

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**MEJORAMIENTO DE LA CONDUCCIÓN DEL CANAL MATRIZ RETIRO,
PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DE LINARES, REGIÓN DEL MAULE**

NICOLÁS IGNACIO VENEGAS PÁVEZ

PROYECTO DE TÍTULO
PRESENTADO A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AGRÍCOLA.

CHILLÁN – CHILE

2025

**MEJORAMIENTO DE LA CONDUCCIÓN DEL CANAL ADUCTOR RETIRO,
PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DE LINARES, REGIÓN DEL MAULE**

Aprobado por:

Ana María Aguilar Bazignan
Ingeniero Constructor
Profesor Asistente

Profesor Guía

José Luis Arumí
Ingeniero Civil, Ph.D.
Profesor Titular

Profesor Co-Guía

Eduardo Fuentes Morales
Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.
Evaluador Externo

Profesor asesor

Gastón Merlet Venturelli
Ingeniero Civil Químico, Ph.D.
Profesor Asociado

Director de Departamento

Octavio Lagos Roa
Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.
Profesor Titular

Decano

AGRADECIMIENTOS

“Quiero agradecer con todo mi corazón a mis padres por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante todos estos años. Ellos han sido mi fuerza en los momentos difíciles y quienes más han creído en mí. A mis amigos Felipe Ramos, Fernando fefe, Ismael Cea, Luis Salazar, Miguel Bustos, Rodrigo Fonseca y, en especial, a Francisco Valencia, por acompañarme siempre, motivarme y hacer de este camino algo mucho más llevadero. Y, por supuesto, a mis amigas Javiera Mórales, Alejandra Paredes, que estuvieron conmigo en todo momento y en donde compartimos risas, desvelos y recuerdos que guardaré por siempre. Gracias a todos ustedes por ser parte de este logro tan importante en mi vida.”

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos	5
3. ANTECEDENTES GENERALES.....	6
3.1. Ubicación del proyecto	6
3.2. Estado actual del canal	8
4. METODOLOGÍA.....	12
4.1. Identificación de las principales fuentes de pérdidas de agua, Inspección visual y recopilación de datos en terreno	12
4.2. Topografía	12
4.3. Modelación hidráulica.....	14
4.4. Comparación hidráulica del canal	16
4.5. Generación de planos y diseño de disipadores de energía.....	16
5. RESULTADOS	22
5.1. Diagnóstico del canal	22
5.2. Propuesta de mejora	24
5.3. Modelación hidráulica del estado actual del Canal Retiro en HEC- RAS®.....	25
5.4. Diseño de planos.....	30
5.5. Modelación hidráulica del Canal Retiro con su propuesta de mejora en HEC-RAS®.....	37
6 CONCLUSIONES.....	45
7 LITERATURA CITADA	47
8. ANEXO.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

En el texto	Página
Tabla 1. Parámetros de dimensionamiento de gradas disipadoras.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

En el texto	Página
Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, el Canal Retiro, y sus características geográficas..	6
Figura 2. Compuerta del canal matriz Retiro..	9
Figura 3. Sitio de estudio, canal Retiro. Comparación entre la situación antes de las crecidas del año 2023 (A) y la situación posterior al suceso (B)..	10
Figura 4. Situación actual del canal retiro en las coordenadas UTM 259091.m E, 6000500. m S (datum WGS 84)..	11
Figura 5. geometría de caída vertical con resalto hidráulico.....	18
Figura 6. Canal retiro aproximadamente 150 metros aguas abajo del inicio del tramo destruido..	23
Figura 7. Sección transversal de canal rectangular: tirante (y), ancho de solera(b) y ancho de lámina (T).	24
Figura 8. Perfil longitudinal del canal matriz Retiro aguas arriba.....	25
Figura 9. Perfil longitudinal del canal matriz Retiro aguas abajo.	26
Figura 10. Definición de caudal de modelación es de 2,109 m ³ /s y pendientes normalizadas de entrada (0,0031 m/m) y salida (0,004 m/m) en HEC-RAS®.	27
Figura 11. Perfil longitudinal del canal matriz Retiro obtenido en HEC-RAS®, indicando la elevación del fondo, la línea de agua (WS) y la línea de energía (EG)..	28
Figura 12. resultados del perfil longitudinal del canal matriz Retiro obtenida en HEC-RAS®.	29

Figura 13. Perfil longitudinal – Sección 1 del tramo mejorado (PK 460-360) hasta el punto previo a la grada 1. ajuste $S=0,0018$ m/m.....	31
Figura 14. Perfil longitudinal – Sección 2 del tramo mejorado (PK 340–280) hasta el punto previo a la grada 2. ajuste $S=0,0018$ m/m....	31
Figura 15. Perfil longitudinal – Sección 3 del tramo mejorado (PK 260-120) hasta el punto previo a la grada 3. ajuste $S=0,0018$ m/m.....	32
Figura 16. Determinación del tirante normal del canal matriz Retiro mediante software H-Canales.....	33
Figura 17. Perfil longitudinal de la Grada 1, mostrando las dimensiones y alturas de caída.	35
Figura 18. Perfil longitudinal de la Grada 2, mostrando las dimensiones y altura de caída.....	35
Figura 19. Perfil longitudinal de la Grada 3, mostrando las dimensiones y altura de caída.....	35
Figura 20. Ancho de solera, alturas de muro y espesor de losa.....	36
Figura 21. Parámetros de modelación hidráulica con diseño del canal matriz Retiro en software HEC-RAS®."	37
Figura 22. Perfil Longitudinal del canal matriz Retiro con Propuesta de Mejora en HEC-RAS®"	38
Figura 23. Asignación de coeficientes de rugosidad (n) en canal según su sección transversal en (HEC-RAS®).	40
Figura 24. Resultados de Modelación Hidráulica del canal matriz Retiro: Perfil y Parámetros Clave en HEC-RAS®"	41
Figura 25. Sección transversal estado actual. PK 440	43
Figura 26. Sección transversal con su mejora. PK 440	44

En el anexo	Página
Figura 27. Análisis de suelo.....	48
Figura 28. Secciones transversales modeladas en HEC-RAS del Canal Matriz Retiro situación actual.....	53
Figura 29. Secciones transversales modeladas en HEC-RAS del Canal Matriz Retiro situación mejorada.....	58
Figura 30. Secciones transversales de diseño en Civil 3D del Canal Matriz Retiro.....	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

En el texto	Página
Ecuación 1. Moritz.....	15
Ecuación 2. Caudal unitario.....	17
Ecuación 3. Altura crítica.....	18
Ecuación 4. Altura del torrente al pie.....	19
Ecuación 5. Altura del régimen subcrítico aguas abajo	19
Ecuación 6. altura del nivel de agua vertical de la caída	20
Ecuación 7. longitud del resalto hidráulico al pie de la caída	20
Ecuación 8. distancia horizontal al punto de impacto del flujo	20
Ecuación 9. altura efectiva de la grada en la cubeta	21

**MEJORAMIENTO DE LA CONDUCCIÓN EN EL CANAL ADUCTOR
RETIRO, PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DE LINARES, REGIÓN DEL
MAULE**

IMPROVEMENT OF CONDUCT IN THE RETIRO ADUCTOR CHANNEL,
BELONGING TO THE PROVINCE OF LINARES, MAULE REGION

Palabras claves: Infiltración, Modelación hidráulica, Diseño geométrico de canales, Eficiencia de conducción.

RESUMEN

La red de canales del Maule es una infraestructura crítica para la seguridad hídrica agrícola; sin embargo, la infiltración, la erosión y el deterioro estructural reducen su eficiencia. Este estudio diagnostica y propone el mejoramiento del Canal Matriz Retiro, afectado por crecidas del año 2023. La metodología combinó inspección en terreno, levantamiento topográfico, modelación unidimensional en HEC-RAS y diseño geométrico en Civil 3D. La alternativa regulariza la sección transversal, corrige la pendiente del tramo intervenido e incorpora gradas disipadoras de energía para asegurar régimen subcrítico. Se adoptaron coeficientes de rugosidad de Manning diferenciados según material y condición. Con un caudal de diseño de $2,109 \text{ m}^3/\text{s}$, la comparación estado actual versus propuesta evidencia una reducción significativa del gradiente energético, velocidades admisibles para hormigón ($1,3\text{--}1,9 \text{ m/s}$) y menores pérdidas por conducción estimadas con la fórmula de Moritz. En conjunto, la propuesta incrementa la capacidad de transporte y fortalece la seguridad hidráulica global del canal.

**IMPROVEMENT OF CONDUCT IN THE RETIRO ADUCTOR CHANNEL,
BELONGING TO THE PROVINCE OF LINARES, MAULE REGION**

Keywords: Infiltration, Hydraulic modeling, Channel geometric design, Conveyance efficiency.

ABSTRACT

The Maule channel network is critical infrastructure for agricultural water security; however, infiltration, erosion, and structural deterioration reduce its efficiency. This study diagnoses and proposes improvements to the Retiro Main Channel, impacted by 2023 flood events and underlain by permeable soils. The methodology combined field inspection, topographic surveying, one-dimensional modeling in HEC-RAS, and geometric design in Civil 3D. The proposed alternative regularizes the cross-section, corrects the slope of the intervened reach, and incorporates energy-dissipating steps to ensure subcritical flow. Manning roughness coefficients were differentiated by material and condition. With a design discharge of $2.109 \text{ m}^3/\text{s}$, the current-versus-proposed comparison shows a significant reduction in the energy gradient, admissible velocities for concrete (1.3–1.9 m/s), and lower conveyance losses estimated using the Moritz formula. Overall, the proposal increases conveyance capacity and strengthens the channel's hydraulic safety.

1. INTRODUCCIÓN

Chile cuenta con una extensa y variada geografía, ya que presenta una gran extensión territorial, que posee una variedad de condiciones climáticas y diferentes tipos de suelo, que favorecen las distintas actividades económicas, como la minería, la agricultura, y la generación eléctrica, entre otras. Dentro del ámbito de la agricultura, la red de canales juega un rol fundamental, siendo la columna vertebral del suministro de agua a los cultivos. Sin embargo, este sistema enfrenta desafíos importantes, como las pérdidas de agua que ocurren durante las etapas de captación, conducción y distribución. Dentro de los problemas con mayor relevancia mencionados anteriormente, la conducción destaca por la problemática de la infiltración en el terreno y los derrames provocados por el deterioro de las estructuras, son problemas recurrentes que comprometen la eficiencia de la red de canales, afectando de manera significativa el aprovechamiento del recurso hídrico.

En el caso del canal matriz Retiro, se identifican deficiencias relevantes en la eficiencia de conducción, las cuales se encuentran estrechamente relacionadas con las condiciones geológicas del sector. SERNAGEOMIN (2020), el trazado del canal atraviesa terrenos correspondientes a secuencias sedimentarias del Pleistoceno-Holoceno, conformadas principalmente por depósitos de origen aluvial y coluvial.

Estas características litológicas generan una alta vulnerabilidad frente a procesos de remoción en masa y eventos aluvionales, los cuales inciden

negativamente en la estabilidad estructural y operativa del canal. Esta situación quedó evidenciada durante las crecidas del año 2023, cuando el río Longaví experimentó un desborde parcial de su cauce, provocando daños significativos en la infraestructura del canal matriz Retiro y afectando de manera directa su capacidad de conducción. A partir de este contexto territorial e hidrológico, se establece la necesidad de evaluar, con base técnica, la eficiencia de conducción del canal matriz Retiro y proponer medidas de mejora sustentadas en modelación y diseño.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Analizar hidráulicamente las pérdidas de agua en distintos tramos del canal matriz Retiro para detectar oportunidades de mejora en la eficiencia de conducción del recurso hídrico.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las principales fuentes de pérdida de agua a lo largo del canal matriz Retiro.
- Simular el comportamiento hidráulico del canal en su estado actual y bajo condiciones de revestimiento.
- Elaborar un diseño constructivo optimizado para el canal.

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1. Ubicación del proyecto

El proyecto se localiza en la Región del Maule, a 11 kilómetros al sureste de la comuna de Retiro. En esta zona se encuentra el canal matriz Retiro, el cual capta aguas del río Longaví, un afluente de la cuenca hidrográfica del río Maule. El río Longaví nace en la cordillera de los Andes, específicamente en el Nevado de Longaví, y recorre aproximadamente 120 km antes de desembocar en el río Loncomilla. A lo largo de su trayecto, la cuenca del río Longaví atraviesa terrenos montañosos, valles agrícolas y comunidades rurales que dependen directamente de sus recursos hídricos.

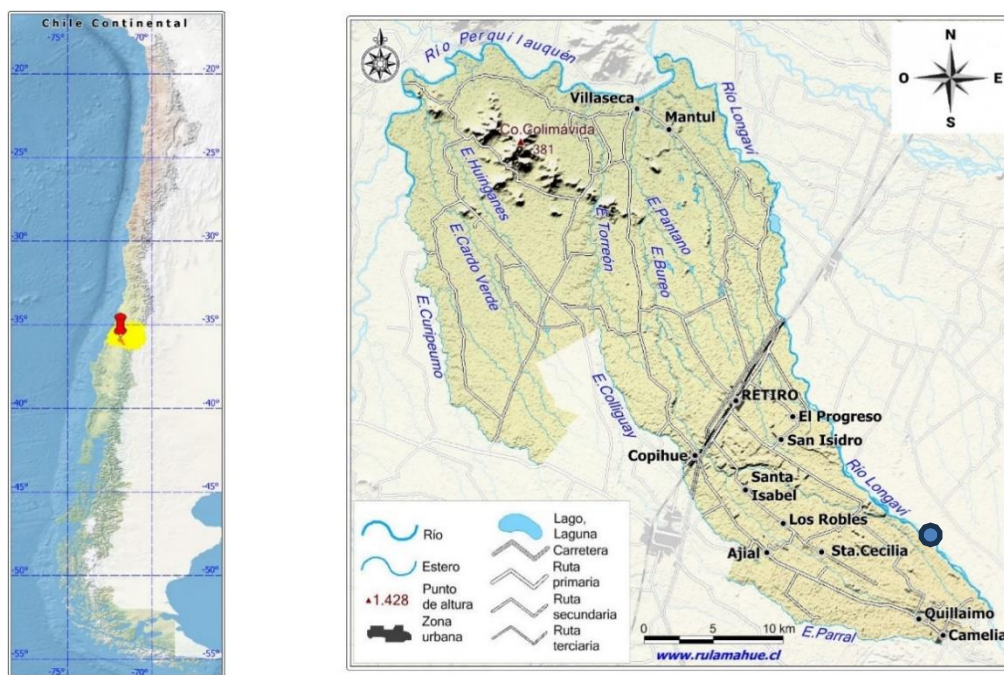


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, el Canal Retiro, y sus características geográficas. Albers Dutkiewicz, C. J. (2024).

Esta cuenca desempeña un papel crucial en la agricultura local debido a su extenso sistema de canales de riego, que distribuye el agua hacia diversos cultivos en la región. Para gestionar de manera eficiente el recurso hídrico, los usuarios de agua del río Longaví se agruparon en la Junta de Vigilancia del Río Longaví y sus Afluentes (JVRL), una organización sin fines de lucro que administra, gestiona y protege los recursos hídricos de la cuenca.

La Junta de Vigilancia del Río Longaví y sus Afluentes (JVRL) es responsable de supervisar la asignación y distribución del agua a las 32 comunidades de usuarios bajo su jurisdicción.

Esta administración abarca un total de 20.920 acciones de aprovechamiento permanente y continuo, equivalentes a un caudal de 31.380 litros por segundo, además de 38.620 litros por segundo correspondientes a derechos de aprovechamiento consecutivos, eventuales y continuos. En conjunto, la JVRL gestiona los recursos hídricos necesarios para cubrir aproximadamente 20.000 hectáreas de superficie agrícola, asegurando una gestión equitativa y eficiente del agua Junta de Vigilancia del Río Longaví (2024).

Dentro de las comunidades supervisadas por la JVRL se encuentra la Comunidad de Aguas del Canal Retiro, la cual está inscrita formalmente en la Dirección General de Aguas (DGA) desde el 27 de diciembre de 2001. Esta organización, con personalidad jurídica desde el 12 de diciembre de 2006 (Rol Tributario 53.303.061-0), cuenta con un total de 1.203,1 acciones de ejercicio

permanente y 203,463 acciones de ejercicio eventual sobre el río Longaví. Estas acciones equivalen a un caudal aproximado de 1,5 litros por segundo por acción, sumando un total de 2.109,84 litros por segundo. JVRL (2024).

El canal Retiro, que se extiende a lo largo de 6 kilómetros desde su bocatoma, permite captar y distribuir el recurso hídrico de manera eficiente a lo largo de su recorrido, beneficiando a los usuarios de la comunidad y contribuyendo a la gestión sostenible del recurso hídrico en la cuenca del río Longaví. Esta caracterización de la cuenca y su institucionalidad permite contextualizar el funcionamiento del canal matriz Retiro.

3.2. Estado actual del canal

La bocatoma del canal matriz Retiro se ubica en las coordenadas UTM 2595243. m E, 6000261. m S (datum WGS 84). Presenta una compuerta metálica de elevación manual, instalada sobre un canal de hormigón revestido, dicha compuerta es fundamental para la regularización y medición adecuada de las acciones de aguas.



Figura 2. Compuerta del canal matriz Retiro. Fuente elaboración propia.

Avanzando aguas abajo por el canal matriz Retiro, se identifica un tramo revestido con una longitud aproximada de 0,9 km, la cual se emplaza paralela a la ribera del río Longaví. Esta condición expone al canal a una alta vulnerabilidad frente a eventos de crecida, especialmente durante períodos de precipitaciones intensas. Durante las crecidas registradas en el año 2023, el río Longaví experimentó un aumento significativo en su caudal, lo que provocó el desborde del cauce y el arrastre de sedimentos, superando la capacidad de contención natural del sistema. Como consecuencia, se produjo la destrucción parcial del canal a partir del kilómetro 0,547, con un tramo afectado de aproximadamente 340 metros de longitud. El evento generó daños severos en

la infraestructura del canal debido a la presión ejercida por el flujo desbordado y a la acumulación de materiales transportados. Este fenómeno no solo comprometió la estabilidad estructural del canal, sino que también afectó su operatividad, provocando interrupciones en la conducción del recurso hídrico hacia las zonas ubicadas aguas abajo.



Figura 3. Sitio de estudio, canal Retiro. Comparación entre la situación antes de las crecidas del año 2023 (A) y la situación posterior al suceso (B). fuente Ingeniero civil Eduardo Fuentes

La comunidad del canal matriz Retiro llevó a cabo mejoras significativas para garantizar el funcionamiento durante la temporada de riego 2023-2024, conscientes de las condiciones del suelo que caracterizan el área. Estas intervenciones incluyeron la realización de un desbanque a lo largo de todo el

tramo afectado y la instalación de polietileno negro como revestimiento temporal, con el propósito de minimizar las pérdidas de agua por infiltración.



