

**REHABILITACIÓN CARRETERA SAN ANDRÉS-SANTA CRUZ-
DOMINICAL-CAISÁN-MONTELIRIO Y CIRCUNVALACIÓN**

CONTRATO No. AL-1-58-17



**YHONATAN FUENTES B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA No. 2011-006-119**

Yhonatan Fuentes B.
FIRMA

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

**ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO
QUEBRADA BARRILES**

Edición: 01
Fecha: 02/JUN/2021

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	ESTUDIOS PREVIOS	1
3	ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	1
3.1	Metodología.....	2
3.2	CAUDAL DE CÁLCULO PARA UNA CRECIDA MÁXIMA CORRESPONDIENTE AL PERIODO DE RETORNO T=100 AÑOS	7
4	ESTUDIO HIDRÁULICO DEL CAUCE	8
4.1	INTRODUCCIÓN.....	8
4.2	BASES DE CÁLCULO.....	8
4.3	TOPOGRAFÍA Y DISTRIBUCIÓN DE PERFILES.....	9
4.4	SIMULACIÓN OBSTÁCULOS.....	9
4.5	COEFICIENTES DE ROZAMIENTO ADOPTADOS.....	10
4.6	RESULTADOS DE CÁLCULO	13
4.6.1	<i>Datos de entrada del modelo</i>	<i>13</i>
4.6.2	<i>Recomendaciones sobre actuaciones en el cauce del Quebrada Barriles.....</i>	<i>16</i>
4.6.3	<i>Resultados</i>	<i>16</i>
4.7	LLANURA DE INUNDACIÓN	19
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21

Listado de Tablas

Tabla 1. Ecuaciones y distribución de frecuencia por Zonas _____	3
Tabla 2. Factores $Q_{\text{máx.}}/Q_{\text{prom.máx}}$ para distintos Tr. _____	4
Tabla 3. Valores de Manning _____	15
Tabla 4. Estaciones de bancos _____	15
Tabla 5. Condiciones de borde de flujo constante _____	16
Tabla 6. Determinación del NAME _____	19

Listado de Figuras

Figura 1. Quebrada Barriles estado actual _____	2
Figura 2. Cuenca de aportación Quebrada Barriles _____	3
Figura 3. Planta con Modelo de HEC-RAS _____	14
Figura 4. Análisis del flujo estable _____	17
Figura 5. Condiciones de análisis realizadas en el Modelo _____	17
Figura 6. Secciones transversales (BU y BD) del modelo para el balance interior de la estructura proyectada _____	18
Figura 7. Sección transversal del cauce y perfil de lámina de agua en la estructura proyectada Aguas Arriba (BU) _____	18
Figura 8. Sección transversal del cauce y perfil de lámina de agua en la estructura proyectada Aguas Abajo (BD) _____	19
Figura 9. Lámina de Agua condición Actual _____	20
Figura 10. Lámina de Agua condición con Puente _____	20

Listado de Anexos

APÉNDICE 1.	PLANO DE LOCALIZACIÓN REGIONAL
APÉNDICE 2.	PLANO DELIMITACION DE CUENCA
APÉNDICE 3.	PLANO SITUACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES
APÉNDICE 4.	PERFIL LONGITUDINAL

APÉNDICE 5.	PERFILES TRANSVERSALES
APÉNDICE 6.	MODELO TRIDIMENSIONAL
APÉNDICE 7.	LISTADO DE RESULTADOS DEL MODELO

1 INTRODUCCIÓN

El objeto del presente documento es evaluar el comportamiento y las condiciones hidráulicas de la quebrada Barriles al introducir una estructura de un vano de longitud total de 12m.

Este estudio ayudará a recomendar las dimensiones que deberán ser tomadas en cuenta en el diseño de la nueva estructura.

Para ello se ha elaborado un Estudio Hidrológico e Hidráulico de la cuenca y del cauce que intercepta la vialidad, para confirmar si las dimensiones de dicho cauce y del puente cumplen con los parámetros requeridos por el MOP en el diseño de este tipo de estructuras.

A partir de la información obtenida del Estudio Hidrológico y del Análisis Hidráulico se ha determinado la elevación mínima que deberán tener las vigas de la nueva estructura para cumplir con el resguardo exigido sobre el Nivel de Agua Máxima Extraordinario.

Por último, el Estudio incluye las mejoras recomendadas sobre el cauce existente con objeto de atender a los requisitos mencionados, entre ellos la limpieza del cauce 50 m aguas arriba y aguas abajo (100 m total).

2 ESTUDIOS PREVIOS

Se ha realizado el estudio hidrológico, en primer lugar, estudiando el comportamiento hidráulico del cauce modelando la estructura proyectada de 12 m de longitud. Como se puede apreciar en apartados posteriores, la Quebrada Barriles al ser interceptada por una estructura de 12m no afecta en absoluto la extensión del cauce natural manteniendo el mismo nivel de lámina de agua que la avenida de 100 años sin estructura. Este diseño no afecta ninguna edificación ya que las mismas se encuentran fuera de las llanuras de inundación del cauce manteniendo una cota superior al NAME del río para el periodo de retorno de 100 años.

3 ESTUDIO HIDROLÓGICO

El estudio hidrológico del Quebrada Barriles se encuentra condicionado principalmente:

1. Ubicación en una zona topográficamente ondulada.
2. Longitud de diseño de la estructura.

A continuación, se adjunta la imagen del cauce con nivel de aguas normales (**Figura 1**)

Figura 1. Quebrada Barriles estado actual



En este estudio se recogen los cálculos de caudal e hidráulicos para el Quebrada Barriles.

3.1 METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio, en primer lugar, se determina el área de drenaje. En la imagen adjunta puede verse la cuenca hidrológica (Figura 2).

Área de la Cuenca = 1,050 Has
 = 10.502 km²
 Longitud del Cauce = 10.273km
 Caudal Q100 = 91.182 m³/seg

- Se determina el área de drenaje de la cuenca del sitio de interés en Km².
- De acuerdo con la localización geográfica del recurso a analizar, se determina la zona a la que pertenece según la Región Hidrológicamente Homogénea (ETESA).
- Se calcula el caudal promedio máximo utilizando una de las cinco ecuaciones elaboradas por ETESA para este fin, en función de la Zona establecida.

ESTUDIO HIDROLÓGICO – HIDRÁULICO QUEBRADA BARRILES

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia
1	1	$Q_{\text{máx}} = 34A^{0.59}$	Tabla # 1
2	1	$Q_{\text{máx}} = 34A^{0.59}$	Tabla # 3
3	2	$Q_{\text{máx}} = 25A^{0.59}$	Tabla # 1
4	2	$Q_{\text{máx}} = 25A^{0.59}$	Tabla # 4
5	3	$Q_{\text{máx}} = 14A^{0.59}$	Tabla # 1
6	3	$Q_{\text{máx}} = 14A^{0.59}$	Tabla # 2
7	4	$Q_{\text{máx}} = 9A^{0.59}$	Tabla # 3
8	5	$Q_{\text{máx}} = 4.5A^{0.59}$	Tabla # 3
9	2	$Q_{\text{máx}} = 25A^{0.59}$	Tabla # 3

Fuente: Cuadro 7, "Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006"

- Se calcula el Qmax instantáneo para el periodo de retorno requerido, multiplicando el caudal antes obtenido por uno de los siguientes factores en función del sitio de estudio.

Tabla 2. Factores $Q_{\text{máx.}}/Q_{\text{prom.máx}}$ para distintos Tr.

<i>Factores $Q_{\text{máx.}}/Q_{\text{prom.máx}}$ para distintos Tr.</i>				
Tr, años	Tabla # 1	Tabla # 2	Tabla # 3	Tabla # 4
1.005	0.28	0.29	0.3	0.34
1.05	0.43	0.44	0.45	0.49
1.25	0.62	0.63	0.64	0.67
2	0.92	0.93	0.92	0.93
5	1.36	1.35	1.32	1.30
10	1.66	1.64	1.6	1.55
20	1.96	1.94	1.88	1.78
50	2.37	2.32	2.24	2.10
100	2.68	2.64	2.53	2.33
1,000	3.81	3.71	3.53	3.14
10,000	5.05	5.48	4.6	4.00

Fuente: Cuadro 6, "Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006"

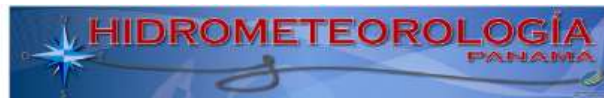
Para la zona de estudio, Zona 7, la tabla de distribución de frecuencias que relaciona los caudales máximo y promedio para distintos periodos de retorno es la Tabla # 3.

Para el cálculo del caudal promedio se aplica la Ecuación 4, dada por la siguiente expresión:

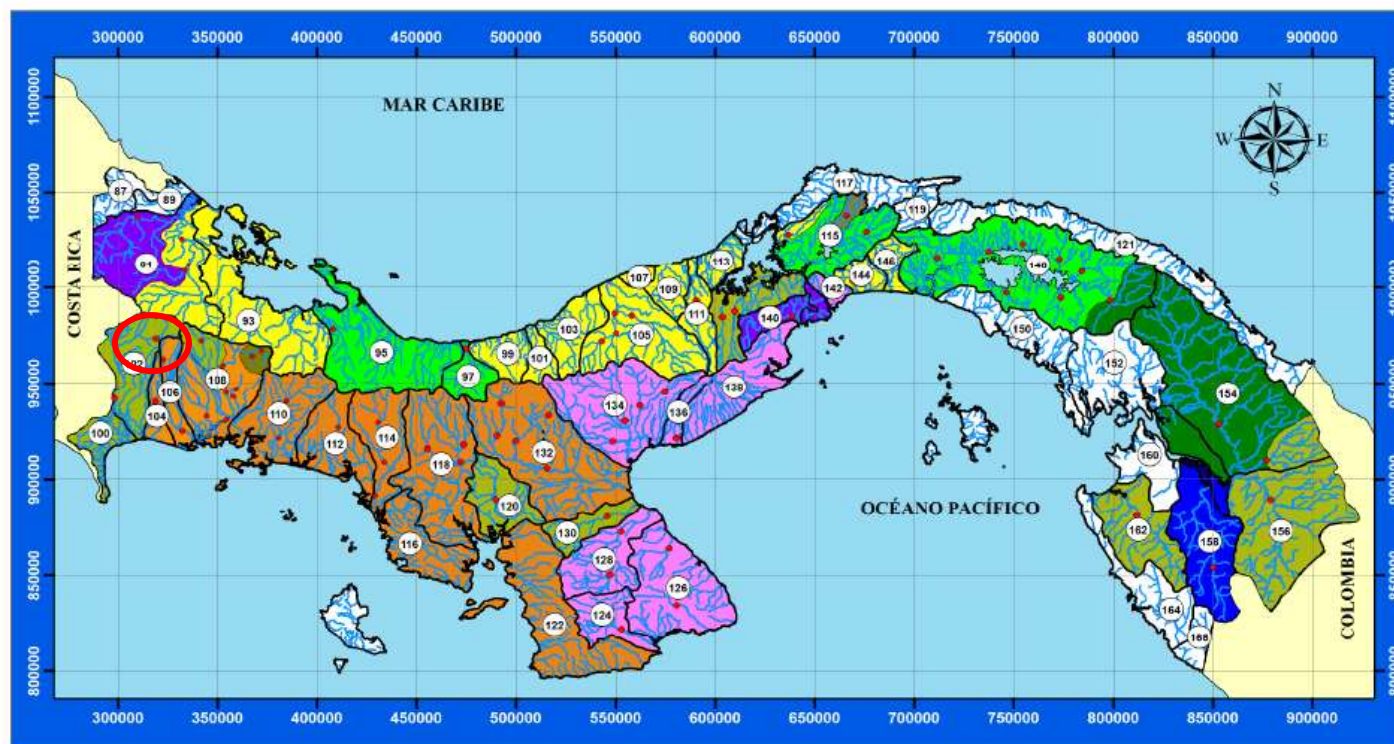
$$Q = 9x A^{0.59}$$

Siendo A el área de drenaje hasta el punto de control, en km².

Se adjunta a continuación el plano elaborado por ETESA para la determinación de las áreas hidrológicamente homogéneas, en el que se determina que el área del Proyecto queda incluida dentro de la Zona 7. La Quebrada Barriles se ubica en la cuenca 102, Río Chiriquí Viejo.



República de Panamá
Regiones Hidrológicamente Homogéneas



Fuente: Figura 73, "Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Período 1971-2006"



El período de retorno a utilizar depende del tipo de estructura, Para efectos de este estudio se utilizó 1:100 años al se la estructura analizada un puente.

