



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE PUENTE TIPO BADÉN EN LA QUEBRADA "EL NEGRO" VÍA
LA BOCANA -VALLE HERMOSO, CANTÓN PIÑAS, PROVINCIA DE EL
ORO**

**MIRANDA ORDOÑEZ DERIAN LUIGGI
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE PUENTE TIPO BADÉN EN LA QUEBRADA "EL
NEGRO" VÍA LA BOCANA -VALLE HERMOSO, CANTÓN
PIÑAS, PROVINCIA DE EL ORO**

**MIRANDA ORDOÑEZ DERIAN LUIGGI
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**DISEÑO DE PUENTE TIPO BADÉN EN LA QUEBRADA "EL
NEGRO" VÍA LA BOCANA -VALLE HERMOSO, CANTÓN
PIÑAS, PROVINCIA DE EL ORO**

**MIRANDA ORDOÑEZ DERIAN LUIGGI
INGENIERO CIVIL**

AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO

**MACHALA
2023**

TITULACION 2023-1

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|------|
| 1 | ingenieria.ute.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 2 | www.aguamarket.com Fuente de Internet | <1 % |
| 3 | recursosbiblioteca.icap.ac.cr Fuente de Internet | <1 % |
| 4 | biblioteca.udla.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 5 | AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - AMBIDES S.A.C.. "ITS para la Ampliación de Operaciones de la Infraestructura para la Disposición Final de Residuos Sólidos No Peligrosos del Ámbito de la Gestión No Municipal, Innova Ambiental - Chilca para la Disposición Final de Residuos Municipales- IGA0012803", R.D. N° 00005-2021-SENACE- PE/DEIN, 2021 Publicación | <1 % |

| | | |
|----|--|------|
| 6 | Fuente de Internet | <1 % |
| 7 | www.ing.unal.edu.co Fuente de Internet | <1 % |
| 8 | www.tripmondo.com Fuente de Internet | <1 % |
| 9 | eprints.ucm.es Fuente de Internet | <1 % |
| 10 | Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Trabajo del estudiante | <1 % |
| 11 | biblioteca.icap.ac.cr Fuente de Internet | <1 % |
| 12 | CESEL S A. "EIA-SD del Proyecto Línea de Transmisión en 220 kV S.E. Carabayllo - S.E. Nueva Jicamarca-IGA0003081", R.D. N° 352-2013-MEM/AAE, 2020 Publicación | <1 % |
| 13 | www.project-syndicate.org Fuente de Internet | <1 % |
| 14 | repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 15 | www.clubensayos.com Fuente de Internet | <1 % |
| 16 | 1library.co Fuente de Internet | <1 % |

| | | |
|----|---|------|
| 17 | Submitted to Submitted on 1686847177318 Trabajo del estudiante | <1 % |
| 18 | es.unionpedia.org Fuente de Internet | <1 % |
| 19 | issuu.com Fuente de Internet | <1 % |
| 20 | www.change.org Fuente de Internet | <1 % |
| 21 | www.repositorio.una.ac.cr Fuente de Internet | <1 % |
| 22 | www.minedu.gob.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 23 | es.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |
| 24 | www.corpaq.com Fuente de Internet | <1 % |
| 25 | www.vanguardiaveterinaria.com.mx Fuente de Internet | <1 % |

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

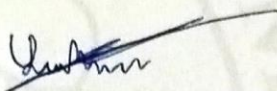
El que suscribe, MIRANDA ORDOÑEZ DERIAN LUIGGI, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado DISEÑO DE PUENTE TIPO BADÉN EN LA QUEBRADA "EL NEGRO" VÍA LA BOCANA -VALLE HERMOSO, CANTÓN PIÑAS, PROVINCIA DE EL ORO, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



MIRANDA ORDOÑEZ DERIAN LUIGGI

0705831402

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios quien me ha dado la sabiduría y fortaleza para realizarlo, también a mis padres y mis hermanos que me han apoyado de manera incondicional en cada momento, no solo durante la realización de este trabajo sino durante toda mi vida personal y académica. También a mis amigos y compañeros que por aconsejarme y darme ánimo para nunca dejar que ninguna adversidad me impida alcanzar mi meta de convertirme en ingeniero civil.

Agradecimiento

La realización de este trabajo es mi forma de agradecer a mis padres y mis hermanos, por siempre alentarme y nunca dejarme sin ese apoyo incondicional, también agradezco al Ing. Fredy Aguirre que con su amplia experiencia dentro de la ingeniería civil supo guiarme y todo ese conocimiento que adquirí fue de utilidad para realizar este proyecto.

De manera muy especial quiero agradecer a mis amigos José Grijalva, Alex Henriquez y Anthony Zapata, por brindarme su amistad y compañerismo dentro y fuera de los ámbitos académicos.

También quiero agradecer a mi fiel compañera, mi pequeña gata llamada “Café” que ha estado conmigo durante cada etapa de este proyecto además de acompañarme todas las veces en las que pasaba hasta altas horas de la noche realizando este proyecto y también en las otras tareas de mi vida académica.

Resumen:

En el siguiente proyecto de titulación se proporcionará información acerca del porque el puente tipo badén es una solución viable para el problema que ocurre en la vía La Bocana – Valle Hermoso producto de la socavación vial producida por la quebrada “El Negro”. El diseño de esta obra civil, se basó en estudios hidrológicos que proporcionaron información cuantitativa acerca de la naturaleza del problema existente que sirvieron como parámetros de diseño para el puente tipo badén. Los resultados obtenidos fueron el caudal máximo y promedio, así como las respectivas alturas de lámina de agua que generaron. Finalmente se obtuvieron las dimensiones optimas del puente tipo badén además de las estructuras complementarias, en este caso un muro de contención para proporcionar estabilidad y de una caída tipo grada como dispositivo disipador de energía.

Palabras claves: Puente tipo badén, hidrología, socavación, Quebrada “El Negro”

Abstract:

In the following graduation project, information will be provided regarding why the ford-type bridge is a viable solution to the problem occurring on the La Bocana - Valle Hermoso road, resulting from road erosion caused by the "El Negro" stream. The design of this civil engineering project was based on hydrological studies that provided quantitative information about the nature of the existing problem, serving as design parameters for the ford-type bridge. The results obtained included the maximum and average flow rates, as well as the respective water depths they generated. Finally, the optimal dimensions of the ford-type bridge were determined, along with complementary structures, including a retaining wall for stability and a stepped drop as an energy dissipation device.

Keywords: Ford-type bridge, hydrology, erosion, El Negro Creek.

Índice General

| | |
|---|----|
| Dedicatoria | 1 |
| Agradecimiento | 2 |
| Resumen: | 3 |
| Abstract: | 3 |
| Introducción: | 8 |
| Importancia del tema | 8 |
| Actualidad de la problemática | 9 |
| Estructura de Trabajo | 10 |
| 1. Capítulo I: Planteamiento del problema | 10 |
| 1.1. Línea base del proyecto | 10 |
| 1.2. Descripción de la situación problemática | 11 |
| 1.3. Formulación del problema | 12 |
| 1.4. Delimitación del objeto de estudio | 12 |
| 1.5. Justificación | 13 |
| 1.6. Objetivo: general y específicos | 13 |
| 2. Capítulo II: Marco Teórico | 14 |
| 2.1. Antecedentes contextuales | 14 |
| 2.2. Antecedentes conceptuales: | 16 |
| 2.3. Antecedentes referenciales: | 23 |
| 3. Capítulo III: Metodología | 25 |
| 3.1. Modalidad básica de la investigación | 25 |
| 3.2. Tipo de investigación | 25 |
| 3.3. Objeto de Estudio | 25 |
| 3.4. Descripción de la población y muestra | 25 |
| 3.5. Métodos empíricos con los materiales utilizados | 25 |
| 3.5.1. Trabajo de campo | 25 |
| 3.5.2. Determinación del caudal máximo, medio y mínimo | 26 |
| 3.5.3. Dimensionamiento del puente tipo badén | 33 |
| 3.5.4. Dimensionamiento de las alcantarillas | 34 |
| 3.5.5. Cálculo de la altura de la lámina de agua sobre el badén. | 36 |
| 3.5.6. Muro de contención | 38 |
| 3.5.7. Caída de protección aguas abajo | 47 |
| 4. Capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados | 55 |

| | |
|--|----|
| Conclusiones y recomendaciones: | 57 |
| Conclusiones: | 57 |
| Recomendaciones: | 57 |
| Referencias bibliográficas | 58 |
| Anexos: | 61 |
| Anexo 1: Resultados y evidencias del levantamiento topográfico | 61 |
| Anexo 2: Secciones transversales ingresadas al software HEC – RAS | 65 |

Índice de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1: Zona de estudio, Vía La Bocana – Valle Hermoso | 12 |
| Ilustración 2: Puente tipo badén en la parroquia Ayacucho, provincia de Manabí | 17 |
| Ilustración 3: Puente tipo badén en la comuna Las Mercedes, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas | 18 |
| Ilustración 4: Cubierta vegetal del área de estudio | 26 |
| Ilustración 5: Secciones transversales ingresadas en el software HEC – RAS. | 30 |
| Ilustración 6: Material vegetal arrastrado por la quebrada “El Negro” | 31 |
| Ilustración 7: Material rocoso arrastrado por la quebrada “El Negro” | 31 |
| Ilustración 8: Coeficiente de rugosidad ingresada en el software HEC – RAS. | 32 |
| Ilustración 9: Condiciones de borde de la quebrada “El Negro” ingresadas en HEC – RAS. | 32 |
| Ilustración 10: Caudales máximo y medio ingresados en HEC – RAS. | 33 |
| Ilustración 11: Proceso de cálculo del tirante normal realizado con el software HCANALES | 35 |
| Ilustración 12: Caudal de la alcantarilla a tubo lleno | 36 |
| Ilustración 13: Lámina de agua sobre el vertedero | 37 |
| Ilustración 14: Dimensiones del muro de contención | 38 |
| Ilustración 15: División de la estructura | 39 |
| Ilustración 16: Diagrama de fuerzas – Peso propio | 40 |
| Ilustración 17: Diagrama de fuerzas – Peso del pavimento rígido | 41 |
| Ilustración 18: Diagrama de fuerzas – Empuje activo del suelo | 42 |
| Ilustración 19: Diagrama de fuerzas – Peso del material de mejoramiento | 43 |
| Ilustración 20: Diagrama de fuerzas presión hidrostática | 44 |
| Ilustración 21: Diagrama de fuerzas – Carga vehicular | 45 |
| Ilustración 22: Representación de la altura “a” de la grada | 48 |
| Ilustración 23: Ábaco $Y1/Y0$ vs K para la grada 1 | 49 |
| Ilustración 24: Representación de la longitud “d” de la grada | 50 |
| Ilustración 25: Ábaco D vs Xo para la grada 1 | 50 |
| Ilustración 26: Ábaco $Y1/Y0$ vs K para la grada 2 | 51 |
| Ilustración 27: Ábaco D vs Xo para la grada 2 | 52 |
| Ilustración 28: Realización de trabajo de campo en la quebrada “El Negro” – Evidencia 1 | 64 |
| Ilustración 29: Realización de trabajo de campo en la quebrada “El Negro” – Evidencia 2 | 64 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Valores de K para el método desarrollado por el INERHI | 27 |
| Tabla 2: Resultados de los caudales obtenidos por métodos empíricos..... | 29 |
| Tabla 3: Tirante producido sobre el tramo de vía en condiciones de máxima crecida | 29 |
| Tabla 4: Coeficientes de rugosidad para diversas superficies..... | 30 |
| Tabla 5: Resultado del tirante calculado utilizando HEC – RAS..... | 33 |
| Tabla 6: Diámetro de tubería comercial tipo corrugada..... | 34 |
| Tabla 7: Dimensiones de las gradas para la estructura de protección contra la socavación | 52 |
| Tabla 8: Coordenadas de los puntos obtenidos del levantamiento topográfico – Parte 1 | 61 |
| Tabla 9: Coordenadas de los puntos obtenidos del levantamiento topográfico – Parte 2 | 62 |
| Tabla 10: Coordenadas de los puntos obtenidos del levantamiento topográfico – Parte 3 | 63 |

Diseño de puente tipo badén en la quebrada “El Negro” vía la Bocana – Valle Hermoso, del cantón Piñas

Introducción:

Importancia del tema

En el siguiente proyecto de titulación se proporcionará información acerca del porque el puente tipo badén es una solución viable para el problema que ocurre en la vía La Bocana – Valle Hermoso producto de la socavación vial producida por la quebrada “El Negro”.

Por medio de este documento se conocerá el proceso de diseño de esta obra civil, en base a estudios hidrológicos e hidráulicos que proporcionará información cuantitativa acerca de la naturaleza del problema existente que posteriormente servirán como parámetros de diseño para el puente tipo badén. De esta manera este documento servirá para mostrar como el tramo de vía está afectada de manera constante por la socavación, dicho proceso es más agresivo cuando existen precipitaciones como en la época invernal.

Al optar por este tipo de estructura y no por un puente convencional, su costo de construcción y mantenimiento es menor, y además se evita el sobredimensionamiento ahorrando recursos económicos, que en zonas rurales como La Bocana son limitados.

El puente tipo badén permite el paso del flujo de agua de la quebrada “El Negro” lo que reduce de forma significativa el desgaste de la vía y además, en caso de un rebalse superior al considerado para el diseño, la estructura queda inhabilitada pero su integridad estructural no se compromete así que una vez que el flujo de agua vuelva a condiciones normales la obra puede volver a ser utilizada sin problemas, lo que puede resumirse en un tiempo de reactivación vial más rápido lo que evitará la pérdida de movilización por un plazo prolongado de tiempo.

Al incrementar el tiempo de operación de la vía en la temporada invernal esto mantiene el tráfico de peatonal y vehicular, esto da como resultado en que se evita el aislamiento de comunidades y también se logra que los productos movilizados por agricultores locales pueden llegar a sus destinos lo que garantiza un beneficio económico.

Además, la información recopilada y sintetizada en este estudio aportará una guía didáctica en el futuro para para investigaciones relacionadas a dar solución a problemas producidos por cruces fluviales no convencionales.

Actualidad de la problemática

Los usuarios de la vía La Bocana - Valle Hermoso presentan dificultades para la movilización vehicular en temporada invernal, el daño que ocurre en la vía ocurre por la falta de dispositivos de drenaje lo que da como resultado la socavación producida por la quebrada “El Negro”, en temporadas secas es decir cuando las precipitaciones son escasas el problema está presente, pero a una escala menor haciendo que pase desapercibido, pero cuando comienzan las precipitaciones de los meses de la temporada invernal el caudal de la quebrada aumenta provocando que la socavación se visualice de una manera más clara. El proceso de socavación termina dañando la vía haciendo que la movilización por la misma quede inhabilitada. Pero cuando termina la temporada invernal la movilización no se reanuda de manera instantánea o rápida, sino que aún no es posible la movilización porque el material de la vía ha sido arrastrado por el cauce de la quebrada.

La vía está en un sector rural, es un camino vecinal de muy bajo tráfico, no está pavimentada y tiene una extensión de 2 km, pero el problema de la socavación se presenta en un punto específico que dificulta y logra impedir la movilización vehicular, esto a su vez interrumpe las actividades agrícolas y ganaderas presentes en la zona porque impide el ingreso de los insumos necesarios tanto para el cultivo como para la alimentación del ganado, además el traslado de los productos hacia los mercados locales se dificulta por la interrupción de la vía lo que obliga a los usuarios a recurrir a vías alternas lo que conlleva a un mayor gasto en el transporte.

La solución planteada por las autoridades del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural (GADPR) de La Bocana, es utilizar lastre como material del relleno para la vía, lo cual requiere de un costo significativo además del tiempo empleado para volver a dejar operativa la vía.

Pero se debe tener en cuenta que el problema de la socavación seguirá estando presente así que seguirá destruyendo la integridad de la vía lo que provoca que esta solución no sea eficiente porque no corrige el problema.

Estructura de Trabajo

El presente trabajo consta de 4 capítulos, cada uno con la finalidad de clasificar la información. A continuación, se especificará el contenido de cada capítulo

En el capítulo I contiene la línea base del proyecto, además de una descripción de la situación actual del problema y delimitando el objeto de estudio, la justificación que da importancia a este trabajo de investigación y a su vez los objetivos a cumplir para ejecutar el trabajo.

En el capítulo II se señalan cuáles son los antecedentes contextuales, presentando estudios e investigaciones relacionadas con el tema del trabajo; después se añadirán los antecedentes conceptuales, que explicarán los conceptos más importantes para el entendimiento del tema y también se mostrarán los antecedentes referenciales, los cuales señalan las bases de la metodología que se aplicará para llevar a cabo este trabajo

1. Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1.Línea base del proyecto

1.1.1. Macro

A nivel nacional en el Ecuador las vías de comunicación presentan problemas recurrentes que por la falta de una metodología constructiva adecuada son propensas a quedar inhabilitadas ante un evento de natural extraordinario. (Carpio et al., 2018)

Estos problemas se presentan en muchos de los casos por no tener una consideración significativa de la ubicación geográfica de la vía, las condiciones climáticas de la temporada invernal que producen eventos que pueden interrumpir la movilización de sobre una carretera.

1.1.2. Meso

A nivel provincial las vías de comunicación principales presentan un estado regular y otras en mal estado, aunque no han limitado en gran medida la movilidad de los vehículos. Respecto a la administración, esta competencia es asumida en la mayoría de los casos por el Gobierno Provincial Autónomo de El Oro.

Respecto a las vías secundarias y terciarias, también se encuentran es un estado regular y malo, esto es causado por diferentes situaciones que pueden estar ligadas a la falta de

mantenimiento, un mal diseño que no obedece las normas técnicas nacionales, recursos económicos limitados, etc. (*Gestión de Conservación En Caminos de Tierra*, n.d.)

1.1.3. Micro

A nivel cantonal en Piñas las vías se encuentran en estado regular respecto a la zona urbana, sin embargo, en parroquias rurales ciertas vías presentan problemas de deterioro progresivo ligados a condiciones ambientales, esto se da principalmente en los caminos vecinales, cuya superficie de rodamiento es afirmado, es decir compuesto de material granular compactado, o sobre el mismo terreno natural conformado de manera adecuada.

1.2. Descripción de la situación problemática

En la parroquia La Bocana perteneciente al cantón Piñas, cuya altitud se encuentra entre 160 a 917 metros sobre el nivel del mar, presenta fuertes precipitaciones que oscilan en un promedio anual de 1200 mm, las temporadas invernales que por lo general comprenden los meses de diciembre a junio, las condiciones climáticas favorecen a las fuertes precipitaciones lo que a su vez produce que el nivel de agua en los ríos y quebradas presentes en la zona aumente. (Bocana, n.d.)

Esto sucede con la quebrada “El Negro” cuyo cauce se encuentra atravesando la vía La Bocana – Valle Hermoso en donde el caudal aportado por la quebrada genera un deterioro constante de la vía producto del fenómeno de socavación. Esto provoca que la superficie de rodadura que es de material de mejoramiento se reduzca.

