

**INFORME DE ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
PARA LA QUEBRADA “EL CERRO” EN EL
PROYECTO: RESIDENCIAL “PUNTA ROCA”**

PREPARADO PARA:

INVERSIONES LUSANA, S.A.

PRESENTADO POR:

ALEXANDRA ESPINOSA

C.I.No 2013-006-161



AGOSTO, 2022

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	METODOLOGÍA.....	1
3.	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DE LAS “QUEBRADA EL CERRO”.....	2
4.	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	5
5.	AMPLIACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL.....	6
6.	RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MÉTODO RACIONAL.....	8
7.	EL MODELO HEC-RAS	9
8.	ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON EL MODELO HEC-RAS	14
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27

1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de este estudio hidrológico e hidráulico es el de determinar el caudal máximo desarrollado por la “Quebradas El Cerro” para un periodo de retorno de 1 en 50 años y así poder determinar cuáles serían las secciones hidráulicas mínimas requeridas (de ser necesario) y el nivel de aguas máximas extraordinarias para este evento, de modo que se puedan establecer los niveles de terracería seguros para la residencial “Punta Roca”.

Este documento presenta los aspectos más relevantes correspondientes al análisis hidrológico e hidráulico de la “Quebrada El Cerro”, la cual pasa por uno de los linderos del proyecto a desarrollar.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de este estudio comprende la determinación del caudal máximo para la “Quebrada El Cerro” y además, la evaluación de la capacidad hidráulica del cauce existente de la quebrada para el paso de las aguas a través del proyecto.

Para la determinación del área de drenaje de la cuenca de la “Quebradas El Cerro” se utilizó la información de la topografía suministrada para el proyecto, también se utilizó la hojas 3741-IV Serie E762 Edición 2 - IGNTG DAM “GUALACA”. El análisis hidrológico de la “Quebrada El Cerro” fue desarrollado utilizando las ecuaciones de Intensidad-Duración-Frecuencia para la vertiente del Pacífico del Ministerio de Obras Públicas y el cálculo de la escurrimiento de la cuenca se estimó mediante el Método Racional, todas estas ecuaciones se describirán más adelante en este informe.

La información topográfica del cuerpo de agua en el área de estudio fue levantada con equipos de alta precisión y al detalle, lo que permitió desarrollar un modelo digital de elevación del terreno, el cual se utilizó para generar secciones transversales para el análisis hidráulico.

3. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DE LA “QUEBRADA EL CERRO”.

El ramal de la “Quebrada El Cerro” en estudio nace aproximadamente a 250m al oeste del inicio del tramo en análisis, en el sector de San Pablo, corregimiento David, Distrito de David, Provincia de Chiriquí. La Quebrada “El Cerro” nace aproximadamente a 2.9 Km noroeste del inicio del tramo en análisis, también ubicada en el Sector de San Pablo Viejo.

En la Figura #1, se muestra la ubicación del proyecto y la delimitación de las Cuencas Hidrográficas de ambas quebradas en su influencia sobre el área a desarrollar.