Figura 4. Situación actual del canal retiro en las coordenadas UTM 259091.m E, 6000500. m S (datum WGS 84). Fuente elaboración propia.

Considerando el estado actual de daños, pérdidas e inestabilidad, se definió una estrategia metodológica orientada a cuantificar las condiciones hidráulicas y sustentar técnicamente las alternativas de intervención.

4. METODOLOGÍA

4.1. Identificación de las principales fuentes de pérdidas de agua, Inspección visual y recopilación de datos en terreno

Para constatar el estado del canal matriz Retiro se realizó un recorrido, desde la bocatoma hasta los tramos afectados, identificando áreas críticas con pérdidas visibles, acumulación de sedimentos y deterioro del revestimiento. Se documentaron los puntos con mayor infiltración y daño estructural a través de un registro fotográfico. También se evaluaron las propiedades hidráulicas del terreno mediante análisis de muestras de suelo para asegurar un diseño adecuado a las condiciones del canal y su entorno. Con los puntos críticos identificados en terreno, se procedió al levantamiento topográfico de detalle para parametrizar la geometría real del canal.

4.2. Topografía

Para realizar un análisis hidráulico preciso, es esencial contar con datos reales del canal, tanto para su modelación hidráulica como para el diseño del revestimiento. En este contexto, se realizó un levantamiento topográfico a cargo del Ingeniero Civil Agrícola Eduardo Fuentes, utilizando el receptor GNSS Spectra Precision, para obtener mediciones de alta precisión en tiempo real. Este equipo garantizó la exactitud de los puntos de hombro, base y contiguos a lo largo de todo el canal. El levantamiento abarcó 100 metros aguas arriba y 100 metros aguas abajo del tramo afectado, sumando un total

de 560 metros de topografía, lo que proporciona información crucial para la modelación hidráulica.

Los datos obtenidos serán clave para simular el comportamiento hidráulico del canal en diferentes escenarios, permitiendo evaluar el flujo de agua y la efectividad de las propuestas de mejora. En particular, conocer la pendiente real del canal será esencial para diseñar las intervenciones necesarias, como la creación de gradas en tramos con pendientes excesivas, lo que optimizará la distribución del flujo y reducirá el deterioro de la estructura de hormigón.

Estas mejoras no solo buscan aumentar la capacidad de conducción del canal, sino también fortalecer la estabilidad estructural del revestimiento de hormigón y minimizar los riesgos de derrames o daños a la infraestructura. El análisis de la pendiente, junto con los datos topográficos, será fundamental para cumplir con el objetivo general de este estudio: mejorar la eficiencia del canal matriz Retiro y asegurar una gestión más sostenible y eficiente del recurso hídrico en la región. A partir de la topografía obtenida, se configuró la modelación hidráulica en HEC-RAS®, incorporando pendientes, rugosidades y caudales de diseño. Para verificar el desempeño hidráulico de la solución, se modeló el trazado proyectado en HEC-RAS®, incorporando el revestimiento y las gradas disipadoras.

4.3. Modelación hidráulica

Para la modelación hidráulica se utilizó el software HEC-RAS® (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE). Esta herramienta permite realizar análisis y simulaciones hidráulicas detalladas en sistemas fluviales y canales, considerando tanto flujos en cauces naturales como en estructuras artificiales, y soporta condiciones de régimen permanente y no permanente.

HEC-RAS® permite incorporar diversos parámetros esenciales para un análisis preciso, tales como la pendiente del canal, el caudal de diseño, las condiciones de borde y los coeficientes de rugosidad de Manning. Este último es especialmente relevante, pues debe ajustarse de acuerdo con el material de revestimiento y las condiciones reales del canal. En el estado actual, el canal se encuentra revestido con polietileno, pero en condiciones deterioradas y con presencia de sedimentos, por lo que se considerará un coeficiente de Manning de $n = 0,025$ (Chow, 1959). Para la propuesta de mejora, en la que el canal será revestido con hormigón, se utilizará un valor $n = 0,016$ (Rojas, 2015).

Durante la simulación se obtendrá la velocidad media del flujo en cada sección transversal, la cual es necesaria para estimar las pérdidas por conducción mediante la ecuación de Moritz:

$$P = 0,0375 * c * \sqrt{\frac{Q}{v}} \quad [1]$$

Dónde:

P: Pérdidas por conducción en m³/s/km

Q: Caudal de diseño en el tramo (m³/s)

V: Velocidad del flujo (m/s)

C: Coeficiente que depende de las características del suelo

Esta relación permite cuantificar las pérdidas lineales de agua por infiltración a lo largo del canal, considerando tanto el caudal circulante como la velocidad del flujo.

Finalmente, la pendiente del canal constituye un parámetro crítico que debe ajustarse según la topografía levantada en terreno. Este valor será contrastado con las especificaciones del Manual de Construcción de la CNR, el cual establece las pendientes máximas admisibles y demás criterios técnicos necesarios para el diseño y operación eficiente de canales de riego. Finalmente, se comparó el desempeño hidráulico del canal en su estado actual y con la alternativa propuesta, a fin de cuantificar beneficios y restricciones de diseño.

4.4. Comparación hidráulica del canal

Para realizar un análisis comparativo con fundamentos técnicos, se empleó la modelación hidráulica del canal en su estado actual, representado en la Figura 6. Esta modelación permitió evaluar la eficiencia hidráulica del canal frente a distintas condiciones de diseño propuestas. La comparación se basó en parámetros clave: nivel de agua, velocidad de flujo, tirante hidráulico, energía específica, superficie libre, pendiente longitudinal, rugosidad de las superficies y geometría de las secciones transversales. Según Chaudhry (2008), la simulación hidráulica unidimensional es una herramienta eficaz para predecir el comportamiento del flujo en canales abiertos, facilitando la evaluación de mejoras en funcionamiento y seguridad estructural. Con los parámetros hidráulicos verificados, se desarrollaron los planos de ingeniería en Civil 3D, integrando perfiles, secciones y elementos de control de energía.

4.5. Generación de planos y diseño de disipadores de energía.

Para la elaboración de los planos técnicos del Canal Matriz Retiro se empleó AutoCAD Civil 3D®, integrando el levantamiento topográfico para construir el modelo de superficie y el eje de proyecto. Con esta base se generaron perfiles longitudinales y secciones transversales, se definieron rasantes y cotas, y se configuraron los ensamblajes de la obra lineal, obteniendo la información necesaria para la documentación técnica. Además, Civil 3D® se utilizó para predefinir y detallar las estructuras asociadas al trazado.

Solo cuando el análisis de pendientes y velocidades indicó tramos con energía o velocidades no admisibles, se evaluó la incorporación de gradas disipadoras (caídas); su necesidad, ubicación y geometría se determinaron según los resultados del modelado y se incorporaron a los planos en el entorno de Civil 3D®. Como apoyo, la Figura 5 presenta la geometría de referencia de una caída vertical con resalto hidráulico; para su eventual dimensionamiento se requirió el caudal unitario (q).

$$q = \frac{Q}{b} \quad [2]$$

Dónde:

Q: caudal en (m^3/s)

b: ancho de la solera en (m)

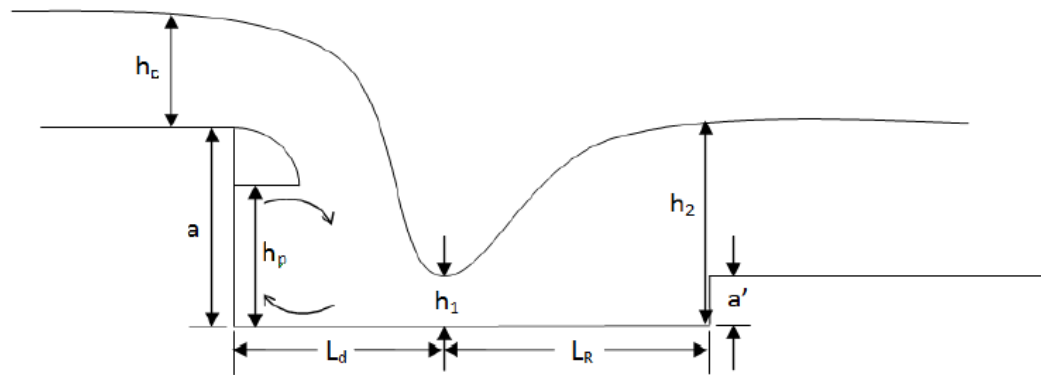


Figura 5. geometría de caída vertical con resalto hidráulico

Con las siguientes formulas

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}}$$

[3]

Dónde:

q: caudal unitario

g: gravedad (9,81 m/s²).

$$h_1 = a * 0,54 \left(\frac{h_c}{a} \right)^{1,275} \quad [4]$$

Dónde:

h_1 : es la altura del torrente al pie, en la zona de impacto de la lámina que se refiere a la distancia desde el nivel de agua en el canal hasta el punto de impacto del flujo en la cubeta (m).

a : es la altura vertical de la caída que representa la distancia desde el nivel de agua en la cubeta hasta el punto más bajo de la caída (m).

$$h_2 = a * 1,66 \left(\frac{h_c}{a} \right)^{0,810} \quad [5]$$

Dónde:

h_2 es la altura del régimen subcrítico aguas abajo que representa el nivel de agua una vez que el flujo se estabiliza y pasa de un régimen supercrítico a subcrítico (m).

$$h_p = a * 1,00 \left(\frac{h_c}{a} \right)^{0,660} \quad [6]$$

Dónde:

h_p es la altura del nivel de agua junto al paramento vertical de la caída, es decir, el nivel de agua justo junto al paramento del canal (m).

$$l_R = a * 4,30 \left(\frac{h_c}{a} \right)^{0,810} \quad [7]$$

Dónde:

l_R es la longitud del resalto hidráulico al pie de la caída que representa la distancia horizontal que recorre el flujo después de impactar en la cubeta, hasta que el flujo se estabiliza y vuelve al régimen subcrítico (m).

$$l_d = 6,9(h_2 - h_1) \quad [8]$$

Dónde:

l_d : Es la distancia horizontal desde el paramento al punto de impacto del flujo la cual indica la distancia entre el paramento del canal y el punto de impacto en la cubeta (m).

$$a' = 0,25(h_2 - h_1) \quad [9]$$

Dónde:

a' : es la altura efectiva de la grada en la cubeta que toma en cuenta tanto la caída física como el nivel de agua aguas arriba, considerando la energía del flujo (m).

Las gradas disipadoras se incorporan para controlar la línea de energía y limitar las velocidades a valores admisibles para el revestimiento. Al segmentar la pendiente del canal en caídas sucesivas, inducen pérdidas locales por turbulencia y rozamiento, reduciendo el gradiente energético, estabilizando el cauce y manteniendo el flujo en régimen subcrítico a lo largo del tramo. Su espaciamiento y altura se definen para cumplir con criterios de Froude Según Chaudhry (2008), el régimen se clasifica por el número de Froude según su régimen:

- $Fr < 1$ (Subcrítico): flujo lento, de mayor profundidad, controlado por condiciones aguas abajo.
- $Fr = 1$ (Crítico): condición de transición inestable, asociada al tirante crítico y a la energía mínima del sistema.
- $Fr > 1$ (Supercrítico): flujo rápido, de menor profundidad, dominado por condiciones aguas arriba.

5. RESULTADOS

5.1. Diagnóstico del canal

El diagnóstico del canal matriz Retiro, basado en una inspección visual detallada desde la bocatoma hasta el inicio del tramo destruido en el kilómetro 0.547, abarcó aproximadamente 340 metros de daño y permitió identificar problemas severos que afectan la capacidad del canal para transportar el recurso hídrico de manera eficiente. Entre las principales problemáticas destacan la erosión, la pérdida de material en las paredes o taludes del canal y la acumulación de sedimentos en su lecho, condiciones atribuidas a las crecidas del río Longaví en 2023, que generaron una sobrecarga de agua y sedimentos, excediendo la capacidad estructural del canal. Además, los tramos del canal con revestimiento de polietileno, realizado por los regantes para minimizar las pérdidas por infiltración (figura 6), presentan un desgaste significativo con roturas y desplazamientos evidentes, así como áreas parcialmente cubiertas por sedimentos, lo que reduce su efectividad y dificulta su mantenimiento.



Figura 6. Canal retiro aproximadamente 150 metros aguas abajo del inicio del tramo destruido. Fuente: elaboración propia.

La acumulación de sedimentos, particularmente en zonas de menor pendiente, afecta la uniformidad del flujo y disminuye la capacidad hidráulica del canal. Desde el punto de visual, el suelo del canal y sus áreas adyacentes está compuesto principalmente por arena y grava, materiales de alta permeabilidad que favorecen las infiltraciones y son susceptibles a la erosión, esto se corrobora mediante el análisis de suelo presentado en el Anexo 1, que concluye una predominancia de partículas medianas y finas, lo que sugiere que el material tiene buena capacidad de infiltración y drenaje. Además, al no presentar propiedades plásticas significativas, el material es estable y no se ve afectado por cambios en la humedad. Sin embargo, al ser clasificado como grava mal graduada, con partículas de tamaños irregulares, su capacidad de

compactación se ve limitada, ya que no logra una densificación eficiente. A la luz de las limitaciones observadas, se formula una propuesta de intervención que prioriza el control de pendientes, la reducción de rugosidad y la disminución de pérdidas por infiltración.

5.2. Propuesta de mejora

A partir del diagnóstico del canal matriz Retiro, se plantea un conjunto de medidas para optimizar su capacidad hidráulica, estabilidad estructural y eficiencia en la conducción. El trazado adoptará una sección rectangular (Figura 7). En el tramo afectado se proyecta revestimiento en hormigón, a fin de disminuir pérdidas por infiltración, mejorar la rugosidad hidráulica y proteger la obra frente a erosión y deposición de sedimentos. Complementariamente, el análisis del perfil longitudinal permitirá identificar sectores con pendientes excesivas; en dichos puntos se considerará la incorporación de gradas disipadoras o ajustes geométricos locales, con el objetivo de mantener régimen subcrítico, uniformar el flujo y prevenir desbordes.

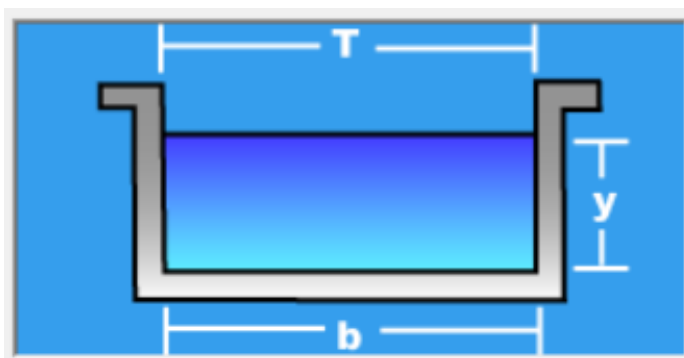


Figura 7. Sección transversal de canal rectangular: tirante (y), ancho de solera(b) y ancho de lámina (T). fuente: H-canales

5.3. Modelación hidráulica del estado actual del Canal Retiro en HEC-RAS®

Para la modelación hidráulica del estado actual del canal matriz Retiro en HEC-RAS®, es fundamental definir parámetros clave que condicionan el comportamiento del flujo. Entre ellos, uno de los más relevantes es el caudal de diseño, el cual, para el análisis del estado actual del canal matriz Retiro, corresponde a 2,109 L/s, valor proporcionado por la Junta de Vigilancia del Río Longaví. Asimismo, resulta imprescindible considerar la pendiente longitudinal del canal, tanto en el tramo aguas arriba (Figura 8) como aguas abajo (Figura 9). Esta pendiente se calculó a partir de la variación de cotas en un tramo de 100 metros, de acuerdo con las recomendaciones del Manual de Construcción de Canales de la CNR (2019)

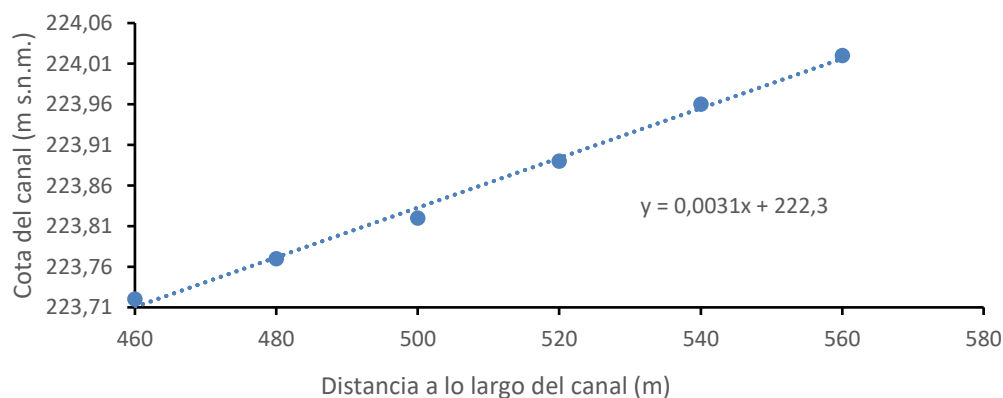


Figura 8. Perfil longitudinal del canal matriz Retiro aguas arriba. Fuente: elaboración propia.

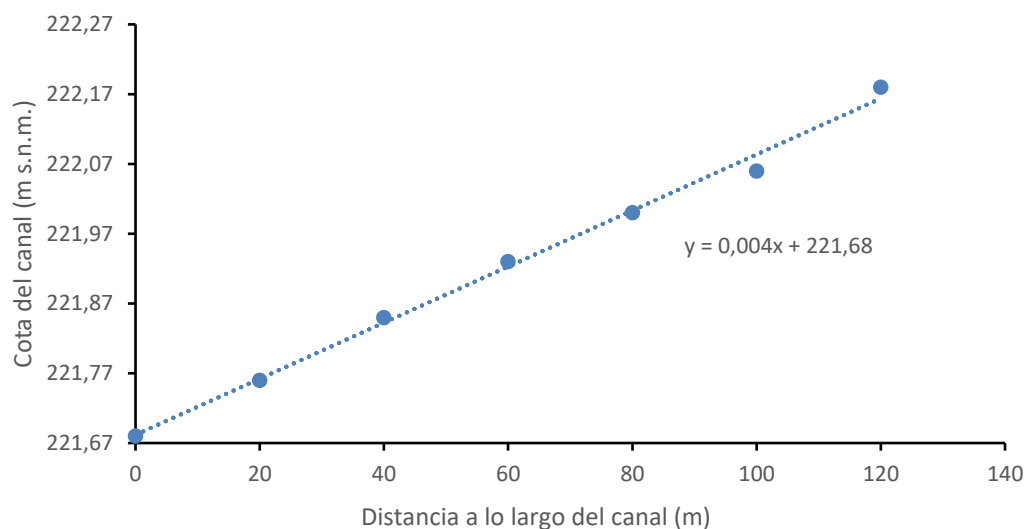


Figura 9. Perfil longitudinal del canal matriz Retiro aguas abajo. Fuente: elaboración propia.