Al ser un camino vecinal no cuenta con dispositivos de drenaje como cunetas, por lo que el flujo de agua no tiene una dirección controlada lo que aumenta de forma significativa el deterioro vial. Esto se relaciona con la falta de información hidrológica respecto la cuenca de la quebrada “El Negro” porque al no disponer de este tipo de información no se dispone de los parámetros de diseño necesarios para establecer un diseño eficiente para la vía.

La vía La Bocana – Valle Hermoso actualmente es utilizada por moradores de la zona con el fin de transportar productos agrícolas, esto se ve interrumpido por las condiciones de la vía en temporada invernal lo que causa malestar en los usuarios de la vía porque la movilización se dificulta hasta el punto de volverse imposible, esto da como resultado a que los usuarios busquen vías alternas para poder realizar sus actividades generando un gasto mayor en combustible por el tiempo extra de recorrido.

1.3. Formulación del problema

¿Cómo afecta el flujo de agua de la quebrada “El Negro” a la superficie de rodadura de la vía?

¿Cuáles serían las consecuencias a corto y largo plazo sobre la vía sino se toman medidas correctivas?

¿Cómo funcionaría la propuesta de un puente tipo badén en el tramo vía para solventar los problemas causados por el flujo de agua de la quebrada “El Negro”?

1.4. Delimitación del objeto de estudio

1.4.1. Delimitación temporal

El tiempo disponible para la primera parte de la elaboración de este proyecto de titulación es de 16 semanas en las cuales se realizará la elaboración de la introducción y también del planteamiento del problema y el marco teórico que estarán en el capítulo I y capítulo II respectivamente.

1.4.2. Delimitación espacial

El diseño del puente tipo badén, así como los análisis previos, en este caso análisis hidrológico, se lo realizará en el tramo de la vía La Bocana – Valle Hermoso dónde es interceptado por el cauce de la quebrada “El Negro”, ubicada en la Parroquia La Bocana, cantón Piñas, perteneciente a la provincia de El Oro de la república del Ecuador.

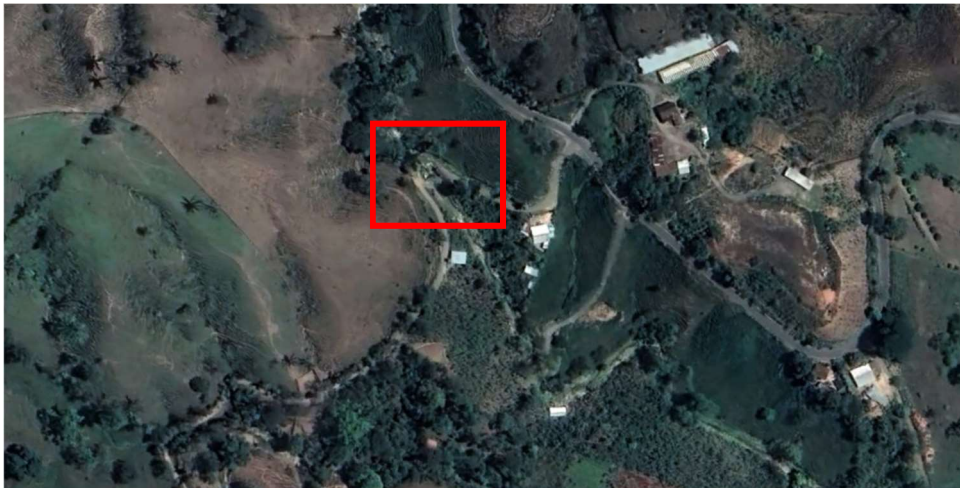


Ilustración 1: Zona de estudio, Vía La Bocana – Valle Hermoso

Fuente: Google Earth

1.5. Justificación

El presente trabajo de titulación se lo realizará para ofrecer una solución al problema suscitado en la vía La Bocana – Valle Hermoso, que es el deterioro de la vía producido por la socavación producto del curso de agua de la Quebrada “El Negro”, produciéndose así un cierre de la vía que impide la movilización de los usuarios, comprometiendo las actividades de transporte de productos necesarios para el sustento económico de la población local.

Además, este trabajo servirá como antecedente en el uso de puentes tipo baden como una solución económica para parroquias rurales que enfrenten problemas similares, brindando una solución ideal a un problema que muchas de las veces pasan desapercibidas al tratarse de poblaciones pequeñas alejadas del territorio urbanizado.

1.6. Objetivo: general y específicos

1.6.1. Objetivo general:

Diseñar un puente tipo badén en la Quebrada “El Negro” que brinde una solución a los problemas de seguridad y estabilidad de la vía La Bocana – Valle Hermoso con el fin de proveer un paso vehicular seguro y estable.

1.6.2. Objetivos específicos:

- Analizar de manera exhaustiva las condiciones ambientales e infraestructurales de la vía La Bocana – Valle Hermoso, con la finalidad de comprender el contexto en el cual se desarrollará el proyecto del diseño del puente tipo badén.
- Emplear la información obtenida a través de un estudio hidrológico para establecer los parámetros esenciales para el diseño del puente tipo badén, esto implica determinar los caudales máximos, niveles de agua y otros factores hidráulicos clave.
- Realizar el diseño integral y seguro para el puente de tipo badén, teniendo en cuenta tanto los requisitos estructurales como las particularidades del entorno circundante.

2. Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes contextuales

Los puentes tipo badén se llevan utilizando desde la antigüedad para satisfacer la necesidad de una movilización segura y eficiente a través de un río o pequeños arroyos, en especial en zonas dónde se registra un tráfico promedio anual menor a 1000. Estas estructuras poseen mucha similitud con los puentes tipo alcantarilla que usan tuberías circulares, además de que existen puente tipo alcantarilla que utilizan alcantarillas tipo cajón.

Se debe tener en cuenta que a pesar de tener un volumen de tráfico bajo este incluye vehículos de carga pesada porque las estructuras de puentes tipo badén con frecuencia se las sitúa en zonas rurales.

En Irlanda, el diseño y construcción de un puente alcantarilla tipo cajón sirvió como objeto de estudio para describir las particularidades que presentan este tipo de estructuras. Como característica principal es que se trata de una estructura monolítica con el fin de mantener un bajo costo de construcción por no requerir losas de acceso, apoyos como los puentes tradiciones y tampoco se requieren juntas de dilatación mecánica. (Helowicz, 2020)

En la India, se plantearon diversos criterios de diseño para puentes alcantarilla tipo cajón ubicados en zonas rurales dónde la construcción de un puente tradicional no resultaba factible de manera económica y respecto a parámetros de diseño estaría sobre dimensionado para su operación. Respecto a criterios diseño se procura una estructura integral, aunque se puedan emplear losas prefabricada para un armado in situ bajo ciertas condiciones, esto no se considera una estructura integral. Al tratarse de un tipo de puente se debe considerar factores de carga como el agua, el volumen de tráfico vehicular, etc. Todo esto se considera como un parámetro de diseño que garantiza un comportamiento correcto de la estructura. (Patel & Jamle, 2019)

Este tipo de puentes al poseer una altura menor que los puentes tradicionales están más cerca del agua de los pasos fluviales, además de que cuentan con sistemas de alcantarillas. Un estudio realizado en Indonesia observó que la vegetación de bambú, circundante al río Lombok en primera instancia sirvió como una solución ecológica al problema para aliviar problemas ambientales, entre los cuales se destaca la erosión de las orillas del río.

Pero, en 2017 las fuertes precipitaciones registradas sobre la zona dieron como resultado un aumento del flujo en el río lo que resulto en el arrastre masivo de sedimentos y de plantas de bambú lo que ocasionó que dos puentes alcantarillas situados en distintitos puntos del río quedaran obstruidos, provocando así un aumento del remanso lo que dio inicio a inundaciones. Este evento dio el punto de inicio para nuevos modelos hidráulicos que puedan cuantificar el aumento del remanso en función de la acumulación de sedimentos en las alcantarillas. (Rusyda et al., 2020)

El Panel Intergubernamental sobre el cambio climático en su quinto informe de evaluación ha informado que la temperatura media de la tierra ha aumentado 0.85 °C respecto al promedio global de los océanos y de la superficie terrestre que muestran datos entre 0.65 °C a 1.06 °C. Esto ha provocado que la capacidad del aire de retener humedad aumente y esto a su vez ha aumentado que las cantidades e intensidades de precipitación. Un evento de precipitación se divide en 3 segmentos, es decir, el inicio, el desarrollo y una etapa decreciente; es en la segunda etapa dónde se presentan las precipitaciones extremas que pueden causar inundaciones en una zona determinada. (Zaman et al., 2020)

En la cuenca hidrográfica del río Chalpi Grande, ubicada en la Amazonia ecuatoriana, se realizó un estudio sobre como la variabilidad de los factores climáticos altera las precipitaciones de la zona, con información recolectada de registros históricos del INAMHI, EPMAPS y FONAG. Los datos recolectados fueron completados y rellenados a partir de métodos estadísticos. (García Rengifo & Durán-Ballén Ochoa, 2023)

A pesar de que los datos recolectados por estaciones pluviométricas brindan información precisa, en España se utilizaron datos recolectados de estaciones de aforo que registran el caudal máximo en 85 puntos de la vertiente cantábrica y noratlántica de España, los registros proporcionan información de entre 15 y 72 años. (Montes et al., 2018)

El aforo realizado en ríos se ha mantenido igual durante varios siglos, incluso con la aparición de fórmulas empíricas deducidas a través de la correlación de datos y de la experimentación con equipos normalizados los aforos aún siguen presentando resultados más precisos, el estudio realizado sobre en el río Belén, en México, indicó el uso de perfiladores acústicos Doppler para realizar aforos y establecer las diferencias entre medir aguas arriba y abajo, los resultados mostraron que el porcentaje de variación es menor al 1.5%.(Priego-Hernández et al., n.d.)

En México, se llevó a cabo un modelo físico con la finalidad de cuantificar la capacidad de descarga de un conjunto de compuertas radiales con desfogue sumergido. Los resultados sirvieron como parámetros de calibración y de verificación de un modelo matemático, el cual sirve para calcular el caudal que descarga una compuerta radial, utilizando el análisis dimensional y la teoría de similitud incompleta. (Jiménez Castañeda et al., 2020)

A nivel nacional la construcción de puentes tipo badén se ha convertido en la mejor opción para un paso vehicular en zonas rurales por su bajo costo y además su diseño como una alcantarilla funcional lo hace eficiente en los cruces fluviales, tal es el caso de la vía a la comuna Santa Rosa del cantón Paján, perteneciente a la provincia de Manabí. En este caso la construcción de badenes tuvo el objetivo adicional de ser parte complementario del sistema de drenaje vial, que funciona en conjunto con las cunetas de las vías.

En la provincia de Loja, la construcción de badenes en el cantón Zapotillo se realizó con el fin de mantener el potencial turístico de la zona asociado al florecimiento de guayacanes, la vía desde la “Y” de la parroquia Cazaderos hasta Chaguarguayco y la vía que conecta Chaguarguayco con Mangahurco presentaron daño progresivo a causa de las quebradas locales lo que causaba que el costo de operación de la vía aumente haciendo que los visitantes eviten moverse por esa ruta.

La construcción de badenes mejoro la movilización logrando que el sector turístico no resulte comprometido de manera negativa y dando como resultado mejores ingresos económicos para el cantón Zapotillo.

2.2. Antecedentes conceptuales:

2.2.1. Puente tipo badén:

Es un tipo de estructura vial construida sobre un cauce de agua o canal para permitir la movilización de vehículos. La diferencia entre un puente convencional es que un puente tipo badén se diseña y construye de tal manera que la calzada pueda quedar sumergida en una capa ligera de agua. (Ecuatoriana Vial, n.d.)

Esta estructura tiene como objetivo permitir que el flujo del cauce de agua no se detenga y fluya de manera constante, estas estructuras por lo general se construyen en zonas rurales dónde los recursos económicos son limitados. El costo también presenta una diferencia significativa entre un puente convencional, porque en un puente tipo badén el

costo del movimiento de tierras suele ser alto en comparación a un puente convencional pero el costo de los materiales, así como de la construcción es menor. (Hidayat et al., 2021)

Los puentes tipo badén también se construyen en zonas urbanas para controlar el aumento de flujo de agua durante precipitaciones intensas. A continuación, se presentará los diferentes tipos de badenes:

2.2.1.1.Badén simple

Se compone de empedrado, se deben utilizar rocas de un peso no menor a 10 kg y además las orillas del cauce cercanas a la estructura deben protegerse con gramíneas para evitar la socavación.

2.2.1.2.Badén con madera rolliza

Se lo considera aplicable en cauces que no superen los 8 m de ancho.

2.2.1.3.Badén combinado piedra – hormigón

Caracterizado por estar formado por una base de piedra sobre la cual se coloca una capa de hormigón ciclópeo para brindar una mejor movilización vehicular.

2.2.1.4.Badén combinado de alcantarillas con hormigón

Utilizado en lechos dónde existe fauna acuática, sobre la base rocosa se colocan tuberías para facilitar el paso del agua y sobre las mismas se colocará una capa de hormigón que se usará como calzada para la movilización de vehículos. En temporadas del caudal máximo la estructura permanecerá sumergida, pero seguirá funcional para la movilización y en épocas de estiaje permitirá un flujo natural.



Ilustración 2: Puente tipo badén en la parroquia Ayacucho, provincia de Manabí

Fuente: Banco de Desarrollo del Ecuador



Ilustración 3: Puente tipo badén en la comuna Las Mercedes, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas

Fuente: El Diario

2.2.2. Socavación:

Es un proceso de erosión del suelo debajo de una estructura o superficie, que a largo plazo genera un debilitamiento y posible colapso de la estructura. Los principales agentes que actúan en la socavación es el agua y el viento que erosionan el suelo.(McKenna et al., 2021).

Se muestran a continuación los diferentes tipos de socavación:

2.2.2.1.Socavación lateral:

Esto ocurre cuando el cauce del río desprende material de las orillas y márgenes por dónde fluye, la consecuencia de este efecto es la caída de árboles o algún otro elemento que se encuentre cerca de la ribera del río.

2.2.2.2.Socavación vertical:

Este proceso ocurre en el fondo del cauce, erosionando el fondo y removiendo material provocando la formación de pozos, estos desniveles pueden causar que la velocidad del río se reduzca de forma significativa.

2.2.2.3.Socavación de remanso:

Esto sucede en cuando la velocidad del flujo de agua del río en algún punto de su cauce se reduce lo que genera una acumulación de sedimentos en el fondo del río lo que en consecuencia reduce su profundidad.

2.2.2.4.Socavación de base:

Este proceso de erosión corresponde al que se produce en la base o cimentación de cualquier estructura ubicada al margen de un río. Si el problema no es corregido a tiempo esto puede causar el colapso de una estructura. (Almonte Pilco & de La Cruz Vega, 2022)

2.2.3. Cuenca hidrográfica:

También conocidas como cuencas de drenaje, es una zona en la cual las aguas superficiales así como las aguas subterráneas se dirigen hacia un mismo punto, este puede ser el cauce de un río o el mar.

Las cuencas hidrográficas se encuentran delimitadas de manera natural por cumbres que forman una línea divisora de aguas, así se separan las aguas que fluyen hacia un cuerpo receptor de agua de las que fluyen hacia otro cuerpo receptor de agua. (Angulo & Saavedra, 2018)

El manejo de la información de las cuencas hidrográficas es importante para la construcción de obras viales como carreteras porque el diseño de un drenaje vial depende de la cantidad de precipitación que se produce sobre el área de drenaje, en el caso de puentes la información nos proporciona los datos de los caudales máximos que van a fluir debajo de la calzada del puente, además esto servirá para escoger alguna metodología para controlar los efectos producidos por la socavación.

2.2.4. Escorrentía:

Se refiere al movimiento que ejecuta el agua sobre la superficie terrestre, esta puede ser producto de precipitaciones, actividades de riego o un deshielo, y que fluye hacia un cuerpo receptor de agua como arroyos, lagos, ríos e incluso el mar.

Se debe tener en cuenta que la velocidad, así como su cantidad dependen de varios factores ambientales, como la duración de precipitaciones, la topografía de la zona, esto se relaciona con la pendiente, además con la permeabilidad del suelo que a su vez se relaciona con la cubierta vegetal. Las escorrentías se la clasifican como laminar cuando su movimiento sobre la superficie es uniforme y en capas delgadas, y torrencial cuando

fluye de manera rápida y abrupta en grandes cantidades y a una velocidad alta, este tipo de escorrentía es la que produce erosión hídrica. (Jin et al., 2020)

2.2.4.1. Coeficiente de escorrentía:

Es un parámetro que oscila entre valores de 0 y 1, nos indica la cantidad de agua que fluye en forma de escorrentía por el suelo. Si es 0 significa que toda el agua se infiltra en el suelo y no fluye como escorrentía en cambio si es 1 significa que toda el agua fluye y nada se infiltra en el suelo. (Sales et al., 2022)

Este factor se utiliza en el diseño y planificación de proyectos de infraestructura hidráulica, drenajes viales, embalses y también en la evaluación del riesgo de inundaciones además de ser utilizado en la gestión y caracterización de una cuenca hidrográfica.

2.2.5. Precipitación media anual:

Es la cantidad promedio de lluvia que cae sobre un área determinada y por lo general se expresa en milímetro (mm) o en pulgadas (pulg), se la utiliza para describir el clima de una región. Las regiones con climas húmedos presentan una tasa de precipitación anual media alta mientras que las regiones con clima árido presentan una tasa de precipitación media anual baja. (Xavier et al., 2020)

2.2.6. Densidad de drenaje:

Describe la cantidad de ríos que fluyen sobre un área determinada. Se calcula dividiendo la longitud de todos los ríos dentro del área de la cuenca hidrográfica entre el área de la cuenca hidrográfica. Por lo general la densidad de drenaje se la expresa en kilómetros de río para cada kilómetro cuadrado de cuenca.

La densidad de drenaje es un indicador de cuan susceptible es una cuenca hidrografía a inundarse. Si la densidad de drenaje es alta esto indicará que el agua que fluye por los ríos fluirá más rápido y el riesgo de inundación es alto, en cambio si la densidad de drenaje es baja la velocidad del agua en los ríos es menor y el riesgo de inundarse es bajo,

Hay que tener en cuenta que la densidad de drenaje también es un indicador de la disponibilidad del agua es decir que una cuenca hidrográfica con una densidad de drenaje baja no sería apta para cultivos agrícolas por la poca disponibilidad del agua. (Boardman et al., 2019)

2.2.7. Caudal máximo:

Esto se refiere al caudal máximo que fluye a través de la cuenca hidrográfica en un evento de inundación producido durante un evento de alta precipitación.