Una vez definida la escorrentía se procede a verificar su capacidad teniendo en cuenta las pendientes, tipo de superficie, recorrido de las aguas, etc.

Tras analizar la sección del cauce a la altura de las estructuras, se puede hacer el estudio asimilando el cauce un canal trapezoidal.

La obtención de la elevación de la lámina de agua realiza mediante la ecuación de Manning:

$$Q = S \times v = S \times \frac{1}{n} \times R_H^{2/3} \times I^{1/2}$$

donde:

S: Sección (m²)

V: velocidad media del agua (m/s)

n: Coeficiente de Manning

R_h: Radio hidráulico (m)

I: Pendiente de la línea de agua (m/m)

En la siguiente tabla se pueden apreciar los valores de n de Manning para cauces naturales.

a) Canales sin vegetación	
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0,016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0,018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0,020
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastrillados	0,0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas irregulares o vegetación	0,025
Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados, o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro	0,030
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0,030
(b) Canales con vegetación	
Gramíneas cortas (50-150 mm)	0,030-0,060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0,030-0,085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0,040-0,150
(c) Canales de corriente natural	
Limpios y rectos	0,025-0,030
Sinuosos, con embalses y bajos	0,033-0,040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0,075-0,150

El final de todo esto está enfocado en asegurar que los sistemas existentes o cauces naturales tengan capacidad hidráulica suficiente que garantice el buen funcionamiento de los mismo, de lo contrario deberán hacerse las modificaciones necesarias para conseguir la capacidad necesaria.

3.2 CAUDAL DE CÁLCULO PARA UNA CRECIDA MÁXIMA CORRESPONDIENTE AL PERIODO DE RETORNO T=100 AÑOS

Datos de partida

A continuación, se adjuntan los datos de partida para el cálculo del caudal de avenida empleando el Método de Lavalin:

Datos de partida.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Quebrada Barriles

Periodo de Retorno 1 en 100años

Área de Drenaje	10.502 Km ²
Q_{prom_max}	36.040 m ³ /seg

Fórmulas utilizadas

$$Q_{prom_max} = 9 * A^{0.59}$$

Ecuación= 4

Zona = 7

$$Factor = \frac{Q_{max}}{Q_{prom_max}}$$

Tabla = 3

para Tr = 10 años Factor = 1.6

para Tr = 100 años Factor = 2.53

$$Q_{max\ 10} = 57.665 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_{max\ 100} = 91.182 \text{ m}^3/\text{seg}$$

4 ESTUDIO HIDRÁULICO DEL CAUCE

4.1 INTRODUCCIÓN

El presente Estudio abarca los siguientes aspectos medulares:

- I. Comprobación de la capacidad hidráulica de la estructura a proyectar.
- II. Recomendaciones de adecuación del cauce en el caso de que sea comprobada falta de capacidad hidráulica de la estructura.
- III. Definición de los parámetros y dimensiones para el diseño y la construcción de la nueva estructura.

El Estudio se basa en la aplicación de un modelo de simulación en el que los cálculos se han realizado en régimen estacionario para el caudal de avenida, obtenido en el Estudio Hidrológico previo. A partir de ese punto, se determina la altura de la lámina de agua en el puente proyectado. Dicha determinación se realiza mediante la simulación hidráulica con la versión 4.1.0 del programa informático HEC-RAS del Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers.

4.2 BASES DE CÁLCULO

Como se ha mencionado en la introducción, se ha empleado la aplicación del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos HEC-RAS 5.0.3 (River Analysis System) para la comprobación del modelo hidráulico.

Dicho modelo resuelve la ecuación de la energía de modo iterativo en cada una de las secciones propuestas e interpola los resultados a lo largo de todo el perfil suministrado. Introduce la energía expresándola en términos unidimensionales y suponiendo unas pérdidas de carga que se contabilizan según la ecuación de Manning. Además de esto considera una serie de hipótesis:

- Los valores de las variables no dependen del tiempo, es decir, considera el flujo estacionario.
- Se supone una distribución hidrostática de la presión. Esto se traduce en que la curvatura de las líneas de corriente es despreciable, el flujo es gradualmente variado.
- La altura de la energía es igual para todos los puntos de cada sección. Se considera el flujo unidimensional con lo que se distribuye horizontalmente dicho flujo entre el cauce y la llanura de inundación por ambas márgenes.
- La pendiente del cauce ha de ser menor del 10% para poder considerar que la altura de presión se mida verticalmente y coincida con la altura de la lámina de agua.
- Entre dos secciones transversales la pendiente de la línea de energía es constante.
- Se considera un lecho fijo para el cauce.

El programa permite contemplar las diferencias existentes entre cauce y llanura de inundación (ambas márgenes), no sólo en cuanto a rugosidades o coeficientes de rozamiento sino también en cuanto a distribución horizontal de las velocidades.

Como se ha mencionado anteriormente el cálculo se realiza a través de la resolución, de manera iterativa de la ecuación de la energía. Para la estimación de la rugosidad del cauce, que causará pérdidas por rozamiento, se usa la conocida fórmula de Manning.

El análisis hidráulico contempla la determinación del nivel máximo que alcanzaría la crecida de diseño extraordinaria, con periodo de recurrencia de 100 años para una hipótesis de flujo.

- Hipótesis 1: Sección hidráulica en la situación proyectada, puente a proyectar.

4.3 TOPOGRAFÍA Y DISTRIBUCIÓN DE PERFILES

Para la realización del presente Estudio Hidráulico y posterior introducción de datos en la aplicación HEC-RAS, se ha utilizado cartografía de la zona del cauce que se va a estudiar. Dada la importancia de la representación topográfica para que el modelo de simulación se ajuste fielmente a la realidad y se pronostique un suceso futuro, se ha realizado un levantamiento topográfico del terreno con la amplitud y nivel de detalle requerido para este tipo de estudios. El levantamiento topográfico realizado se encuentra detallado en el Documento de Planos.

Tomando como base dicha cartografía, se ha definido un eje longitudinal sobre el cauce, representativo de la dirección principal de la corriente, y sobre dicho eje se han dispuesto de forma perpendicular secciones transversales cada 20 m con una anchura suficiente a cada lado del curso fluvial y hasta una distancia mínima de 100 m aguas arriba y aguas debajo de la nueva estructura a proyectar.

Para dichas secciones transversales se han estudiado las secciones hidráulicas, actuales y proyectadas, bajo la hipótesis de flujo descrita anteriormente. Las secciones hidráulicas se han calculado de acuerdo con los parámetros que se indicarán y se han definido como las áreas comprendidas entre el nivel de agua y el fondo del cauce, incluyendo los taludes.

En el Apéndice 4 se presentan los perfiles transversales del cauce y su situación en planta. En dicho Anexo también se recogen las secciones obtenidas en campo en donde se sitúa la estructura singular.

4.4 SIMULACIÓN OBSTÁCULOS

Los obstáculos que actualmente aparecen y que se considerarán en la primera hipótesis de cálculo son los estribos de la nueva estructura.

El programa HEC-RAS considera las pérdidas de carga o energía ocasionadas por el encuentro de obstáculos en el camino del flujo. Esta simulación se efectúa en tres etapas:

- Pérdidas de energía antes de pasar el obstáculo, inmediatamente aguas arriba, que es en donde el flujo experimenta una contracción para poder atravesarlo.
- Pérdidas de energía debidas al obstáculo.
- Pérdidas de energía una vez pasado el obstáculo, inmediatamente aguas abajo, que es en donde el flujo se expande.

Cuando se produce el choque de las rebanadas que conforman el flujo de agua, bien con otras que circulen en otra dirección o bien con obstáculos, se produce un cambio en la velocidad del flujo y esa

energía, que justo antes del choque es cinética, se transforma en potencial, con lo que se produce una subida de la lámina de agua. Este fenómeno es la base del cálculo y la valoración de los cambios en el flujo. El programa tiene en cuenta los tres factores principales que la constricción provoca al flujo:

- La geometría de la sección del cauce.
- La capacidad de descarga.
- El estado del flujo

Para el estudio del modelo con HEC-RAS, el programa requiere como mínimo la introducción de cuatro perfiles para cada estructura, además de las establecidas según equidistancias.

- Un primer perfil aguas abajo de la estructura, lo suficientemente alejado como para que el flujo no se afecte.
- Un segundo perfil situado inmediatamente aguas abajo de la estructura en donde si se contempla la afección de los obstáculos al flujo.
- Un tercer perfil situado inmediatamente aguas arriba de la estructura. La distancia entre el perfil y la estructura se toma pequeña para que quede reflejada la aceleración brusca y la contracción del flujo justo en la entrada del paso.
- Un cuarto perfil que funciona en el mismo sentido que el primero donde las líneas de flujo se pueden considerar paralelas y la capacidad útil del perfil es completa.

Para conocer la geometría interna en la estructura, el programa utiliza los perfiles segundo y tercero e interpreta por interpolación la disposición de la estructura, incluso de las áreas que no contribuyen al flujo, como pueden ser estribos de los puentes, además del propio tablero, en el caso de que el flujo superara el gálibo libre.

Los elementos que se han considerado en este caso para modelizar la estructura proyectada han sido:

- Tableros: definidos en las secciones correspondientes, siempre de izquierda a derecha, por:
 - sus distancias al eje del cauce
 - cota superior, aguas arriba y aguas abajo
 - cota inferior, aguas arriba y aguas abajo
- Estribos: para terminar de definir las áreas que no computan a efectos de flujo y que completan el estrechamiento que se produce al paso del cauce a través de un puente.

4.5 COEFICIENTES DE ROZAMIENTO ADOPTADOS

Para el cálculo de las pérdidas por rozamiento se ha empleado la fórmula de Manning y su correspondiente coeficiente de rugosidad, como se ha mencionado al principio de este estudio. Hay que recordar que el programa permite definir diferentes rugosidades según se trate del cauce propiamente dicho, o bien, se produzca la inundación de márgenes.

La ecuación de Manning es resultado del proceso de un ajuste de curvas, y por tanto es completamente empírica en su naturaleza. Debido a su simplicidad de forma, y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas, la fórmula Manning es la más usada de todas las fórmulas de flujo uniforme para cálculos de escurrimiento en canal abierto.

La ecuación viene dada y expresada en unidades métricas como:

$$V = (1/n) * R^{2/3} * S^{1/2}$$

siendo n el coeficiente de rugosidad Manning.

En la aplicación de la fórmula de Manning, la mayor dificultad reside en la determinación del coeficiente de rugosidad n, pues no hay un método exacto de seleccionar dicho valor. Para establecer el coeficiente de rugosidad n se han evaluado tablas extraídas de manuales básicos de hidráulica, y una serie de fotografías del cauce y de su llanura de inundación, tras inspección visual in situ, en campo.

Este criterio está avalado por varios autores. Según **Vente Chow** en su obra "*Hidráulica en canales abiertos*", algunos de los métodos para la determinación del coeficiente n, pueden desarrollarse con este enfoque, consultando tablas de valores típicos de n para varios tipos de canales, o examinando y comparando el canal en estudio con la apariencia de ciertos canales típicos cuyos coeficientes de rugosidad sean conocidos.

El valor del coeficiente de Manning no depende sólo de la rugosidad del cauce, sino de múltiples factores como la vegetación, la irregularidad y alineamiento del canal, los niveles de erosión y sedimentación, las obstrucciones presentes en el cauce, el nivel del río y su caudal, o la carga del lecho.

Dentro de las actividades que se desarrollarán la ejecución de las nuevas estructuras, se encuentra la limpieza y conformación de cauces, se realizará en las áreas próximas a éstos, al menos en 30 metros aguas arriba y abajo de las secciones en donde se sitúan. Ello implica la remoción de los desechos arrastrados por las corrientes de los ríos o quebradas, tales como restos de árboles, sedimentos, herbazales y todo tipo de piedras que reduzcan la sección hidráulica del cauce. Igualmente, deberán removerse aquellos árboles nacidos dentro de los cauces, o próximos al sistema estructural de estribos y pilas de los puentes.

Teniendo en cuenta que la vegetación acuática es uno de los factores de rugosidad dominantes, así como los residuos leñosos y otro tipo de obstrucciones, se puede concluir que las actividades de limpieza, conformación y/o posible rectificación de los cauces reducirán notablemente la rugosidad total de los tramos objeto de este Estudio.

Otro factor a considerar es que, si bien la vegetación ribereña aumenta la rugosidad total durante las inundaciones, este efecto es significativo en canales pequeños y, en una escala más amplia, en ríos confinados en valles estrechos, en los que aumenta la resistencia del flujo, al no poder migrar lateralmente. En cambio, en cauces anchos el efecto es menos relevante. En los cauces que se van a modelizar, el ancho de la superficie libre de agua en avenidas es superior en muchas secciones a los 30 metros, por lo que el valor de n es menor que en otros ríos con igual descripción, pero en donde existen bordes que ofrecen una mayor resistencia.