Las pendientes calculadas para el canal matriz Retiro muestran una variación a lo largo del tramo analizado. Aguas arriba, desde el PK 0+560 hasta el PK 0+460, la pendiente es de 0,0031 m/m (0,31%), mientras que aguas abajo, desde el PK 0+120 hasta el PK 0+000, la pendiente aumenta a 0,004 m/m (0,40%).

Description :

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max):

Locations of Flow Data Changes

River:

Reach: River Sta.:

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates	
	River	Reach	RS	PF 1
1	ALINEAMIENTO E:	ALINEAMIENTO E:	560	2,109

Steady Flow Boundary Conditions

Set boundary for all profiles Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
ALINEAMIENTO E:	ALINEAMIENTO E:	all	Normal Depth S = 0,0031	Normal Depth S = 0,004

Figura 10. Definición de caudal de modelación es de 2,109 m³/s y pendientes normalizadas de entrada (0,0031 m/m) y salida (0,004 m/m) en HEC-RAS®.

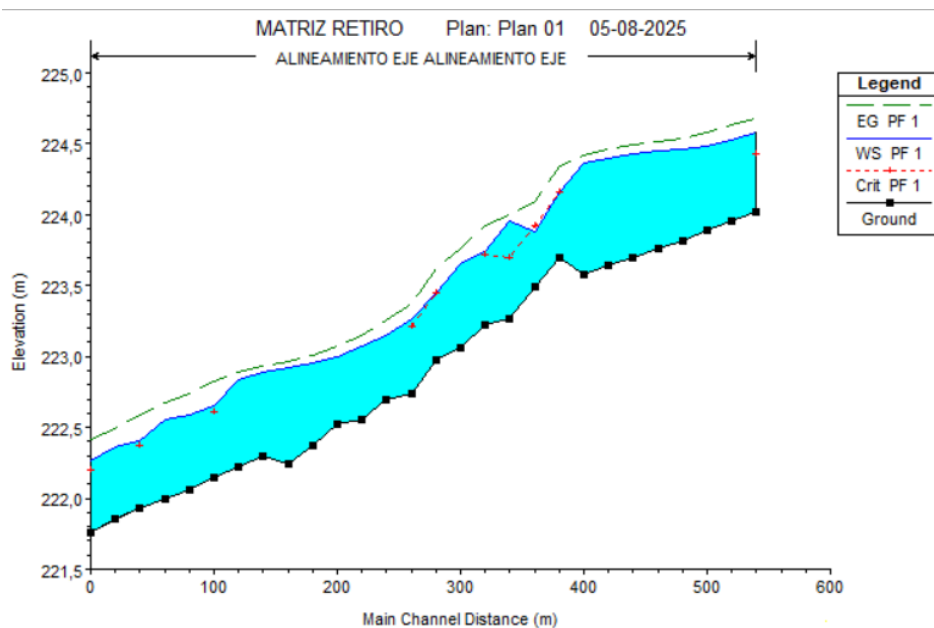


Figura 11. Perfil longitudinal del canal matriz Retiro obtenido en HEC-RAS®, indicando la elevación del fondo, la línea de agua (WS) y la línea de energía (EG).

El perfil longitudinal modelado en HEC-RAS® permite visualizar el comportamiento hidráulico del canal matriz Retiro bajo el caudal de $2,109 \text{ m}^3/\text{s}$, considerando las pendientes aguas arriba y aguas abajo de $0,0031 \text{ m/m}$ y $0,004 \text{ m/m}$, respectivamente. La figura muestra la elevación del fondo del canal (Ground), la línea de agua (WS) y la línea de energía (EG), evidenciando cómo varía el tirante a lo largo del canal. Este análisis resulta fundamental para identificar zonas con menor capacidad de conducción, puntos de sedimentación y tramos susceptibles a erosión, información clave para sustentar la propuesta de mejoras estructurales.

Profile Output Table - Standard Table 1													
HEC-RAS Plan: Plan 01 Rver: ALINEAMIENTO EJE Reach: ALINEAMIENTO EJE Profile: PF 1													
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Mann Wtd Chnl
ALINEAMIENTO EJE	560	PF 1	2,11	224,02	224,60	224,44	224,71	0,002162	1,43	1,48	2,68	0,61	0,018
ALINEAMIENTO EJE	540	PF 1	2,11	223,96	224,56		224,66	0,002240	1,45	1,46	2,54	0,61	0,018
ALINEAMIENTO EJE	520	PF 1	2,11	223,89	224,52		224,62	0,001960	1,40	1,51	2,53	0,58	0,018
ALINEAMIENTO EJE	500	PF 1	2,11	223,82	224,51		224,58	0,001298	1,20	1,76	2,74	0,48	0,018
ALINEAMIENTO EJE	480	PF 1	2,11	223,76	224,49		224,55	0,001040	1,11	1,90	2,91	0,44	0,018
ALINEAMIENTO EJE	460	PF 1	2,11	223,70	224,47		224,53	0,001814	1,07	1,97	2,83	0,41	0,025
ALINEAMIENTO EJE	440	PF 1	2,11	223,64	224,42		224,49	0,002201	1,13	1,86	2,71	0,44	0,025
ALINEAMIENTO EJE	420	PF 1	2,11	223,58	224,39		224,44	0,001716	1,02	2,06	3,47	0,42	0,025
ALINEAMIENTO EJE	400	PF 1	2,11	223,70	224,17	224,17	224,36	0,010062	1,93	1,09	2,90	1,01	0,025
ALINEAMIENTO EJE	380	PF 1	2,11	223,49	223,89	223,93	224,12	0,014242	2,12	0,99	3,04	1,18	0,025
ALINEAMIENTO EJE	360	PF 1	2,11	223,27	223,97	223,71	224,03	0,001717	1,00	2,10	3,97	0,44	0,025
ALINEAMIENTO EJE	340	PF 1	2,11	223,22	223,75	223,73	223,94	0,009345	1,94	1,09	2,48	0,94	0,025
ALINEAMIENTO EJE	320	PF 1	2,11	223,06	223,67		223,78	0,005165	1,50	1,41	3,35	0,74	0,025
ALINEAMIENTO EJE	300	PF 1	2,11	222,98	223,47	223,47	223,64	0,010116	1,84	1,14	3,37	1,01	0,025
ALINEAMIENTO EJE	280	PF 1	2,11	222,74	223,18	223,22	223,40	0,014660	2,04	1,03	3,61	1,22	0,025
ALINEAMIENTO EJE	260	PF 1	2,11	222,70	223,17	223,10	223,27	0,005468	1,43	1,48	4,20	0,77	0,025
ALINEAMIENTO EJE	240	PF 1	2,11	222,56	223,09		223,17	0,004135	1,27	1,66	4,53	0,67	0,025
ALINEAMIENTO EJE	220	PF 1	2,11	222,52	223,02		223,09	0,003340	1,18	1,79	4,64	0,61	0,025
ALINEAMIENTO EJE	200	PF 1	2,11	222,37	222,98		223,03	0,002032	1,00	2,10	4,80	0,48	0,025
ALINEAMIENTO EJE	180	PF 1	2,11	222,24	222,95		223,00	0,001674	0,95	2,22	4,75	0,44	0,025
ALINEAMIENTO EJE	160	PF 1	2,11	222,30	222,92		222,96	0,001541	0,90	2,34	5,07	0,42	0,025
ALINEAMIENTO EJE	140	PF 1	2,11	222,22	222,88		222,93	0,001718	1,01	2,10	3,87	0,44	0,025
ALINEAMIENTO EJE	120	PF 1	2,11	222,15	222,71		222,86	0,007060	1,73	1,22	2,40	0,77	0,025
ALINEAMIENTO EJE	100	PF 1	2,11	222,06	222,61		222,76	0,003493	1,71	1,23	2,45	0,77	0,018
ALINEAMIENTO EJE	80	PF 1	2,11	221,99	222,57		222,69	0,002543	1,52	1,39	2,53	0,65	0,018
ALINEAMIENTO EJE	60	PF 1	2,11	221,93	222,42	222,39	222,61	0,005251	1,96	1,08	2,29	0,91	0,018
ALINEAMIENTO EJE	40	PF 1	2,11	221,85	222,38		222,51	0,003093	1,61	1,31	2,56	0,72	0,018
ALINEAMIENTO EJE	20	PF 1	2,11	221,76	222,27	222,21	222,44	0,004101	1,81	1,17	2,37	0,82	0,018

Figura 12. resultados del perfil longitudinal del canal matriz Retiro obtenida en HEC-RAS®.

La figura 12 muestra los resultados numéricos de la modelación hidráulica, incluyendo la elevación mínima del canal (Min Ch El), la línea de agua (W.S. Elev), la línea de energía (E.G. Elev), la pendiente energética (E.G. Slope), área hidráulica y número de Froude, velocidad del flujo. Esta última con interés para determinar las pérdidas de Moritz (ecuación 1).

Considerando un caudal de diseño de $Q=2,109 \text{ m}^3/\text{s}$, una velocidad promedio de $V=1,34 \text{ m/s}$ y un coeficiente adimensional $C=0,37$ correspondiente a suelos de alta permeabilidad (P. Rojas 2015), reemplazando en la ecuación

$$P = 0,0375 * 0,37 * \sqrt{\frac{2,19 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1,34 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Obteniendo una pérdida de:

$$P = 0,0177 \frac{m^3}{s}$$

Al aplicar este valor al tramo afectado de 340 m (0,34 km), se obtiene una pérdida total de:

$$P = 0,00603 \frac{m^3}{s}$$

equivalente a 6,03 L/s. Este valor representa la magnitud de agua que el canal pierde por infiltración en este sector, antes de aplicar mejoras en su revestimiento.

5.4. Diseño de planos

El análisis del perfil longitudinal del canal matriz Retiro, considerando los tramos aguas arriba, aguas abajo y el sector intervenido, evidenció una pendiente superior a la admisible para el revestimiento proyectado. En función de ello, se adoptó una pendiente de diseño de $S = 0,0018$ m/m se definió conforme al instructivo de obras civiles (CNR 2019), que recomienda, para canales revestidos, seleccionar pendientes compatibles con un régimen subcrítico estable y velocidades que no induzcan erosión.

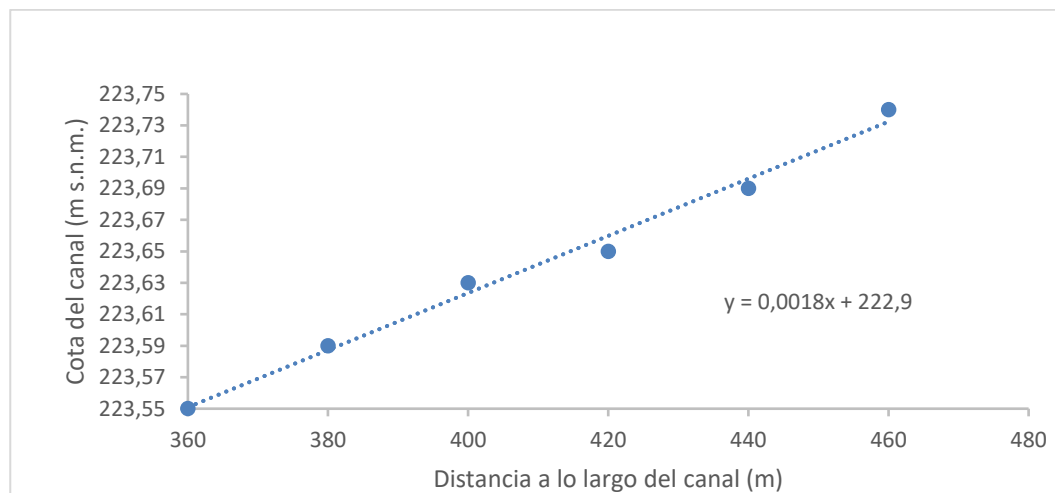


Figura 13. Perfil longitudinal – Sección 1 del tramo mejorado (PK 460–360) hasta el punto previo a la grada 1. ajuste $S=0,0018$ m/m. Fuente: elaboración propia.

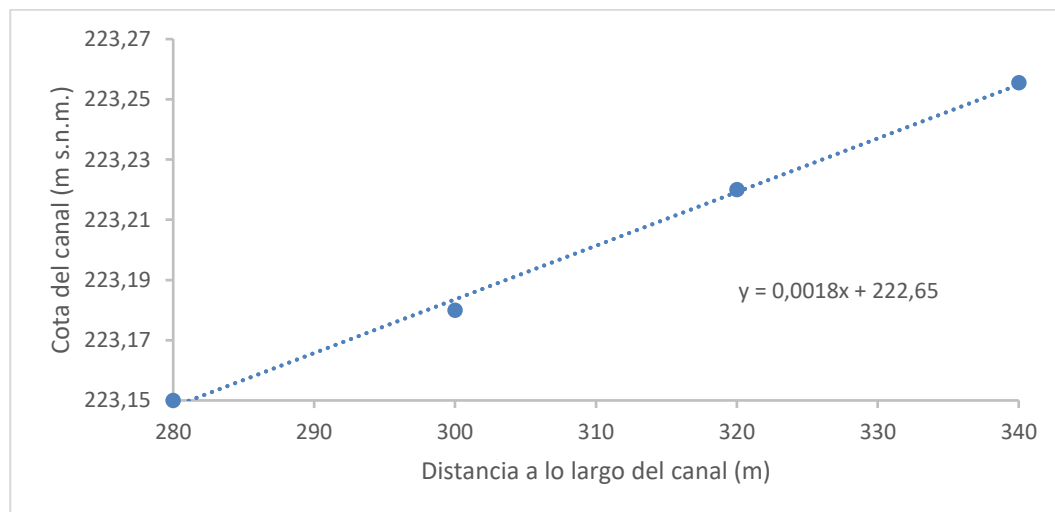


Figura 14. Perfil longitudinal – Sección 2 del tramo mejorado (PK 340–280) hasta el punto previo a la grada 2. ajuste $S=0,0018$ m/m. Fuente: elaboración propia.

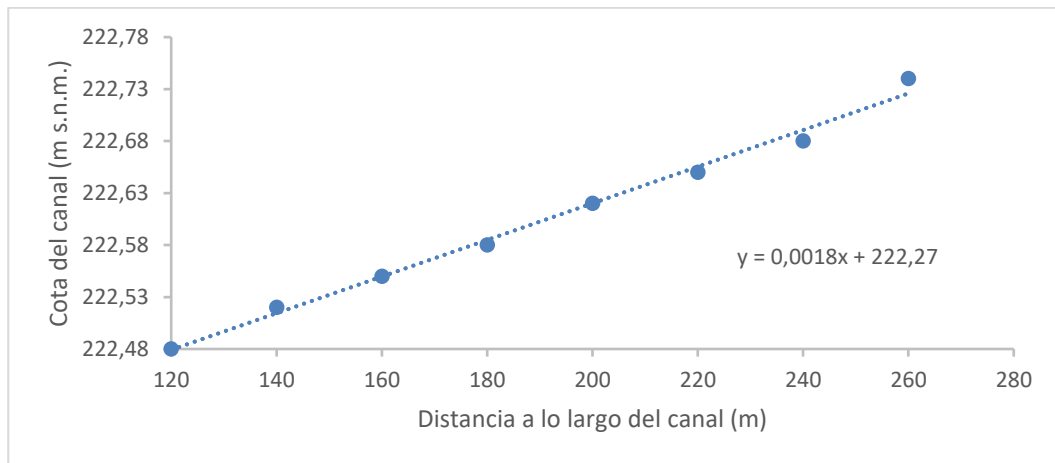


Figura 15. Perfil longitudinal – Sección 3 del tramo mejorado (PK 260–120) hasta el punto previo a la grada 3. ajuste $S=0,0018$ m/m. Fuente: elaboración propia.

Para compatibilizar la pendiente existente con la proyectada y controlar el flujo, se determinó un ancho de solera de 2,5 m. A continuación, se calculó la altura del muro del canal a partir de la altura crítica (h_c), obtenida mediante la ecuación [3], previo cálculo del caudal unitario (q) según la ecuación [2].

$$q = \frac{2,109 \frac{m^3}{s}}{2,5 m} = 0,84 \frac{m^2}{s} \quad [2]$$

Dando un valor de caudal unitario de $0,84 \text{ m}^2/\text{s}$, con este valor se procede a obtener su altura crítica h_c con la ecuación [3]

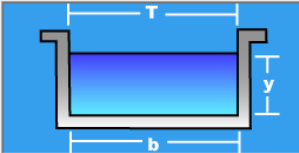
$$h_c = \left(\frac{0,84^2}{9,81} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [3]$$

Dando una altura crítica de 0,42 m.

Para determinar el tirante normal del canal proyectado, se utilizó el software H-Canales, herramienta que permite obtener de forma precisa los parámetros hidráulicos de diseño.

Lugar:	CANAL RETIRO	Proyecto:	2025
Tramo:	MEJORA	Revestimiento:	CONCRETO

Datos:	
Caudal (Q):	2.109 m ³ /s
Ancho de solera (b):	2.5 m
Talud (Z):	0
Rugosidad (n):	0.016
Pendiente (S):	0.0018 m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	0.5867 m	Perímetro (p):	3.6734 m
Area hidráulica (A):	1.4668 m ²	Radio hidráulico (R):	0.3993 m
Espejo de agua (T):	2.5000 m	Velocidad (v):	1.4378 m/s
Número de Froude (F):	0.5993	Energía específica (E):	0.6921 m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

Figura 16. Determinación del tirante normal del canal matriz Retiro mediante software H-Canales

De acuerdo con el Instructivo de Obras Civiles de la CNR (2019), para caudales superiores a 2 m³/s la altura de revancha recomendada varía entre 0,30 m y 0,50 m. En este caso, considerando que el tirante normal obtenido fue de 0,58 m, se adoptó una revancha de 0,42 m, lo que determina una altura total de muro de 1 m. Esta configuración asegura un margen de seguridad hidráulico adecuado frente a variaciones de caudal y permite mantener el flujo dentro de condiciones subcríticas estables.

Para garantizar un régimen subcrítico aguas abajo y preservar la estabilidad estructural del canal, se incorporaron tres gradas disipadoras de energía, con alturas de caída vertical de 0,35 m, 0,5 m y 0,31 m, respectivamente. Los parámetros de dimensionamiento se obtuvieron a partir de las ecuaciones presentes en la sección “4.3” de la metodología, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en la Tabla 1, permitiendo un control efectivo de la energía y un funcionamiento seguro del canal.