Este parámetro es importante para la construcción de infraestructuras hidráulicas, porque presenta las peores condiciones en la que la estructura deba funcionar, con lo cual se garantiza la seguridad cuando el caudal no es máximo. (Técnica et al., 2020)

2.2.8. Aforo:

Un aforo, en hidrología, se refiere a la medición del caudal que fluye por un punto en específico. Este proceso se lleva a cabo con la utilización de flujómetros, siguiendo la velocidad del agua, entre otros.

El resultado de esta práctica es determinar los caudales máximos de un cuerpo de agua, esta técnica se vuelve un método preciso en lugares donde la información hidrológica es limitada o nula. (Lauro et al., 2021)

2.2.9. Calzada del puente:

Esta corresponde al lugar por el cual pasarán los vehículos, esta debe diseñarse con el fin de evitar la acumulación de agua, lo que significa que su geometría debe permitir el paso del agua en caso de un evento de máxima crecida o inundación.

2.2.10. Carga Hidrodinámica:

Se refiere a la fuerza producida por un fluido sobre una estructura sumergida o parcialmente sumergida esto se debe a la fricción del fluido y la presión. La dirección de la fuerza está relacionada con la velocidad del fluido así que la carga hidrodinámica puede ser positiva o negativa.

Las cargas hidrodinámicas se deben tomar en cuenta en el diseño de estructuras sumergidas porque pueden causar deformaciones, fatigas y vibraciones que pueden comprometer la integridad de la estructura. (Carty et al., 2019)

2.2.11. Estabilidad hidráulica:

Se refiere a la capacidad que tiene la estructura de soportar las cargas producidas por el agua y además de resistir fuerzas hidrodinámicas. En un puente tipo badén se refiere a la capacidad que tiene la estructura de resistir el agua que fluye por debajo de la calzada en periodos de crecida máxima o inundaciones. (Ayala-Rojas et al., 2020)

Los métodos más comunes que se utilizan para reducir este problema es la colocación de elementos que aporten estabilidad, como piedras, rocas gaviones o pilotes. Además, se debe procurar una selección adecuada de la ubicación de la estructura evitando zonas de inundaciones frecuentes reduciendo así el riesgo de fallas por inestabilidad.

2.2.12. Alcantarilla pluvial:

Son estructuras diseñadas para para la evacuación de aguas lluvias hacia un cuerpo receptor de agua evitando de esta manera que se produzcan inundaciones en eventos de precipitación extremas.

Este tipo de estructuras pueden ser aplicadas tanto en la zona urbana como rural, las estructuras se las diseña para que trabajen a tubo lleno y este también es el motivo por las cuales sean muy susceptibles a las obstrucciones, por lo que se recomienda la utilización de rejillas en las tuberías para impedir el ingreso de materia extraña y además se recomienda que el mantenimiento sea constante. (Briceño-Briceño et al., 2020)

2.2.13. Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC – RAS):

Es un software desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) que se emplea para el modelamiento hidráulico de cursos de agua y sistemas de flujo de líquidos. Este software es ampliamente utilizado por profesionales en campos como la ingeniería, hidrología y gestión de recursos hídricos.

2.2.14. H - CANALES:

Es un software que se emplea para el diseño y análisis de canales abiertos. Este programa computacional permite realizar cálculos relacionados con el flujo de agua en canales, incluyendo aspectos como la capacidad de transporte de sedimentos, la velocidad del flujo y la configuración geométrica del canal.

2.3. Antecedentes referenciales:

En el Ecuador la construcción de vías de comunicación como carreteras y puentes se rigen por Ministerio de Transporte y Obras Públicas que dictamina normas técnicas basadas en normas, códigos y estándares internacionales, esto con el fin de normalizar y estandarizar la construcción de infraestructura vial. Actualmente las normas nacionales datan de la edición del año 2013 en el apartado de Norma Ecuatoriana Vial.

Como punto inicial para la realización de cualquiera proyecto de ingeniería la recopilación de información bibliográfica es indispensable para conocer y entender todos los requisitos que necesita el proyecto.

De forma similar se procede con la observación del sitio del proyecto, para conocer las condiciones actuales del lugar por medio la observación detallada, de esa manera se logra obtener un entendimiento de la importancia de la realización del proyecto y de igual manera los cambios que producirán cuando se lo realicé.

Los levantamientos de información in situ al tratarse de un proyecto cuya base es la hidrología, son la manera más precisa de obtener datos reales inalterados, el levantamiento topográfico es ineludible porque nos servirá para la ubicación del puente tipo badén.

Las determinaciones de los caudales máximos y promedios de la quebrada “El Negro” debe realizarse por medio de aforos hidrológicos porque hay información muy limitada respecto a datos pluviométricos, bajo estas condiciones se optará por la realización de aforos porque nos brindarán datos más precisos. (Bonilla Valverde & Rojas Barrantes, 2017)

La selección de la metodología utilizada para la determinación de los caudales máximos y promedios se la escogió basándonos en el hecho de que la información sobre las precipitaciones de la zona no existe, se puede especular por errores técnicos, humanos o falta recursos. (Matovelle et al., 2022)

El análisis estadístico resulta aún poco confiable porque la cuenca hidrográfica de la quebrada “El Negro” es pequeña un área menor a 5 km² lo que la clasifica como una unidad hidrográfica. (Pérez-Ortiz et al., 2022)

El diseño de la estructura del puente tipo badén estará dimensionado por el caudal máximo y el caudal promedio, porque el caudal máximo es el que tendrá que fluir sobre la calzada de la estructura dando como resultado una pequeña lámina de agua que no afecta de manera significativa al paso vehicular y el caudal promedio es aquel que se drenará por medio de las alcantarillas que se ubican debajo de la calzada.

Además, se tendrá que diseñar la estructura para evitar la socavación lateral de los márgenes de la quebrada y la estructura debe ser estable en los periodos de máxima crecida para evitar el deslizamiento o volcamiento por la carga hidrodinámica.

Otro aspecto a considerar es el diseño correcto de la salida de las alcantarillas para evitar que flujo de agua que salga erosione la base del badén lo que provocaría su inminente fallo por inestabilidad, teniendo en cuenta que la quebrada tiene una gran capacidad de arrastre, la obstrucción será otra condicionante a la hora de dimensionar las alcantarillas. (Fathy et al., 2020)

3. Capítulo III: Metodología

3.1.Modalidad básica de la investigación

En el presente trabajo se aplicará una modalidad de investigación documental, de campo y experimental, considerando en que se deberán recopilar datos in situ, para la correcta elaboración del proyecto.

3.2.Tipo de investigación

La investigación a realizarse en primera instancia será de tipo documental en dónde su principal enfoque será la recolección de información de fuentes académicas y verificables, el siguiente tipo de investigación será de campo, está por su parte tendrá un enfoque hacia la recolección de datos topográficos e hidráulicos de la zona de estudio, además se implementará el tipo de investigación experimental para el procesamiento de los datos recolectados y diseño hidráulico de la estructura del puente tipo badén.

3.3.Objeto de Estudio

El objeto de estudio es el puente tipo badén que se encuentra en un tramo de la vía La Bocana – Valle Hermoso que está bajo la influencia de la quebrada “El Negro”, perteneciente al cantón Piñas como se muestra en la ilustración 1, esta zona es la que presenta complicaciones resultantes de la socavación que se produce en eventos de máxima crecida.

3.4.Descripción de la población y muestra

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de “La Bocana” (PDYOT 2019 - 2023), los beneficiarios directos de la implementación del puente tipo badén son alrededor de 17 familias.

3.5.Métodos empíricos con los materiales utilizados

3.5.1. Trabajo de campo

Como punto inicial del proyecto se precedió a realizar un levantamiento topográfico, utilizando estación total, sobre el área de estudio. Se levantó un área total aproximado de 2005.85 m² como se muestra en el anexo 1. La información topográfica está georeferenciada con el punto BM de coordenadas 9590145.613 m Norte, 621197.507 m Este y cota de 293.875 m.s.n.m.

De acuerdo a la observación realizada por moradores cercanos al objeto de estudio, se obtuvo del dato de la altura de la lámina de agua sobre la vía en periodos de máxima crecida que es alrededor de 50 cm.

La inspección realizada por el área de influencia de la quebrada “El Negro”, se pudo apreciar que la vegetación predominante corresponde a pastizales las cuales son destinadas como alimento para el ganado, el cual es una de las principales actividades económicas, una observación importante es que la quebrada posee una gran capacidad de arrastre de material, el cual predomina la presencia de palizales.



Ilustración 4: Cubierta vegetal del área de estudio

Fuente: El autor

Además, se realizó la toma de puntos de topográficos en el fondo de la quebrada para poder realizar secciones transversales y realizar un modelado hidráulico.

Posteriormente se realizó el perfil longitudinal de la quebrada “El Negro”, la extensión del perfil es de 57.748 m. En toda la extensión del perfil longitudinal se tomaron 21 puntos para elaborar las secciones transversales, teniendo un ancho promedio de 12 m, como se muestran en el anexo 2.

3.5.2. Determinación del caudal máximo, medio y mínimo

Se estableció un caudal máximo determinado de forma teórica como una referencia de control que posteriormente se utilizará en el modelamiento hidráulico de la quebrada utilizando el software Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC – RAS). Se debe destacar que la información pluviométrica es escasa por circunstancias

ajenas a este proyecto por lo que se optó el uso de fórmulas dónde solo intervengan variables como el área.

Método desarrollado por el INERHI

Deducida por ingenieros del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos (INERHI), a través del estudio de 42 cuencas del Ecuador.

$$Q = \frac{25 * A * K}{(A + 57)^{0.5}}$$

El factor A corresponde al área de la cuenca hidrográfica en km².

El factor K, es un factor de ajuste que se seleccionará por medio de la tabla 1, respecto a un periodo de retorno específico:

| Periodo de Retorno (Años) | K |
|----------------------------------|----------|
| 1 | 0.139 |
| 5 | 0.361 |
| 25 | 0.507 |
| 50 | 0.574 |
| 100 | 0.646 |
| 500 | 0.856 |
| 1000 | 1 |

Tabla 1: Valores de K para el método desarrollado por el INERHI

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos

De acuerdo a las Normas de diseño geométrico de Carreteras – 2003 el período de retorno a considerar para caminos vecinales de entre 50 a 100 años mientras que para vados según su importancia es de entre 25 a 100 años. Bajo criterio técnico se consideró que el periodo de retorno a considerar para este proyecto, considerando su importancia y la zona de estudio que pertenece a una parroquia rural, es de 50 años, por lo que el caudal de máximo según la fórmula del INERHI es:

$$K_{50 \text{ AÑOS}} = 0.574$$

$$A = 3.7 \text{ km}^2$$

$$Q = 6.81 \frac{m^3}{s}$$

Método Hoffman

Hoffman asume el área de cuenca como variable importante en el cálculo del caudal de máximo, esta no depende de la probabilidad, sino que se basa en una magnitud de la cuenca en este caso el área, esta fórmula fue desarrollada en Estados Unidos.

$$A = 3.7 \text{ km}^2$$

$$Q = \frac{3 * A}{(1 + A)^{0.29}}$$

$$Q = 7.09 \frac{m^3}{s}$$

Método Kresnik

Sigue el mismo principio de Hoffman y además se añade un coeficiente α que varía entre 0.5 y 4.5. Este método es complementario, porque se debe tener un resultado previo y ajustar el factor Alpha, también llamado coeficiente de regulación, hasta que coincida, en caso de no hacerlo, el método no se ajusta a las condiciones reales de la cuenca.

$$A = 3.7 \text{ km}^2$$

$$Q = \alpha * \frac{32 * A}{(50 + \sqrt[2]{A})}$$

$$\alpha = 3.00$$

$$Q = 6.84 \frac{m^3}{s}$$

En este caso el valor resultante por el método de Kresnik se lo ajusta para que coincida con el método desarrollado por el INERHI, porque es el único de método presentado que tiene relación directa con los periodos de retorno así que es el que tiende a acercarse más a la realidad.

Resumen de resultados de caudales máximos:

| Método utilizado | Q [m ³ /s] |
|------------------|-----------------------|
| INERHI | 6.81 |
| Hoffman | 7.09 |
| Kresnik | 6.84 |
| Promedio | 6.91 |

Tabla 2: Resultados de los caudales obtenidos por métodos empíricos

Fuente: El autor

Modelación hidráulica en software HEC – RAS

Por medio de la observación realizada por moradores que residen cerca del área del estudio, se obtuvo información acerca de la altura de la lámina de agua en condiciones normales y de máxima crecida sobre el tramo de la vía que presenta problemas de socavación.

| Condiciones | Tirante [m] |
|----------------|-------------|
| Normales | 0.10 |
| Máxima crecida | 0.50 |

Tabla 3: Tirante producido sobre el tramo de vía en condiciones de máxima crecida

Fuente: El autor

Para la utilización del software HEC – RAS, se debe tener las secciones transversales elaboradas a partir de la información topográfica obtenida in situ. Las secciones deben ser ingresadas al software.

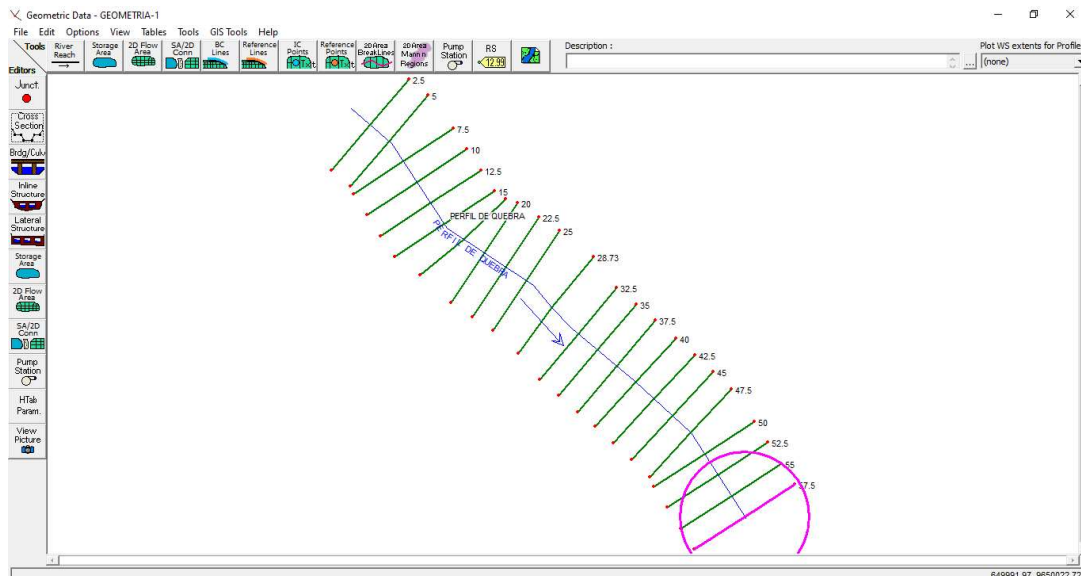


Ilustración 5: Secciones transversales ingresadas en el software HEC – RAS.

Fuente: El autor

Las condiciones de rugosidad de la quebrada se extrajeron de Manual: Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico realizado expedido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), entidad pública del Perú.

| n | Superficie |
|----------|--|
| 0.010 | Muy lisa, vidrio, plástico, cobre. |
| 0.011 | Concreto muy liso. |
| 0.013 | Madera suave, metal, concreto paletado. |
| 0.017 | Canales de tierra en buenas condiciones |
| 0.020 | Canales naturales de tierra, libres de vegetación, |
| 0.025 | Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas al fondo. |
| 0.035 | Canales naturales con abundante vegetación. |
| 0.040 | Arroyos de montaña con muchas piedras |

Tabla 4: Coeficientes de rugosidad para diversas superficies

Fuente: Manual: Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico



Ilustración 6: Material vegetal arrastrado por la quebrada “El Negro”

Fuente: El autor



Ilustración 7: Material rocoso arrastrado por la quebrada “El Negro”

Fuente: El autor

Conociendo como son las condiciones de rugosidad de la quebrada, en este caso se asigna un valor de 0.025, para los márgenes de la quebrada y 0.040 para el fondo, estos valores se ingresan al software como requisito de para el modelamiento hidráulico.

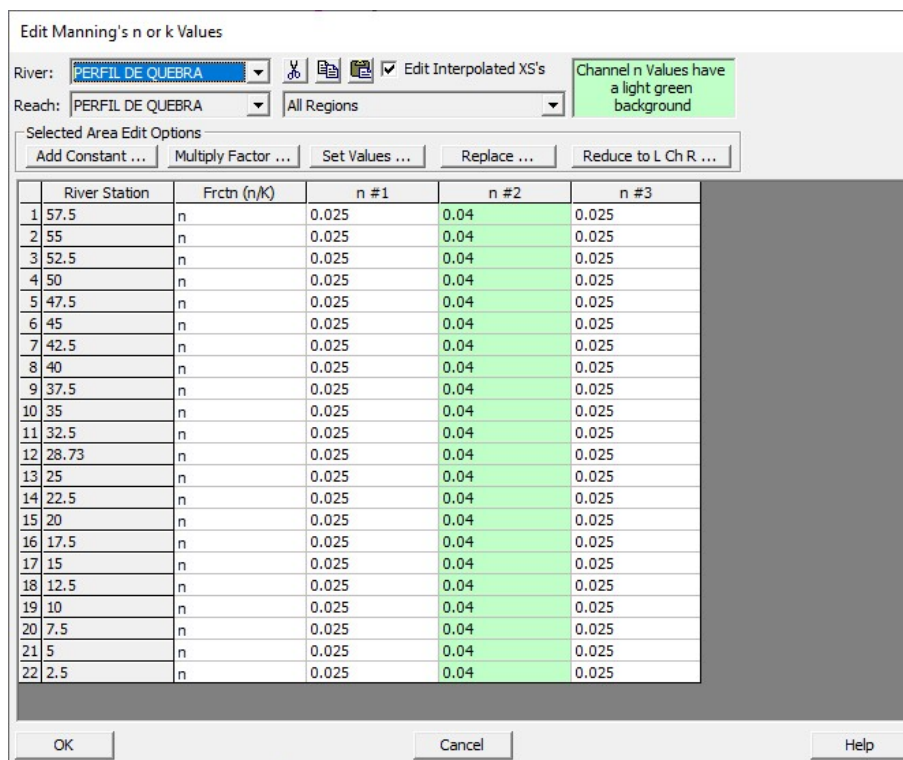


Ilustración 8: Coeficiente de rugosidad ingresada en el software HEC – RAS.

Fuente: HEC – RAS

Se asigna las condiciones de la quebrada tanto aguas arriba como aguas abajo respecto a la pendiente, en base a la profundidad normal.