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas, los valores finalmente adoptados para el coeficiente de Manning, han sido tomados de la siguiente fuente: **S.M. Woodward and C. J Posey "Hydraulics of steady flow in open channels"**.

Coefficientes de rugosidad	Coefficiente de Manning
Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200

Fuente: S.M. Woodward and C.J. Posey "Hydraulics of steady flow in open channels".

Los coeficientes establecidos para la quebrada en estudio se encuentran dentro de los intervalos marcados, en función de las características de los tramos considerados. Se ha tomado el valor de 0.030 como intermedio entre 0.027 y 0.033, intervalo de referencia para cauce limpio, uniforme y con altura de lámina de agua suficiente, y el valor de 0.040 como máximo entre los valores 0.033 y 0.040, intervalo correspondiente a corrientes de similares características, pero con más vegetación.

Para las llanuras de inundación, considerando el efecto retardante de la vegetación sobre el flujo y un moderado efecto por posibles obstrucciones sobre el cauce, se establece un coeficiente igual a 0.063.

SECCIÓN	COEF. DE MANNING
Cauce ordinario en tramo limpio, conformado y/o rectificado	0.030
Cauce ordinario en tramo sin actuaciones	0.040
Llanuras de inundación	0.063


4.6 RESULTADOS DE CÁLCULO


Los resultados numéricos obtenidos para la hipótesis de flujo estudiada, así como las secciones transversales y perfiles longitudinales para el cauce, se recogen en los Anexos, al final de este documento.

De dichos datos de salida, se extraen las siguientes conclusiones:

- Verificación de la estructura capacidad hidráulica de las secciones
- Recomendaciones sobre actuaciones de rectificación en el cauce
- Datos para el dimensionamiento del puente en la nueva vialidad

4.6.1 Datos de entrada del modelo

 Geometría: La geometría empleada consta de 23 perfiles transversales del cauce y de las riberas de inundación del cauce. La longitud total estudiada es de 220 metros.

 Caudal: Se evalúa el efecto producido por el caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años, obtenido en el Estudio Hidrológico previo.

$$Q \text{ máx. (1:100)} = 91.182 \text{ (m}^3\text{/s)}$$


 Coeficientes de rugosidad: En la tabla se recogen los coeficientes de Manning empleados: n1 y n3 corresponden a llanuras de inundación y n2 al cauce propiamente dicho.

Figura 3. Planta con Modelo de HEC-RAS



Tabla 3. Valores de Manning

	River Station	Frctn (n/k)	n#1	n#2	n#3
1	209	n	0.063	0.03	0.063
2	199	n	0.063	0.03	0.063
3	189	n	0.063	0.03	0.063
4	179	n	0.063	0.03	0.063
5	169	n	0.063	0.03	0.063
6	159	n	0.063	0.03	0.063
7	149	n	0.063	0.03	0.063
8	139	n	0.063	0.03	0.063
9	129	n	0.063	0.03	0.063
10	121	n	0.063	0.03	0.063
11	116	n	0.063	0.03	0.063
12	108.6	PUENTE			
13	99	n	0.063	0.03	0.063
14	94	n	0.063	0.03	0.063
15	88	n	0.063	0.03	0.063
16	78	n	0.063	0.03	0.063
17	68	n	0.063	0.03	0.063
18	58	n	0.063	0.03	0.063
19	48	n	0.063	0.03	0.063
20	38	n	0.063	0.03	0.063
21	28	n	0.063	0.03	0.063
22	18	n	0.063	0.03	0.063
23	9	n	0.063	0.03	0.063
24	0	n	0.063	0.03	0.063

✚ Acotación del canal principal: En la siguiente tabla se reflejan los puntos que definen el canal principal, por sus distancias al eje. El resto de la sección se ha considerado llanura de inundación.

Tabla 4. Estaciones de bancos

	River Station	Left Bank Sta	Right Bank Sta
1	209	28.77	41.925
2	199	29.37	43.937
3	189	29.77	42.189
4	179	22.893	40.268
5	169	23.204	44.942
6	159	28.511	51.432
7	149	25.448	45.045
8	139	26.484	40.56
9	129	32.184	53.71
10	121	32.79	53.22

11	116	35.19	57.268
12	108.6	PUENTE	
13	99	36.55	55.241
14	94	34.95	63.7
15	88	53.01	84.623
16	78	53.01	76.25
17	68	41.855	65.083
18	58	41.003	56.34
19	48	36.315	49.974
20	38	35.221	48.72
21	28	20.717	47.625
22	18	24.977	40.805
23	9	20.931	33.579
24	0	8.321	26.097


 **Condiciones de contorno:** Se definen las condiciones iniciales en ambos extremos del tramo de estudio, es decir aguas arriba y aguas abajo. Se realiza el cálculo en régimen mixto (por variaciones de caudal), por lo que es necesario definir ambas, al comienzo y al final. Para “Profundidad Normal”, el modelo requiere conocer los datos de pendiente de la línea de energía o de la línea de agua. Para pendientes pequeñas, se asimilan a las pendientes del fondo del cauce.

Tabla 5. Condiciones de borde de flujo constante

CONDICIONES DE BORDE DE FLUJO CONSTANTE				
River	Reach	Perfiles	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Quebrada	Barriles	Todos	Profundidad Crítica	Normal Depth $S = 0.022$

4.6.2 Recomendaciones sobre actuaciones en el cauce del Quebrada Barriles

Se comprueba que la capacidad hidráulica suficiente del puente sobre el Quebrada Barriles. Se van a llevar a cabo actuaciones conformación y de limpieza exigidas por pliego, 50 m aguas arriba y abajo.

Para la simulación de la avenida extraordinaria en la situación de proyecto se van a considerar condiciones de rugosidad asimiladas a cauce limpio y sin obstrucciones para el tramo correspondiente a las secciones en las que se inserta la nueva estructura.

4.6.3 Resultados

Figura 4. Análisis del flujo estable

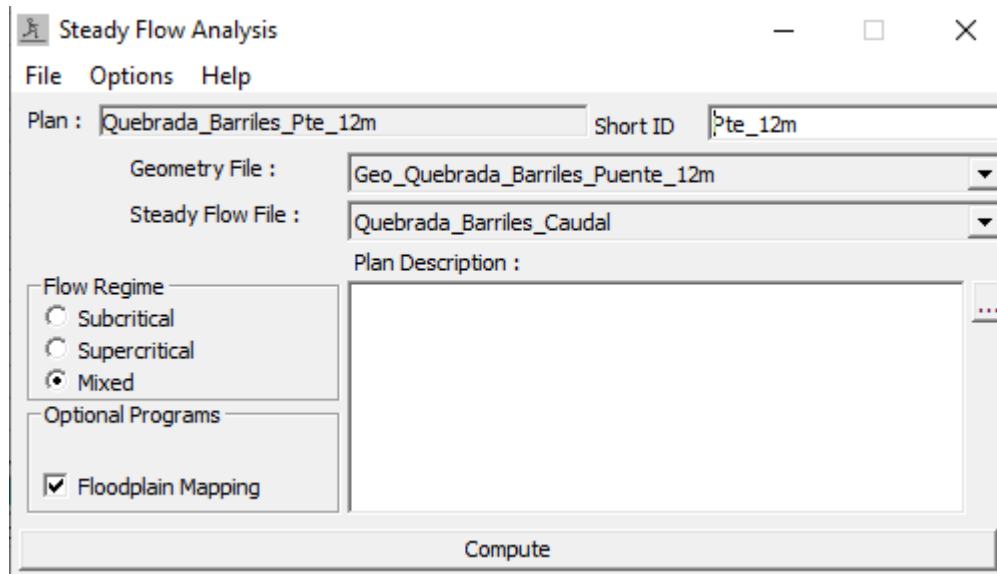
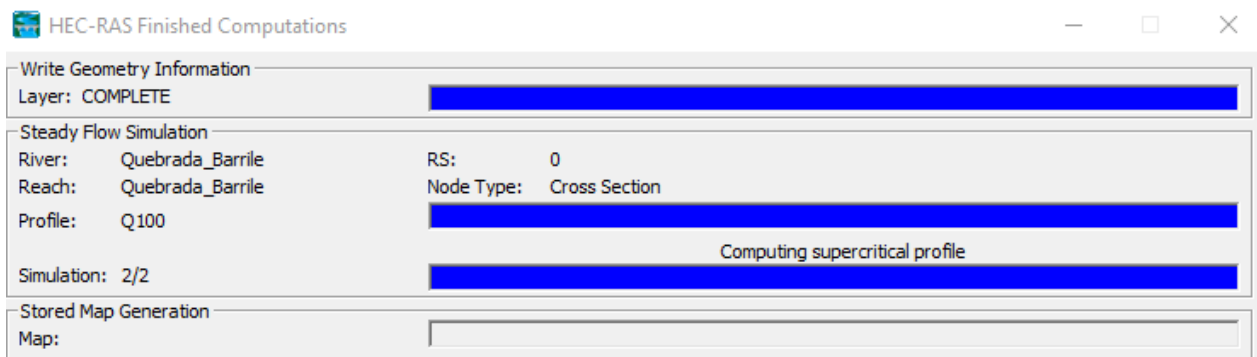


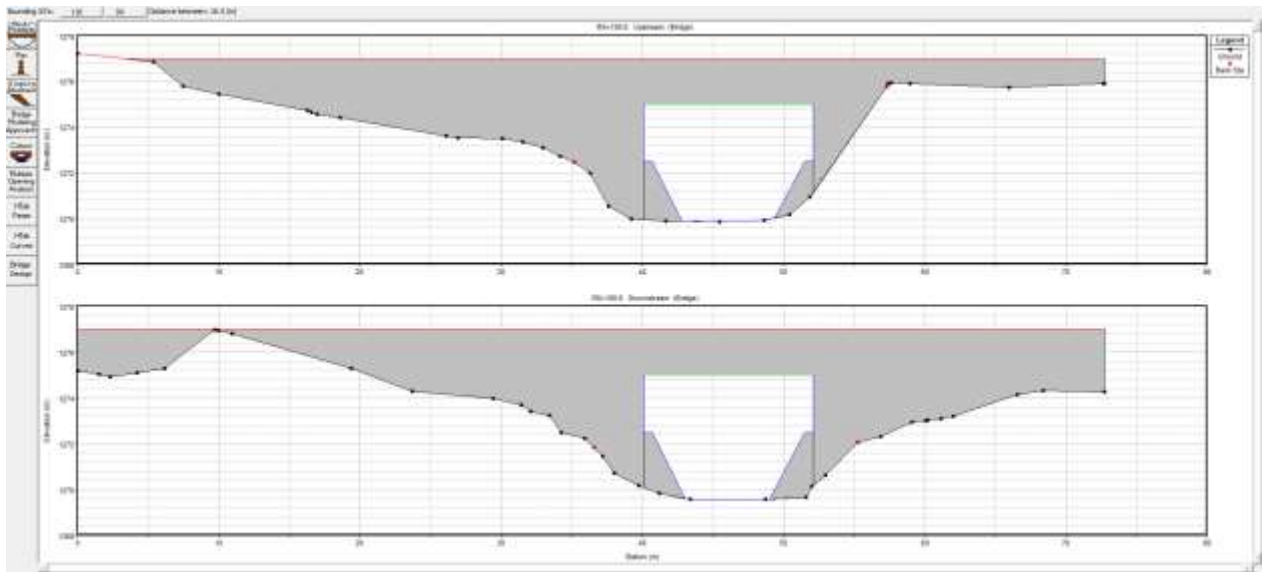
Figura 5. Condiciones de análisis realizadas en el Modelo



Manteniendo las mismas condiciones geométricas, de contorno y de flujo descritas en la hipótesis, se inserta la nueva estructura esta sección se ubica en la sección BR 108.6.

Entre las secciones 99 y 116, el modelo incorpora la geometría. El programa genera las dos secciones adjuntas a continuación, aguas arriba y aguas abajo, para realizar el balance interior de la misma.

Figura 6. Secciones transversales (BU y BD) del modelo para el balance interior de la estructura proyectada



Se propone la construcción de un puente vehicular. El puente tiene una longitud de 12 m sobre el cauce permanente de la quebrada en su nivel de aguas normales con un **ancho libre aproximado de 12 m**, en función de las longitudes exactas de las vigas y de los espesores finales de los elementos verticales (estribos).

De acuerdo con los resultados de salida del modelo HEC-RAS, el nivel de agua estimado para la avenida con un periodo de recurrencia de 1:100 años para la situación de proyecto, es de **1272.17 m** para la sección con la lámina de agua más alta.