Figura No. 1
Localización Regional del Proyecto Punta Roca Etapa 1

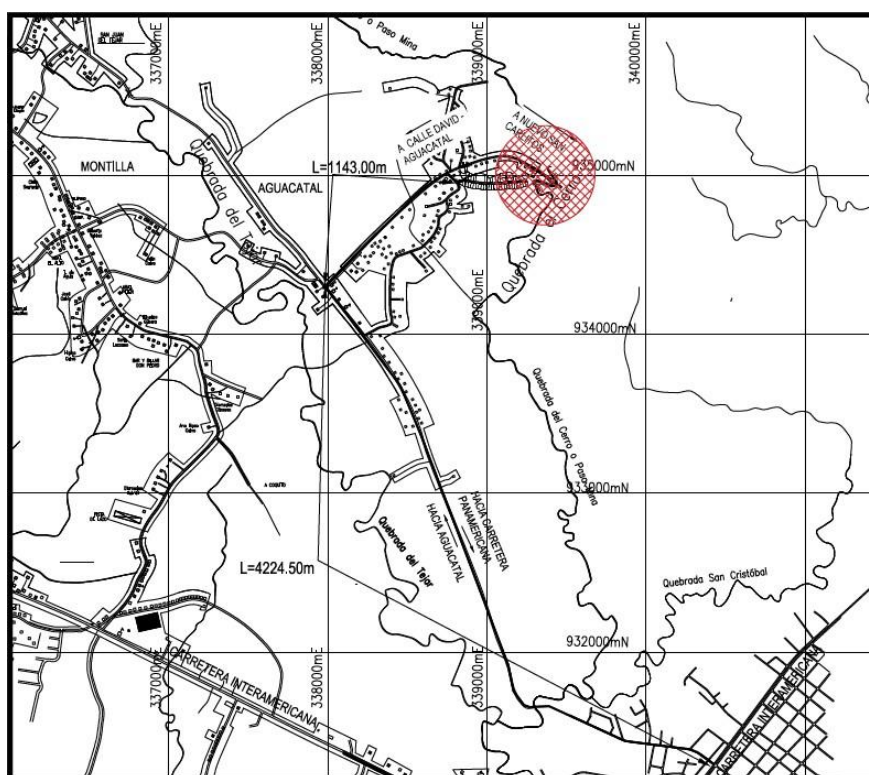
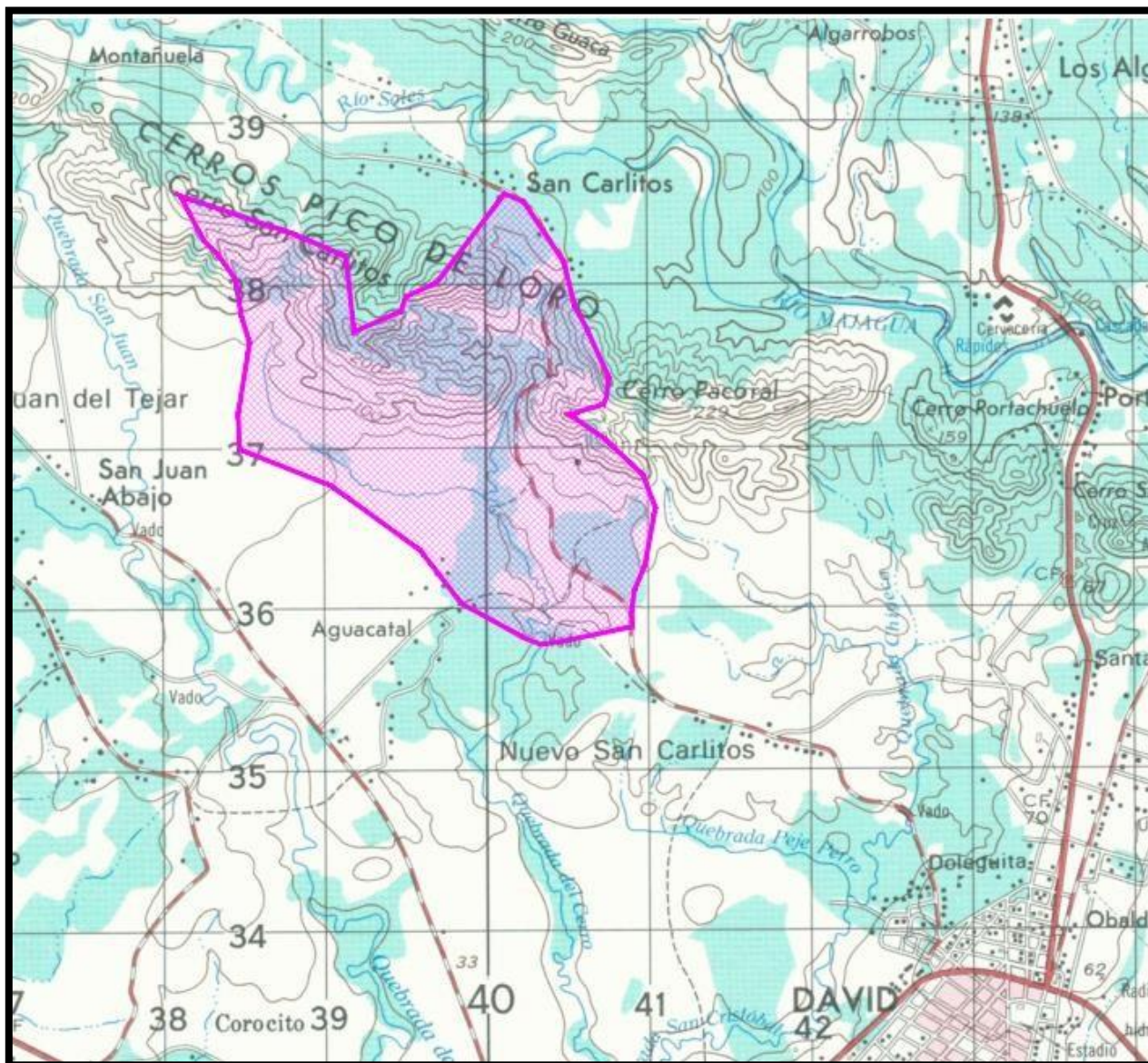