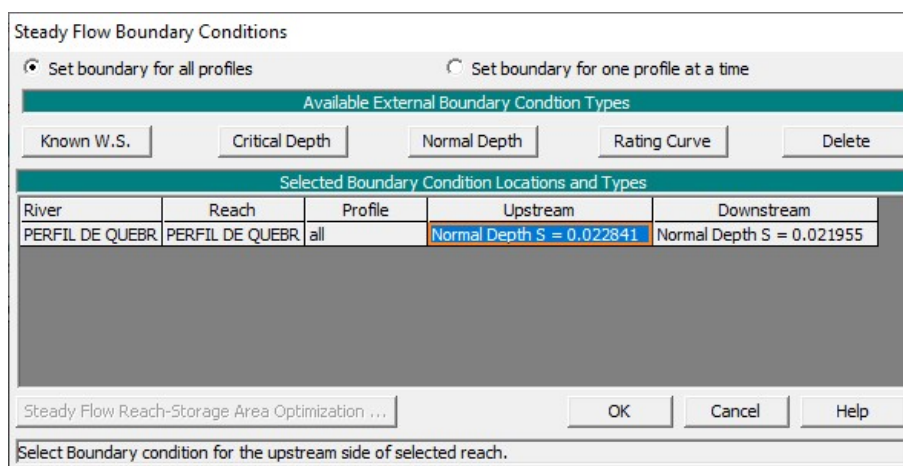


Ilustración 9: Condiciones de borde de la quebrada “El Negro” ingresadas en HEC – RAS.

Fuente: HEC – RAS

Se ingresan los caudales previamente calculados, en este caso el caudal máximo y también el caudal medio, al no contar con información previa, el modelamiento hidráulico nos ayuda a determinar el caudal medio teniendo como el valor de control el tirante producido en condiciones normales.

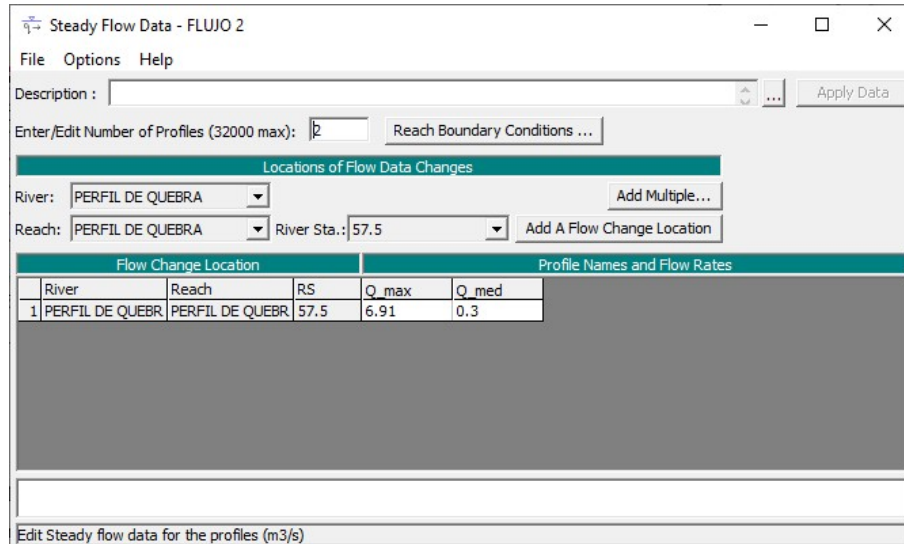


Ilustración 10: Caudales máximo y medio ingresados en HEC – RAS.

Fuente: HEC – RAS

Resultados del procesamiento realizado por el software HEC – RAS:

| Q [m ³ /s] | Tirante [m] |
|-----------------------|-------------|
| 0.3 | 0.11 |
| 6.91 | 0.49 |

Tabla 5: Resultado del tirante calculado utilizando HEC – RAS

Fuente: El autor

En base a estos resultados finales que se obtuvieron respecto a los caudales, se procede a diseñar toda la estructura del puente tipo badén, que incluirá dimensionamiento de las alcantarillas, estructura de soporte y estructura de protección aguas abajo.

3.5.3. Dimensionamiento del puente tipo badén

En base a las condiciones topográficas de la zona, se adoptó una longitud paralela el eje vial de 12 metros y en base a la Norma Vial Ecuatoriana (NEVI 2013) en su volumen número 2 en la sección A, reglamenta que el ancho de vía para un camino agrícola/forestal

debe ser de 6 metros, por lo cual esta medida corresponderá a longitud transversal de la estructura del puente tipo badén.

3.5.4. Dimensionamiento de las alcantarillas

El manual ANA brinda una fórmula para el dimensionamiento de alcantarillas la cual es:

$$Q = n * D_{min}^2$$

Dónde:

n = número de tubos que se quiera colocar.

Q = caudal en m^3/s

D_{min} = Diámetro mínimo de las alcantarillas en m

En este proyecto el caudal destinado para dimensionar las alcantarillas será el caudal en condiciones normales, porque el caudal de máxima crecida debe pasar sobre el badén.

Se aplica la fórmula anterior y se asume para este caso un número de 3 tubos de alcantarilla.

$$D_{min} = \sqrt[2]{\frac{Q}{3}}$$

$$D_{min} = 0.316 \text{ m}$$

Se tiene como referencia un proyecto similar ubicado en la quebrada “El Brasil”, así que se optó por una tubería de 0.4 m o 400 mm de diámetro nominal que servirán para conducir el caudal en condiciones normales. En catálogos comerciales se selecciona la tubería que se acople al diámetro seleccionado.

| Diámetro nominal [mm] | Diámetro interior [mm] |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 400 | 360 |

Tabla 6: Diámetro de tubería comercial tipo corrugada

Fuente: El autor

Se puede observar que el diámetro interior de la tubería de 400 mm es 360 mm, esto se usará para determinar qué tan lleno estará el tubo en condiciones normales con los siguientes datos:

Datos:

$$Caudal = \frac{0.3 \text{ m}^3}{3 \text{ s}} = 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Díametro = 0.36 \text{ m}$$

Pendiente = 0.03 (Criterio recomendado por el manual ANA en la sección de diseño de alcantarillas)

Coefficiente de rugosidad de Manning = 0.010

Se usará el software HCANALES para determinar este valor del tirante producido en condiciones normales, cómo se puede apreciar en la ilustración 11.

The screenshot shows the HCANALES software interface. At the top, there are input fields for 'Lugar', 'Tramo', 'Proyecto', and 'Revestimiento'. Below this is a 'Datos' section with input fields for 'Caudal (Q): 0.1 m3/s', 'Diámetro (d): 0.36 m', 'Rugosidad (n): 0.010', and 'Pendiente (S): 0.03 m/m'. To the right of the data is a diagram of a pipe cross-section with labels 'd' for diameter and 'y' for water depth. Below the diagram is a 'Resultados' section with calculated values: 'Tirante normal (y): 0.1309 m', 'Area hidráulica (A): 0.0334 m2', 'Espejo de agua (T): 0.3463 m', 'Número de Froude (F): 3.0732', 'Tipo de flujo: Supercrítico', 'Perímetro mojado (p): 0.4660 m', 'Radio hidráulico (R): 0.0718 m', 'Velocidad (v): 2.9907 m/s', and 'Energía específica (E): 0.5868 m-Kg/Kg'. At the bottom, there is a toolbar with icons for 'Calcular', 'Limpiar Pantalla', 'Imprimir', 'Menú Principal', 'Calculadora', and 'Reporte'.

Ilustración 11: Proceso de cálculo del tirante normal realizado con el software HCANALES

Fuente: HCANALES

Como se puede apreciar el tirante normal posee un valor de 0.1309 m lo que a su vez refleja una relación tirante – diámetro $\left(\frac{y}{D}\right)$ igual a 0.36, el resultado se acopla de manera satisfactoria porque esto indica que la mayor parte del tubo está libre lo que en consecuencia reduce las probabilidades de que los tubos se colmaten debido al arrastre de material sedimentario de la quebrada “El Negro”.

Una vez que el dimensionamiento de las alcantarillas está completo, se debe calcular cuánto caudal pueden transportar a máxima capacidad, para conocer su funcionamiento en temporadas de altas precipitaciones que puedan producir caudales máximos.

| | | | |
|--------|----------------------|----------------|----------------------|
| Lugar: | <input type="text"/> | Proyecto: | <input type="text"/> |
| Tramo: | <input type="text"/> | Revestimiento: | <input type="text"/> |

Datos:

| | | |
|----------------|------------------------------------|-----|
| Tirante (y): | <input type="text" value="0.36"/> | m |
| Diámetro (d): | <input type="text" value="0.36"/> | m |
| Rugosidad (n): | <input type="text" value="0.010"/> | |
| Pendiente (S): | <input type="text" value="0.03"/> | m/m |

Resultados:

| | | | | | |
|-----------------------|---|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------|
| Caudal (Q): | <input type="text" value="0.3541"/> | m ³ /s | Velocidad (v): | <input type="text" value="3.4785"/> | m/s |
| Área hidráulica (A): | <input type="text" value="0.1018"/> | m ² | Perímetro mojado (p): | <input type="text" value="1.1310"/> | m |
| Radio hidráulico (R): | <input type="text" value="0.0900"/> | m | Espejo de agua (T): | <input type="text" value="0.0000"/> | m |
| Número de Froude (F): | <input type="text" value="0.1101"/> | | Energía específica (E): | <input type="text" value="0.9767"/> | m-Kg/Kg |
| Tipo de flujo: | <input type="text" value="Subcrítico"/> | | | | |

Ilustración 12: Caudal de la alcantarilla a tubo lleno

Fuente: HCANALES

Cada alcantarilla puede transportar alrededor de 0.354 m³/s, lo que significa que en conjunto las 3 alcantarillas pueden transportar 1.06 m³/s.

3.5.5. Cálculo de la altura de la lámina de agua sobre el badén.

En eventos de máxima crecida se debe conocer cuál será la altura hasta dónde al agua puede llegar. Para determinar este valor, se considera que el comportamiento hidráulico de un puente tipo badén en las condiciones de caudal máximo es muy similar a la de un

vertedero de cresta ancha. Esto puede darnos un valor muy confiable de la altura de la lámina de agua.

El caudal que pasará sobre la estructura será el caudal máximo, pero se debe descontar la parte que fluirá por las alcantarillas, que para fines prácticos se utilizará $1\text{m}^3/\text{s}$.

$$Q_{rebose} = Q_{max} - Q_{alcantarillas}$$

$$Q_{rebose} = 6.91 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} - 1.00 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{rebose} = 5.91 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Este caudal permitirá saber la altura de la lámina de agua. El software HCANALES nos permite determinar este valor.

Datos:

$$Q_{rebose} = 5.91 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Largo del badén = 12 m

Datos del vertedero:

Longitud de cresta (L): 12 m

Caudal (Q): 5.91 m³/s

Número de contracciones (n): 0

Coefficiente de descarga (Cd): 1.45

Tipo:

Cresta aguda

Perfil Creager

Cresta ancha

Calcular:

Caudal (Q)

Carga (h)

Cresta ancha

$C_d = 1.45$

Resultados:

Carga (h): 0.4868 m

Ecuación:

$$Q = C_d (L - 0.1nh) h^2$$

donde:

- Q = caudal que fluye por el vertedero, m³/s
- L = longitud de cresta del vertedero, m
- h = carga sobre el vertedero, m
- n = número de contracciones (0, 1 ó 2)
- C_d = coeficiente de descarga

Calculador Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ilustración 13: Lámina de agua sobre el vertedero

Fuente: HCANALES

La altura de la lámina de agua sobre la estructura resultó ser de 0.47 m aproximadamente, este dato se utilizará para el diseño de un muro de contención el cual deberá ser seguro ante fuerzas de deslizamiento y volcamiento.

3.5.6. Muro de contención

Al terminar la estructura principal del puente tipo badén, ahora se debe diseñar un elemento estructural que pueda mantenerlo estable.

Bajo los criterios técnicos establecidos en la Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015, se indica que el factor de seguridad para el deslizamiento y el factor de seguridad para el volcamiento debe ser mayor o igual 1.5.

Se tiene que analizar y tener en consideración que elementos aportarán carga en el análisis de estabilidad. Las dimensiones del muro de contención, así como las dimensiones de los demás elementos se muestran en la ilustración 14.

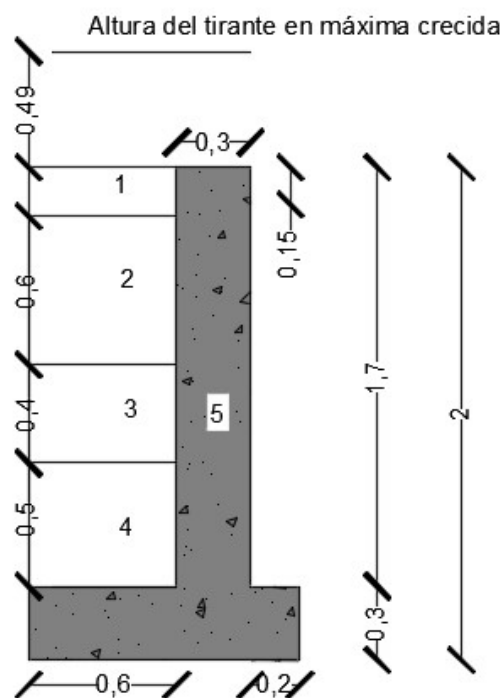


Ilustración 14: Dimensiones del muro de contención

Fuente: El autor

| | |
|---|--------------------------------------|
| 1 | Pavimento rígido |
| 2 | Capa superior de mejoramiento |
| 3 | Tubería de 400 mm |
| 4 | Capa inferior de mejoramiento |
| 5 | Muro de contención Hormigón ciclópeo |

Datos generales:

| Datos generales | | |
|---|-------|----------------------|
| Talón de soporte del muro | 0.6 | [m] |
| Extensión longitudinal de la estructura | 12 | [m] |
| Peso específico del concreto | 24.00 | [kN/m ³] |

| Alcantarillas | | |
|-------------------|------|-------------------|
| Diámetro | 0.40 | [m] |
| Numero de tubos | 3 | |
| Área de los tubos | 0.38 | [m ²] |

El espacio ocupado por las alcantarillas debe ser considerado en el cálculo para conformar un volumen efectivo y obtener la fuerza correspondiente al elemento a analizar.

3.5.6.1. Análisis del muro de contención

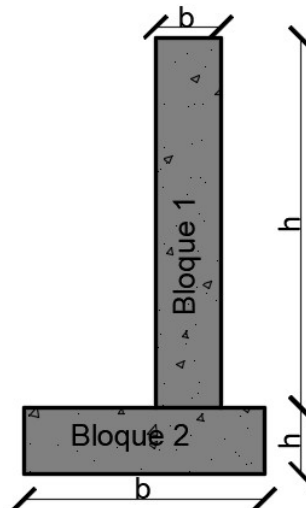


Ilustración 15: División de la estructura

Fuente: El autor

| Muro de contención | | | |
|---------------------------|---|--------|-------------------|
| Bloque 1 | h | 1.70 | [m] |
| | b | 0.30 | [m] |
| Bloque 2 | h | 0.30 | [m] |
| | b | 1.10 | [m] |
| Área Total | | 0.84 | [m ²] |
| Volumen aparente del muro | | 10.080 | [m ³] |

Ahora se debe descontar el volumen ocupado por las alcantarillas dentro del muro de contención

$$\text{Volumen de alcantarillas} = 0.38 \text{ m}^2 * 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de alcantarillas} = 0.114 \text{ m}^3$$

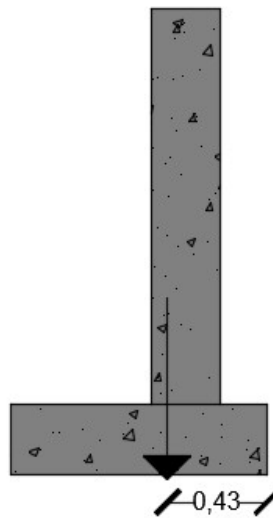


Ilustración 16: Diagrama de fuerzas – Peso propio

Fuente: El autor

| | | |
|---------------------------|--------|-------------------|
| Volumen efectivo del muro | 9.967 | [m ³] |
| Peso Efectivo del muro | 239.21 | [kN] |
| Brazo de palanca | 0.43 | [m] |

3.5.6.2. Análisis de pavimento rígido

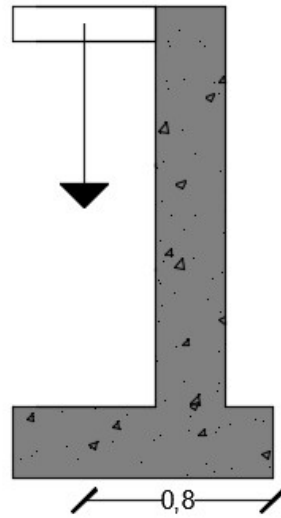


Ilustración 17: Diagrama de fuerzas – Peso del pavimento rígido

Fuente: El autor

| Pavimento Rígido | | |
|------------------|-------|------|
| Espesor de losa | 0.20 | [m] |
| Peso | 30.56 | [kN] |
| Brazo de palanca | 0.8 | [m] |

3.5.6.3. Empuje activo del material del mejoramiento – Sub base clase III

| Material de mejoramiento | | |
|--|-------|----------------------|
| Espesor de relleno superior | 0.60 | [m] |
| Espesor de relleno inferior | 0.50 | [m] |
| Angulo de fricción interna | 30.00 | [°] |
| Peso específico del material de relleno | 18.79 | [kN/m ³] |
| Coeficiente de empuje pasivo | | |
| $ka = \frac{1 - \sin(\phi)}{1 + \sin(\phi)}$ | | |
| Ka | 0.33 | |
| Empuje activo del suelo | | |
| $Ea = \frac{1}{2} * ka * \gamma * y^2$ | | |
| y | 2.00 | [m] |
| Ea | 12.40 | [kN/m] |
| Ea (Fuerza) | 12.40 | [kN] |
| y/3 (Brazo de palanca) | 0.67 | [m] |

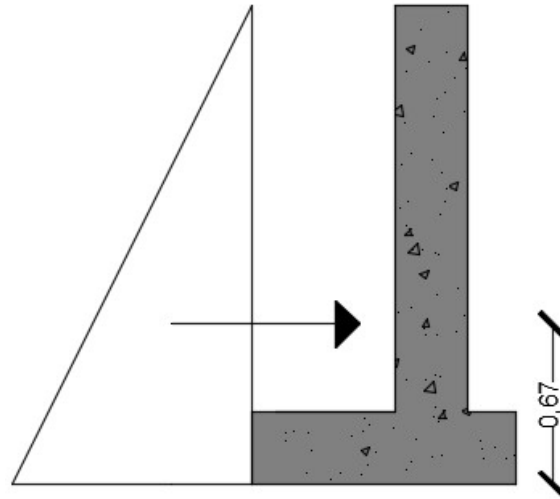


Ilustración 18: Diagrama de fuerzas – Empuje activo del suelo

Fuente: El autor

3.5.6.4. Peso del material de mejoramiento – Sub base clase III

| Material de mejoramiento | | |
|---|-------|----------------------|
| Espesor de relleno superior | 0.60 | [m] |
| Espesor de relleno inferior | 0.55 | [m] |
| Peso específico del material de relleno | 18.79 | [kN/m ³] |
| Área de relleno | 0.90 | [m ²] |
| Volumen de relleno aparente | 10.80 | [m ³] |