Figura 7. Sección transversal del cauce y perfil de lámina de agua en la estructura proyectada Aguas Arriba (BU)

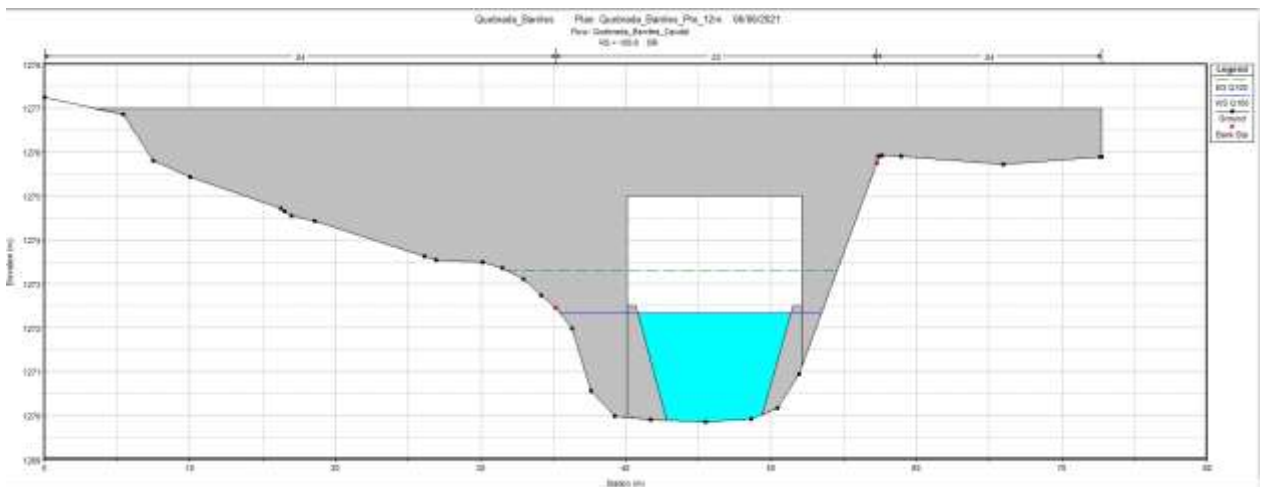


Figura 8. Sección transversal del cauce y perfil de lámina de agua en la estructura proyectada Aguas Abajo (BD)

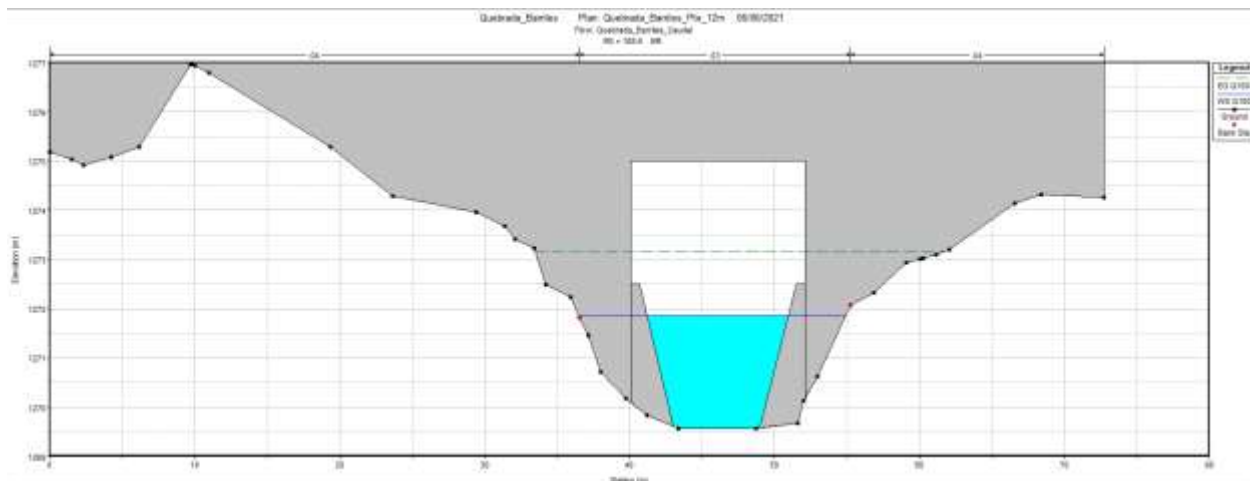


Tabla 6. Determinación del NAME

Puente	Período de recurrencia	NAME en la nueva estructura (msnm)	Cota mínima inferior de tablero para diseño en cumplimiento del resguardo > 1.80 m (msnm)
PROYECTADO	1:100	1272.17	$1272.17 + 1.80 = 1273.97$

La elevación mínima que deberá tener el nivel inferior de las vigas del puente proyectado, (1.80 m sobre el Nivel de Agua Máxima Extraordinario; NAME), para cumplir la condición de resguardo, será de **1273.97 m**.

4.7 LLANURA DE INUNDACIÓN

La estructura se ubica en una zona topográficamente ondulada. La lámina de inundación que se presenta con el puente es la misma que la lámina proyectada sin estructura.

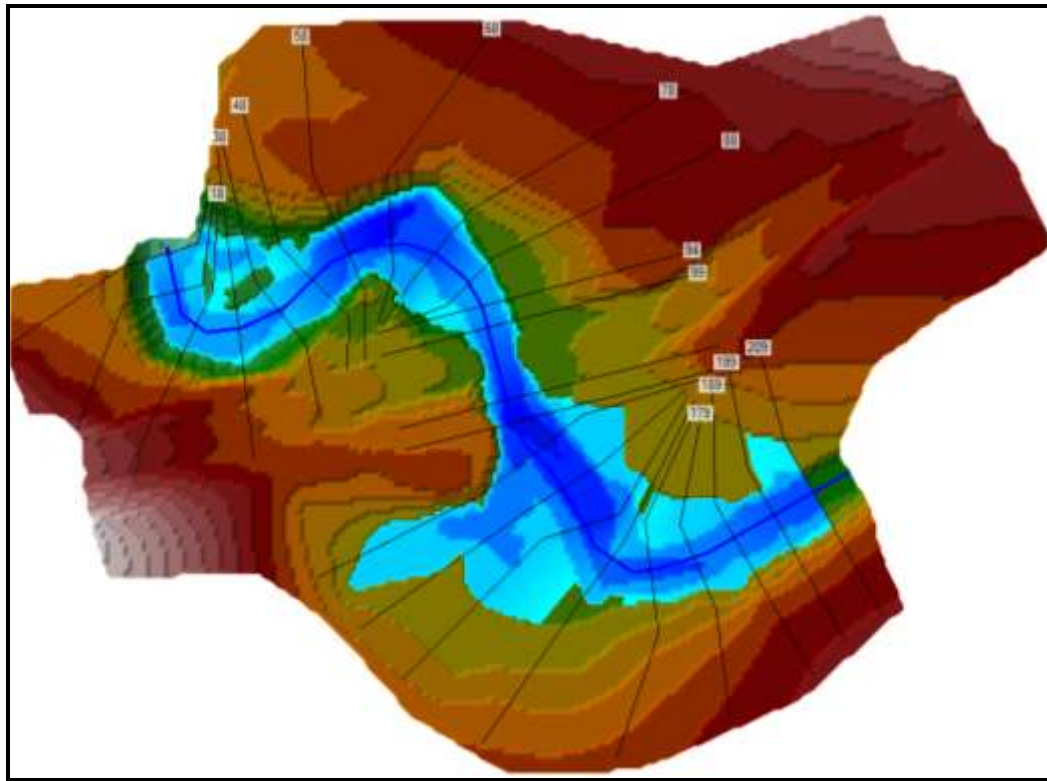


Figura 9. Lámina de Agua condición Actual

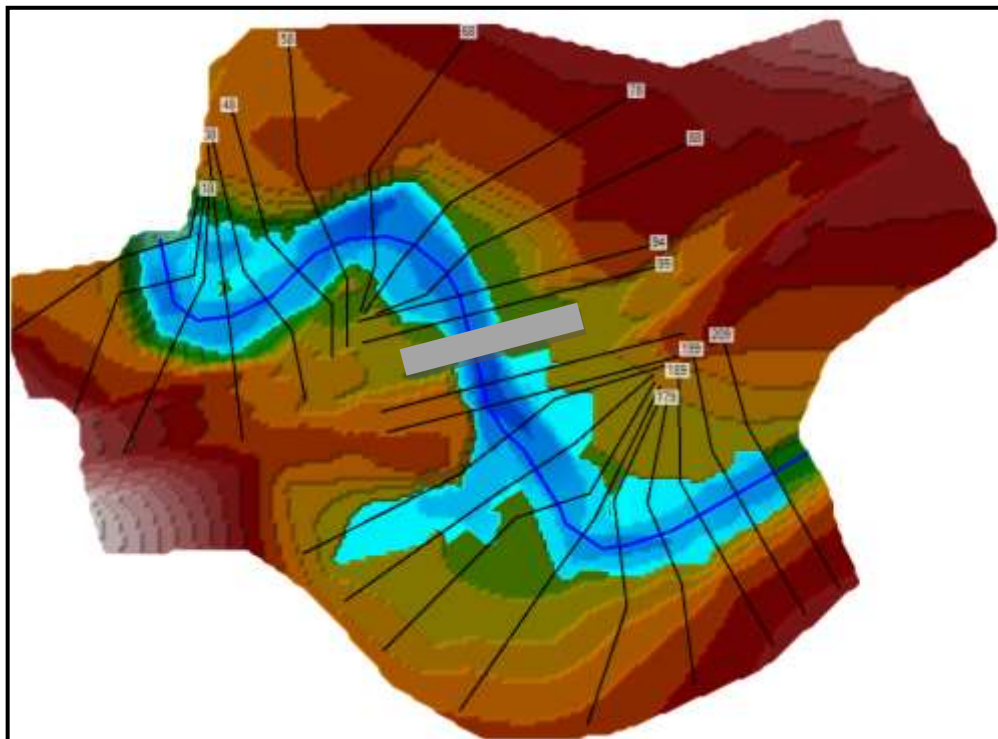


Figura 10. Lámina de Agua condición con Puente

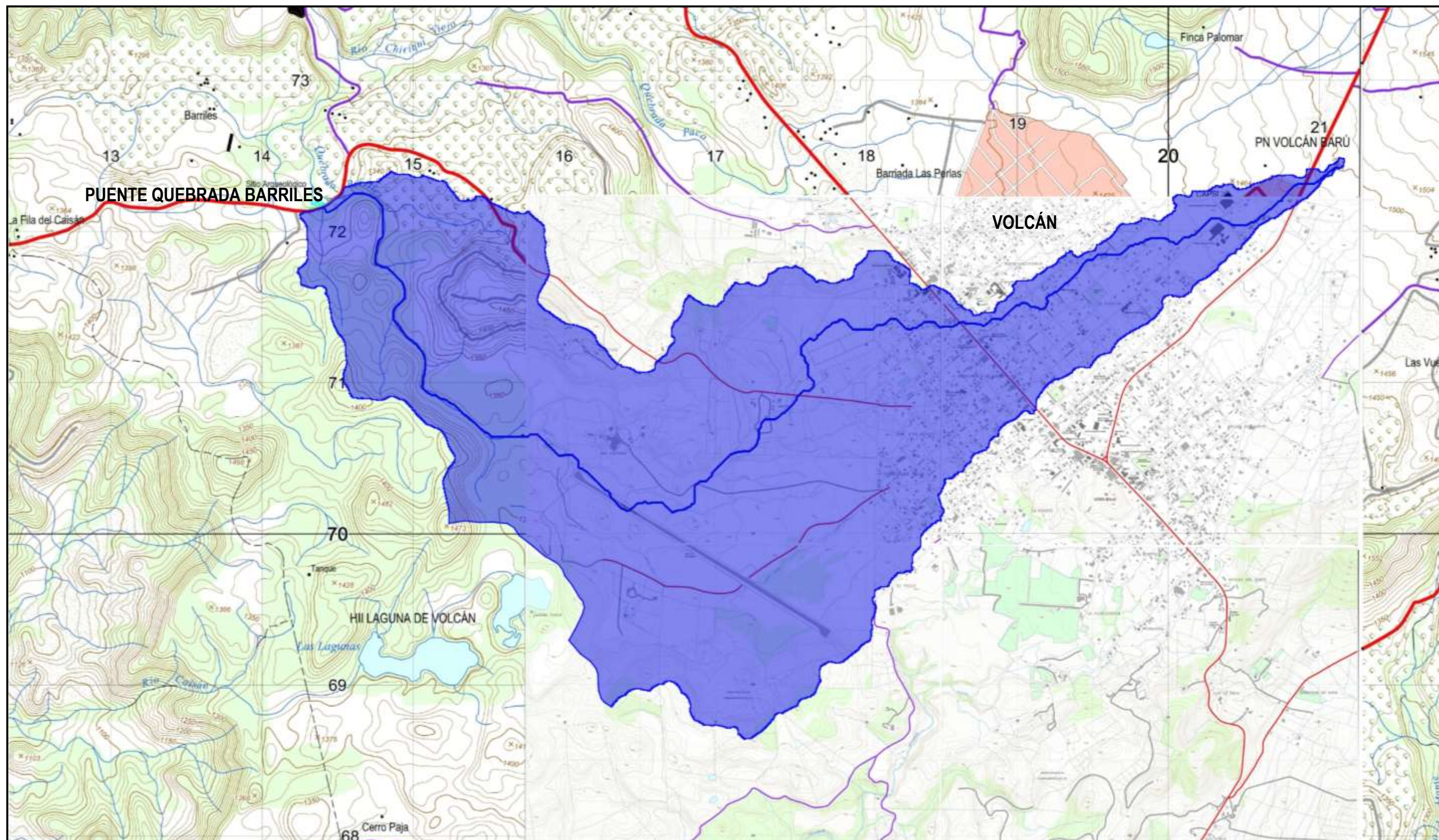
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basado en los resultados del estudio hidrológico e hidráulico para el puente vehicular, a construir en la Quebrada Barriles; se presentan las conclusiones y recomendaciones hidráulicas, para ser aplicadas en la definición del diseño vial y estructural del puente vehicular.