Tabla 1. Parámetros de dimensionamiento de gradas disipadoras en unidades de metro.

	h1	h2	hp	lr	ld	a´	largo total
Grada 1	0,24	0,67	0,39	1,73	2,99	0,1	4,73
Grada 2	0,21	0,74	0,47	1,92	3,70	0,1	5,63
Grada 3	0,24	0,65	0,38	1,70	2,84	0,1	4,53

El largo de la Grada 1 es de 4,73 m; sin embargo, por motivos constructivos, se ajustará a 5 metros. De igual forma, las siguientes gradas tendrán longitudes de 6 metros y 5 metros respectivamente, tal como se muestra en las figuras siguientes.

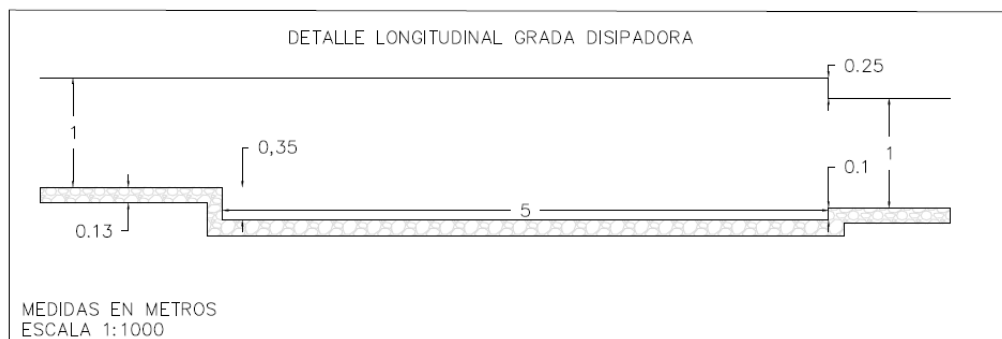


Figura 17. Perfil longitudinal de la Grada 1, mostrando las dimensiones y alturas de caída. Fuente: elaboración propia.

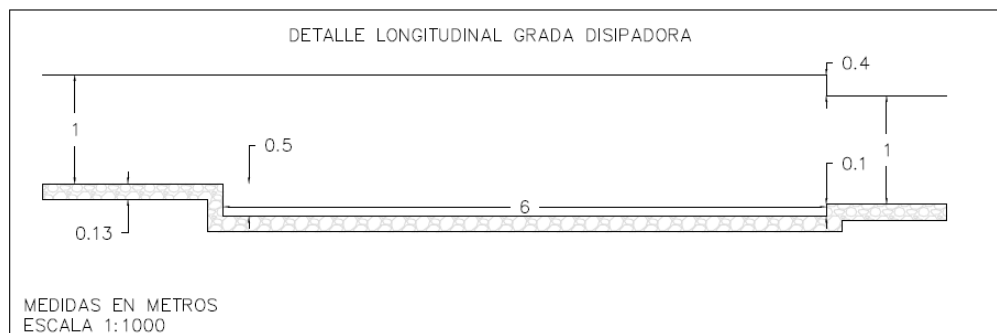


Figura 18. Perfil longitudinal de la Grada 2, mostrando las dimensiones y altura de caída. Fuente: elaboración propia.

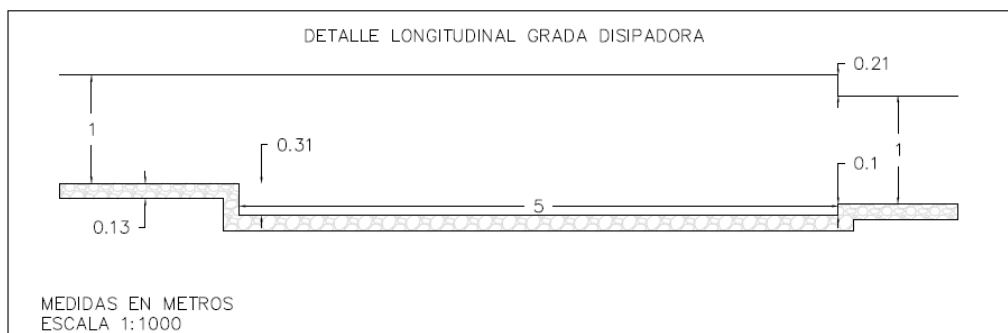


Figura 19. Perfil longitudinal de la Grada 3, mostrando las dimensiones y altura de caída. Fuente: elaboración propia.

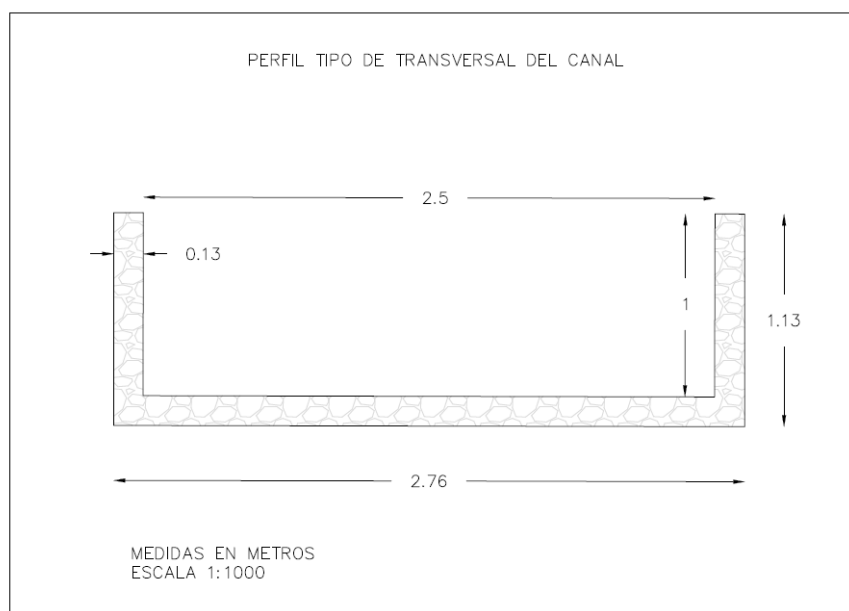


Figura 20. Ancho de solera, alturas de muro y espesor de losa. Fuente elaboración propia.

La Figura 20 muestra la sección transversal regularizada del Canal Matriz Retiro, con solera útil de 2,5 m y un espesor de losa y muros de 0,13 m. Este espesor se adopta con los lineamientos de la Comisión Nacional de Riego, para canales de hormigón establece espesores típicos del orden de 0,12–0,15 m según condición estructural y constructiva; por tanto, 0,13 m es técnicamente admisible para secciones rectangulares como la propuesta CNR, 2019.

5.5. Modelación hidráulica del Canal Retiro con su propuesta de mejora en HEC-RAS®

En la modelación hidráulica del canal matriz Retiro, bajo la propuesta de mejora, se adoptó un caudal constante de 2,109 m³/s, idéntico al utilizado en la simulación del estado actual (figura 21).

The screenshot displays the HEC-RAS software interface for a project named 'CANAL RETIRO CON PROYECTO'. The 'Enter/Edit Number of Profiles' is set to 1. The 'Locations of Flow Data Changes' section shows the 'River' and 'Reach' both set to 'ALINEAMIENTO EJE', with 'River Sta.' at 560. A table below lists the 'Flow Change Location' and 'Profile Names and Flow Rates'.

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates	
River	Reach	RS	PF 1	
1 ALINEAMIENTO E:	ALINEAMIENTO E:	560	2,109	

The 'Steady Flow Boundary Conditions' section has 'Set boundary for all profiles' selected. The 'Available External Boundary Condition Types' include 'Known W.S.', 'Critical Depth', 'Normal Depth', 'Rating Curve', and 'Delete'. The 'Selected Boundary Condition Locations and Types' table is shown below.

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
ALINEAMIENTO E:	ALINEAMIENTO E:	all	Normal Depth S = 0,0031	Normal Depth S = 0,004

Figura 21. Parámetros de modelación hidráulica con diseño del canal matriz Retiro en software HEC-RAS®."

Esta decisión responde a la necesidad de establecer un escenario comparativo bajo condiciones de borde equivalentes, lo cual asegura que las diferencias observadas provengan exclusivamente de las modificaciones de diseño y no de variaciones en el flujo. Asimismo, se conservaron las pendientes aguas arriba y aguas abajo, manteniendo la continuidad energética del sistema. Estas variables constituyen parámetros críticos del análisis: modificar el caudal

o la pendiente generaría un régimen de flujo distinto, imposibilitando una evaluación objetiva de la eficiencia hidráulica y de la reducción de pérdidas atribuibles al revestimiento proyectado y a las obras disipadoras. En este sentido, la estandarización de los parámetros permite concluir con mayor certeza sobre la efectividad de la propuesta de mejora.

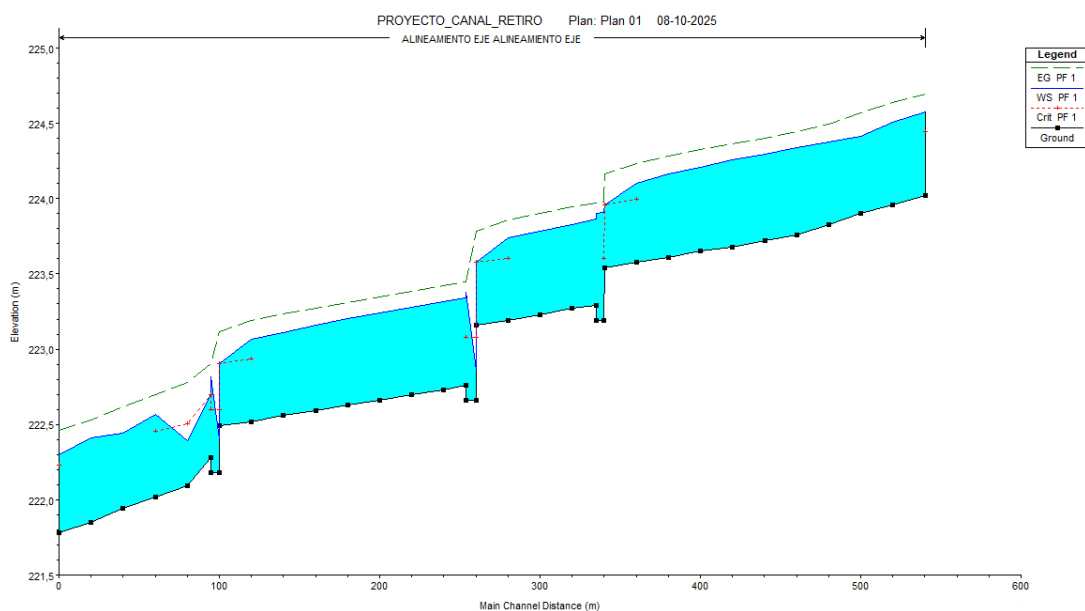


Figura 22. Perfil Longitudinal del canal matriz Retiro con Propuesta de Mejora en HEC-RAS®"

La Figura 22 muestra el perfil longitudinal del canal matriz Retiro modelado en HEC-RAS®, incorporando las pendientes normalizadas aguas arriba y aguas abajo. Así como también las pendientes entre secciones (0,0018 m/m) En el

gráfico se distingue la elevación del fondo del canal (Ground), la lámina de agua (WS) y la línea de energía (EG), lo que permite evaluar con claridad el comportamiento hidráulico a lo largo del tramo.

Se observa que la pendiente adoptada en el diseño proyectado atenúa las irregularidades del terreno y distribuye el gradiente energético de manera uniforme, lo que favorece un régimen de flujo subcrítico. Además, las caídas previstas se visualizan en el perfil como saltos de nivel, los cuales serán controlados mediante gradas disipadoras. Esto garantiza que la energía cinética se reduzca progresivamente, evitando erosión localizada y desbordes en los puntos más vulnerables.

El canal en su propuesta de mejora logra compatibilizar la capacidad de conducción con la estabilidad estructural: la lámina de agua se mantiene contenida dentro de la sección, el gradiente energético se adapta a la pendiente de diseño y las caídas se transforman en puntos de control del flujo. Todo ello valida el criterio adoptado en el diseño, en concordancia con los lineamientos de la CNR (2019) para canales revestidos en hormigón.

River: ALINEAMIENTO EJE Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: ALINEAMIENTO EJE All Regions

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R ...

River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 560	n	0,018	0,018	0,018
2 540	n	0,018	0,018	0,018
3 520	n	0,018	0,018	0,018
4 500	n	0,018	0,018	0,018
5 480	n	0,018	0,018	0,018
6 460	n	0,016	0,016	0,016
7 440	n	0,016	0,016	0,016
8 420	n	0,016	0,016	0,016
9 400	n	0,016	0,016	0,016
10 380	n	0,016	0,016	0,016
11 360	n	0,016	0,016	0,016
12 359	n	0,016	0,016	0,016
13 358	n	0,016	0,016	0,016
14 357	n	0,016	0,016	0,016
15 340	n	0,016	0,016	0,016
16 320	n	0,016	0,016	0,016
17 300	n	0,016	0,016	0,016
18 280	n	0,016	0,016	0,016
19 279	n	0,016	0,016	0,016
20 278	n	0,016	0,016	0,016
21 277	n	0,016	0,016	0,016
22 260	n	0,016	0,016	0,016
23 240	n	0,016	0,016	0,016
24 220	n	0,016	0,016	0,016
25 200	n	0,016	0,016	0,016
26 180	n	0,016	0,016	0,016
27 160	n	0,016	0,016	0,016
28 140	n	0,016	0,016	0,016
29 120	n	0,016	0,016	0,016
30 119	n	0,016	0,016	0,016
31 118	n	0,016	0,016	0,016
32 117	n	0,016	0,016	0,016
33 100	n	0,018	0,018	0,018
34 80	n	0,018	0,018	0,018
35 60	n	0,018	0,018	0,018
36 40	n	0,018	0,018	0,018
37 20	n	0,018	0,018	0,018

Figura 23. Asignación de coeficientes de rugosidad (n) en canal según su sección transversal en (HEC-RAS®).

La Figura 23 muestra la asignación de coeficientes de rugosidad de Manning (n) utilizada en la modelación. En las secciones aguas arriba y aguas abajo se adoptó un $n = 0,018$. Chow (1959). el cual corresponde a hormigón envejecido o irregular mientras que en el tramo intervenido (PK 460–120) se empleó $n = 0,016$ hormigón nuevo y acabado más uniforme Rojas (2015).

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: ALINEAMIENTO EJE Reach: ALINEAMIENTO EJE Profile: PF 1																
Reach	River Sta	Profile	Length Chnl (m)	Cum Ch Len (m)	Min El (m)	Q Total (m ³ /s)	Mann Wtd Chnl	Flow Area Ch (m ²)	Vel Chnl (m/s)	Top W Chnl (m)	Hydr Radius (m)	E.G. Slope (m/m)	W.S. Elev (m)	Froude # Chl	ROB Elev (m)	L. Freeboard (m)
ALINEAMIENTO EJE	560	PF 1	20,00	540,06	224,02	2,11	0,018	1,40	1,50	2,67	0,40	0,002520	224,58	0,66	224,82	0,24
ALINEAMIENTO EJE	540	PF 1	20,00	520,06	223,96	2,11	0,018	1,34	1,58	2,52	0,39	0,002863	224,51	0,69	224,77	0,25
ALINEAMIENTO EJE	520	PF 1	20,00	500,06	223,90	2,11	0,018	1,22	1,73	2,51	0,37	0,003711	224,42	0,79	224,70	0,26
ALINEAMIENTO EJE	500	PF 1	20,00	480,06	223,83	2,11	0,018	1,38	1,53	2,67	0,39	0,002637	224,38	0,68	224,65	0,26
ALINEAMIENTO EJE	480	PF 1	20,00	460,06	223,76	2,11	0,018	1,47	1,43	2,80	0,41	0,002155	224,34	0,63	224,56	0,21
ALINEAMIENTO EJE	460	PF 1	20,00	440,06	223,72	2,11	0,016	1,43	1,47	2,50	0,39	0,001920	224,29	0,62	224,72	0,43
ALINEAMIENTO EJE	440	PF 1	20,00	420,06	223,68	2,11	0,016	1,44	1,46	2,50	0,39	0,001898	224,26	0,62	224,68	0,42
ALINEAMIENTO EJE	420	PF 1	20,00	400,06	223,65	2,11	0,016	1,40	1,51	2,50	0,39	0,002063	224,21	0,64	224,65	0,44
ALINEAMIENTO EJE	400	PF 1	20,00	380,06	223,61	2,11	0,016	1,39	1,52	2,50	0,38	0,002113	224,17	0,65	224,62	0,45
ALINEAMIENTO EJE	380	PF 1	20,00	360,06	223,58	2,11	0,016	1,30	1,62	2,50	0,37	0,002551	224,10	0,72	224,58	0,48
ALINEAMIENTO EJE	360	PF 1	0,01	340,06	223,54	2,11	0,016	1,04	2,03	2,50	0,31	0,004995	223,96	1,01	224,54	0,58
ALINEAMIENTO EJE	359	PF 1	5,00	340,05	223,19	2,11	0,016	1,80	1,17	2,50	0,46	0,001005	223,91	0,44	224,54	0,63
ALINEAMIENTO EJE	358	PF 1	0,01	335,05	223,19	2,11	0,016	1,78	1,18	2,50	0,45	0,001031	223,90	0,45	224,54	0,64
ALINEAMIENTO EJE	357	PF 1	15,00	335,04	223,29	2,11	0,016	1,43	1,47	2,50	0,39	0,001927	223,86	0,62	224,54	0,68
ALINEAMIENTO EJE	340	PF 1	20,00	320,04	223,27	2,11	0,016	1,39	1,51	2,50	0,39	0,002090	223,83	0,65	224,27	0,44
ALINEAMIENTO EJE	320	PF 1	20,00	300,04	223,23	2,11	0,016	1,38	1,52	2,50	0,38	0,002132	223,78	0,65	224,23	0,45
ALINEAMIENTO EJE	300	PF 1	20,00	280,04	223,19	2,11	0,016	1,37	1,54	2,50	0,38	0,002210	223,74	0,67	224,19	0,45
ALINEAMIENTO EJE	280	PF 1	0,01	260,04	223,16	2,11	0,016	1,04	2,03	2,50	0,31	0,005000	223,58	1,01	224,16	0,58
ALINEAMIENTO EJE	279	PF 1	6,00	260,03	222,66	2,11	0,016	0,49	4,27	2,50	0,17	0,049168	222,86	3,06	224,69	1,83
ALINEAMIENTO EJE	278	PF 1	0,01	254,03	222,66	2,11	0,016	1,80	1,17	2,50	0,46	0,001004	223,38	0,44	224,69	1,31
ALINEAMIENTO EJE	277	PF 1	14,00	254,02	222,76	2,11	0,016	1,45	1,45	2,50	0,40	0,001844	223,34	0,61	224,69	1,35
ALINEAMIENTO EJE	260	PF 1	20,00	240,02	222,73	2,11	0,016	1,47	1,43	2,50	0,40	0,001788	223,32	0,60	223,73	0,42
ALINEAMIENTO EJE	240	PF 1	20,00	220,02	222,70	2,11	0,016	1,45	1,46	2,50	0,40	0,001876	223,28	0,61	223,70	0,42
ALINEAMIENTO EJE	220	PF 1	20,00	200,02	222,66	2,11	0,016	1,46	1,45	2,50	0,40	0,001841	223,24	0,61	223,66	0,42
ALINEAMIENTO EJE	200	PF 1	20,00	180,02	222,63	2,11	0,016	1,43	1,48	2,50	0,39	0,001954	223,20	0,63	223,63	0,43
ALINEAMIENTO EJE	180	PF 1	20,00	160,02	222,59	2,11	0,016	1,43	1,48	2,50	0,39	0,001947	223,16	0,62	223,59	0,43
ALINEAMIENTO EJE	160	PF 1	20,00	140,02	222,56	2,11	0,016	1,38	1,53	2,50	0,38	0,002146	223,11	0,66	223,56	0,45
ALINEAMIENTO EJE	140	PF 1	20,00	120,02	222,52	2,11	0,016	1,37	1,54	2,50	0,38	0,002215	223,07	0,67	223,52	0,45
ALINEAMIENTO EJE	120	PF 1	0,01	100,02	222,49	2,11	0,016	1,04	2,03	2,50	0,31	0,004996	222,91	1,01	223,49	0,57
ALINEAMIENTO EJE	119	PF 1	5,00	100,01	222,18	2,11	0,016	0,57	3,73	2,50	0,19	0,032266	222,41	2,50	223,49	1,08
ALINEAMIENTO EJE	118	PF 1	0,01	95,01	222,18	2,11	0,016	1,59	1,33	2,50	0,42	0,001425	222,82	0,53	223,49	0,67
ALINEAMIENTO EJE	117	PF 1	15,00	95,00	222,28	2,11	0,016	1,04	2,03	2,50	0,31	0,004990	222,70	1,01	223,49	0,79
ALINEAMIENTO EJE	100	PF 1	20,00	80,00	222,09	2,11	0,018	0,76	2,76	2,53	0,25	0,016073	222,39	1,60	223,11	0,75
ALINEAMIENTO EJE	80	PF 1	20,00	60,00	222,02	2,11	0,018	1,32	1,60	2,52	0,38	0,003016	222,56	0,71	223,04	0,52
ALINEAMIENTO EJE	60	PF 1	20,00	40,00	221,94	2,11	0,018	1,13	1,86	2,30	0,35	0,004552	222,44	0,85	223,13	0,71
ALINEAMIENTO EJE	40	PF 1	20,00	20,00	221,85	2,11	0,018	1,36	1,55	2,56	0,38	0,002780	222,41	0,68	223,21	0,82
ALINEAMIENTO EJE	20	PF 1			221,78	2,11	0,018	1,18	1,78	2,37	0,36	0,004001	222,30	0,81	223,11	0,84