Ahora se debe descontar el volumen ocupado por las alcantarillas dentro del material de mejoramiento

$$\text{Volumen de alcantarillas} = 0.38 \text{ m}^2 * 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de alcantarillas} = 0.226 \text{ m}^3$$

| | | |
|---------------------------------|--------|-------------------|
| Volumen de relleno efectivo | 10.57 | [m ³] |
| Peso del relleno | 198.68 | [kN] |
| Brazo del peso del mejoramiento | 0.8 | [m] |

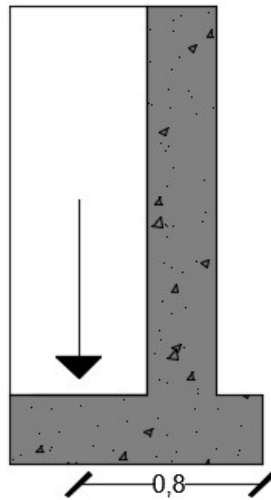


Ilustración 19: Diagrama de fuerzas – Peso del material de mejoramiento

Fuente: El autor

3.5.6.5. Presión hidrostática

| Presión Hidrostática | | | |
|---|----|--------|----------------------|
| Peso específico H2O | | 9.807 | [kN/m ³] |
| Tirante sobre el pavimento | | 0.49 | [m] |
| Altura de la estructura desde la losa hasta el invert de las tuberías | h | 1.20 | [m] |
| Distancia desde la superficie del agua hasta la mitad de la altura de la estructura | hi | 1.09 | [m] |
| Base | b | 12 | [m] |
| Área = b*h | | 14.40 | [m ²] |
| $I = \frac{b * h^3}{12}$ | | | |
| I | | 1.73 | [m ⁴] |
| Fuerza | | 153.93 | [kN] |
| $y = \frac{I}{hi * \text{Área}} + hi$ | | | |
| Y | | 1.20 | [m] |
| Brazo de palanca | | 1.29 | [m] |

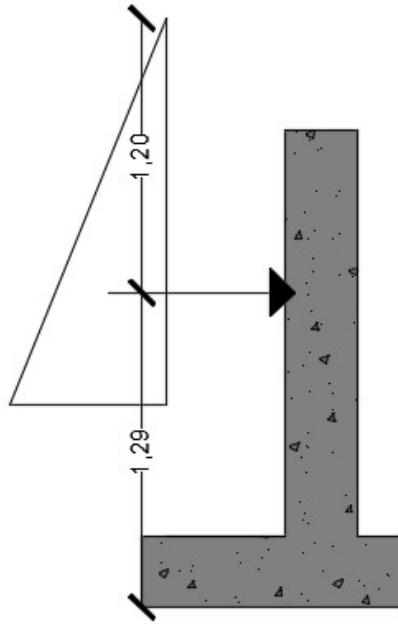


Ilustración 20: Diagrama de fuerzas presión hidrostática

Fuente: El autor

3.5.6.6.Carga viva

El valor de carga viva se tomó de Norma Ecuatoriana De La Construcción Nec-Se-Cg Cargas (No Sísmicas) del año 2015, porque es lo más cercano a la realidad respecto al tráfico vehicular.

| Carga viva | | |
|------------------|------|----------------------|
| Sobre carga | 12 | [kN/m ²] |
| | 86.4 | [kN] |
| Brazo de palanca | 0.80 | [m] |

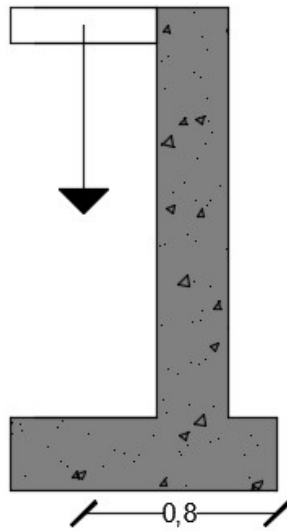


Ilustración 21: Diagrama de fuerzas – Carga vehicular

Fuente: El autor

3.5.6.7. Factor de seguridad ante volcamiento

El factor de seguridad f es calculado a partir del ángulo de fricción interna, el cual depende del material utilizado para para el mejoramiento, este caso se utiliza sub base clase III que posee un valor de ángulo de fricción interna de alrededor de 30° . El factor f se calcula con la siguiente fórmula:

$$f = \tan \phi$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$f = 0.58$$

| Estabilidad al deslizamiento | | | |
|--|------|--|------|
| Fuerzas estabilizadoras | | Fuerzas de deslizamiento | |
| Peso del muro + peso del pavimento + peso del mejoramiento + Carga viva | | Presión hidrostática + Empuje activo del suelo | |
| 558.847 | [kN] | 166.332 | [kN] |
| F | | 0.58 | |
| $F.S = \frac{\sum \text{Fuerzas estabilizadoras}}{\sum \text{Fuerzas de deslizamiento}} * f$ | | | |
| $F.S \geq 1.5$ | | | |
| F.S | | 1.940 | |

3.5.6.8. Factor de seguridad ante el volcamiento

| Estabilidad al Volcamiento | | | |
|--|-------------------------|--|-------------------------|
| Momentos estabilizadores | | Momentos de volcamiento | |
| Peso del muro + peso del pavimento + peso del mejoramiento + Carga viva | | Presión hidrostática + Empuje activo del suelo | |
| Fuerza [kN] | Punto de aplicación [m] | Fuerza [kN] | Punto de aplicación [m] |
| 239.21 | 0.43 | 141.427 | 1.320 |
| 25.92 | 0.8 | 12.401 | 0.667 |
| 205.45 | 0.80 | | |
| 86.4 | 0.80 | | |
| 358.230 [kN*m] | | 206.824 [kN*m] | |
| $F.S = \frac{\sum \text{Momentos estabilizadores}}{\sum \text{Momentos de volcamiento}}$ | | | |
| $F.S \geq 1.5$ | | | |
| F.S | | 1.732 | |

El diseño del muro de la contención cumple con los factores de seguridad establecidos por la Norma Ecuatoriana de Construcción.

Además de ser seguro ante volcamiento y deslizamiento se debe cumplir un tercer criterio en el cual consiste en que la resultante de las fuerzas debe estar entre $\frac{B}{3}$ y $\frac{2*B}{3}$.

Se aplica la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\text{Momento Estabilizante} - \text{Momento Volcante}}{\text{Peso Propio}}$$

$$R = \frac{358.230 \text{ kN} * m - 206.824 \text{ kN} * m}{239.210 \text{ kN}}$$

$$R = 0.63 \text{ m}$$

$$\frac{1.1 \text{ m}}{3} < R < \frac{2 * 1.1 \text{ m}}{3}$$

$$0.37 \text{ m} < R < 0.73 \text{ m}$$

Como se puede observar el muro de contención si cumple con los parámetros impuestos por el criterio.

3.5.7. Caída de protección aguas abajo

El procedimiento de diseño se tomó del manual ANA.

| Parámetros de Diseño | | |
|---|------|---------------------|
| Caudal máximo que pasa sobre el badén [Q] = | 5.91 | [m ³ /s] |
| Ancho del badén [b] = | 12 | [m] |

Se calcula el caudal unitario [q]

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

$$q = 0.49 \frac{m^2}{s}$$

El diseño de la caída se rige por la configuración de un canal rectangular por lo que el cálculo del tirante crítico se obtiene de la siguiente fórmula:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$y_c = 0.29 m$$

En base a la topografía del terreno se escogió una altura de grada de 0.5 m, este valor se aplicará en la primera y segunda grada

$$a_1 = 2.2 m \quad y \quad a_2 = 1.0 m$$

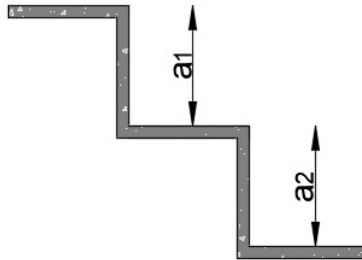


Ilustración 22: Representación de la altura “a” de la grada

Fuente: El autor

Calculamos K que es la razón entre el tirante crítico y la altura de la grada

$$k_1 = \frac{a_1}{Y_c} \qquad k_1 = 7.55$$

Se asigna el valor al tirante inicial Y_0 , en el caso de la primera grada el tirante inicial Y_0 es igual al tirante crítico Y_c .

$$Y_0 = Y_c \qquad Y_0 = 0.29 m$$

Se obtiene el valor de X_0 dividiendo el tirante inicial Y_0 entre el tirante crítico Y_c .

$$X_0 = \frac{Y_0}{Y_c} \qquad X_0 = 1.00 m$$

Por medio de la utilización del ábaco mostrado en la ilustración 23, en el cual se relacionan los valores K y X_0 podemos determinar la relación que existe entre Y_1 y Y_0

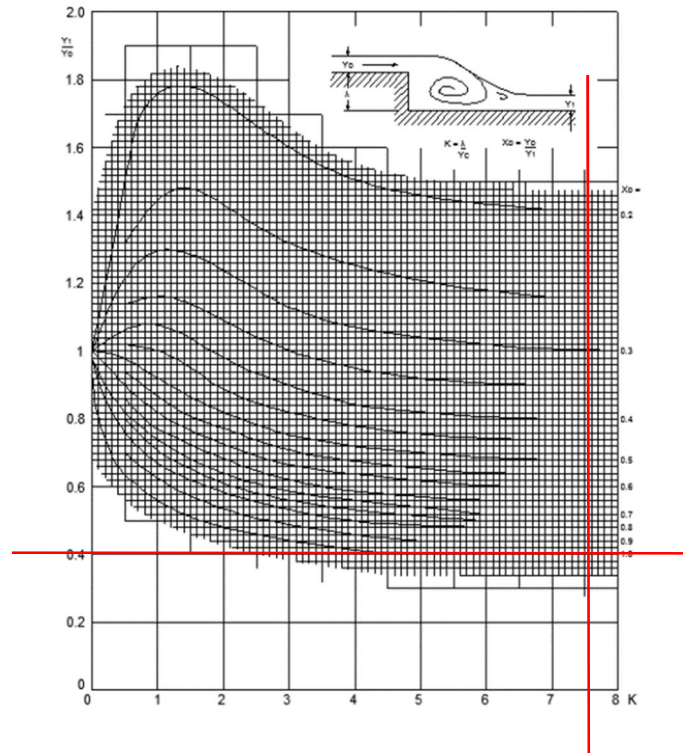


Ilustración 23: Ábaco Y_1/Y_0 vs K para la grade 1

Fuente: Manual de Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico

$$\frac{Y_1}{Y_C} = 0.4$$

Al obtener la relación anterior se puede despejar Y_1 .

$$Y_1 = 0.117 \text{ m}$$

Por medio de la utilización del siguiente ábaco, en el cual se relacionan los valores K y X_0 se puede determinar la relación que existe entre d_1 y Y_C

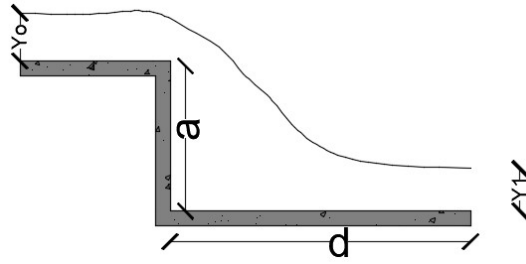


Ilustración 24: Representación de la longitud “d” de la grada

Fuente: El autor

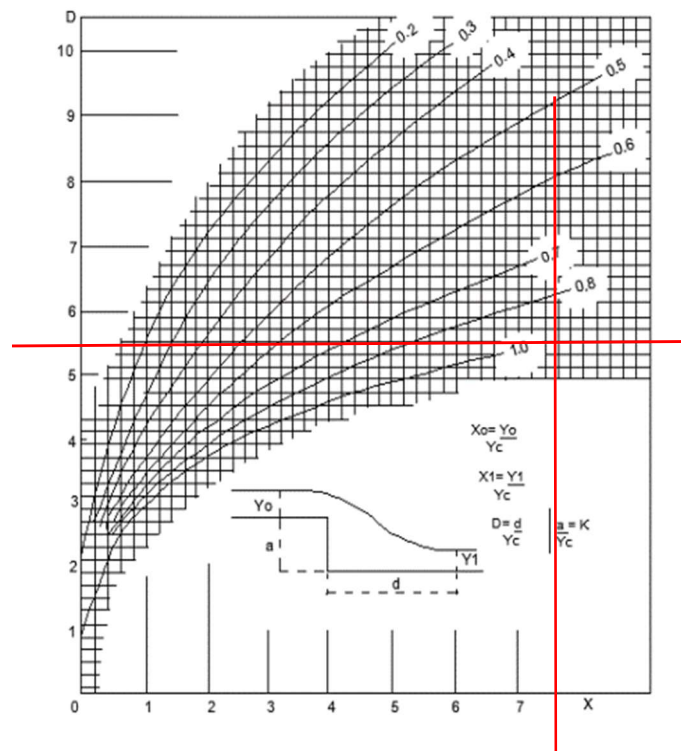


Ilustración 25: Ábaco D vs Xo para la grada 1

Fuente: Manual de Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico

$$\frac{d_1}{Y_c} = 5.50$$

Por lo tanto, el valor para la primera grada sería de:

$$d_1 = 1.60 \text{ m}$$

A continuación, se mostrará el proceso de cálculo para la segunda grada:

$$k_2 = \frac{a_2}{Y_C}$$

$$k_2 = 3.43$$

Se asigna el valor al tirante inicial Y_0 , en el caso de la segunda grada el tirante inicial Y_0 es igual al tirante Y_1 de la primera grada.

$$Y_0 = 0.117 \text{ m}$$

Se obtiene el valor de X_0 dividiendo el tirante inicial Y_0 entre el tirante crítico Y_C .

$$X_0 = \frac{Y_0}{Y_C}$$

$$X_0 = 0.40$$

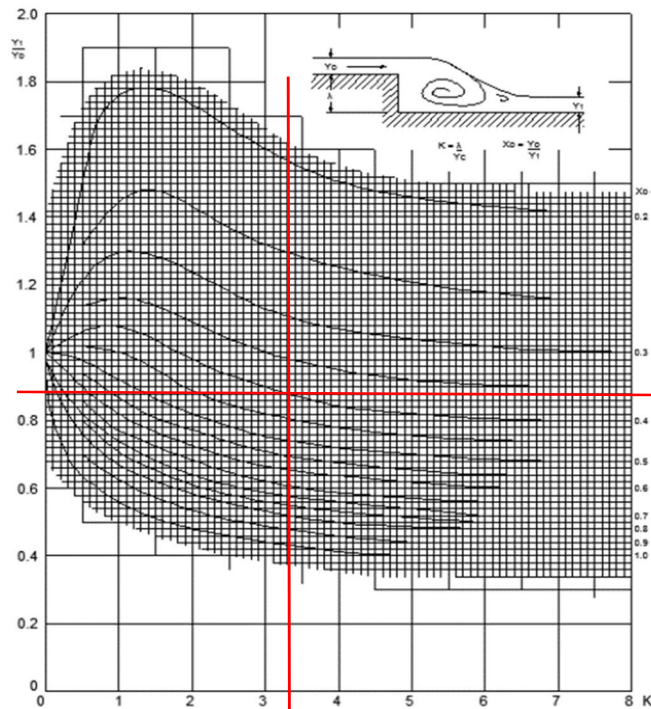


Ilustración 26: Ábaco Y_1/Y_0 vs K para la grada 2

Fuente: Manual de Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico

$$\frac{Y_2}{Y_C} = 0.90$$

$$Y_2 = 0.105 \text{ m}$$

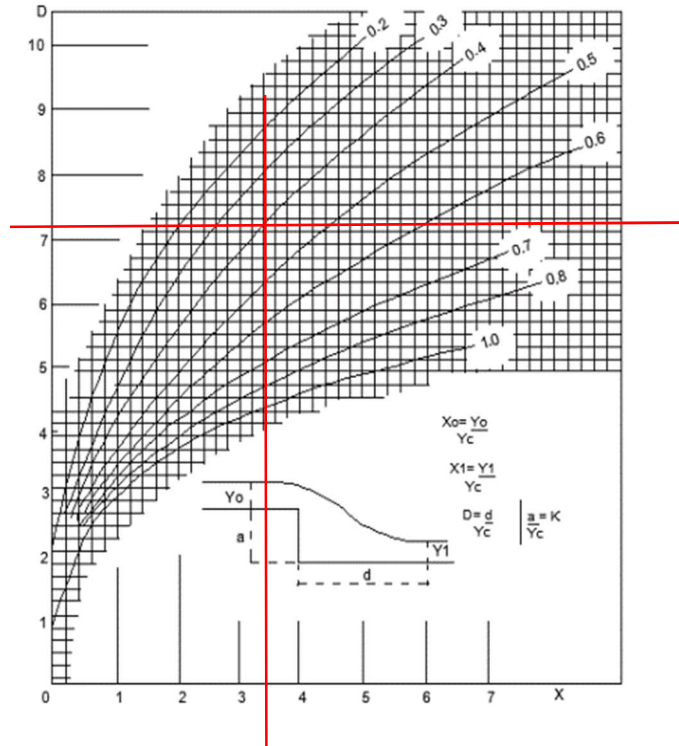


Ilustración 27: Ábaco D vs Xo para la grada 2

Manual: Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico

$$\frac{d_2}{Y_c} = 7.25$$

$$d_2 = 2.11 \text{ m}$$

A continuación, se presenta la siguiente tabla con el resumen de los resultados del proceso de diseño de la caída de protección.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|---------|---------------------|-----------|-------------------------|-------------------|-------|-----------------|---------|
| N° | a [m] | $k = \frac{a}{Y_c}$ | Y_o [m] | $X_o = \frac{Y_o}{Y_c}$ | $\frac{Y_1}{Y_c}$ | Y [m] | $\frac{d}{Y_c}$ | d [m] |
| 1 | 2.2 | 7.55 | 0.291 | 1.00 | 0.40 | 0.117 | 5.50 | 1.60 |
| 2 | 1 | 3.43 | 0.117 | 0.40 | 0.90 | 0.105 | 7.25 | 2.11 |

Tabla 7: Dimensiones de las gradas para la estructura de protección contra la socavación

Fuente: El autor

Para reducir el costo de la estructura de protección, se optó por colocar enrocado como sustituto de una tercera grada. Para la selección del diámetro de la roca que será colocada el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, proporciona la siguiente fórmula:

$$d_{50} = \frac{V^2}{3.1 * g}$$

Dónde:

d_{50} : Diámetro medio de los elementos de protección.

V: Velocidad media del flujo.

g: Aceleración de gravedad.

Para el cálculo de la velocidad debemos calcular primero el área hidráulica, debemos tomar como tirante el valor de 0.12 m obtenido de los cálculos anteriores, este valor corresponde al tirante Y_2 .

$$A = Y_2 * b$$

$$A = 0.105 \text{ m} * 12 \text{ m}$$

$$A = 1.259 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{5.91 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.259 \text{ m}^2}$$

$$V = 4.696 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$d_{50} = \frac{\left(4.696 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{3.1 * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2}}$$

$$d_{50} = 0.73 \text{ m}$$

El diámetro resultante para los elementos de protección es de 0.73 m, esto no solo ayudará con la mitigación del proceso de socavación, sino que también se le aporta masa considerable a la estructura a un bajo costo.

4. Capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados

En base a los resultados obtenidos por el levantamiento de información de la quebrada “El Negro” se pudo determinar que los cambios bruscos de pendientes producen cambios de velocidad significativos que a su vez generan resaltos hidráulicos, este evento produce turbulencia lo que ocasiona que el lecho de la quebrada se socave.

Por lo tanto, el arrastre de material sedimentario por parte de la quebrada producirá que en los periodos de mantenimiento se deba limpiar las tuberías para evitar su colmatación.

El caudal que fluye por la quebrada “El Negro” es permanente pero no constante, este se debe a que las condiciones climáticas de la zona influyen directamente sobre la cantidad de caudal, así como la vegetación presente sobre la cuenca hidrográfica que no es la misma a lo largo del tiempo, porque también dependen de las condiciones climáticas.

Los caudales obtenidos por medio de fórmulas empíricas y a través de procesos experimentales utilizando software, muchas de las veces no tienen relación con lo que en realidad está sucediendo, es por ese motivo que esta información debe corroborarse por medio de la observación in situ. Durante la realización de este proyecto la información aportada por los moradores cercanos al área de estudio ayudó a tener un parámetro real para comprobar los resultados de caudales que se obtuvieron.

El caudal promedio obtenido es de $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ atravesará la estructura por medio de alcantarillas, en las cuales se contempló la capacidad de arrastre de la quebrada “El Negro”, por tal motivo se seleccionó 3 tuberías corrugadas de 400 mm de diámetro nominal, mismas que poseen un diámetro interior de 360 mm, con lo cual el tirante producido en condiciones normales es de aproximadamente 0.1309 m.

Esto a su vez produce que la relación tirante – diámetro $\left(\frac{y}{D}\right)$ sea de 0.36 con lo cual se asegura que en condiciones normales el 64% de las alcantarillas permanezca libre de agua con lo cual facilitará el paso de material sedimentario sin provocar algún daño significativo, la capacidad de las alcantarillas a tubo lleno en conjunto es de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, esto hará que el caudal que pase sobre la estructura del puente tipo badén sea menos demandante.

El caudal de máxima crecida es de $6.91 \text{ m}^3/\text{s}$ y es el que genera mayores problemas al tramo de vía actual por la constante erosión que se produce en épocas invernales, por lo

que en el diseño de toda la estructura se deberá considerar algún tipo de disipador de energía para que de esta manera se evite la socavación en el lecho de la quebrada aguas abajo.

Considerando la disminución de caudal que fluye por las alcantarillas, el caudal que pasará sobre la estructura sería de $5.91 \text{ m}^3/\text{s}$, produciéndose así una lámina de agua sobre la estructura de 0.49 m.

El diseño del puente badén se realizó bajo parámetros hidráulicos de la quebrada “El Negro” pero para su correcto funcionamiento necesita estructuras complementarias que brinden seguridad tanto a la estructura como a la quebrada. La seguridad a la estructura es aportada a través de un muro de contención que debe cumplir con requerimientos llamados factores de seguridad que se relacionan con su estabilidad ante fuerzas deslizantes y momentos de volcamiento.

La protección de la quebrada es brindada por la estructura de caída tipo grada, que funciona como un disipador de energía hidráulica lo que inhibe el proceso de socavación aguas abajo lo que garantiza a su vez un periodo mayor de vida útil para la obra.

Las dimensiones del puente tipo badén, muro de contención y caída de protección tipo grada se aprecian en los planos constructivos que forman parte de los anexos,

Conclusiones y recomendaciones:

Conclusiones:

Los resultados del análisis del sitio de estudio, brindó la suficiente información para conocer las condiciones actuales en la que se desarrollará el proyecto, abarcando tanto las condiciones ambientales y de infraestructura de la vía La Bocana-Valle Hermoso, que condicionarán el diseño del puente tipo badén.

La documentación de los registros hidrológicos proporcionó información útil para determinar los parámetros de diseño del puente tipo badén, con la resistencia que aporte garantice seguridad en eventos extremos.

El diseño del puente tipo badén integra todas las solicitudes para garantizar un paso vehicular seguro, el diseño propone una estructura de 12 m de largo por 6 m de ancho que consta de una calzada de pavimento rígido, material de mejoramiento subbase clase III, y la implementación de 3 alcantarillas de 400 mm. Respecto a estabilidad, se diseñó un muro de contención de hormigón ciclópeo que cumplió de manera satisfactoria las evaluaciones de estabilidad ante el deslizamiento y volcamiento. Como estructura de protección aguas abajo se empleó un diseño que caída tipo grada que funcionan como disipadores de energía reduciendo de forma significativa la socavación del lecho de la quebrada “El Negro”

Recomendaciones:

La propuesta de proyectos similares en zonas rurales, es una alternativa accesible que brinda beneficios al mantener activas las vías de comunicación, esto evitará que se deje lastrar continuamente las vías afectadas por procesos de socavación lo que generará un ahorro económico significativo.

Otro aspecto importante que se evidenció durante la elaboración de este proyecto es que existe un mal manejo de la información pluviométrica en la zona, llegando al punto de que no existe, y esto dificulta el desarrollo de proyectos similares y de trabajos académicos de investigación.

Referencias bibliográficas

- Almonte Pilco, N., & De La Cruz Vega, S. (2022). Evaluación y diseño de protección frente a la socavación hidráulica del puente Unocolla, Juliaca – Puno. *Llamkasun*, 3(1), 74–78. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v3i1.85>
- Angulo, M. A., & Saavedra, O. C. (2018). MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA MAYLANCO UTILIZANDO HEC-HMS. *INVESTIGACION & DESARROLLO*, 18(1), 53–67. <https://doi.org/10.23881/idupbo.018.1-4j>
- Ayala-Rojas, L. E., Franco-Rojas, A., & Padilla-González, E. A. (2020). Evaluación de la eficiencia en disipación de energía en estructuras hidráulicas construidas con gaviones y material reciclado (neumático usado) mediante modelamiento físico a escala reducida. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 143–154. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020014>
- Boardman, J., Vandaele, K., Evans, R., & Foster, I. D. L. (2019). Off-site impacts of soil erosion and runoff: Why connectivity is more important than erosion rates. *Soil Use and Management*, 35(2), 245–256. <https://doi.org/10.1111/sum.12496>
- Bocana, L. A. (n.d.). *Cantón Piñas Provincia De El Oro*.
- Bonilla Valverde, J. P., & Rojas Barrantes, A. (2017). Variación horaria en las mediciones de caudales en la cuenca hidrográfica Jesús María con el método del molinete de copas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(1), 110. <https://doi.org/10.15359/rca.52-1.6>
- Briceño-Briceño, E., Oñate-Valdivieso, F., & Oñate-Paladines, A. (2020). Evaluación de la capacidad de transporte de caudales y sedimentos del drenaje transversal en una carretera montañosa en los Andes del Ecuador. *Avances Investigación En Ingeniería*, 18(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6628>
- Carpio, F., Avilés, J., & Morillo, D. (2018). Determinación de capacidad de carreteras en Cuenca (Ecuador) y comparación con el manual de capacidad HCM. *MASKANA*, 9(1), 115–124. <https://doi.org/10.18537/mskn.09.01.11>
- Carty, A., O’Neill, C., Nash, S., Clifford, E., & Mulligan, S. (2019). Hydrodynamic modelling approaches to assess mechanisms affecting the structural performance and maintenance of vortex drops shaft structures. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 4(3), 162–178. <https://doi.org/10.1080/24705314.2019.1622188>
- Ecuatoriana Vial, N. (n.d.). *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE VOLUMEN Nº 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES*.
- Fathy, I., Abdel-Aal, G. M., Fahmy, M. R., Fathy, A., & Zelenáková, M. (2020). The negative impact of blockage on storm water drainage network. *Water (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/w12071974>
- García Rengifo, C. A., & Durán-Ballén Ochoa, S. (2023). Variabilidad climática en la cuenca hidrográfica del río Chalpi Grande en Napo-Ecuador. *Enfoque UTE*, 14(1). <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.872>
- Gestión de conservación en caminos de tierra*. (n.d.).
- Helowicz, A. (2020). Integral bridge and culvert design, Designer’s experience. *Open Engineering*, 10(1), 499–505. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0059>

- Hidayat, I., Suangga, M., & Hartanto, F. (2021). Construction cost effectiveness comparison on I-girder bridge and box culvert. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/794/1/012004>
- Jiménez Castañeda, A. A., Berezowsky Verduzco, M., Hernández López, E., & Caballero Coranguez, C. A. (2020). Calibración y verificación de fórmulas para calcular el caudal en compuertas radiales con descarga sumergida. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 21(2), 1–14. <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2020.21n2.012>
- Jin, Z., Guo, L., Yu, Y., Luo, D., Fan, B., & Chu, G. (2020). Storm runoff generation in headwater catchments on the Chinese Loess Plateau after long-term vegetation rehabilitation. *Science of the Total Environment*, 748. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141375>
- Lauro, C., Vich, A., Moreiras, S. M., Bastidas, L., Otta, S., & Vaccarino, E. (2021). Annual maximum flow regionalization of Colorado river system, Argentina. *Geographical Research Letters*, 47(2), 355–370. <https://doi.org/10.18172/cig.4465>
- Matovelle, C., Heras, D., & Solano-Peláez, J. (2022). Imputation Efficiency of Missing Rainfall Data Using Computational Tools in a River Basin, Jubones-Ecuador. *Revista Politecnica*, 50(2), 23–30. <https://doi.org/10.33333/rp.vol50n2.03>
- McKenna, G., Argyroudis, S. A., Winter, M. G., & Mitoulis, S. A. (2021). Multiple hazard fragility analysis for granular highway embankments: Moisture ingress and scour. *Transportation Geotechnics*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100431>
- Montes, J., Álvarez, M., Pertierra, L., Moralo, J., & Baztán, J. (2018). Análisis regional de frecuencia de avenidas en la vertiente cantábrica y noratlántica de España. *Ingeniería Del Agua*, 22(2), 93. <https://doi.org/10.4995/ia.2018.8782>
- Patel, R., & Jamle, S. (2019). Analysis and Design of Box Culvert: A Manual Approach. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6(3), 286–291. <https://doi.org/10.22161/ijaers.6.3.37>
- Pérez-Ortiz, M. A., Montenegro-Murillo, D. D., & Vargas-Franco, V. (2022). Analysis of the influence of climatic variability on precipitation in the Cali River basin, Colombia. *DYNA (Colombia)*, 89(221), 168–177. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.101607>
- Priego-Hernández, G., Vázquez Vázquez, L., Antonio Cabrera, L., & Rivera-Trejo, F. (n.d.). *Natural discharge measures from bridges with piers Aforo de corrientes naturales desde puentes pilotados Scientific note*. Retrieved February 24, 2023, from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8647325>
- Rusyda, M. I., Isfanari, I., Wahyuningsih, T., & Maricar, M. F. (2020). INFLUENCE OF BAMBOO DEBRIS ACCUMULATION FORMED BY CULVERT BRIDGES ON BACKWATER RISE DURING FLASH FLOOD. *International Journal of GEOMATE*, 19(75), 197–202. <https://doi.org/10.21660/2020.75.19873>
- Sales, J. M. de J., Aguiar Netto, A. de O., & Carvalho, C. M. de. (2022). Hydrological modeling of hydrographic basin in the northeast semiarid region of Brazil. *Research, Society and Development*, 11(3), e48711326735. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26735>
- Técnica, G., Lisandro, U. C., Venezuela, A., Rivero, G., José, K., Aguilar, L., Libertad, A., Ortiz, R., Carlos, J., Centroccidental, U., & Alvarado Venezuela, L. (2020). Análisis de sensibilidad de parámetros hidrológicos e hidráulicos del modelo SWMM y su aplicación en sistemas de drenaje urbano. 21(1), 44–63. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26994.66248>

- Xavier, A. C. F., Rudke, A. P., Fujita, T., Blain, G. C., de Moraes, M. V. B., de Almeida, D. S., Rafee, S. A. A., Martins, L. D., de Souza, R. A. F., de Freitas, E. D., & Martins, J. A. (2020). Stationary and non-stationary detection of extreme precipitation events and trends of average precipitation from 1980 to 2010 in the Paraná River basin, Brazil. *International Journal of Climatology*, 40(2), 1197–1212. <https://doi.org/10.1002/joc.6265>
- Zaman, M., Ahmad, I., Usman, M., Saifullah, M., Anjum, M. N., Khan, M. I., & Qamar, M. U. (2020). Event-based time distribution patterns, return levels, and their trends of extreme precipitation across indus basin. *Water (Switzerland)*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/w12123373>

Anexos:

Anexo 1: Resultados y evidencias del levantamiento topográfico

| N° de punto | Norte | Este | Altura | Descripción |
|-------------|------------|------------|---------|-------------|
| 1 | 9590176.75 | 621135.091 | 284.827 | PII |
| 2 | 9590184.05 | 621135.091 | 284.55 | NORTE |
| 3 | 9590164.64 | 621167.985 | 288.204 | VIA |
| 4 | 9590163.22 | 621166.99 | 288.118 | EJE |
| 5 | 9590161.13 | 621166.153 | 288.118 | EJE |
| 6 | 9590166.59 | 621155.256 | 286.763 | VIA |
| 7 | 9590167.87 | 621155.723 | 286.771 | EJE |
| 8 | 9590169.84 | 621156.674 | 286.775 | VIA |
| 9 | 9590175.77 | 621146.087 | 285.416 | VIA |
| 10 | 9590173.96 | 621144.747 | 285.596 | EJE |
| 11 | 9590172.19 | 621143.287 | 285.628 | VIA |
| 12 | 9590179.54 | 621134.478 | 284.658 | VIA |
| 13 | 9590181.43 | 621135.298 | 284.688 | EJE |
| 14 | 9590183.09 | 621136.071 | 284.773 | VIA |
| 15 | 9590185.76 | 621131.267 | 284.353 | VIA |
| 16 | 9590183.91 | 621130.475 | 284.198 | EJE |
| 17 | 9590182.12 | 621129.803 | 284.038 | VIA |
| 18 | 9590183.01 | 621123.967 | 283.522 | VIA |
| 19 | 9590184.89 | 621123.382 | 283.594 | EJE |
| 20 | 9590186.51 | 621122.601 | 283.639 | VIA |
| 21 | 9590185.27 | 621118.536 | 283.07 | RIO |
| 22 | 9590188.99 | 621116.123 | 283.173 | RIO |
| 23 | 9590194 | 621111.604 | 283.425 | RIO |
| 24 | 9590197.15 | 621105.824 | 283.169 | RIO |
| 25 | 9590201.79 | 621103.699 | 285.559 | RIO |
| 26 | 9590206.42 | 621099.171 | 287.06 | RIO |
| 27 | 9590204.28 | 621088.549 | 285.568 | RIO |
| 28 | 9590201.89 | 621093.302 | 284.519 | EJE |
| 29 | 9590199.69 | 621090.191 | 286.061 | RIO |
| 30 | 9590196.65 | 621096.564 | 284.826 | RIO |
| 31 | 9590193.28 | 621099.143 | 283.916 | RIO |
| 32 | 9590199.06 | 621099.152 | 284.359 | FONDO |
| 33 | 9590198.94 | 621099.202 | 284.344 | FONDO |
| 34 | 9590195.65 | 621103.067 | 283.207 | FONDO |
| 35 | 9590187.17 | 621108.628 | 283.047 | FONDO |

Tabla 8: Coordenadas de los puntos obtenidos del levantamiento topográfico – Parte 1

Fuente: El autor

| N° de punto | Norte | Este | Altura | Descripción |
|-------------|------------|------------|---------|-------------|
| 36 | 9590186.03 | 621101.065 | 283.352 | RIO |
| 37 | 9590183.52 | 621105.598 | 283.286 | RIO |
| 38 | 9590181.41 | 621108.476 | 282.81 | RIO |
| 39 | 9590177.34 | 621114.066 | 282.91 | RIO |
| 40 | 9590176.91 | 621118.064 | 282.961 | RIO |
| 41 | 9590179.2 | 621119.072 | 283 | FONDO |
| 42 | 9590180.7 | 621120.732 | 283.012 | RIO |
| 43 | 9590179.42 | 621123.726 | 282.473 | RIO |
| 44 | 9590178.07 | 621122.421 | 282.297 | FONDO |
| 45 | 9590175.81 | 621120.923 | 282.05 | RIO |
| 46 | 9590170.63 | 621125.231 | 282.072 | RIO |
| 47 | 9590171.85 | 621127.391 | 281.964 | FONDO |
| 48 | 9590173.66 | 621129.605 | 281.974 | RIO |
| 49 | 9590168.12 | 621134.598 | 281.908 | RIO |
| 50 | 9590166.63 | 621133.035 | 281.569 | FONDO |
| 51 | 9590165.1 | 621130.938 | 281.727 | RIO |
| 52 | 9590156.5 | 621137.292 | 281.589 | RIO |
| 53 | 9590158.04 | 621138.575 | 281.491 | FONDO |
| 54 | 9590160.16 | 621140.879 | 281.695 | RIO |
| 55 | 9590175.94 | 621118.11 | 283.095 | VIA |
| 56 | 9590175.72 | 621114.359 | 283.283 | VIA |
| 57 | 9590175.99 | 621116.189 | 283.281 | EJE |
| 58 | 9590167.96 | 621119.14 | 283.948 | EJE |
| 59 | 9590168.94 | 621120.915 | 283.894 | VIA |
| 60 | 9590167.33 | 621117.854 | 283.969 | VIA |
| 61 | 9590158.06 | 621122.987 | 284.239 | VIA |
| 62 | 9590161.07 | 621125.653 | 284.219 | VIA |
| 63 | 9590159.85 | 621123.938 | 284.261 | EJE |
| 64 | 9590150.11 | 621130.094 | 285.057 | EJE |
| 65 | 9590151.62 | 621132.149 | 285.028 | VIA |
| 66 | 9590149.13 | 621128.371 | 284.966 | VIA |
| 67 | 9590139.79 | 621132.34 | 285.959 | VIA |
| 68 | 9590141.58 | 621136.465 | 286.147 | VIA |
| 69 | 9590140.83 | 621134.2 | 285.975 | EJE |
| 70 | 9590187.48 | 621125.188 | 285.522 | TALUD |

Tabla 9: Coordenadas de los puntos obtenidos del levantamiento topográfico – Parte 2