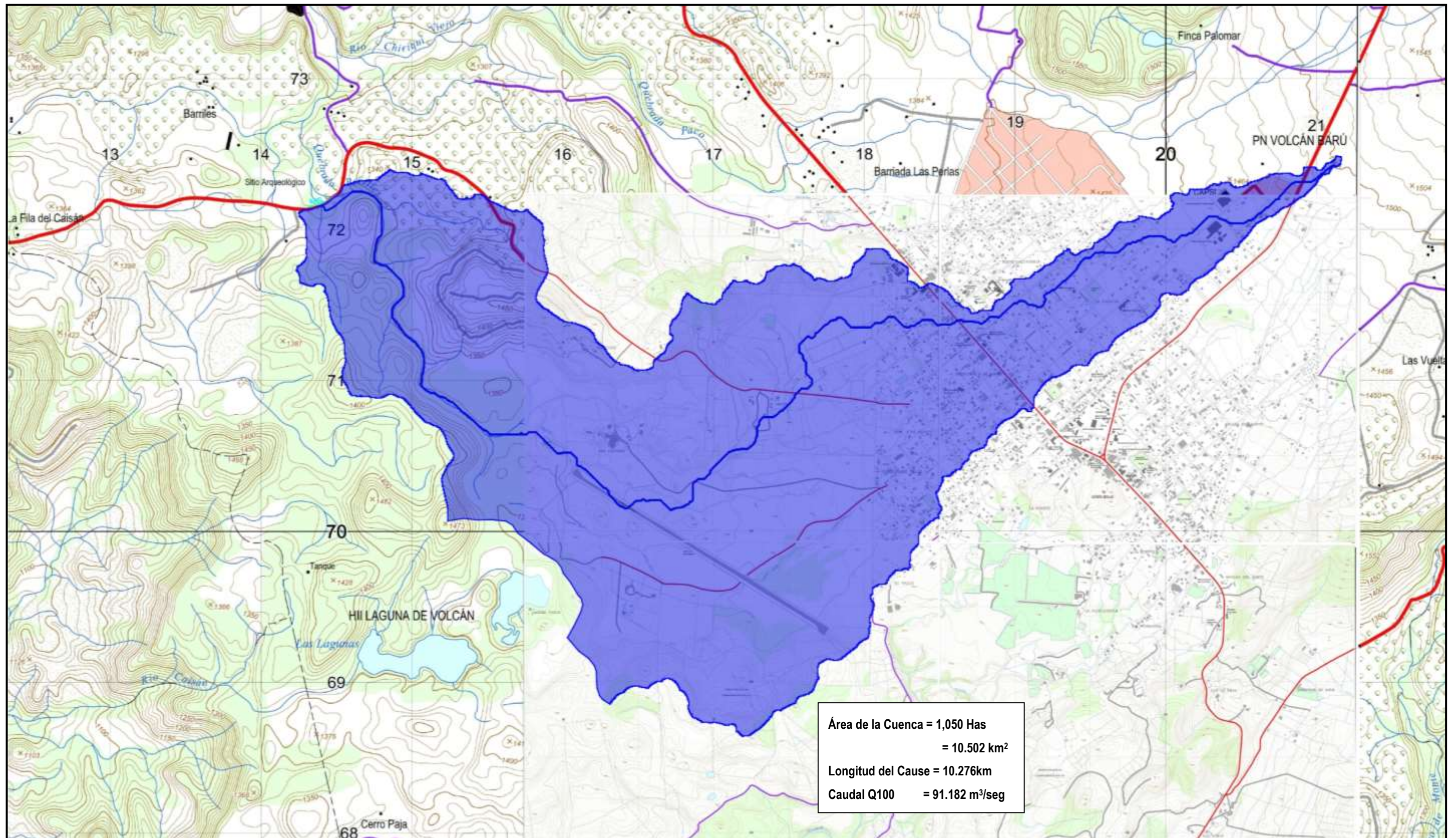
- El área de drenaje que escurre al sitio de cruce con la vía tiene un área de 10.502 km², equivalente a 1,052 ha., característica que define el método de análisis hidrológico e hidráulico.
- La estimación del caudal máximo instantáneo para un período de retorno de 1 en 100 años para el puente es: **Qd=91.182 m³/s**.
- El caudal de diseño fue definido para este caso por Método de Análisis Regional de Crecidas Máximas, ETESA, 2008.
- Según la simulación hidráulica, la velocidad producida agua abajo del puente es de 3.69 m/s es considerada como aceptables para el máximo evento de crecida, con período de retorno de 1 en 100 años.
- Se deberá realizar una conformación y limpieza del cauce de la quebrada **50 metros** aguas arriba y **50 metros** aguas abajo del puente proyectado.

La elevación de crecidas máximas extraordinarias (**NAME**) para un período de retorno de 1 en 100 años es de **1272.17 msnm** por lo que la elevación en la parte inferior de las vigas no será inferior a **1273.97 msnm**, para cumplir con el valor mínimo requerido de 1.80 m.

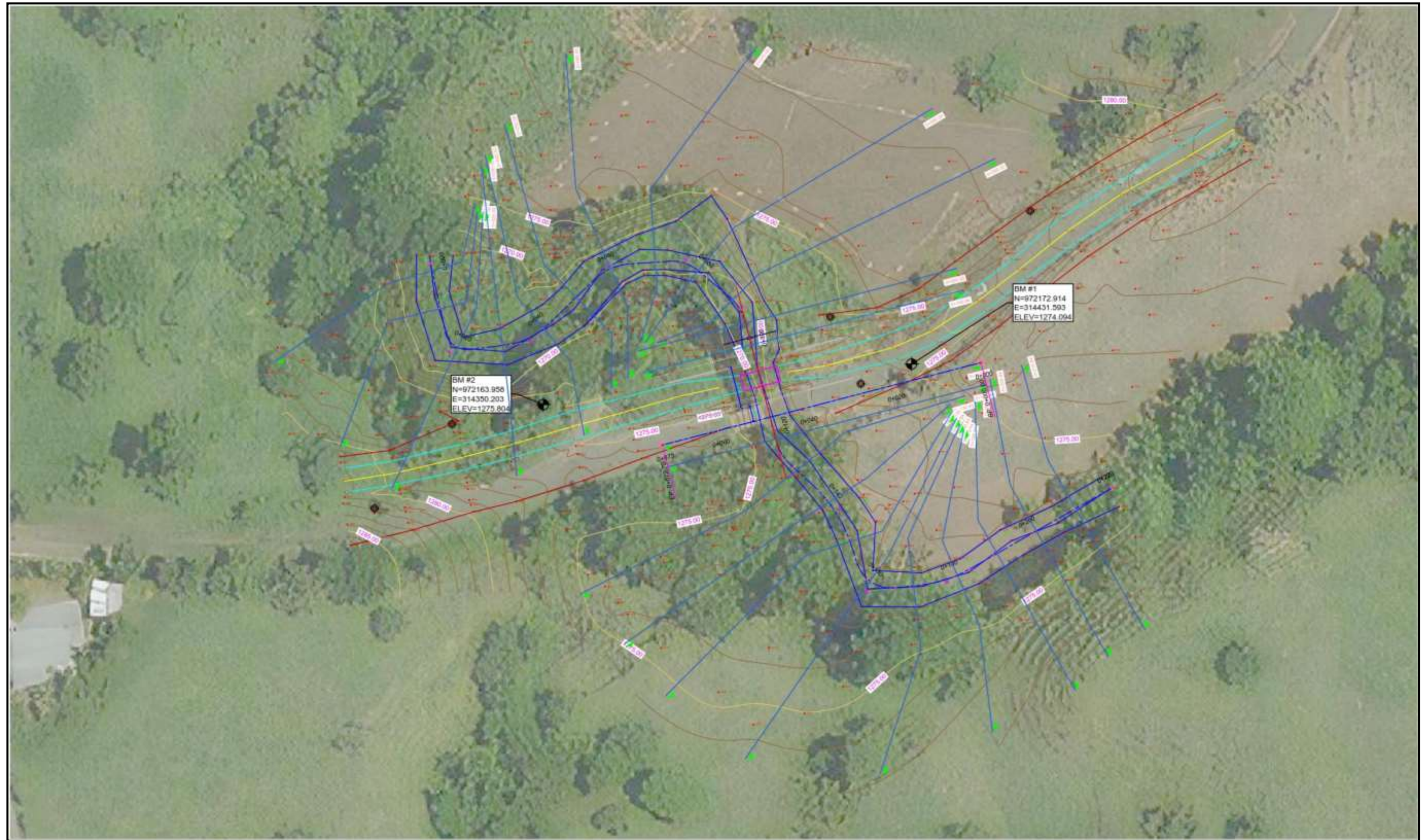
APÉNDICE 1. PLANO DE LOCALIZACIÓN REGIONAL