Figura 24. Resultados de Modelación Hidráulica del canal matriz Retiro: Perfil y Parámetros Clave en HEC-RAS®"

La Figura 24 presenta la tabla de resultados de la modelación hidráulica en HEC-RAS®, donde se resumen los principales parámetros a lo largo del tramo analizado. El caudal de diseño se mantuvo constante en $Q = 2,109 \text{ m}^3/\text{s}$ (valor que el software aproxima en sus cálculos), mientras que la lámina de agua (W.S. Elev) y la línea de energía (E.G. Elev) exhiben una evolución ascendente coherente con la pendiente longitudinal adoptada. Las velocidades medias obtenidas se ubican en el rango 1,3–1,7 m/s, compatibles con un canal revestido en hormigón, al permitir una conducción eficiente sin inducir

procesos de erosión interna. En términos de régimen, el número de Froude (Fr) se mantuvo mayoritariamente bajo la unidad (0,64–0,90), confirmando condiciones subcríticas estables y controladas. Puntualmente se observaron zonas supercríticas ($Fr > 1$) asociadas a los tramos de mayor pendiente, donde se proyectaron gradas disipadoras de energía para controlar el flujo y evitar incrementos del tirante crítico que podrían gatillar erosión localizada, socavación y pérdida de estabilidad del revestimiento. Adicionalmente, el diseño considera ancho de solera constante de 2,5 m entre los PK 460 y 120, favoreciendo la uniformidad geométrica y la estabilidad hidráulica en el sector con mayores gradientes. En conjunto, las velocidades medias modeladas (1,3–1,9 m/s) son menores que las velocidades máximas admisibles para canales revestidos establecidas en Criterios de diseño obras de riego (CNR 2014) lo que proporciona un margen de seguridad hidráulica frente a erosión y cavitación, favorece el mantenimiento del régimen subcrítico y reduce riesgos en juntas y transiciones. En consecuencia, el mejoramiento propuesto cumple holgadamente los criterios normativos vigentes, respaldando la viabilidad, estabilidad y durabilidad del tramo.

5.6 Comparación de secciones transversales

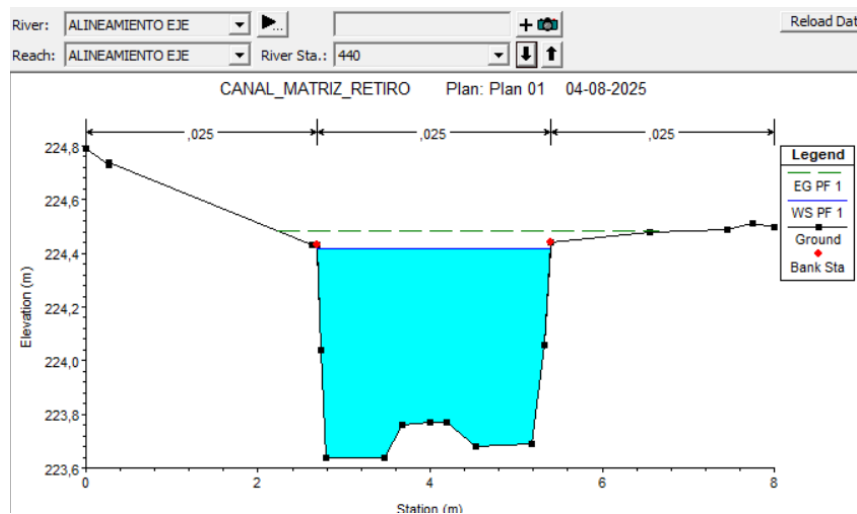


Figura 25. Sección transversal estado actual. PK 440

La sección actual presenta geometría irregular y asimétrica, con deposición de sedimentos en el lecho y pérdida de la forma rectangular de diseño, geometría observada a lo largo del canal y documentada en el Anexo 2. Esta condición reduce el área hidráulica efectiva y eleva la rugosidad, incrementando las pérdidas por fricción; para un mismo caudal de diseño (Q), esto eleva la línea de energía (EG) y sitúa la lámina de agua (WS) en torno al nivel de hombro (bank stations), dejando la revancha operativa prácticamente nula. En términos operacionales, aumenta el riesgo de sobrepaso frente a variaciones de caudal o eventos transitorios, y se generan zonas de baja velocidad que retienen sedimentos, provocando una pérdida progresiva de la capacidad de la sección.

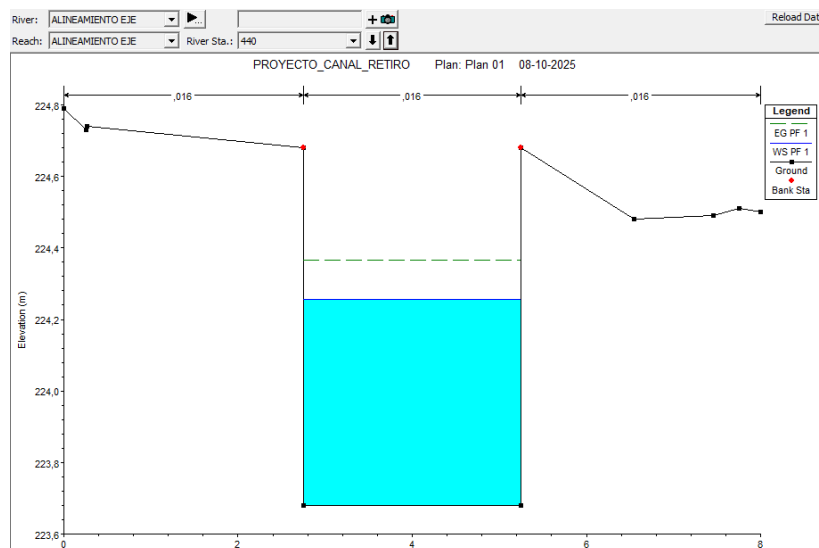


Figura 26. Sección transversal con su mejora. PK 440

La sección anterior se regulariza a un rectángulo con ancho de solera $b=2,5$ m, altura de muro 1 m y revestimiento de hormigón. Esta geometría junto con el menor coeficiente de rugosidad del material mejora la eficiencia hidráulica, aumenta el área efectiva de conducción y reduce las pérdidas por fricción, observada a lo largo del canal y documentada en el Anexo 3. En cuanto a la lámina de agua se mantiene por debajo del borde superior, con una revancha efectiva, coherente con los criterios de control de velocidad y erosión para canales revestidos. Las simulaciones en HEC-RAS indican un flujo subcrítico estable. las velocidades se mantienen dentro de rangos admisibles para revestimiento de hormigón, Por consiguiente, las cargas hidráulicas resultan compatibles con la vida útil del revestimiento

6 CONCLUSIONES

El presente estudio permitió diagnosticar las pérdidas y restricciones hidráulicas del Canal Matriz Retiro y proponer un diseño de mejoramiento sustentado en la modelación con HEC-RAS y en criterios técnicos de la Comisión Nacional de Riego (CNR) sobre revestimiento y control de energía, orientados a recuperar la capacidad de conducción y la estabilidad operacional del tramo intervenido.

La inspección en terreno y el análisis del material confirmaron un suelo de alta permeabilidad (arena-grava mal gradada), irregularidad geométrica del canal y deterioro del revestimiento temporal. Estas condiciones favorecieron la sedimentación sostenida de partículas finas y su colmatación, incrementando la rugosidad hidráulica (n), reduciendo el área hidráulica efectiva y elevando la línea de energía (EG). En consecuencia, la lámina de agua (WS) se aproximó al nivel de hombro, con revancha prácticamente nula y mayor riesgo de sobrepaso. Adicionalmente, el contacto hidráulico con el lecho permeable generó pérdidas por infiltración a lo largo del tramo dañado (340 m).

En la modelación actual con HEC-RAS, usando $Q = 2,109 \text{ m}^3/\text{s}$, la pérdida lineal por infiltración fue de 6,03 L/s en el tramo dañado (fórmula de Moritz, con $V = 1,34 \text{ m/s}$ y coeficiente representativo de alta permeabilidad), confirmando la necesidad de regularizar la sección, ajustar pendientes y controlar rugosidades. Conforme a la pendiente levantada y a criterios de diseño CNR, se adoptó $S = 0,0018 \text{ m/m}$ en el tramo de mejora; el canal se

regulariza a sección rectangular con $b = 2,5$ m y altura de muro = 1 m, obteniéndose un tirante normal proyectado $h \approx 0,58$ m.

Para el control de energía y mantener régimen subcrítico, se incorporan tres gradas con caídas verticales de 0,35 m, 0,5 m y 0,31 m, dimensionadas con las ecuaciones de la sección metodológica y longitudes constructivas de 5,0 – 6 – 5,0 m. Esta configuración reduce el riesgo de erosión localizada, resalto hidráulico no controlado y sobrepasos en puntos vulnerables del perfil.

En consecuencia, se recomienda ejecutar el revestimiento en hormigón en el tramo de mayor pendiente/energía (PK de diseño correspondiente), junto con las gradas disipadoras señaladas, manteniendo $S = 0,0018$ m/m y la geometría definida. Esta solución prioriza estabilidad, facilidad de mantención y reducción de infiltración. Como trabajo futuro, se sugiere modelación no permanente para crecidas extraordinarias y un programa de mantención (limpieza de sedimentos y revisión de juntas) que sostenga el desempeño en el tiempo.

7 LITERATURA CITADA

- Albers Dutkiewicz, C. J. (2024). *Atlas de las regiones, provincias y comunas de Chile*. Rulamahue. <https://www.rulamahue.cl>
- Chaudhry, M. H. (2008). *Open-channel flow*. Springer Science & Business Media.
- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill.
- Comisión Nacional de Riego. (2014, noviembre). *Criterios de diseño obras de riego: Exposición y sesión participativa (Taller 16.11: Aspectos hidráulicos)*. Comisión Nacional de Riego. <https://www.cnr.gob.cl>
- Comisión Nacional de Riego. (2019). *Manual e instructivos de obras civiles* [Manual, PDF]. Comisión Nacional de Riego. <https://www.cnr.gob.cl/mdocs-posts/manual-e-instructivos-de-obras-civiles-2/>
- Junta de Vigilancia del Río Longaví y sus Afluentes (JVRL). (2024). *Memoria anual JVRL 2024*. Junta de Vigilancia del Río Longaví y sus Afluentes. <https://www.juntariolongavi.cl>
- Rojas, P. (2015, octubre 18). *Valores de rugosidad (n) de Manning en canales*. IngeCiv. <https://ingeciv.com/valores-de-rugosidad-n-de-manning-en-canales/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2020). *Longaví: Recursos naturales* [PDF]. Servicio Nacional de Geología y Minería. https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2020/10/Longav%C3%AD_rec_nat_1_.pdf

8. ANEXO.



INFORME DE ENSAYO ANALISIS DE MATERIAL - AREA SUELO - R-L-004-6, v8
Correlativo de Obra N° 0001/2024

MANDANTE	: SNR.
OBRA	: Revestimiento Canal Matriz Retiro Km 0.547 - 0.8512 - Comuna de Retiro - Región del Maule.
DIRECCIÓN DE OBRA	: Retiro S/N
EMPRESA Y/O CLIENTE	: Consultora Hidrocuenca E.I.R.L.
ATENCIÓN	: Sr. Néstor López Medina.
CONTACTO	: nelopezmed@gmail.com
DIRECCIÓN CLIENTE	: Valle Hermoso 3148, Villa Doña Francisca III - Chillan.
CÓDIGO MUESTRA	: N° 172270 - Área Suelo
ORDEN DE TRABAJO	: N° 110511
ITEM	: Sello (canal)
ENSAYO SOLICITADO	: Granulometría, Limite Atterberg y Clasificación de Suelo.
FECHA DE MUESTREO	: 20 de marzo de 2024
FECHA DE EMISIÓN	: 25 de marzo de 2024

A. IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

MUESTRA	: M-01
MATERIAL	: Grava pobremente graduada
PROCEDENCIA	: Material existente del canal.
PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA	: ---
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	: ---
MUESTREO POR	: El Cliente.
MUESTREO SEGÚN NORMA	: ---

B. Granulometría (% en peso que pasa) Según Norma 8.102.1, Junio 2022, MC-V8

Fecha de inicio de ensayo: 21-03-2024

Fecha término de ensayo: 23-03-2024

TAMIZ	TAMIZ (mm)	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.	% que pasa
2"	50	100	---	<p align="center">Curva Granulométrica</p>
1 1/2"	37,5	96	---	
1"	25	84	---	
3/4"	19	77	---	
3/8"	9,5	57	---	
N° 4	4,75	45	---	
N° 10	2	27	---	
N° 40	0,425	10	---	
N° 200	0,075	4	---	

Deter. del Límite Líquido y Límite Plástico, Según Norma NCh 1517/1.Of79, NCh 1517/2.Of79

		Espe. Técnicas
Límite Líquido (%)		Indeterminable. ---
Límite Plástico (%)		Indeterminable. ---
Índice de Plasticidad (%)		N/P. ---
Fecha inicio ensayo	23-03-2024	Fecha término de ensayo 24-03-2024
Tipo de Acanalador Empleado		ASTM ---
Método de Ensayo Empleado		Mecánico ---

CLASIFICACION Según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO y ASTM D2487 - 11

USCS	GP
AASHTO	A 1-a (0)

OBSERVACIONES: Sin Observaciones.

- Nota:
- Material según su clasificación AASHTO corresponde a gravas y arenas.
 - Clasificación USCS-AASHTO Según Departamentos de caminos Públicos de USA-Sistema AASHTO no forma parte del alcance de nuestra acreditación según convenio INN - MINVU.
 - Laboratorio Pampa Austral Ltda., asegura la veracidad de los resultados del ensayo y/o control solicitado y NO la información declarada por el solicitante.
 - Los Resultados del presente informe se refieren únicamente al ítem ensayado.
 - Este informe no es válido sin firma y sello

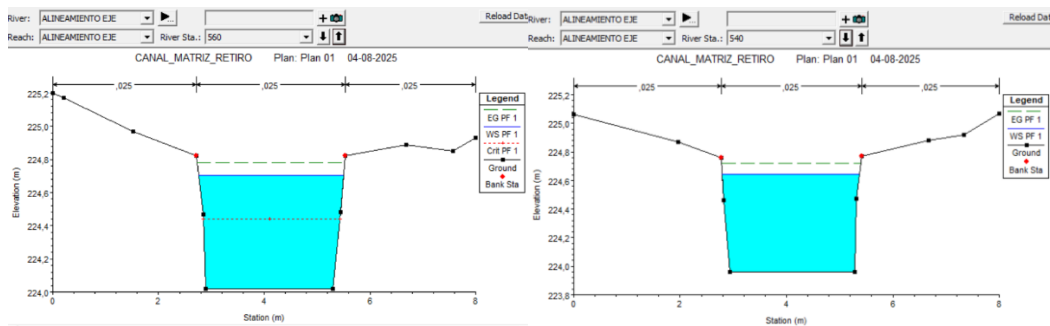
Página 1/1



Jonathan Patricio Figueroa Lillo
Ingeniero Constructor
Profesional Responsable Área Mecánica de Suelo y Hormigón

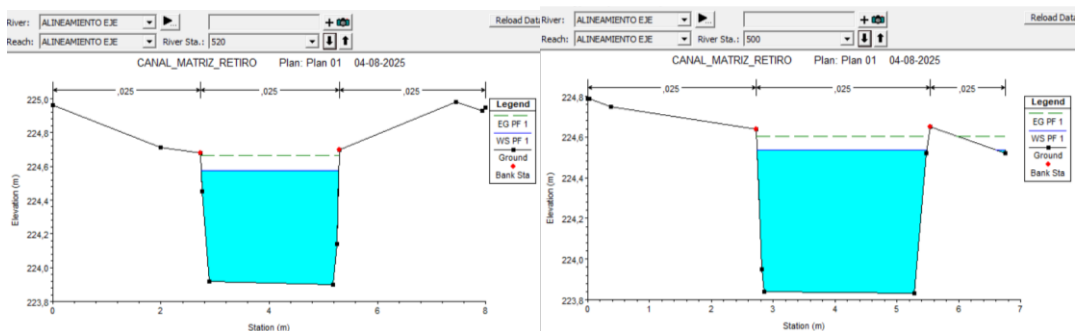
Este Informe ha sido Firmado Digitalmente, para verificar comuníquese con el Laboratorio Pampa Austral Limitada
Declaración: Este informe no debe ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación escrita del responsable de su emisión
Santa Blanca 51 - Chillán Fono/Fax: (42)2238290 - (42)2240255 - gerencia@pampastral.cl - www.pampastral.cl

Figura 27. Análisis de suelo.