Fuente: El autor

| N° de punto | Norte | Este | Altura | Descripción |
|-------------|------------|------------|---------|-------------|
| 71 | 9590186.43 | 621130.925 | 286.09 | TALUD |
| 72 | 9590184.33 | 621135.968 | 286.691 | TALUD |
| 73 | 9590181.61 | 621142.508 | 287.306 | TALUD |
| 74 | 9590176.48 | 621150.926 | 287.148 | TALUD |
| 75 | 9590173.09 | 621156.428 | 288.805 | TALUD |
| 76 | 9590170.69 | 621163.266 | 290.288 | TALUD |
| 77 | 9590165.75 | 621173.322 | 291.224 | TALUD |
| 78 | 9590161.37 | 621180.412 | 292.361 | TALUD |
| 79 | 9590154.93 | 621188.972 | 293.967 | TALUD |
| 80 | 9590145.61 | 621197.507 | 293.875 | BM |
| 81 | 9590160.2 | 621173.899 | 288.85 | VIA |
| 82 | 9590156.28 | 621175.343 | 289.169 | VIA |
| 83 | 9590151.9 | 621182.395 | 290.642 | VIA |
| 84 | 9590154.3 | 621184.024 | 290.575 | VIA |
| 85 | 9590152.79 | 621183.309 | 290.627 | EJE |
| 86 | 9590148.43 | 621190.439 | 292.152 | VIA |
| 87 | 9590151.57 | 621191.931 | 292.009 | VIA |
| 88 | 9590149.81 | 621191.391 | 292.167 | EJE |
| 89 | 9590150.75 | 621195.157 | 292.783 | VIA |
| 90 | 9590147.95 | 621195.897 | 293.144 | VIA |
| 91 | 9590149.53 | 621195.823 | 293.025 | EJE |
| 92 | 9590179.2 | 621119.072 | 283 | FONDO |
| 93 | 9590181.39 | 621117.266 | 283.009 | FONDO |

Tabla 10: Coordenadas de los puntos obtenidos del levantamiento topográfico – Parte 3

Fuente: El autor



Ilustración 28: Realización de trabajo de campo en la quebrada “El Negro” – Evidencia 1

Fuente: El autor

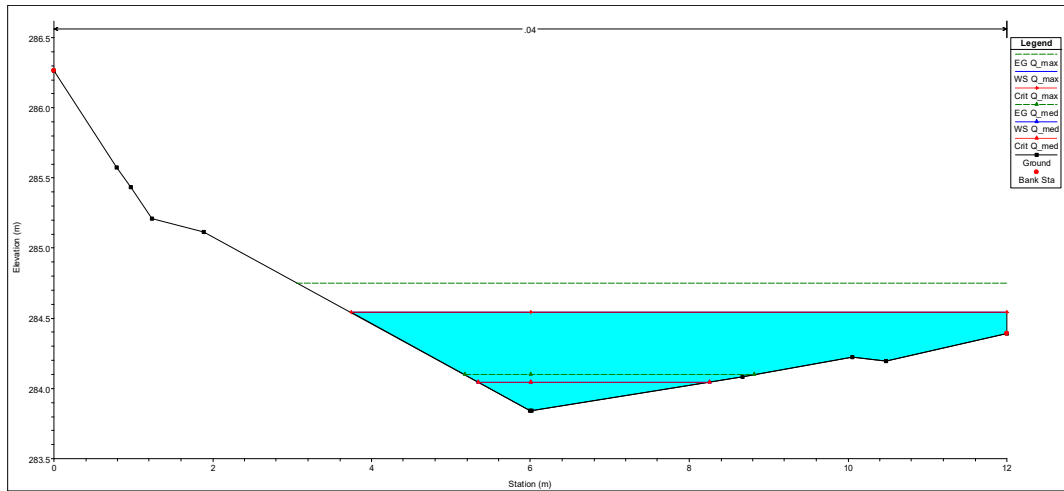


Ilustración 29: Realización de trabajo de campo en la quebrada “El Negro” – Evidencia 2