APÉNDICE 2. PLANO DELIMITACION DE CUENCA

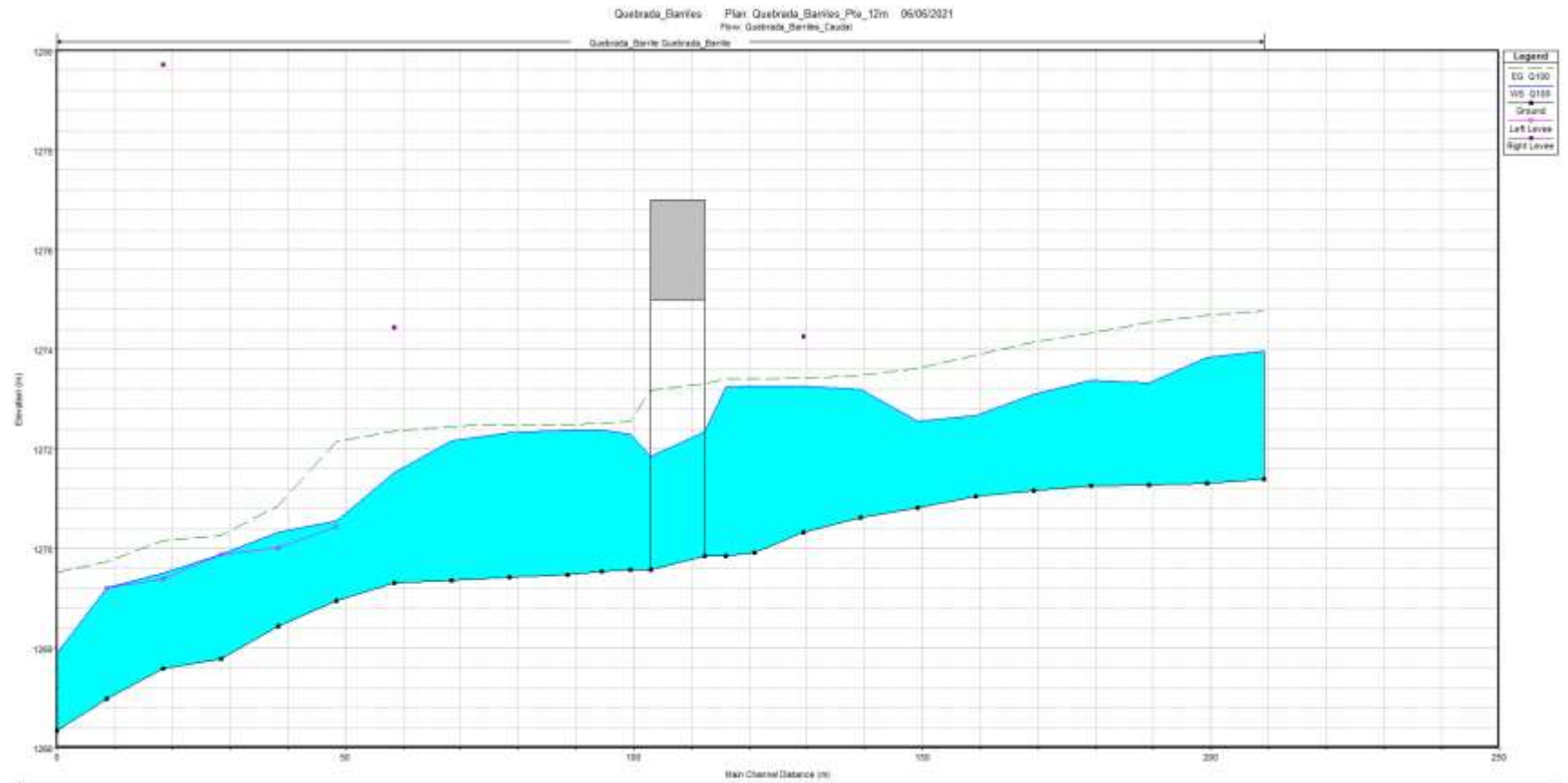


APÉNDICE 3. PLANO SITUACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

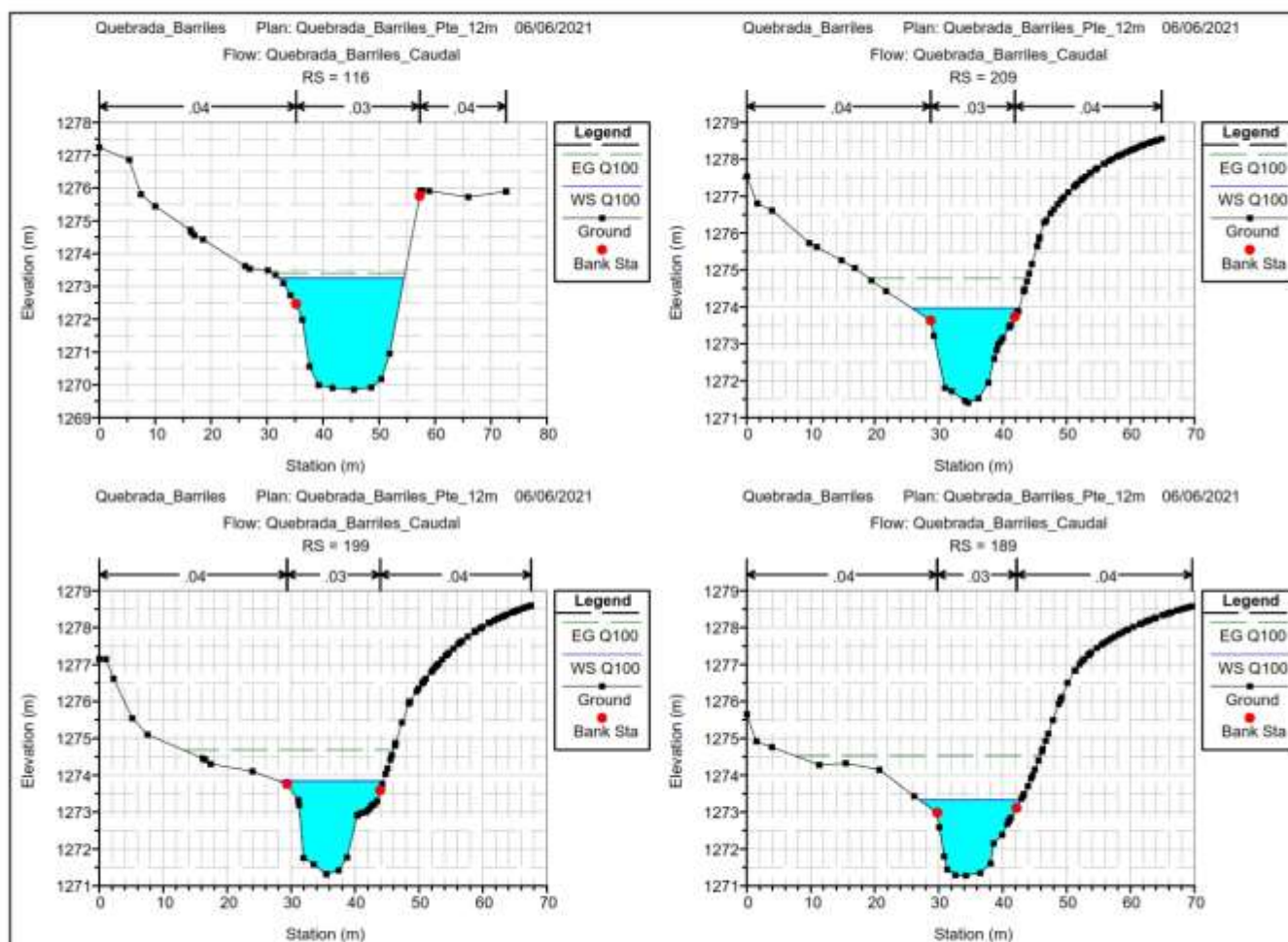


APÉNDICE 4. PERFIL LONGITUDINAL

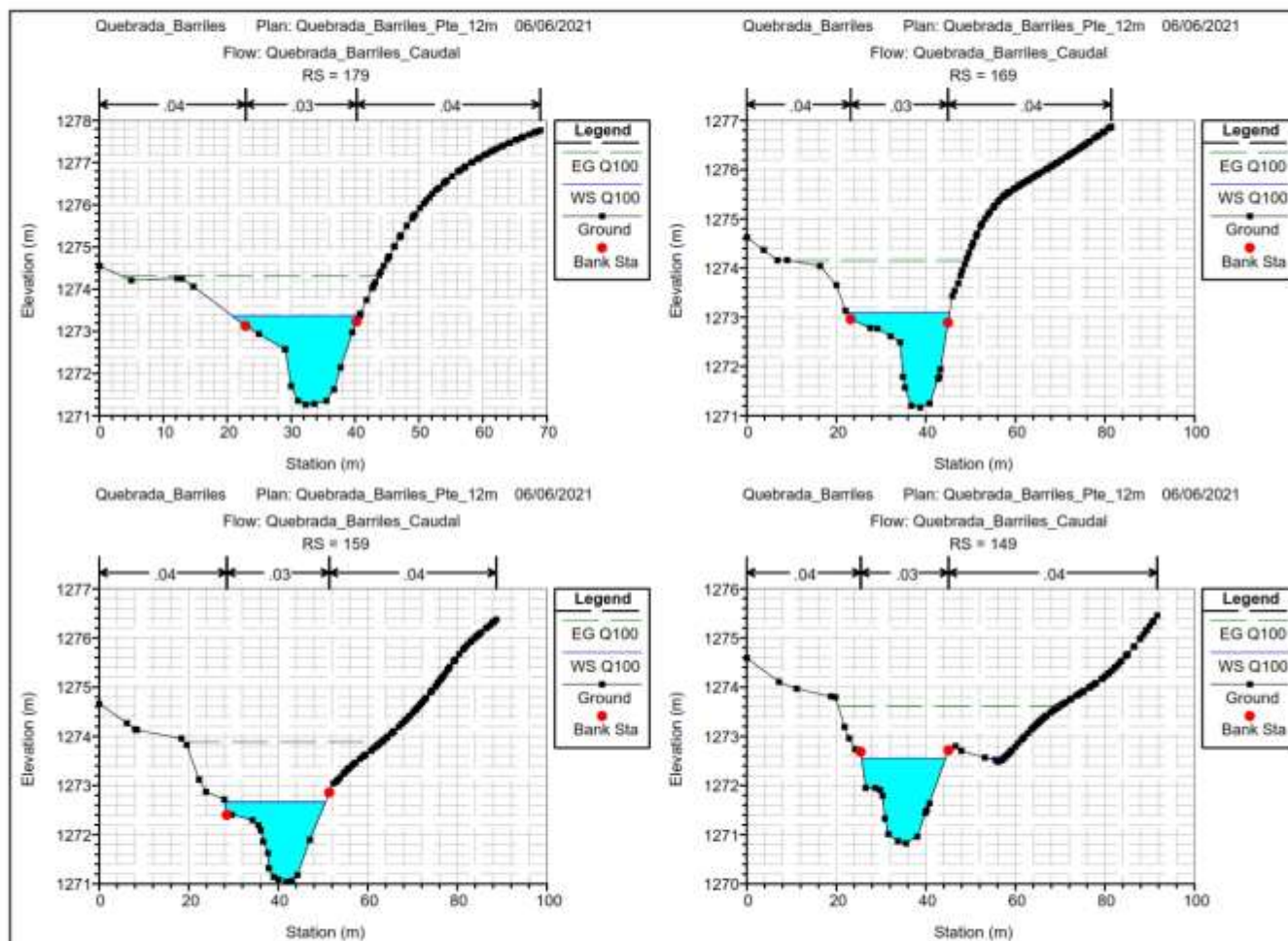
REHABILITACIÓN CARRETERA SAN ANDRÉS-SANTA CRUZ-DOMINICAL-CAISÁN-MONTELIRO Y CIRCUNVALACIÓN
CONTRATO No. AL-1-58-17