Figura No. 2
Delimitación de la Cuenca de la “Quebrada El Cerro”



Para el siguiente estudio se ha determinado que el área de drenaje de la cuenca según el tramo de análisis de la “Quebrada El Cerro” es de 441.40 hectáreas.

Para las áreas de drenaje menores de 250 has. deberá emplearse el método racional de crecidas y para áreas mayores de 250 has. se empleará la metodología desarrollada por el IRHE “Análisis

Regional de Crecidas Máximas”, elaborado por el departamento de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A (ETESA) en septiembre de 2008.

- Se determina el área de drenaje de la cuenca del sitio de interés en Km².
- De acuerdo a 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.

Tabla 1. Ecuaciones y distribución de frecuencia por Zonas

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>				
<i>Tr, años</i>	<i>Tabla # 1</i>	<i>Tabla # 2</i>	<i>Tabla # 3</i>	<i>Tabla # 4</i>
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”

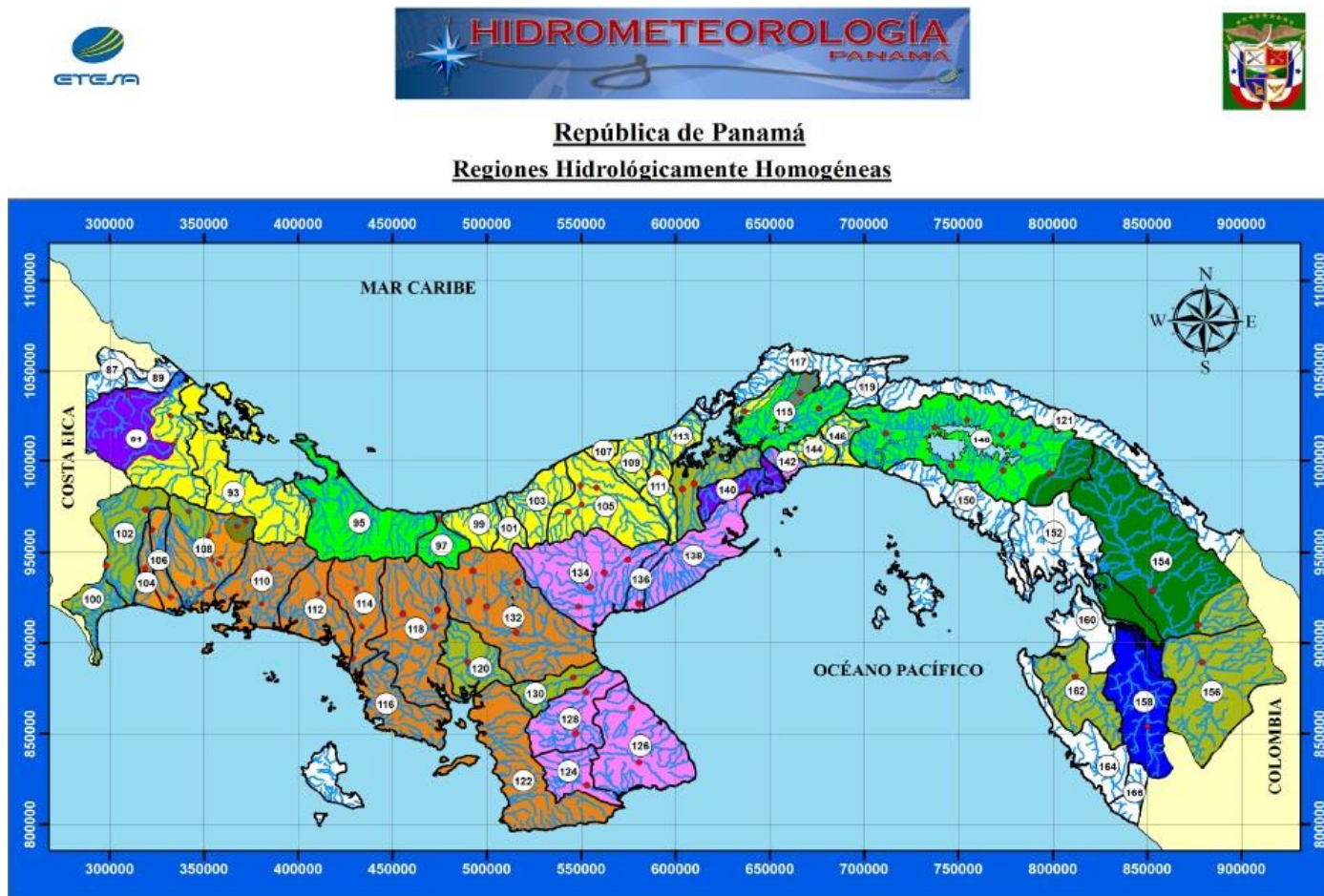
Para la zona de estudio, Zona 4, la tabla de distribución de frecuencias que relaciona los caudales máximo y promedio para distintos periodos de retorno es la Tabla # 4.

