALES
ESC. 1/150



SECCIÓN TÍPICA TRAMO II
PROG.: 0+200 - 0+560
ESC. 1/100



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR
DE SAN MARCOS
Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
EAP: INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS
MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS

TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA:

DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN
DE LA RELAVERA "LA ESPERANZA" - RÍO TULUMAYO

ALUMNO: GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUÑO

ASESOR: ING. JOSÉ FELICIANO JUÁREZ CÉSPEDES

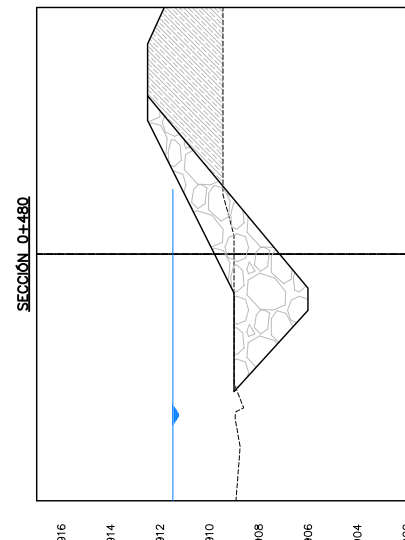
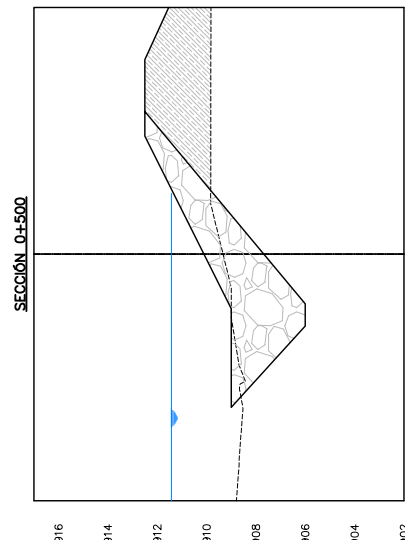
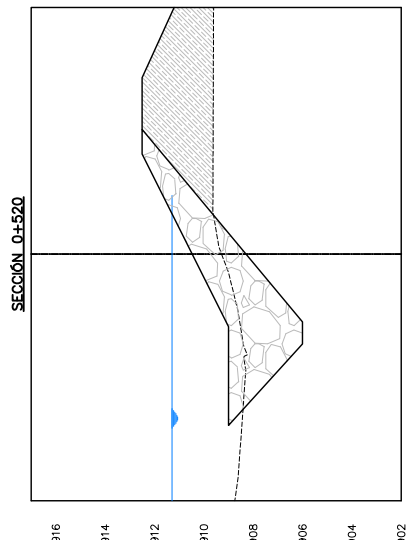
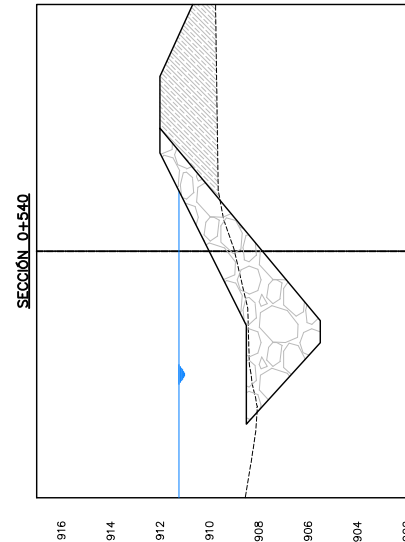
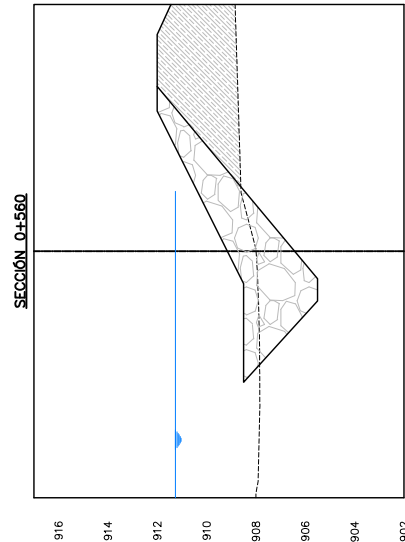
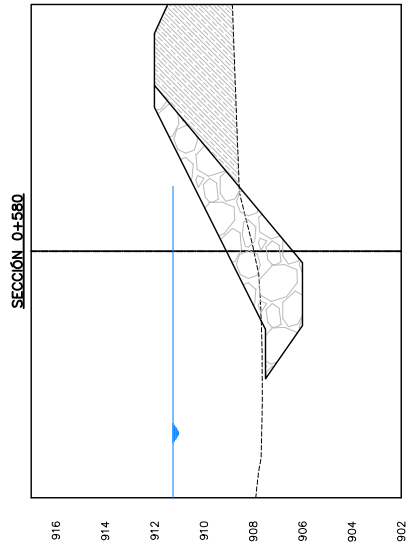
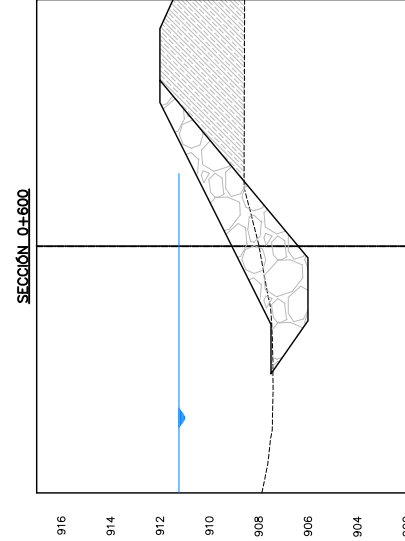
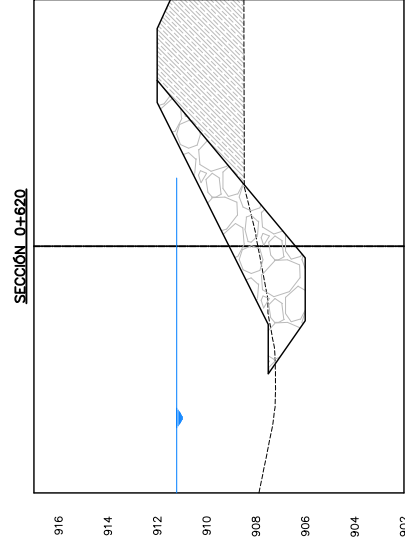
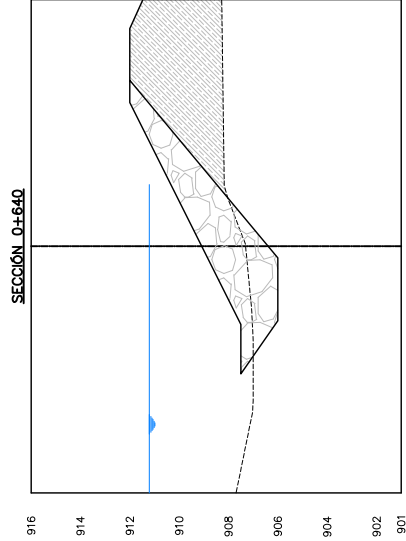
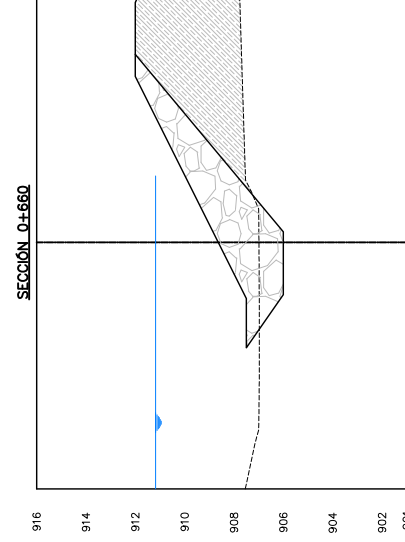
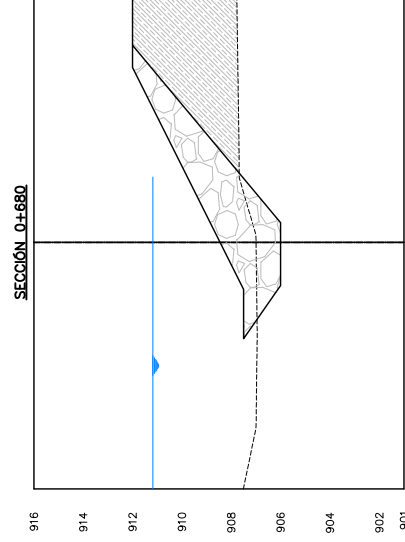
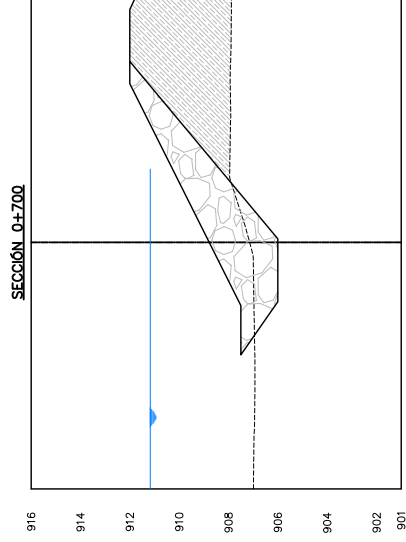
TÍTULO DEL PLANO:
SECCIONES TRANSVERSALES
MURO DE ENROCCADO