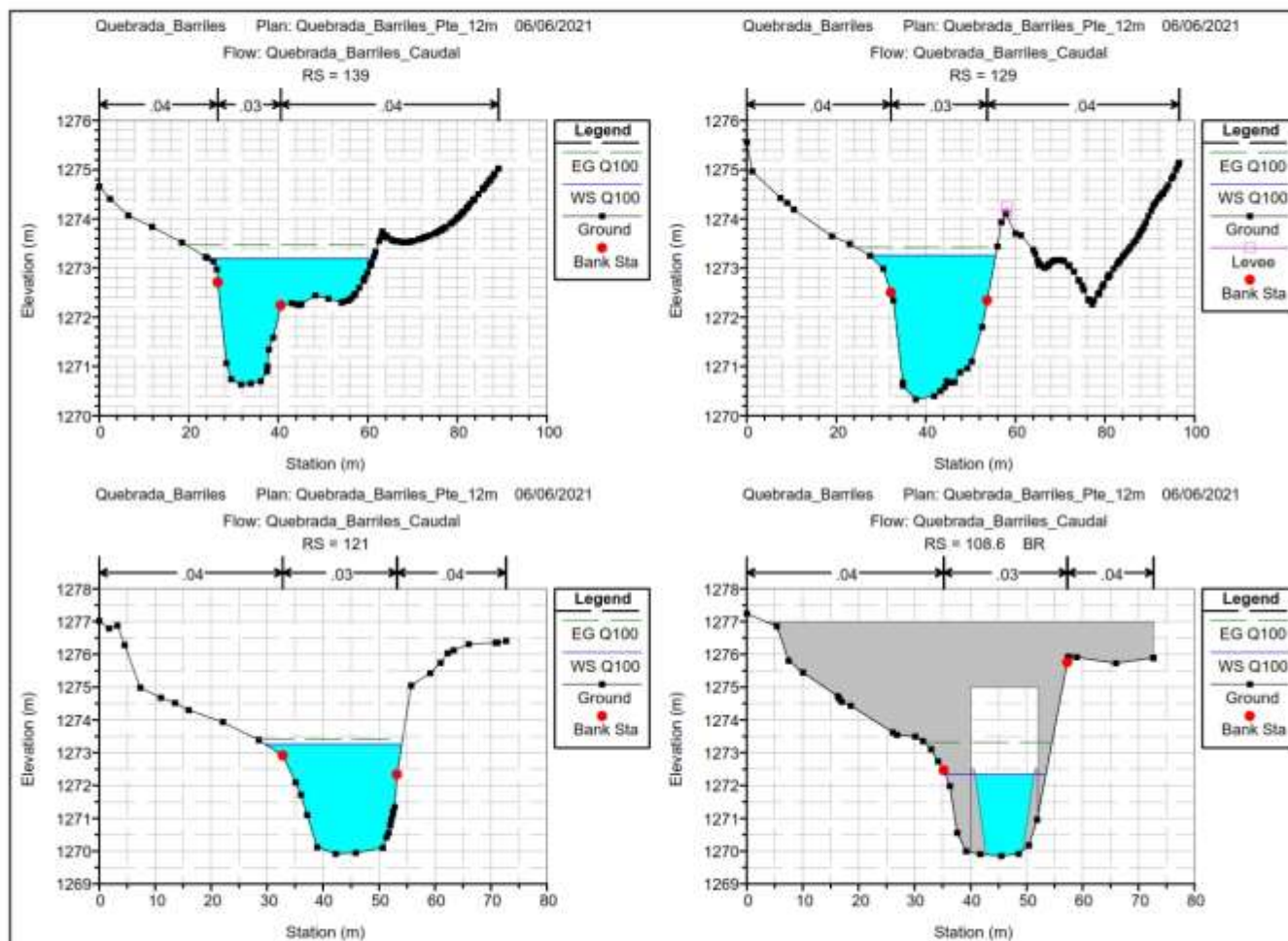


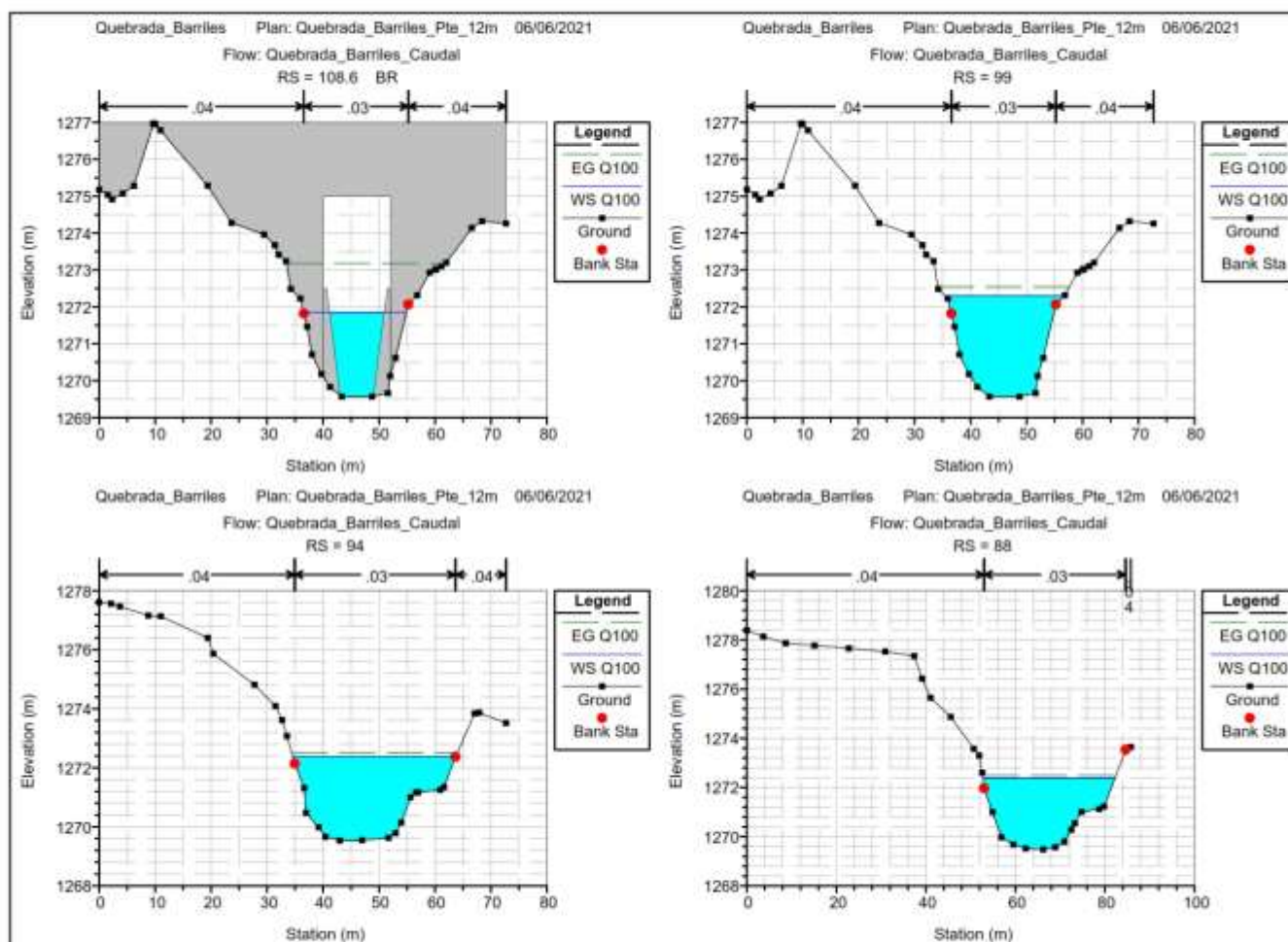
APÉNDICE 5. PERFILES TRANSVERSALES

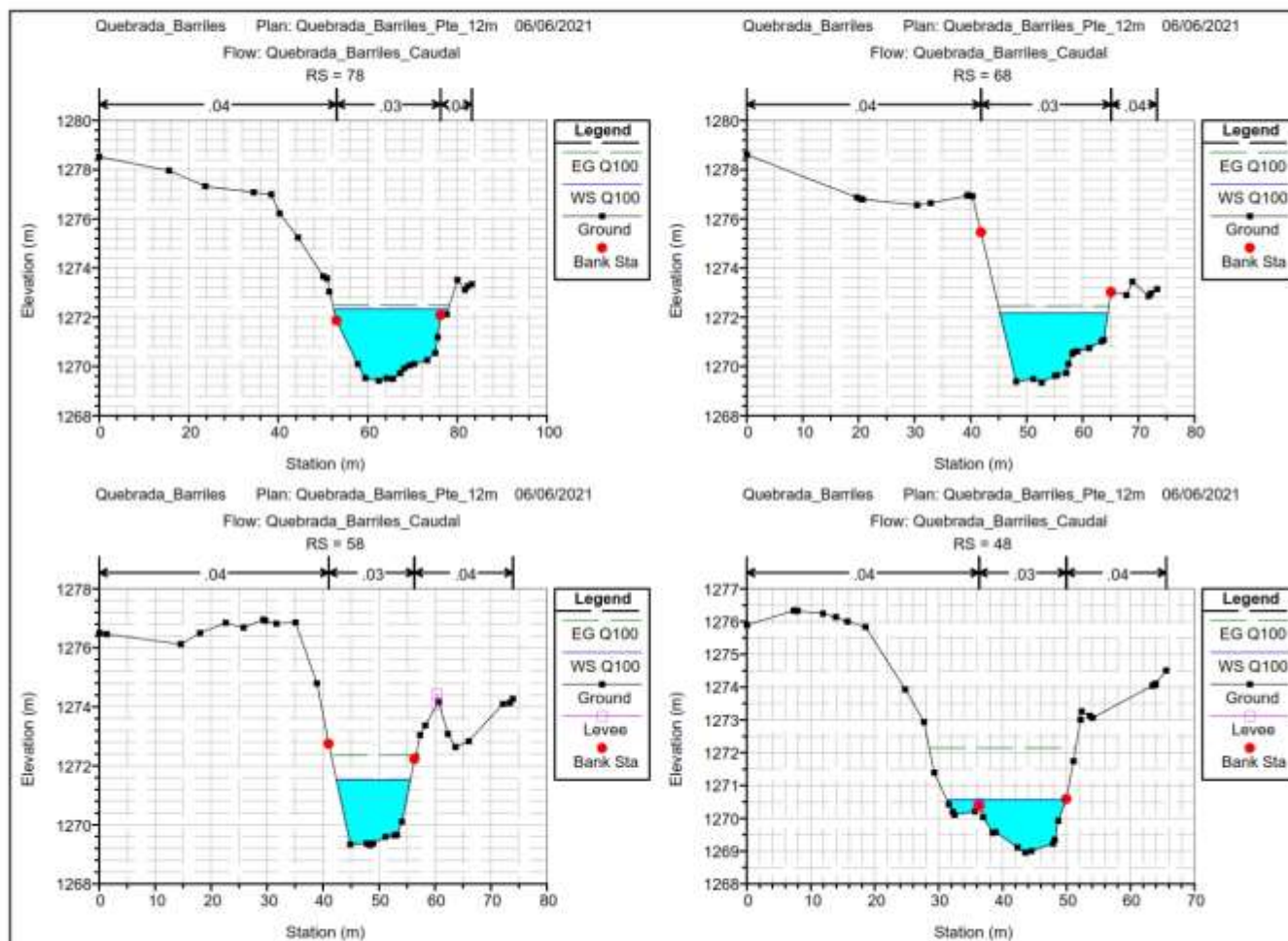


REHABILITACIÓN CARRETERA SAN ANDRÉS-SANTA CRUZ-DOMINICAL-CAISÁN-MONTELIRIO Y CIRCUNVALACIÓN
CONTRATO No. AL-1-58-17

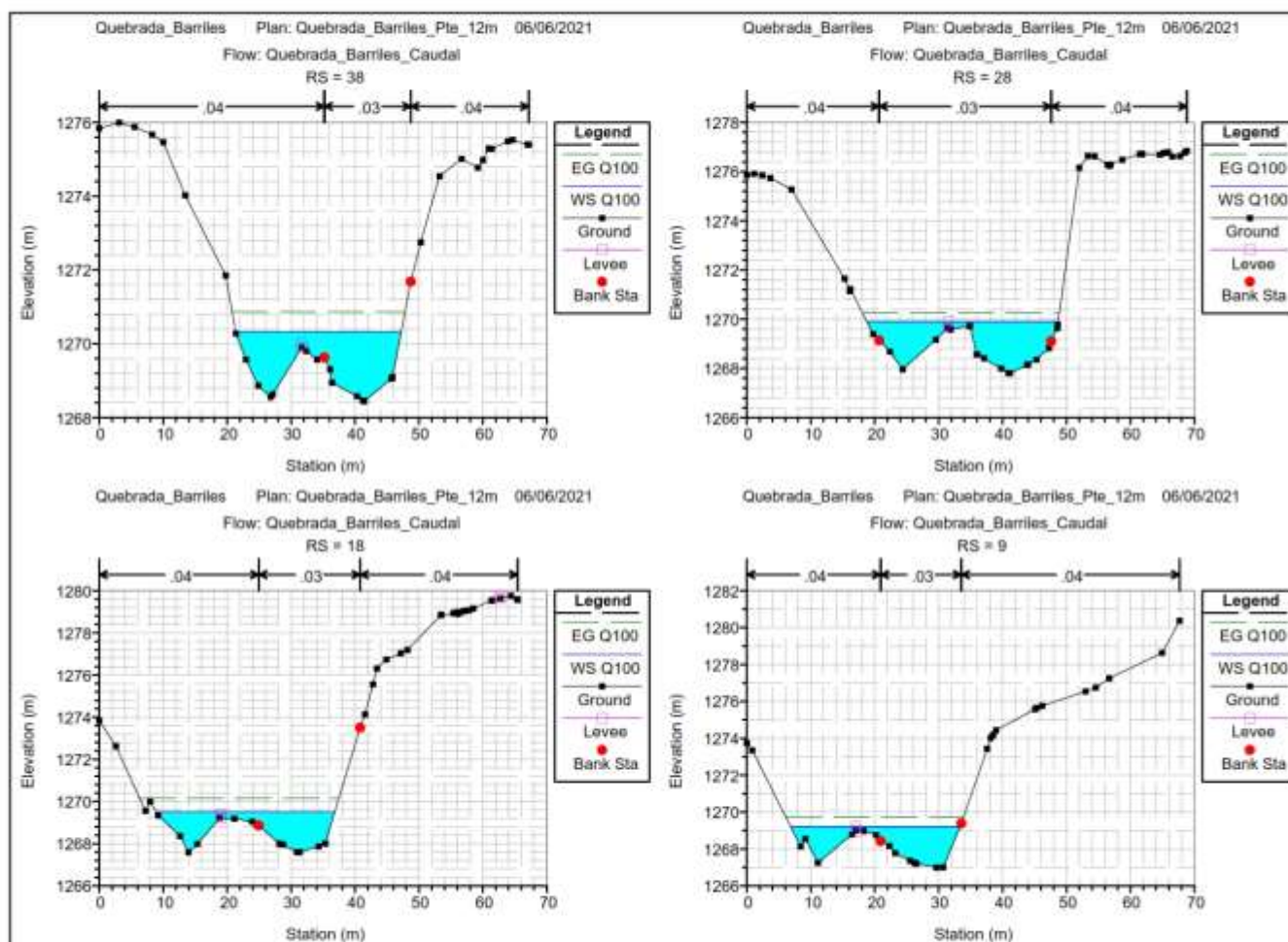


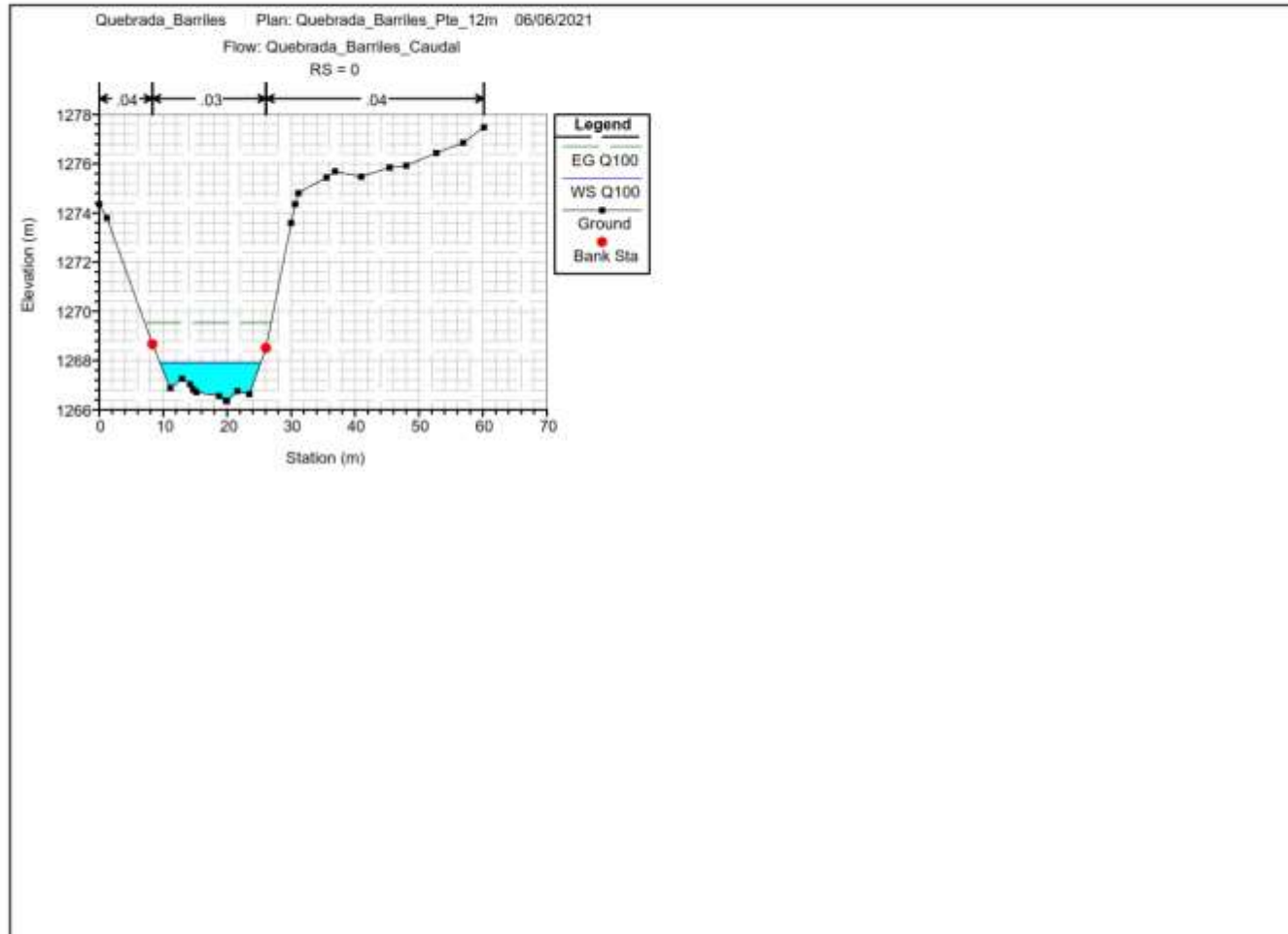






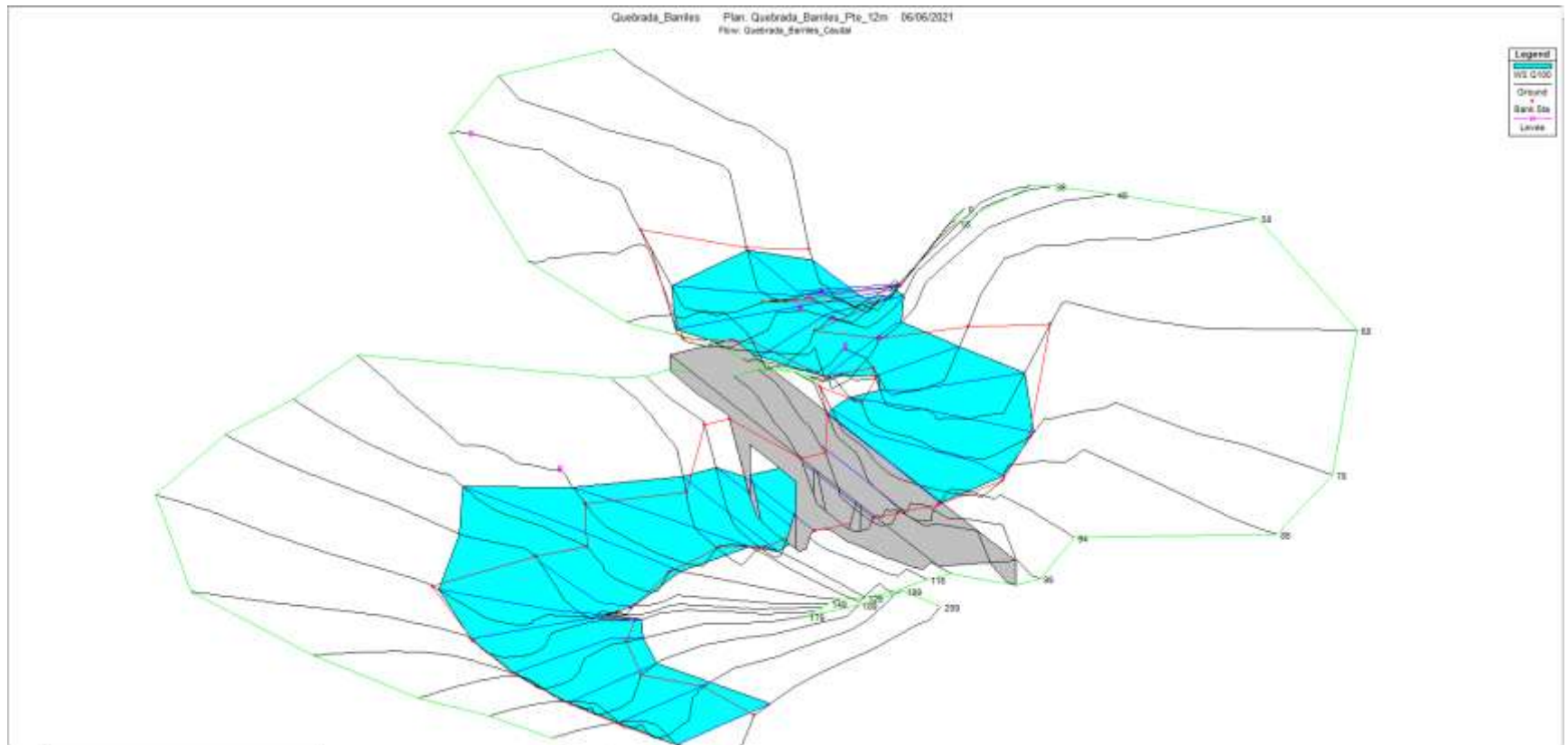
REHABILITACIÓN CARRETERA SAN ANDRÉS-SANTA CRUZ-DOMINICAL-CAISÁN-MONTELIRO Y CIRCUNVALACIÓN
CONTRATO No. AL-1-58-17





APÉNDICE 6. MODELO TRIDIMENSIONAL

REHABILITACIÓN CARRETERA SAN ANDRÉS-SANTA CRUZ-DOMINICAL-CAISÁN-MONTELIRO Y CIRCUNVALACIÓN
CONTRATO No. AL-1-58-17



APÉNDICE 7. LISTADO DE RESULTADOS DEL MODELO

Datos de Salida del Modelo

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Quebrada_Barrile	209	Q100	91.18	1271.40	1273.97	1273.97	1274.78	0.007685	3.98	23.39	16.82	0.97
Quebrada_Barrile	199	Q100	91.18	1271.32	1273.84	1273.90	1274.68	0.009575	4.06	22.54	16.33	1.05
Quebrada_Barrile	189	Q100	91.18	1271.28	1273.33	1273.66	1274.53	0.013792	4.86	19.22	15.95	1.27
Quebrada_Barrile	179	Q100	91.18	1271.26	1273.37	1273.59	1274.32	0.013887	4.33	21.32	19.95	1.26
Quebrada_Barrile	169	Q100	91.18	1271.17	1273.10	1273.39	1274.14	0.022005	4.53	20.18	23.02	1.52
Quebrada_Barrile	159	Q100	91.18	1271.05	1272.67	1273.05	1273.88	0.028173	4.87	18.72	22.52	1.71
Quebrada_Barrile	149	Q100	91.18	1270.82	1272.56	1272.94	1273.61	0.017690	4.54	20.10	18.79	1.40
Quebrada_Barrile	139	Q100	91.18	1270.63	1272.58	1272.81	1273.42	0.009773	4.15	25.08	31.31	1.08
Quebrada_Barrile	129	Q100	91.18	1270.33	1271.58	1272.06	1273.18	0.033901	5.61	16.26	18.16	1.89
Quebrada_Barrile	121	Q100	91.18	1269.92	1272.52	1271.68	1272.80	0.001945	2.33	39.41	19.50	0.51
Quebrada_Barrile	116	Q100	91.18	1269.85	1272.50	1271.64	1272.79	0.001982	2.38	38.58	18.58	0.51
Quebrada_Barrile	108.6	Bridge										
Quebrada_Barrile	99	Q100	91.18	1269.57	1272.30	1271.39	1272.55	0.001712	2.23	41.28	21.29	0.48