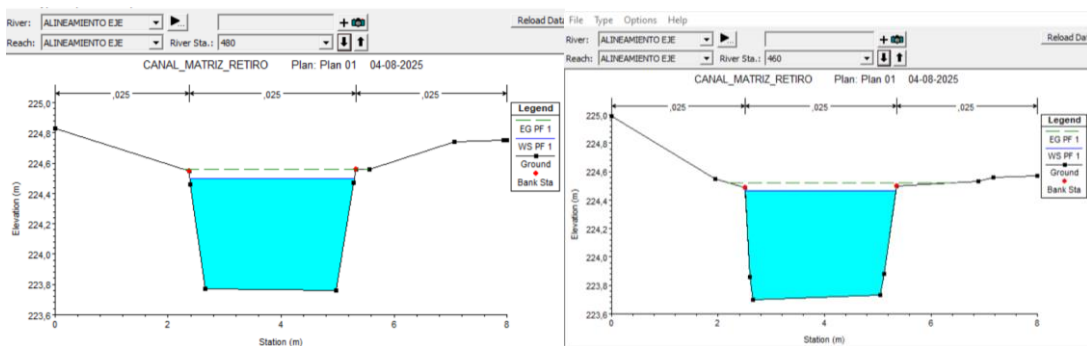
a)

b)



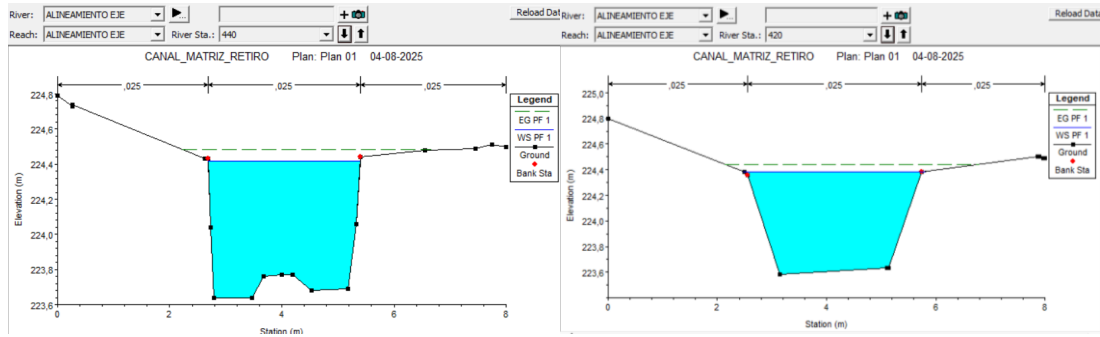
c)

d)



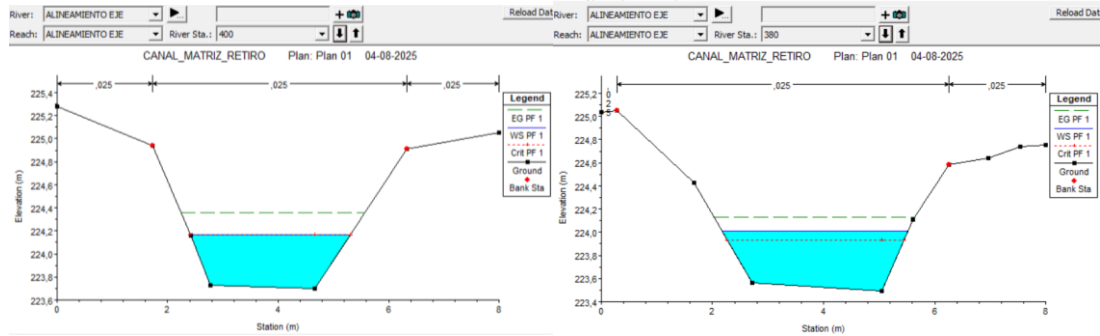
e)

f)



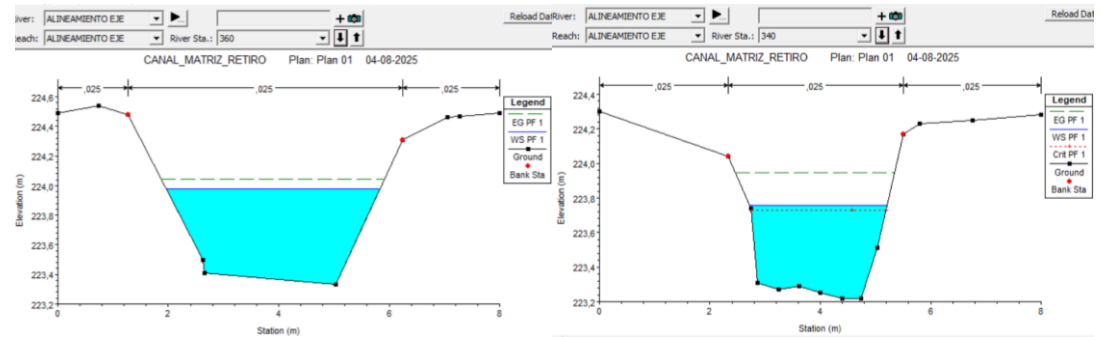
g)

h)



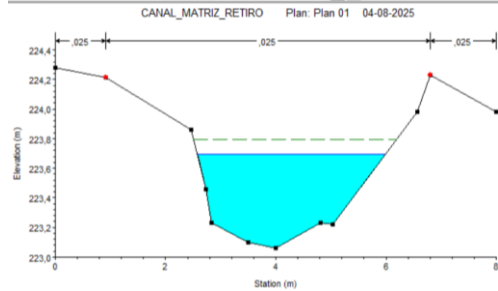
i)

j)

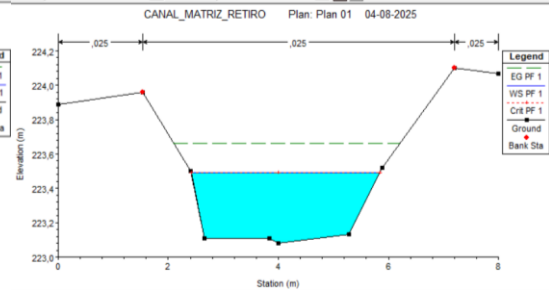


k)

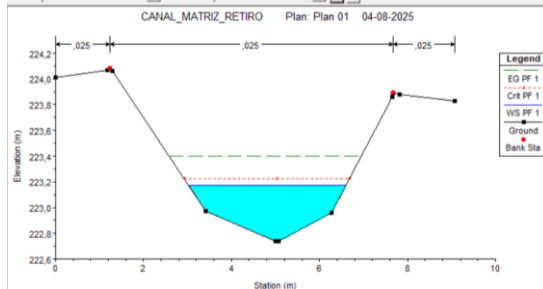
l)



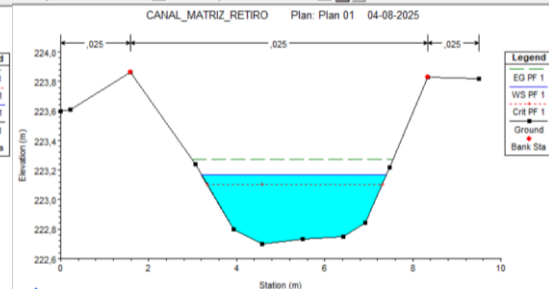
m)



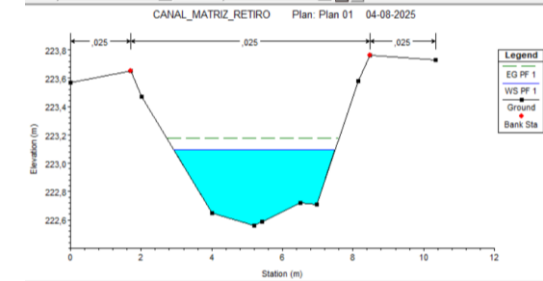
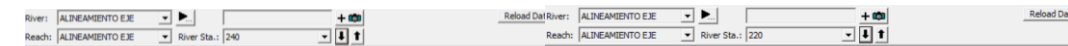
n)



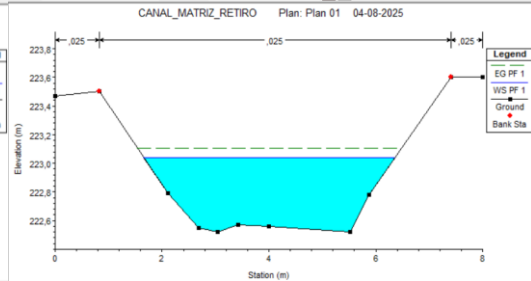
ñ)



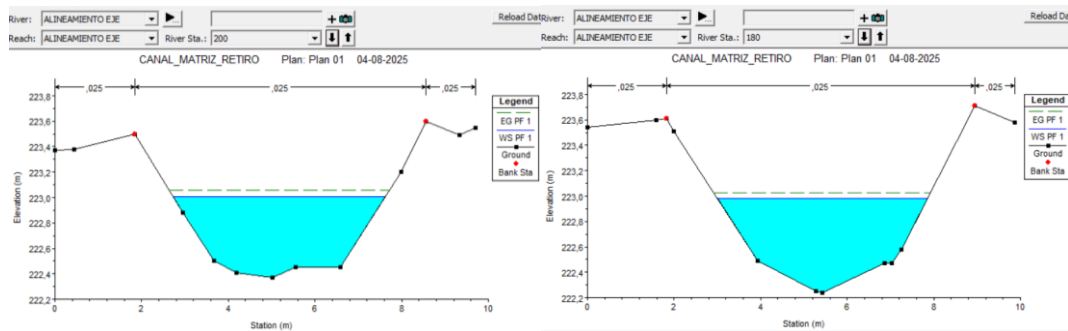
o)



p)

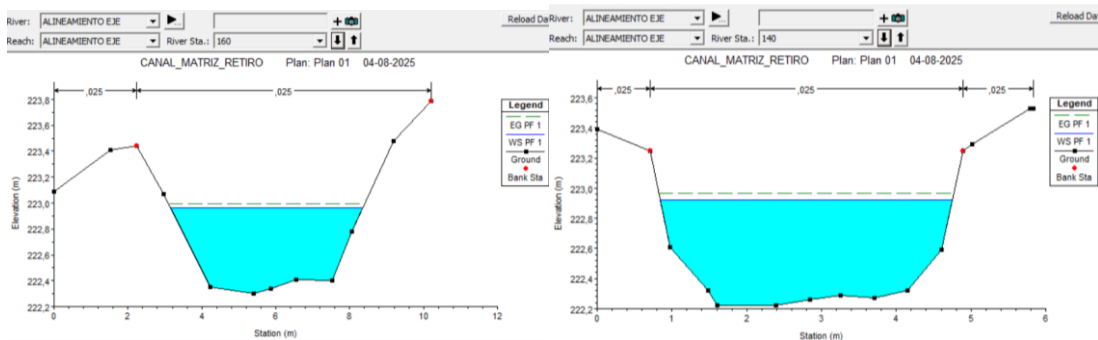


q)



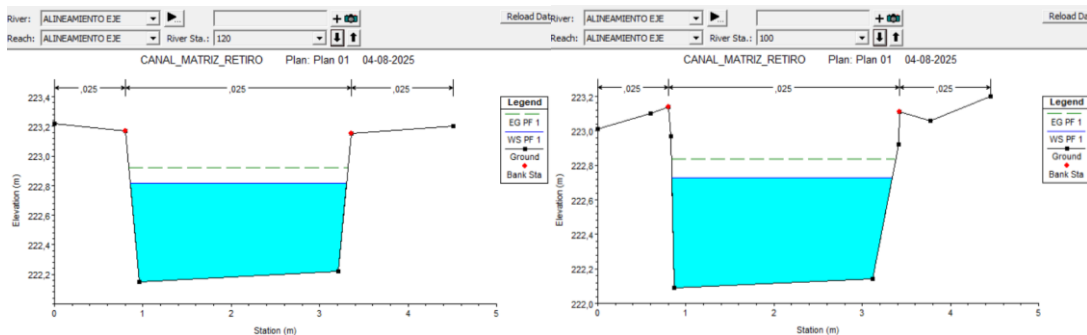
r)

s)



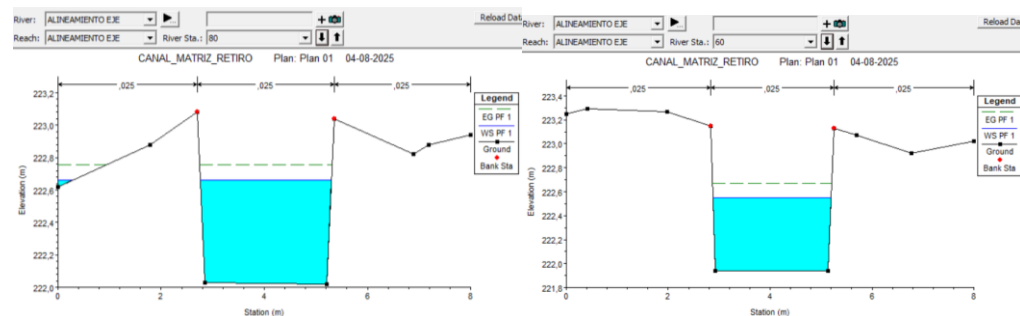
t)

u)



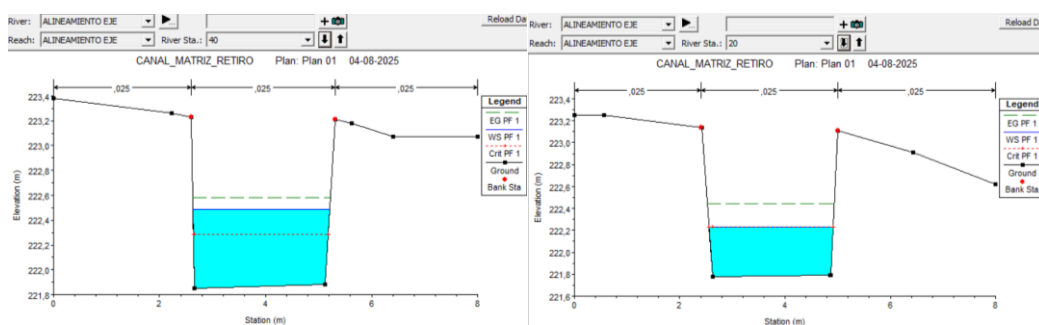
v)

w)



x)

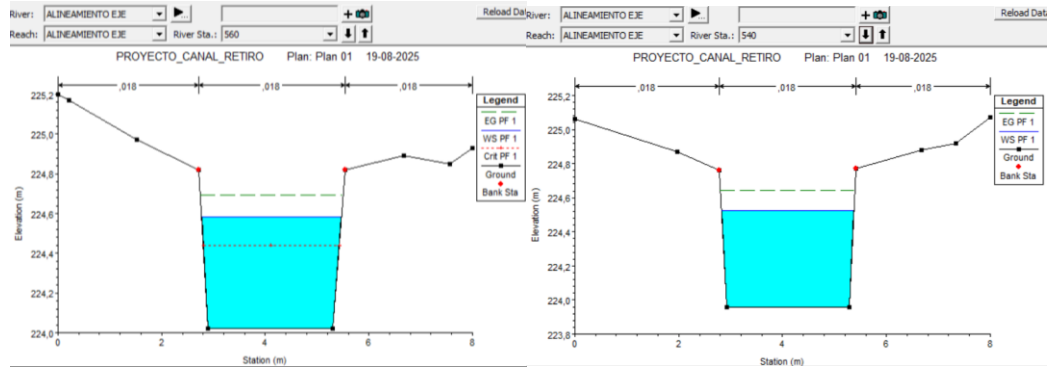
y)



z)

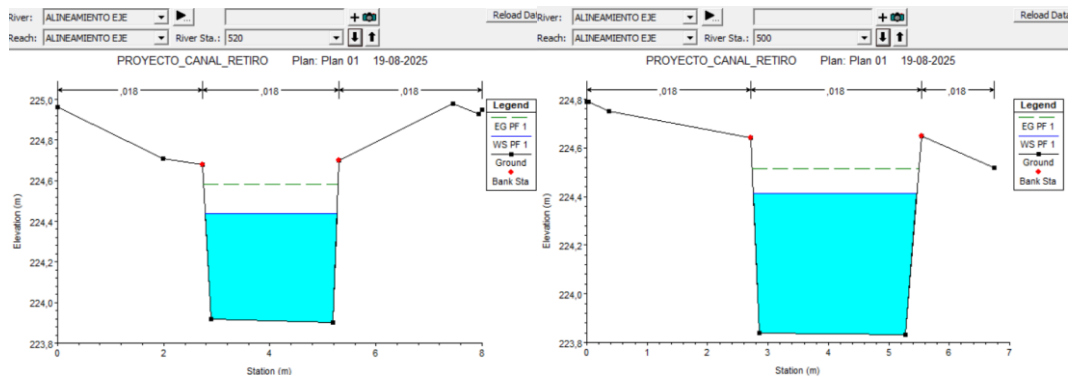
aa)

Figura 28. Secciones transversales modeladas en HEC-RAS del Canal Matriz Retiro situación actual. Estaciones cada 20 m: a) perfil transversal 560, b) perfil transversal 540, c) perfil transversal 520, d) perfil transversal 500, e) perfil transversal 480, f) perfil transversal 460, g) perfil transversal 440, h) perfil transversal 420, i) perfil transversal 400, j) perfil transversal 380, k) perfil transversal 360, l) perfil transversal 340, m) perfil transversal 320, n) perfil transversal 300, o) perfil transversal 280, p) perfil transversal 260, q) perfil transversal 240, r) perfil transversal 220, s) perfil transversal 200, t) perfil transversal 180, u) perfil transversal 160, v) perfil transversal 140, w) perfil transversal 120, x) perfil transversal 100, y) perfil transversal 80, z) perfil transversal 60, aa) perfil transversal 20.