CODIGO: 06130064

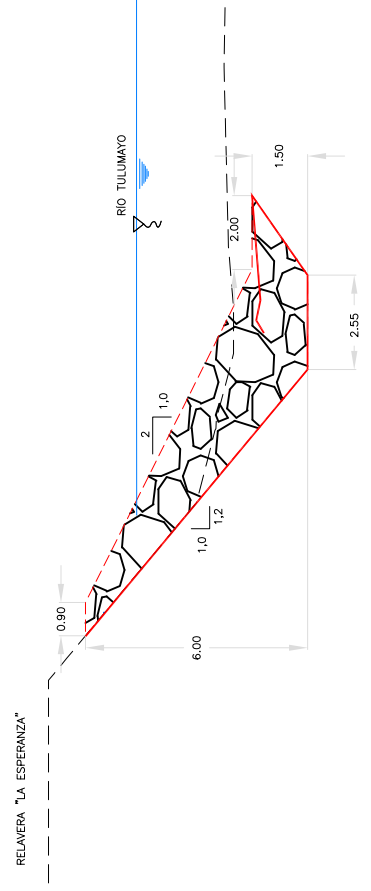
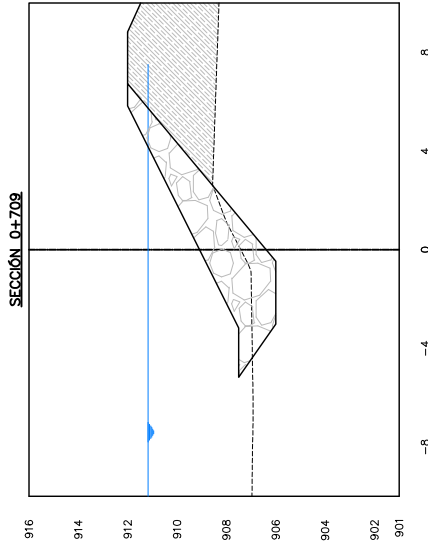
PLANO N°: P-07


FECHA: JUNIO 2016

LEYENDA	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
---	SECCIÓN PROYECTADA
—	NIVEL DE FULDO
---	TERRENO NATURAL
█	ENROCCADO



SECCIONES TRANSVERSALES
ESC. 1/150




UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
EAP: INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS
MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS
 TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA:
DISEÑO DE ENROCADOS DE PROTECCIÓN DE LA RELAVERA "LA ESPERANZA" - RÍO TULUMAYO
 ALUMNO: GIOVANNY NOEL MALDONADO REYMUÑO CODIGO: 06130064
 ING. JOSÉ FELICIANO JUÁREZ CÉSPEDES
 TÍTULO DEL PLANO:
SECCIONES TRANSVERSALES MURO DE ENROCCADO
 PLANO N°: P-08
 FECHA: JUNIO 2016

SECCIÓN TÍPICA TRAMO III
PROG.: 0+560 - 0+709
ESC. 1/100