Quebrada_Barrile	94	Q100	91.18	1269.54	1272.38		1272.51	0.000921	1.57	58.22	29.15	0.35
Quebrada_Barrile	88	Q100	91.18	1269.48	1272.38		1272.50	0.000841	1.52	59.85	29.47	0.34
Quebrada_Barrile	78	Q100	91.18	1269.42	1272.32		1272.49	0.001091	1.79	51.28	25.52	0.39
Quebrada_Barrile	68	Q100	91.18	1269.35	1272.17		1272.46	0.002325	2.38	38.35	19.28	0.54
Quebrada_Barrile	58	Q100	91.18	1269.32	1271.52	1271.52	1272.36	0.008421	4.06	22.48	13.21	0.99
Quebrada_Barrile	48	Q100	91.18	1268.96	1270.51	1271.00	1272.13	0.035765	5.65	16.15	18.40	1.91
Quebrada_Barrile	38	Q100	91.18	1268.44	1270.23	1270.23	1270.77	0.009140	3.26	27.96	25.61	1.00
Quebrada_Barrile	28	Q100	91.18	1267.79	1269.93	1269.93	1270.26	0.004928	2.53	36.02	29.99	0.74
Quebrada_Barrile	18	Q100	91.18	1267.58	1269.50	1269.50	1270.01	0.009308	3.15	28.91	27.88	0.99
Quebrada_Barrile	9	Q100	91.18	1266.98	1269.31	1269.31	1269.67	0.004890	2.67	34.76	26.77	0.73
Quebrada_Barrile	0	Q100	91.18	1266.35	1267.93	1268.40	1269.47	0.027563	5.50	16.57	15.81	1.72

Datos de Salida de la Sección del Puente Proyectado

E.G. US. (m)	1272.79	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	1272.50	E.G. Elev (m)	1272.74	1272.62
Q Total (m3/s)	91.18	W.S. Elev (m)	1272.04	1272.17
Q Bridge (m3/s)	91.18	Crit W.S. (m)	1271.88	1271.54
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	2.19	2.60
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	3.69	2.97
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	24.69	30.66
Weir Submerg		Froude # Chl	0.87	0.64
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	58.97	64.97
Min El Weir Flow (m)	1277.50	Hydr Depth (m)	1.82	2.24
Min El Prs (m)	1276.00	W.P. Total (m)	15.33	16.29
Delta EG (m)	0.24	Conv. Total (m3/s)	1131.0	1557.7
Delta WS (m)	0.20	Top Width (m)	13.54	13.70
BR Open Area (m2)	88.99	Frctn Loss (m)	0.04	0.01
BR Open Vel (m/s)	3.69	C & E Loss (m)	0.07	0.06
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	102.66	63.24
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	379.07	188.08