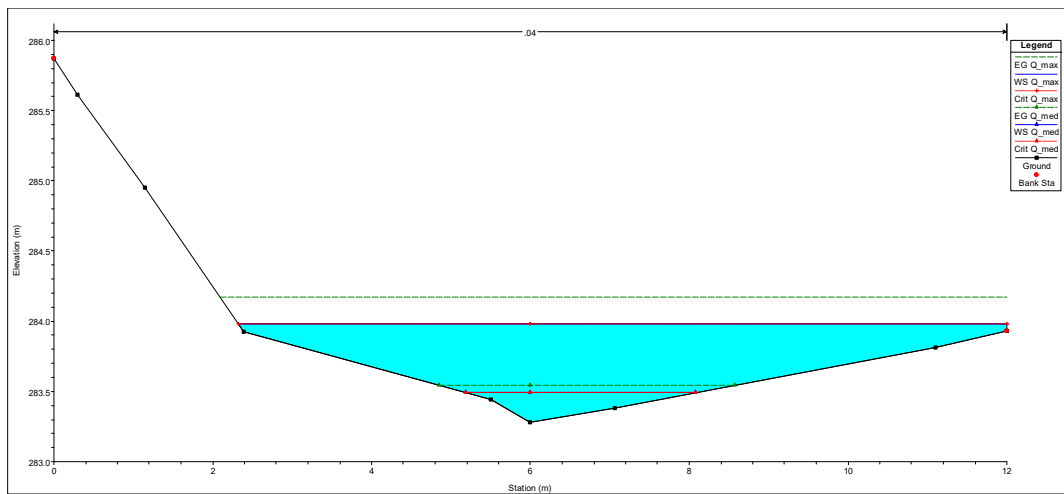
Fuente: El autor

Anexo 2: Secciones transversales ingresadas al software HEC – RAS

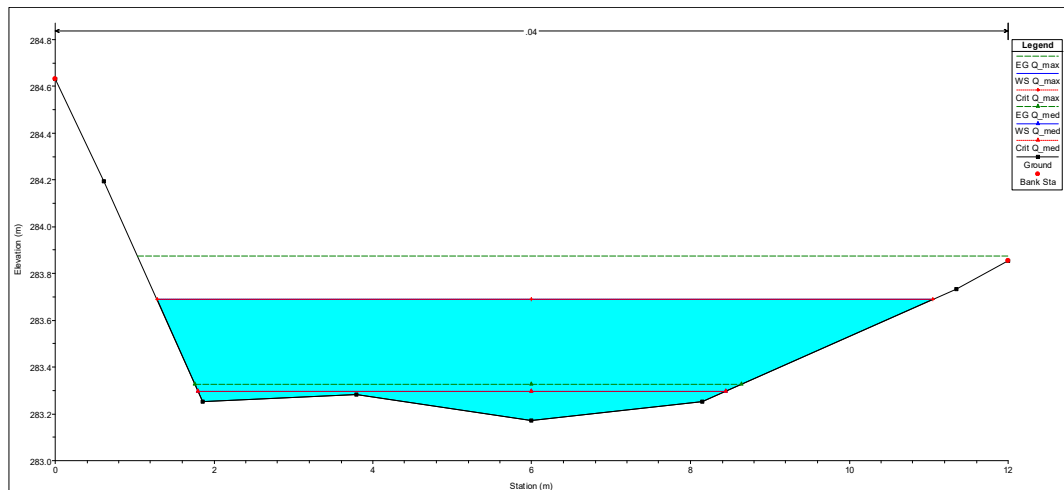
Abscisa 0+002.5 m



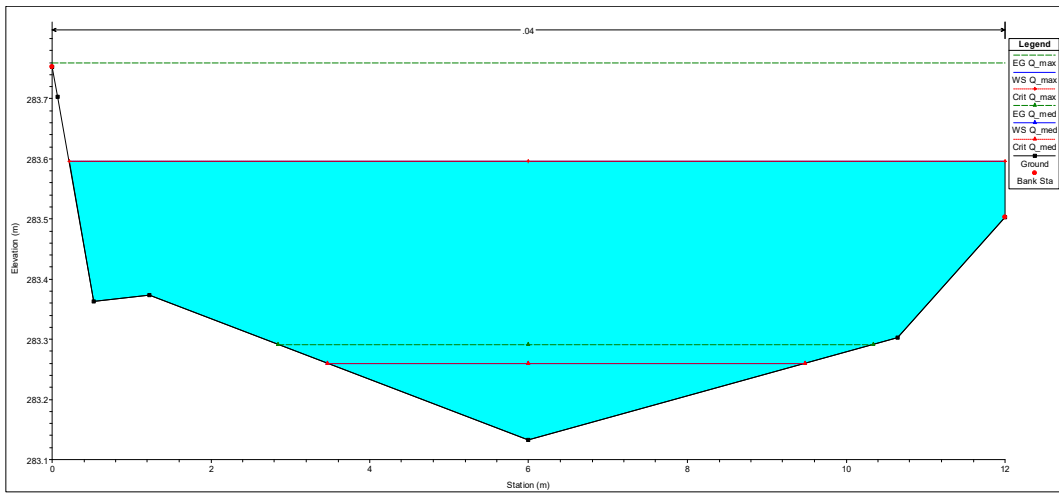
Abscisa 0+005 m



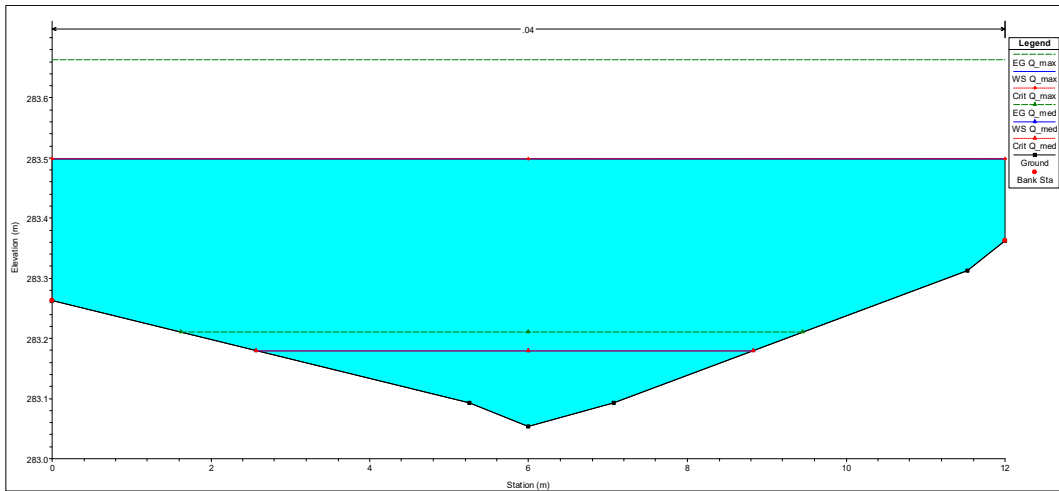
Abscisa 0+007.5 m



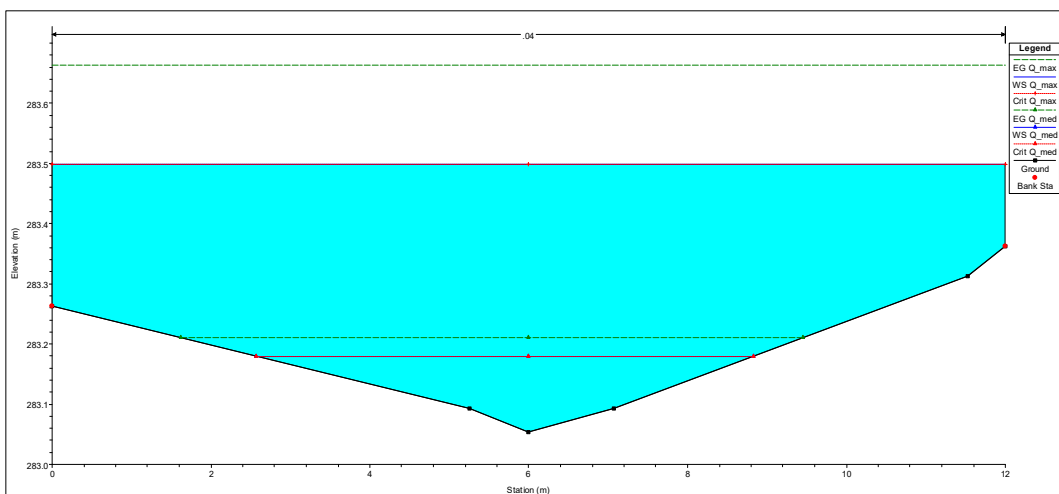
Abscisa 0+010 m



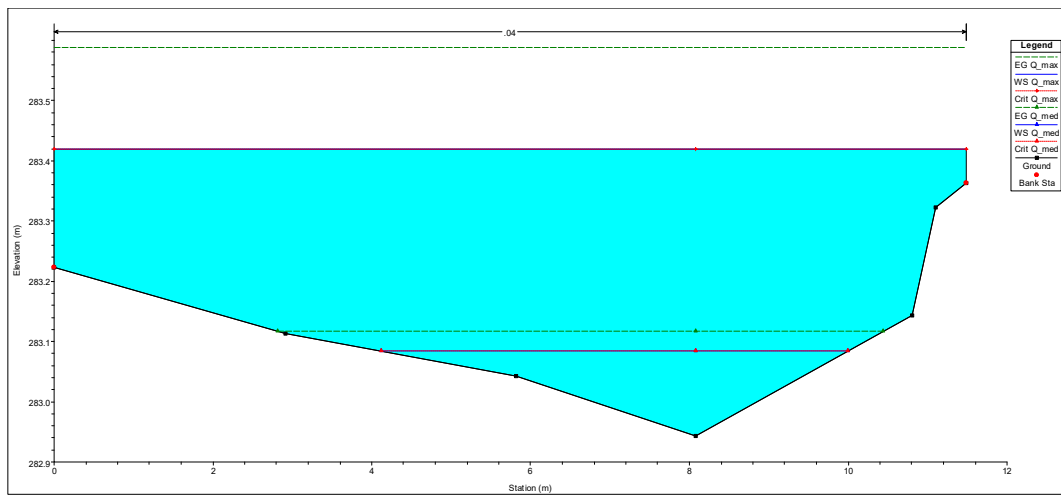
Abscisa 0+012.5 m



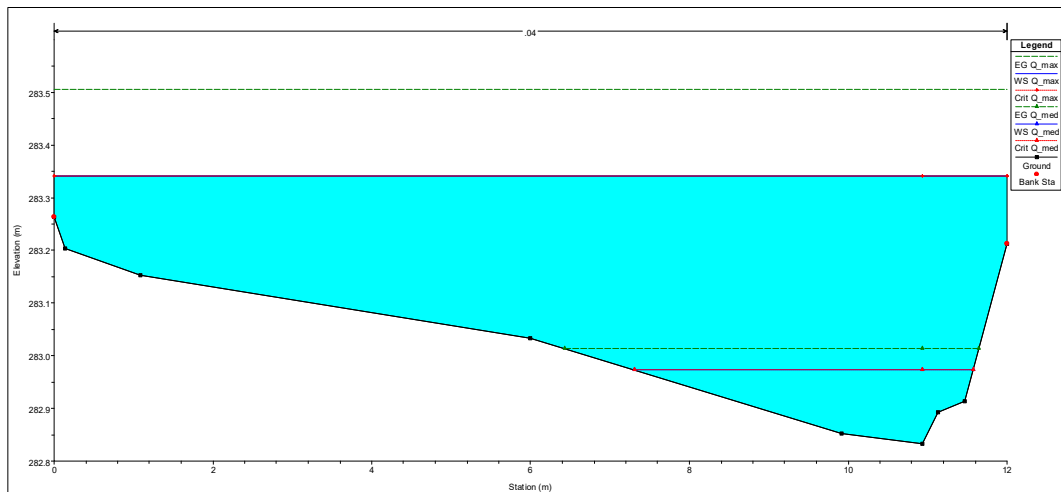
Abscisa 0+015 m



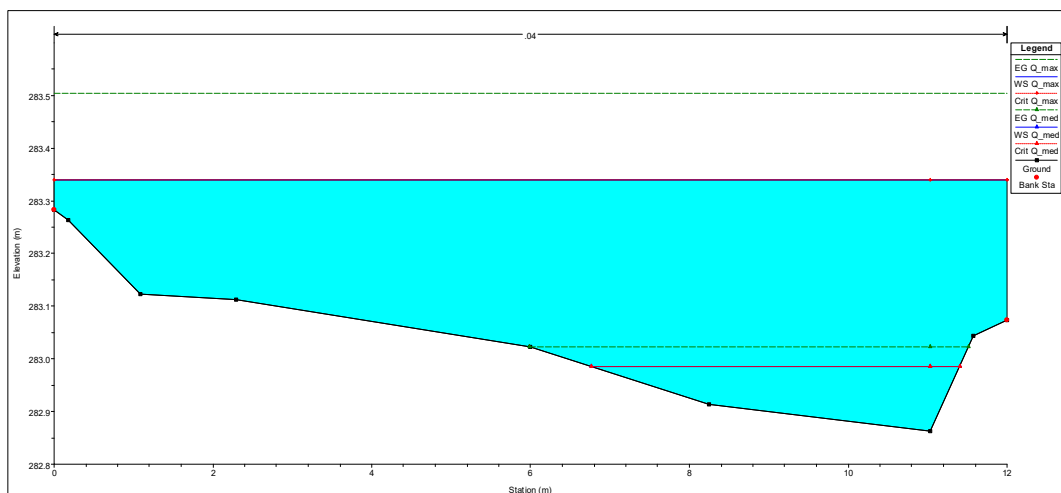
Abscisa 0+017.5 m



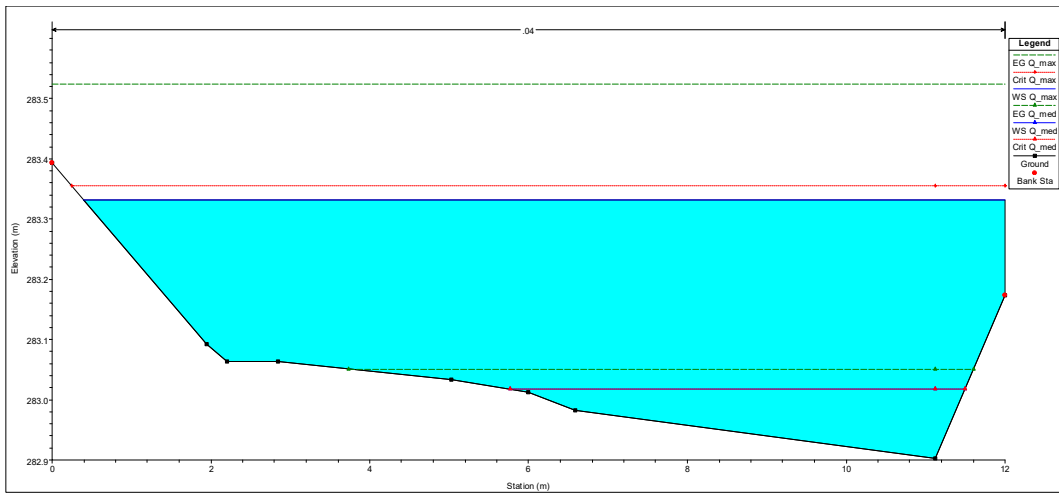
Abscisa 0+020 m



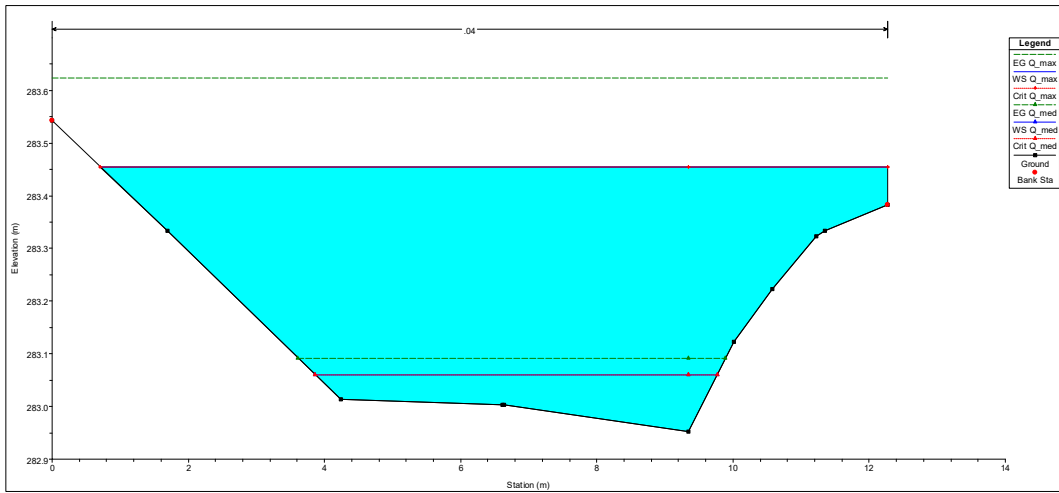
Abscisa 0+022.5 m



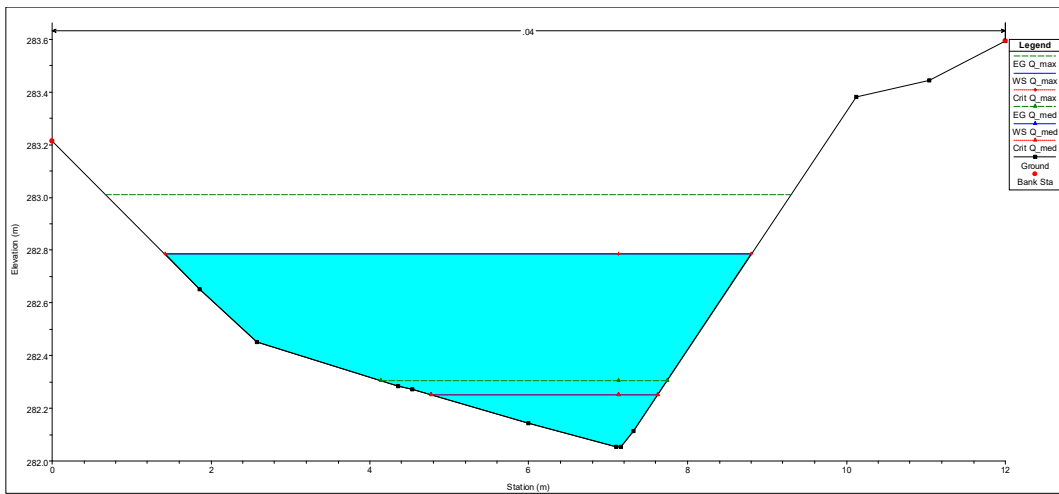
Abscisa 0+025 m



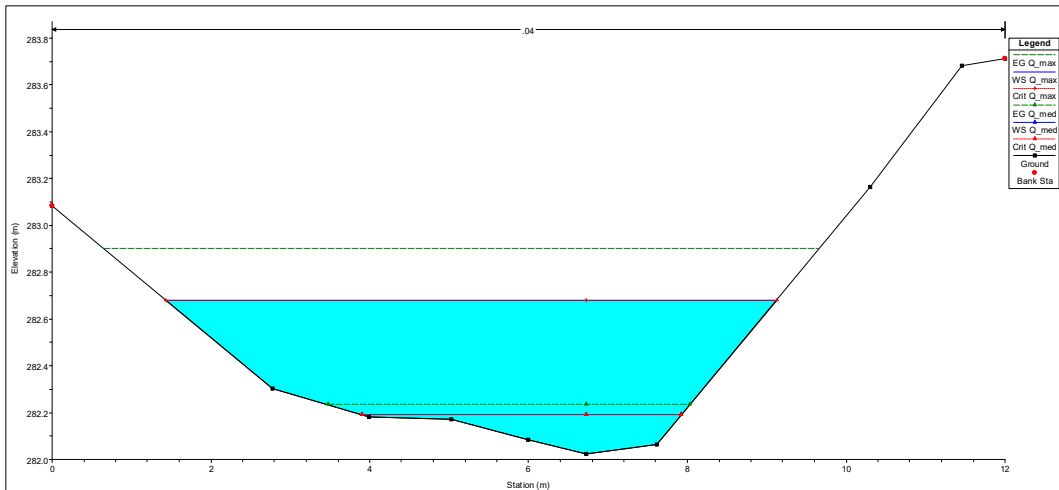
Abscisa 0+028.73 m



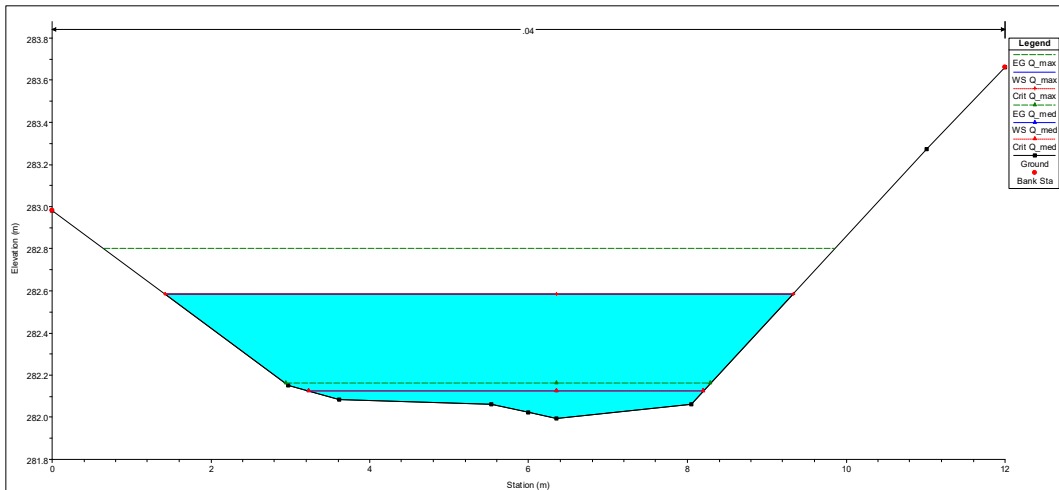
Abscisa 0+032.5 m



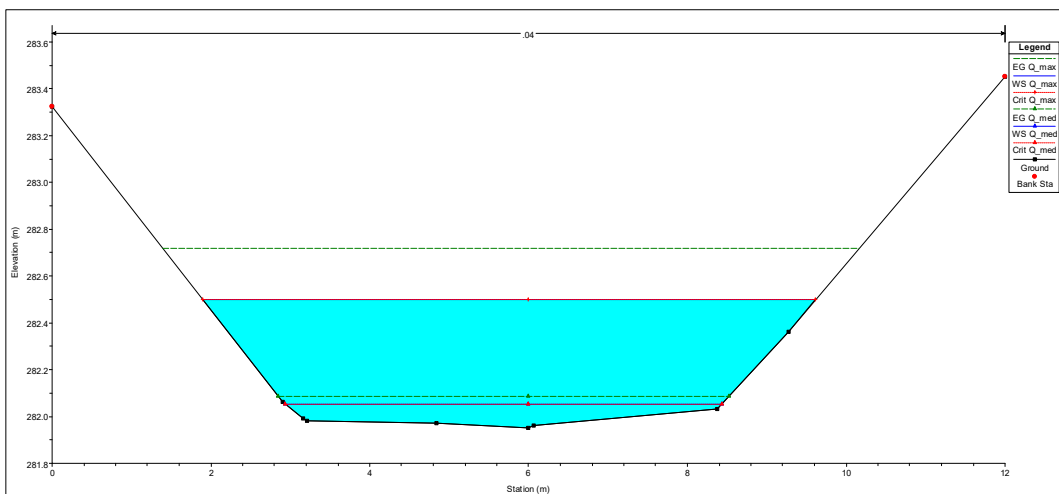
Abscisa 0+035 m



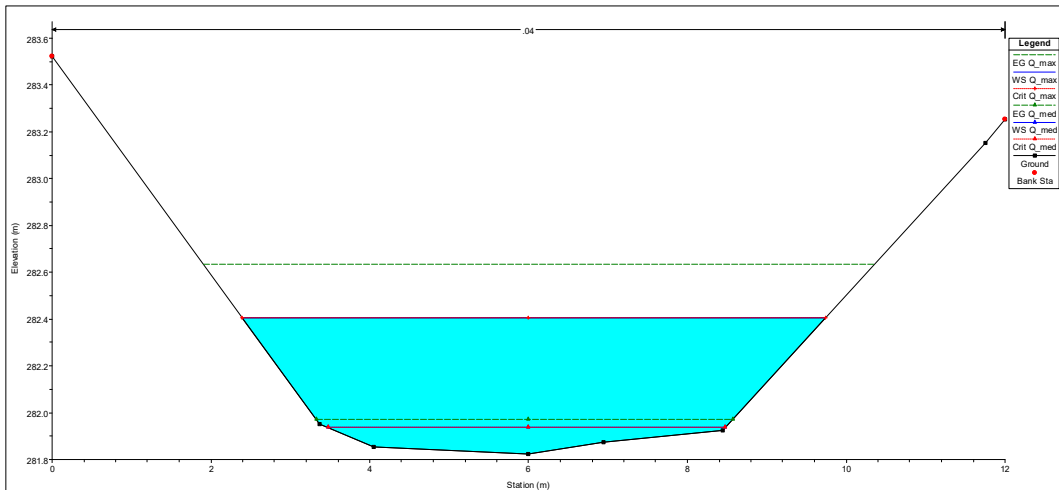
Abscisa 0+037.5 m



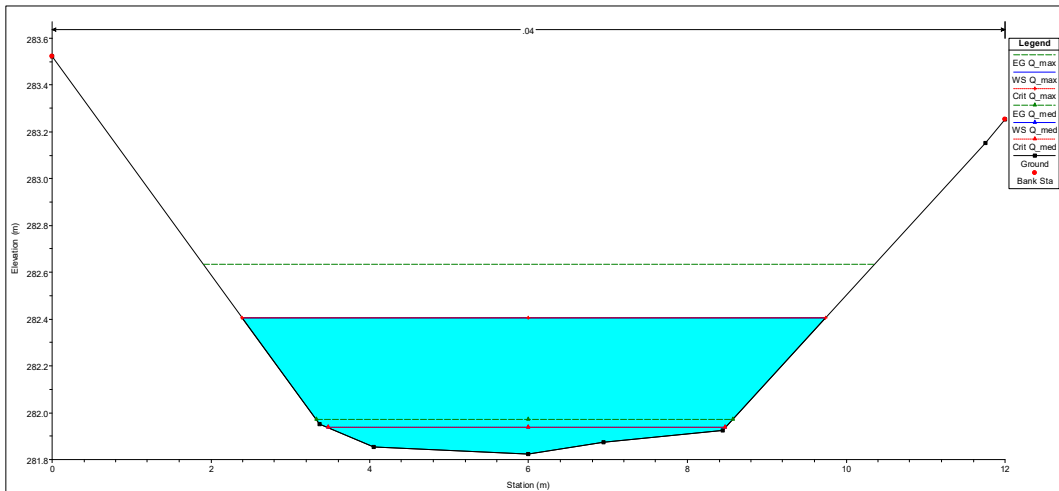
Abscisa 0+040 m



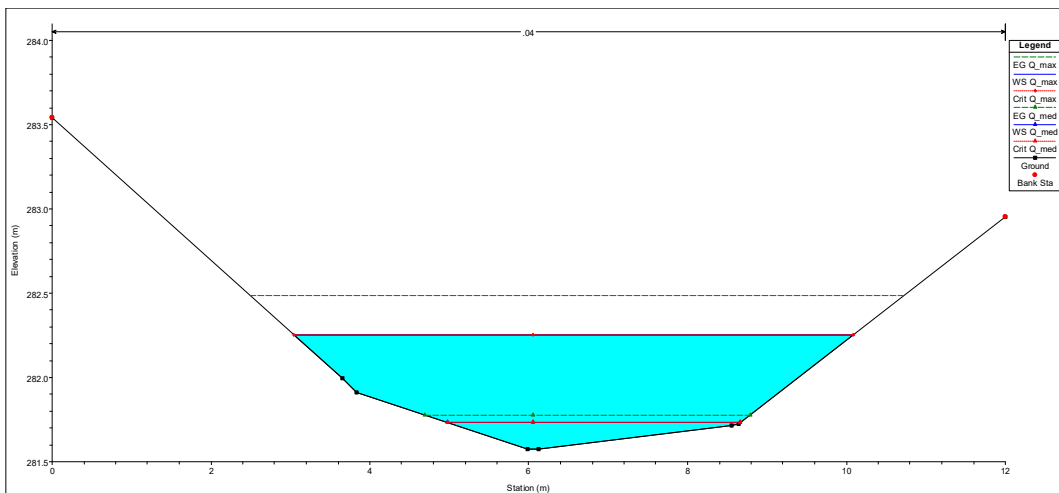
Abscisa 0+042.5 m



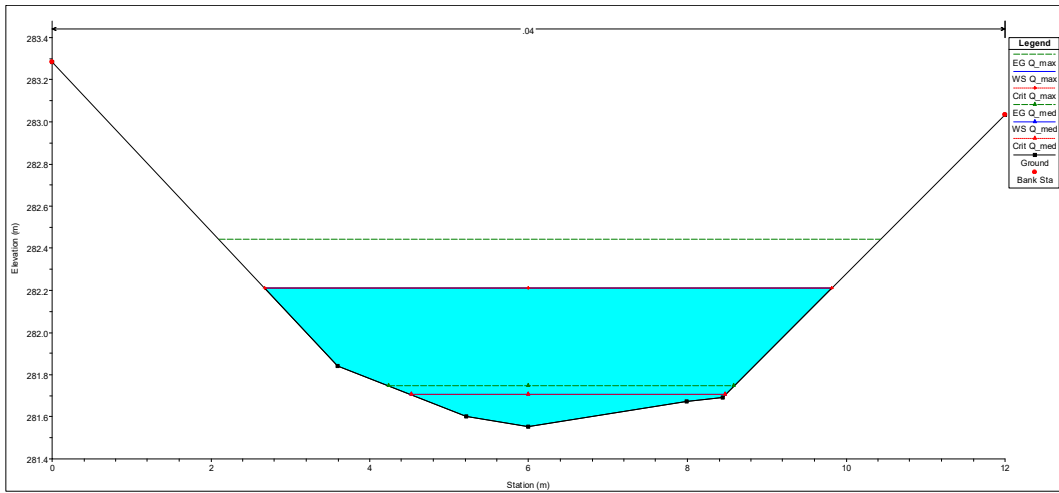
Abscisa 0+045 m



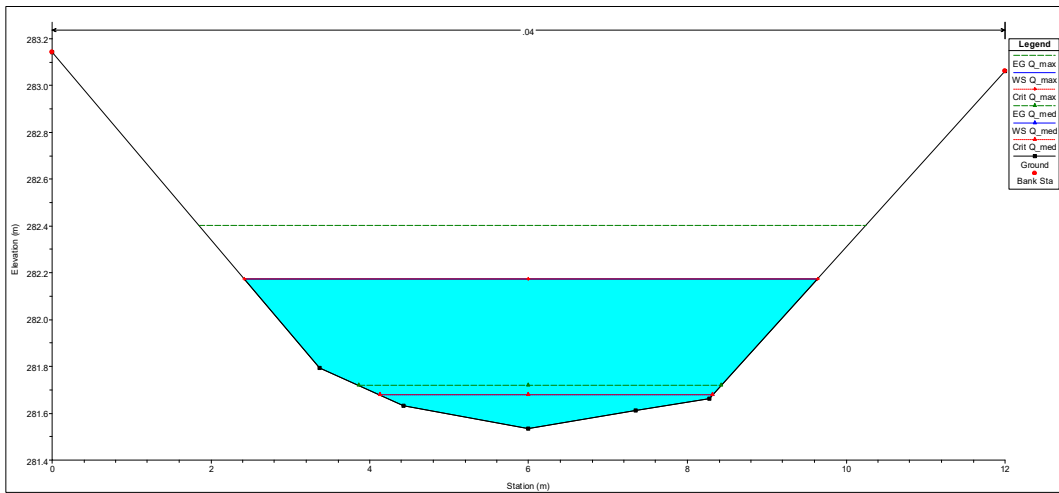
Abscisa 0+047.5 m



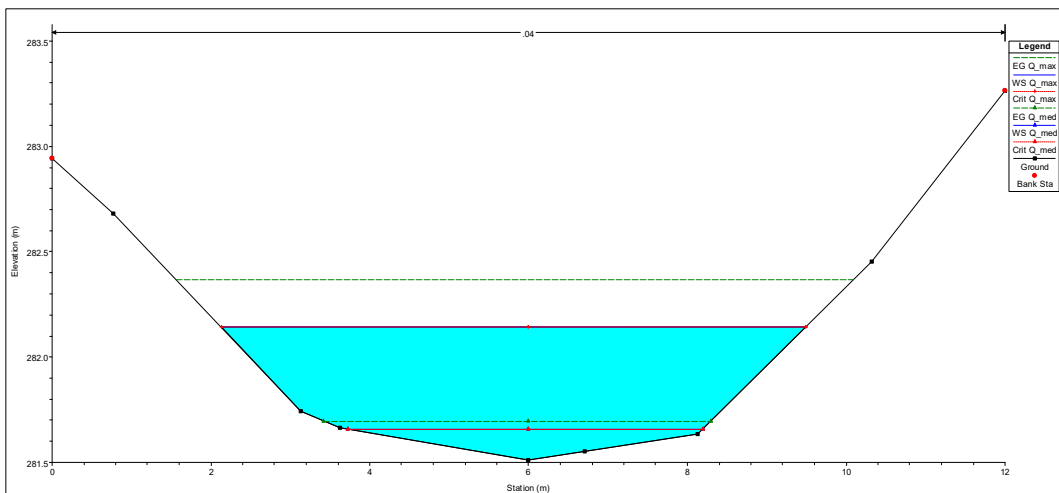
Abscisa 0+050 m



Abscisa 0+052.5 m



Abscisa 0+055 m



Abscisa 0+057.5 m