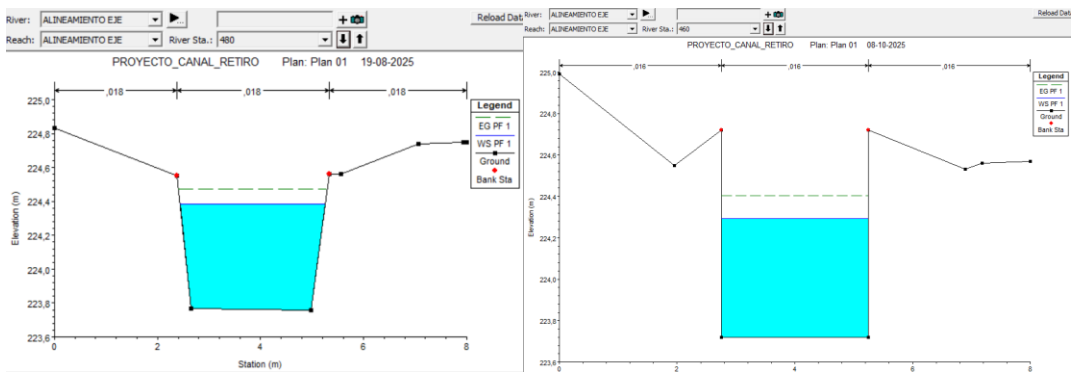
a)

b)



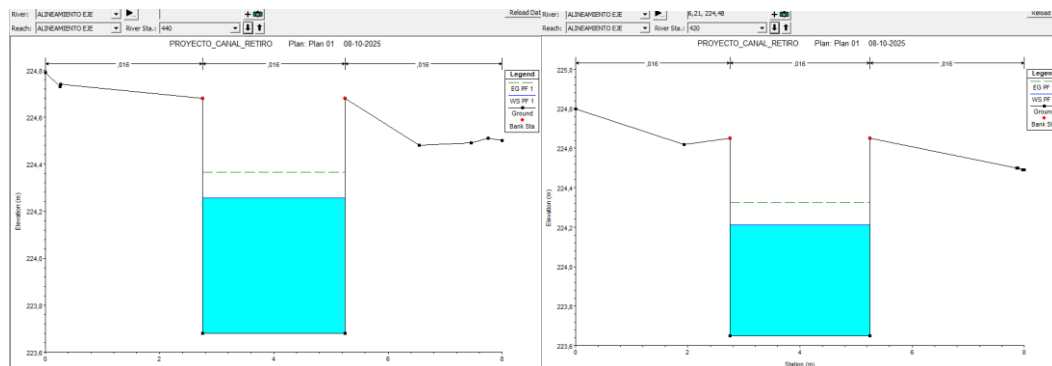
c)

d)



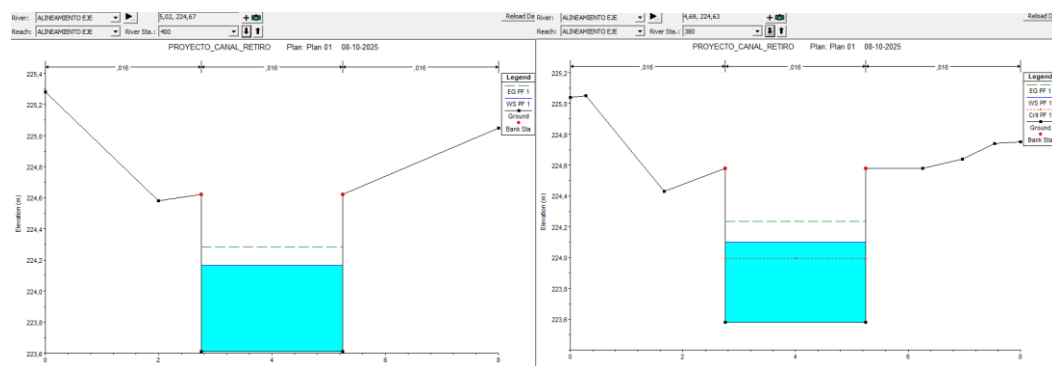
e)

f)



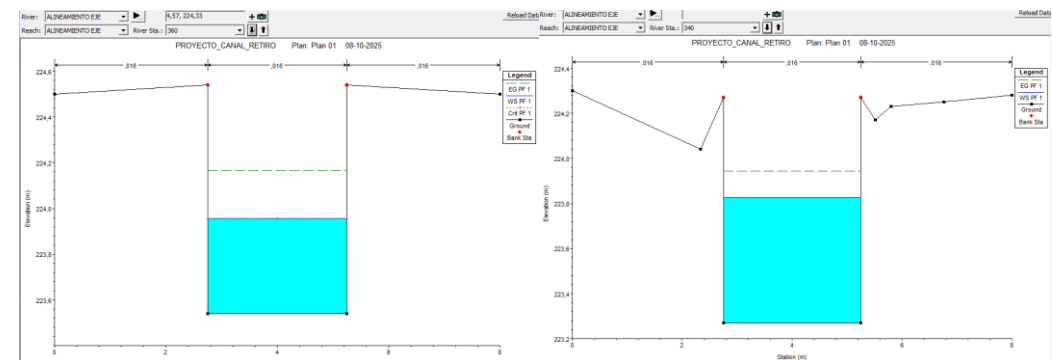
g)

h)



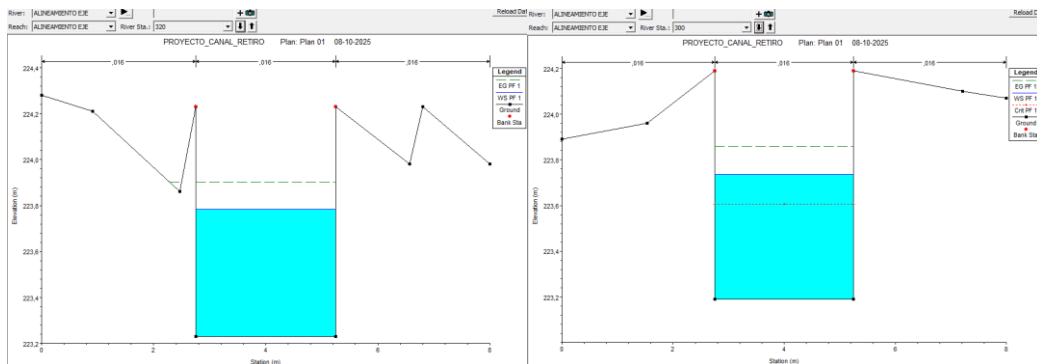
i)

j)



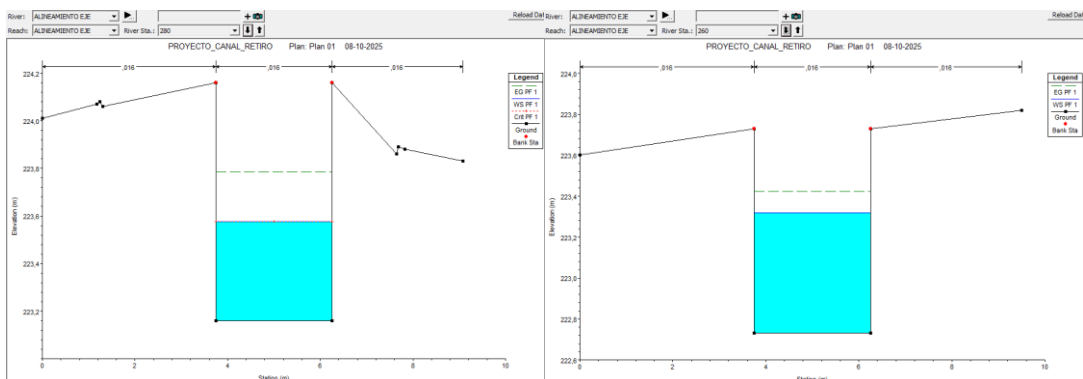
k)

l)



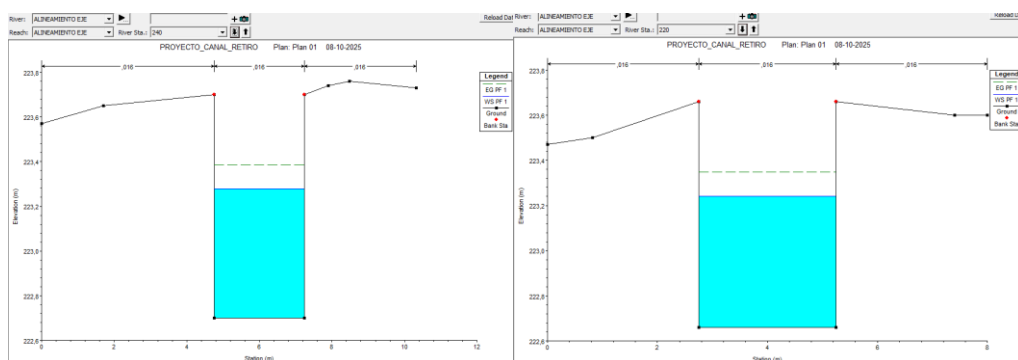
m)

n)



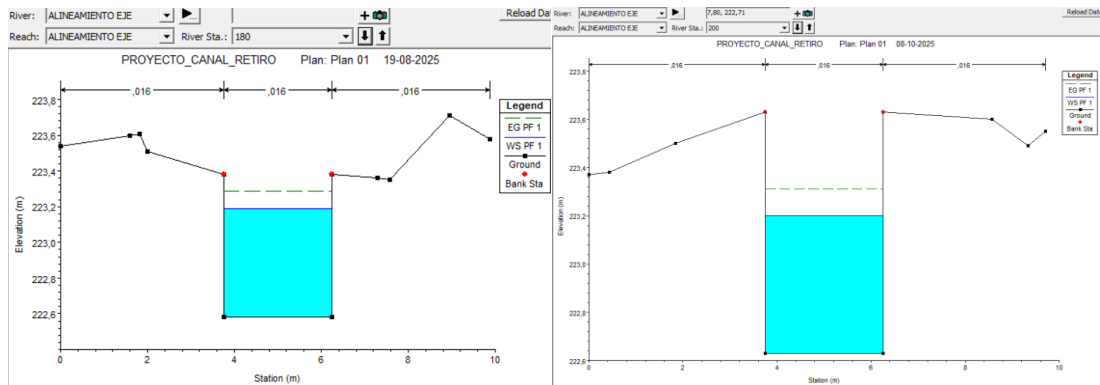
ñ)

o)



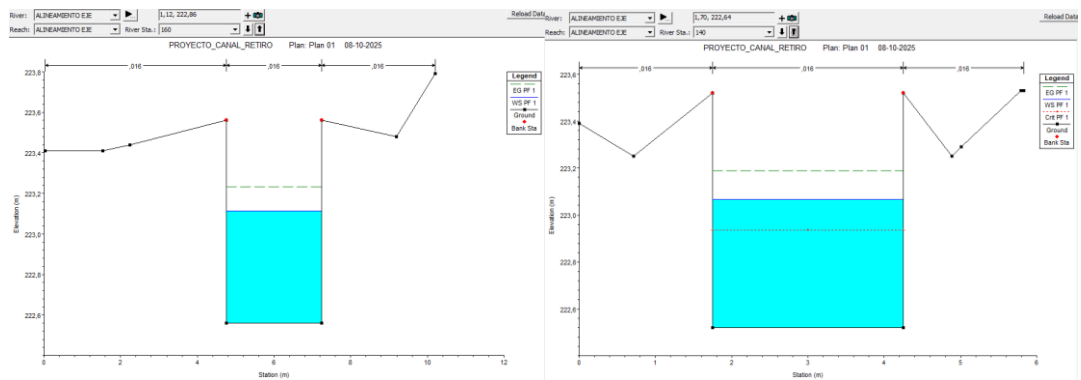
p)

q)



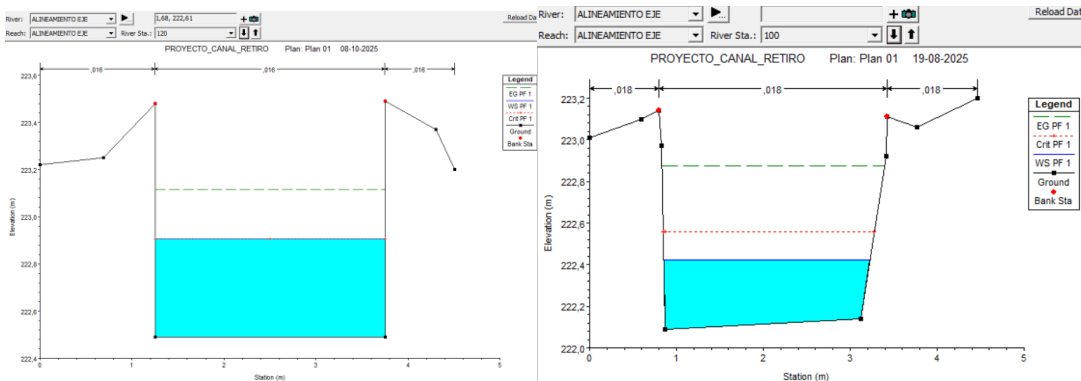
r)

s)



t)

u)



v)

w)

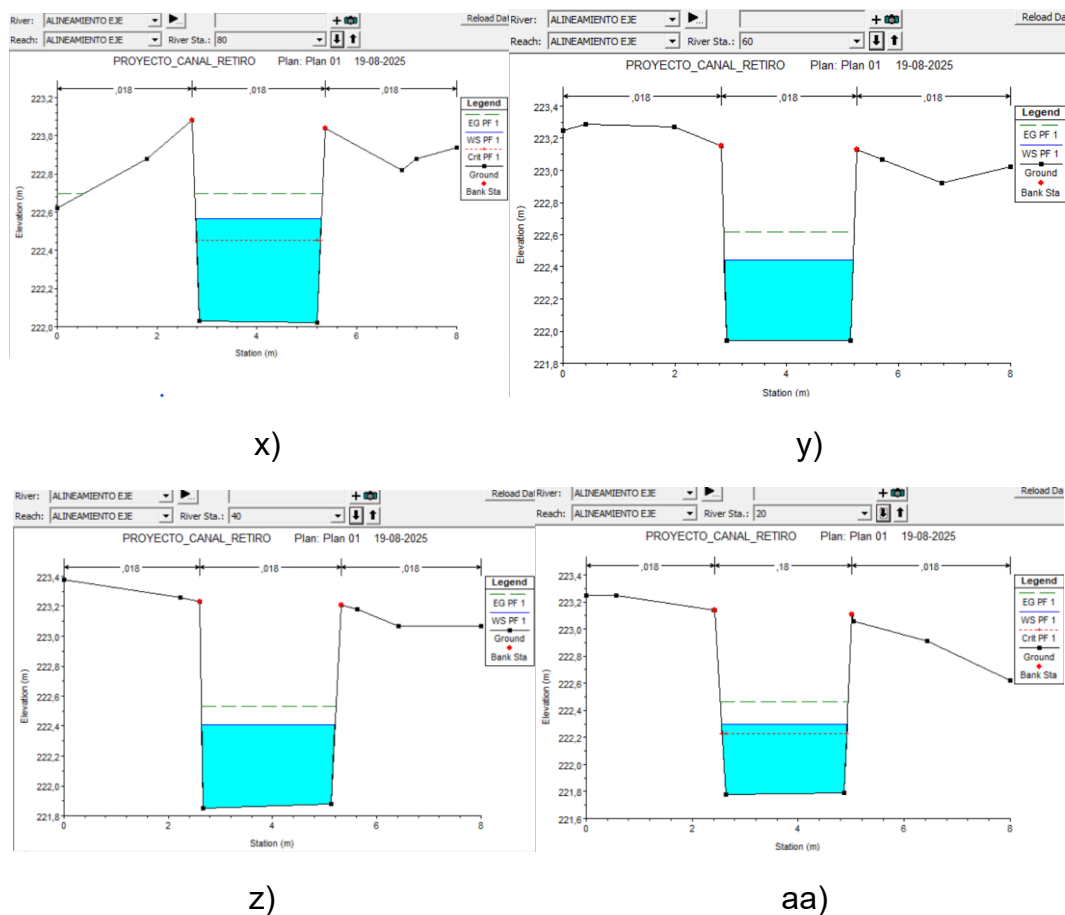
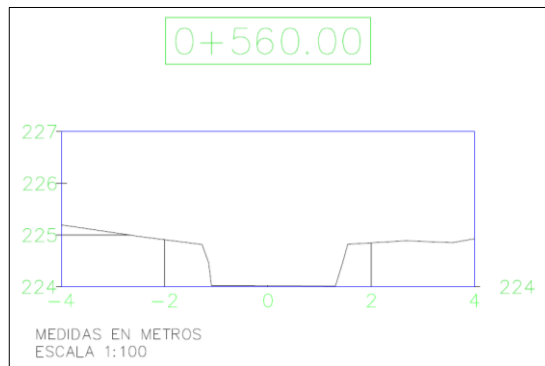
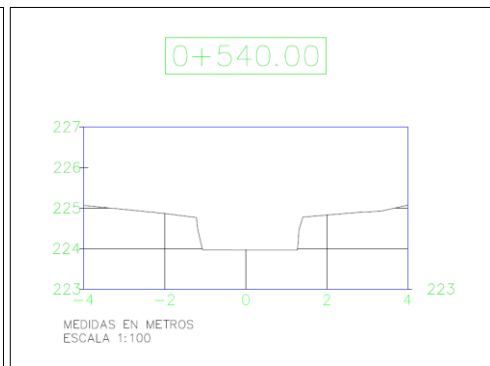


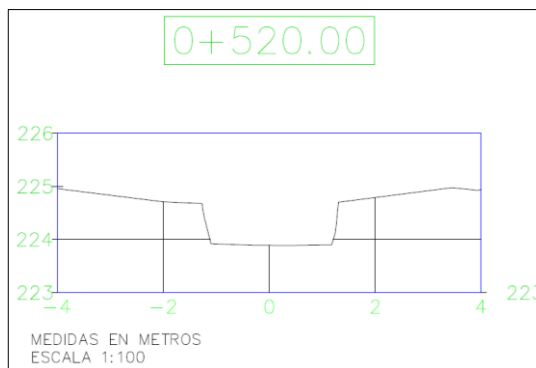
Figura 29. Secciones transversales modeladas en HEC-RAS del Canal Matriz Retiro situación mejorada. Estaciones cada 20 m: a) perfil transversal 560, b) perfil transversal 540, c) perfil transversal 520, d) perfil transversal 500, e) perfil transversal 480, f) perfil transversal 460, g) perfil transversal 440, h) perfil transversal 420, i) perfil transversal 400, j) perfil transversal 380, k) perfil transversal 360, l) perfil transversal 340, m) perfil transversal 320, n) perfil transversal 300, o) perfil transversal 280, p) perfil transversal 260, q) perfil transversal 240, r) perfil transversal 220, s) perfil transversal 200, t) perfil transversal 180, u) perfil transversal 160, v) perfil transversal 140, w) perfil transversal 120, x) perfil transversal 100, y) perfil transversal 80, z) perfil transversal 60, aa) perfil transversal 20.



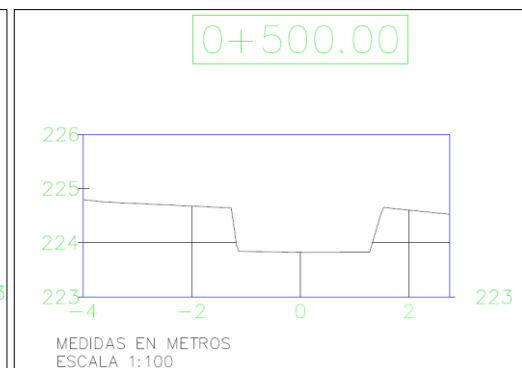
a)



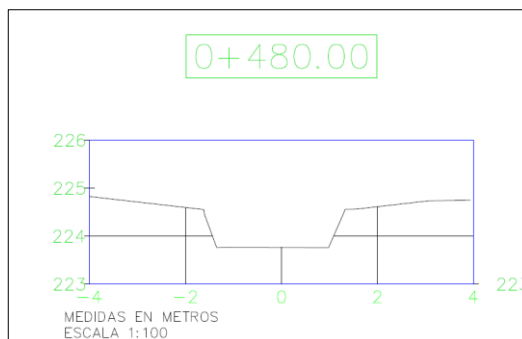
b)



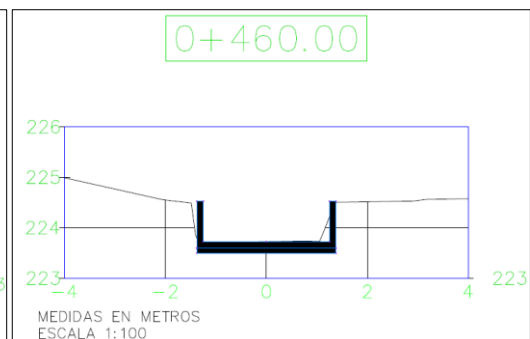
c)



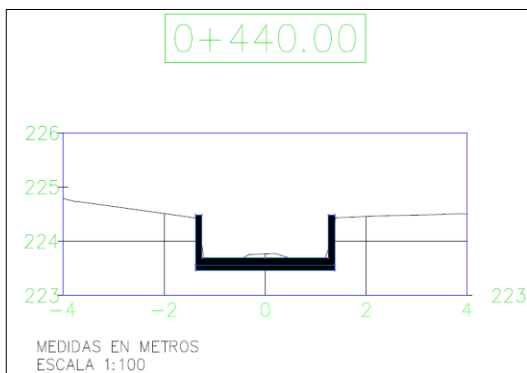
d)



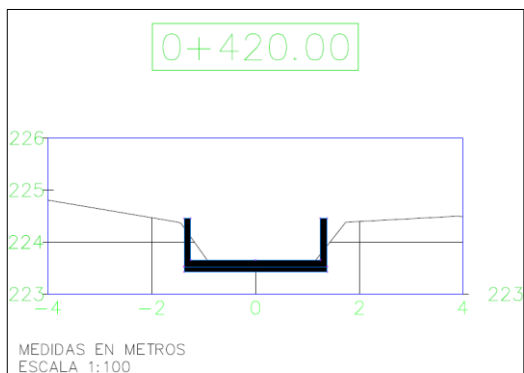
e)



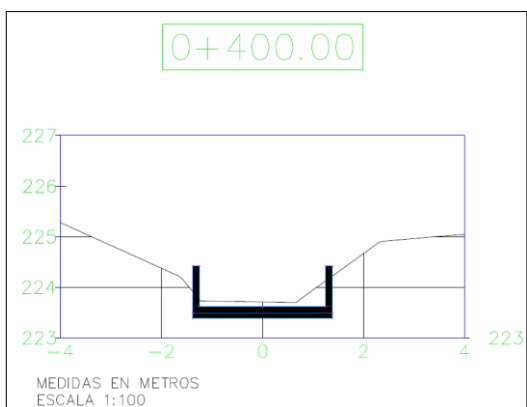
f)



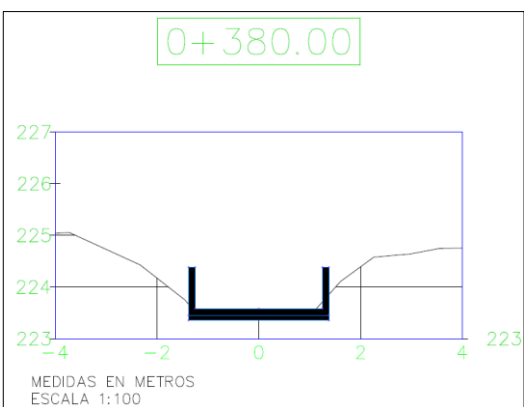
g)



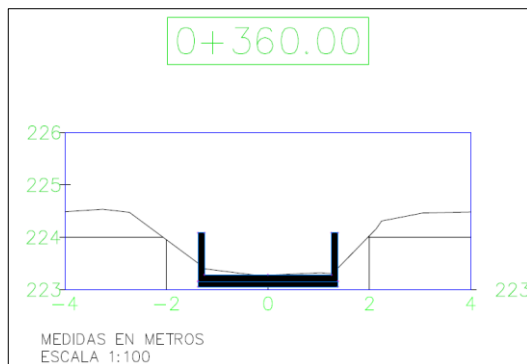
h)



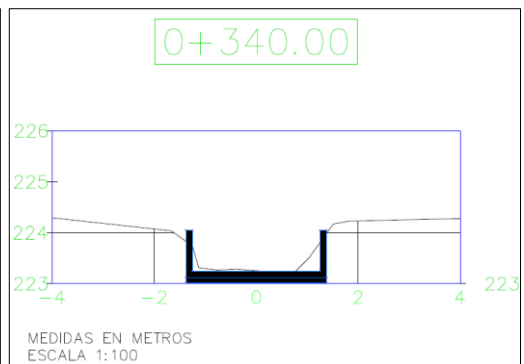
i)



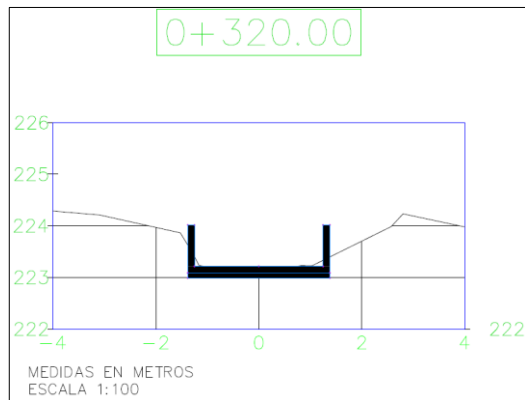
j)



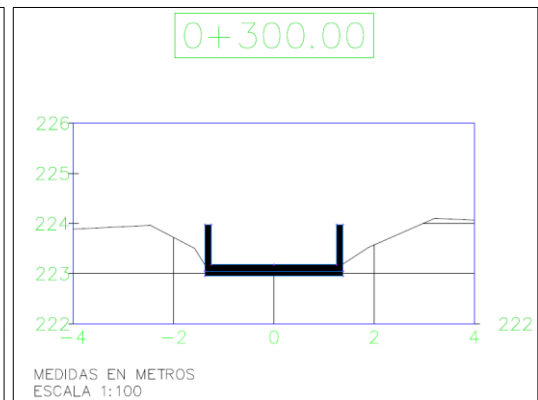
k)



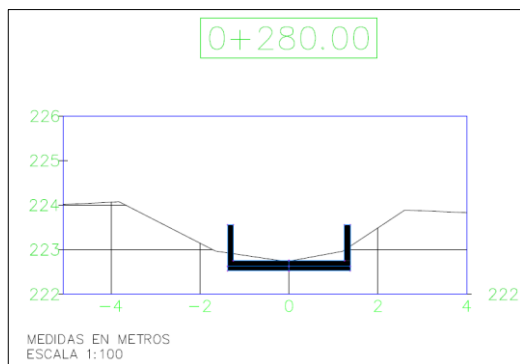
l)



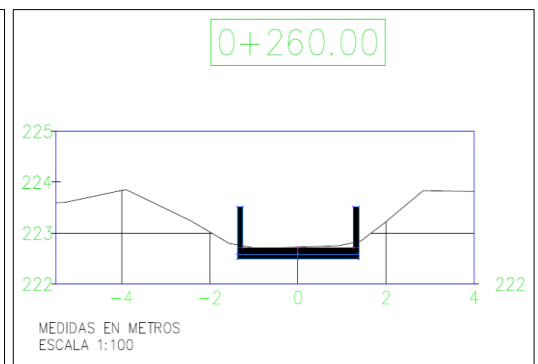
m)



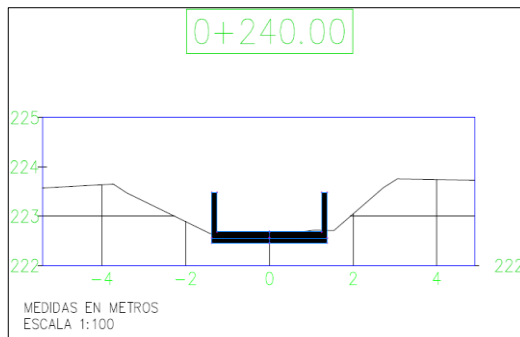
n)



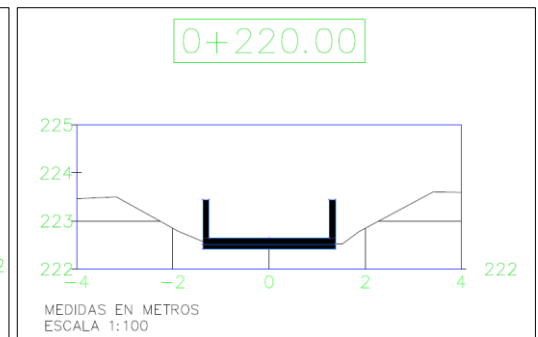
ñ)



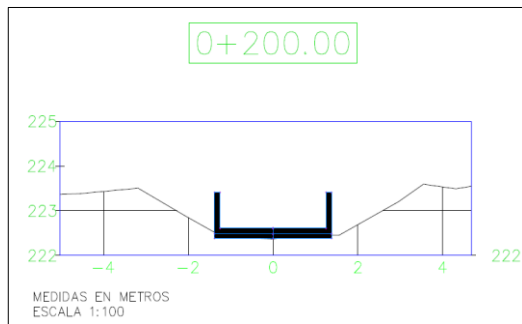
o)



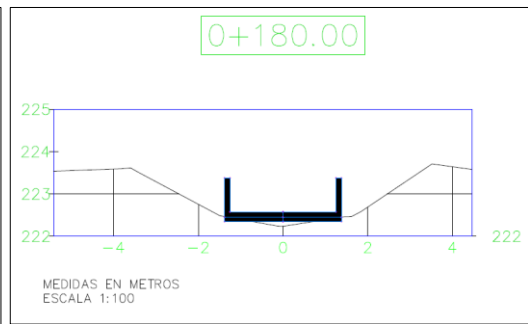
p)



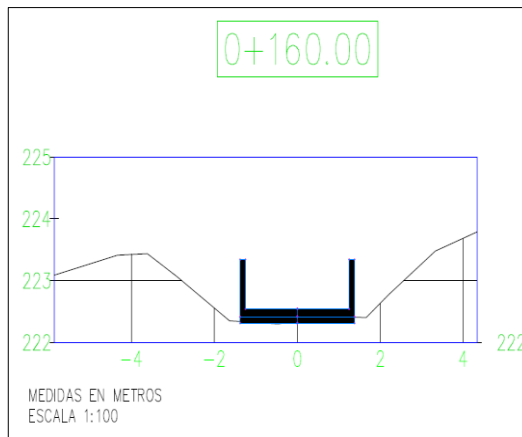
q)



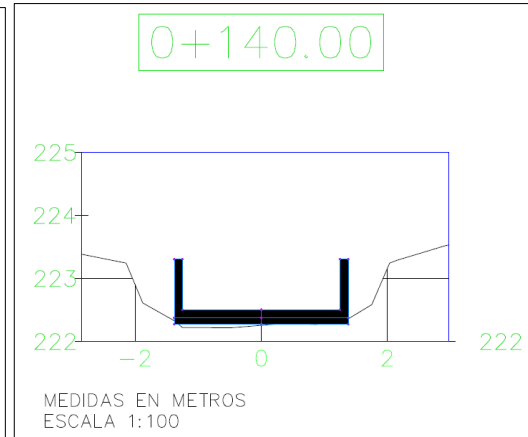
r)



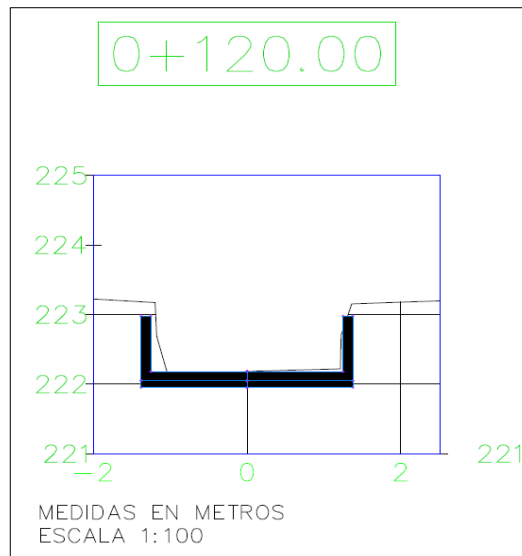
s)



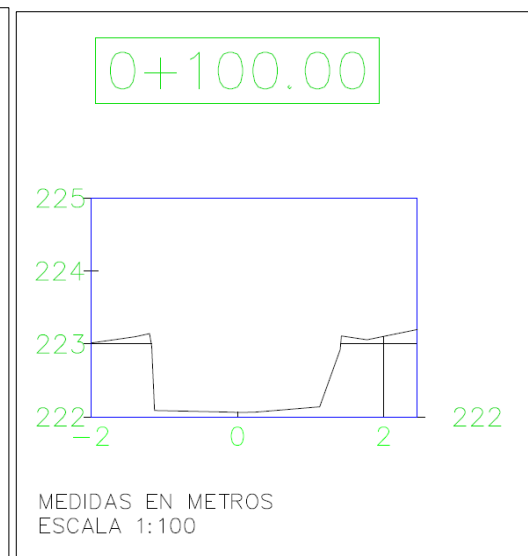
t)



u)



v)



w)

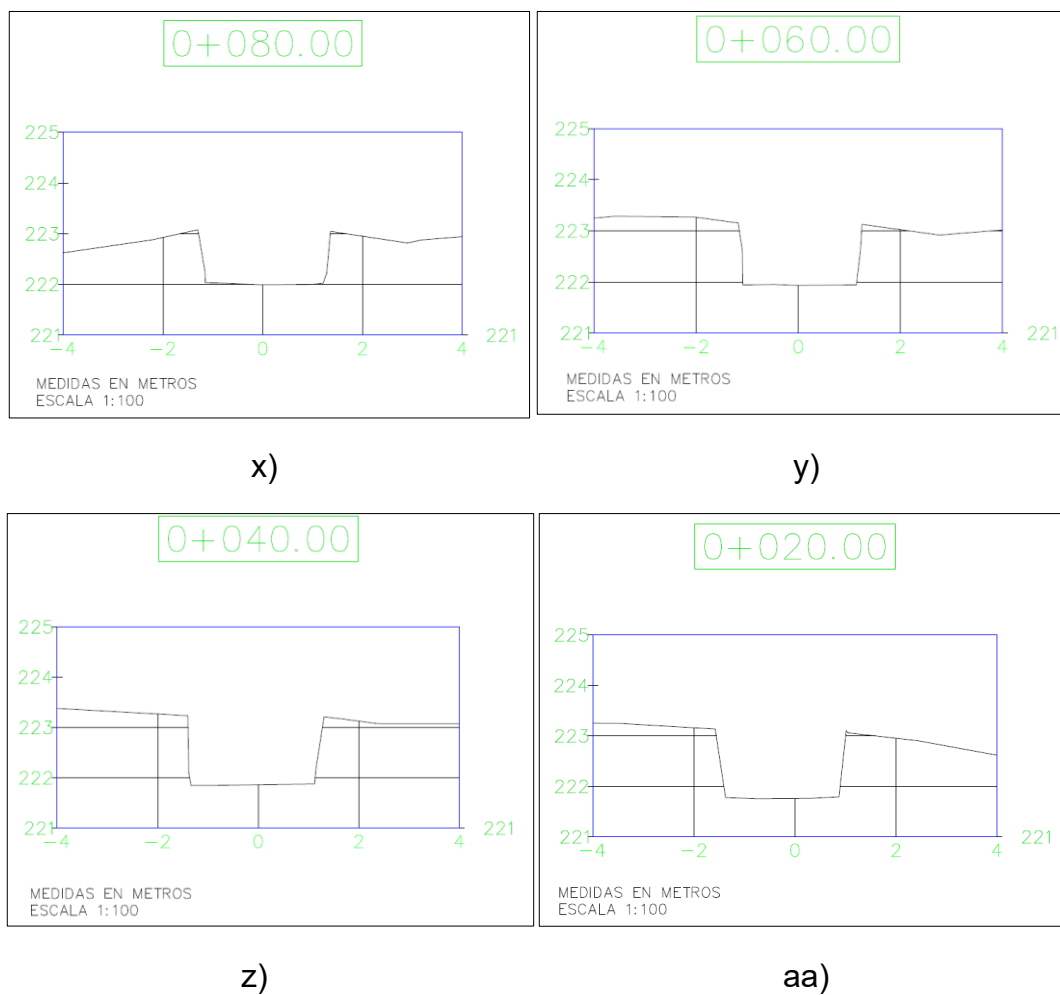


Figura 30. Secciones transversales de diseño en Civil 3D del Canal Matriz Retiro. Ubicadas cada 20 m: a) 560, b) 540, c) 520, d) 500, e) 480, f) 460, g) 440, h) 420, i) 400, j) 380, k) 360, l) 340, m) 320, n) 300, o) 280, p) 260, q) 240, r) 220, s) 200, t) 180, u) 160, v) 140, w) 120, x) 100, y) 80, z) 60, aa) 20.