Para el cálculo del caudal promedio se aplica la Ecuación 2, dada por la siguiente expresión:

$$Q = 25 \times A^{0.59}$$

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 4.



Fuente: Figura 73, “Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006”



El período de retorno a utilizar depende del tipo de estructura, Para efectos de este estudio se utilizó 1:50 años.

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

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

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.

CAUDAL DE CÁLCULO PARA UNA CRECIDA MÁXIMA CORRESPONDIENTE AL PERIODO DE RETORNO T=50 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.

Quebrada eEl Cerro

Periodo de Retonro 1 en 50años

Area de drenaje 4.4140km²
*Q*_{prom_max} 60.03m³/seg

Formulas utilizadas

*Q*_{prom_max} 25*A ^0.59 Zona 4

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

Para Tr = 50 años

Tabla 4

Factor = 2.10

Q max= 126.06m³/seg

4. EL MODELO HEC-RAS

Antes de realizar una presentación básica del modelo hidráulico HEC-RAS, se considera oportuno hacer ciertos comentarios de su predecesor, el modelo HEC-2. El modelo HEC-2 fue desarrollado en los años 70 por el Hydrologic Engineering Center en los Estados Unidos (Hoggan, 1997). El programa se diseña para calcular los perfiles superficiales del agua para flujo permanente, gradualmente variado en canales naturales (ríos) o artificiales. El proceso computacional se basa en la solución de la ecuación unidimensional de la energía utilizando el método estándar de paso. Entre sus usos, el programa se puede aplicar para delinear zonas de alto riesgo de inundaciones. El modelo también se puede utilizar para evaluar los efectos sobre los perfiles de la superficie del agua como resultados de mejoras y construcción de diques en canales. Además, es útil para simular estructuras como puentes y alcantarillas.

El objetivo principal del programa HEC-2 es simplemente calcular las elevaciones de la superficie del agua en todas las localizaciones de interés para los valores dados de flujo. Los requisitos de los datos incluyen en régimen del flujo, la elevación, la descarga, los coeficientes de pérdidas, la geometría de las secciones transversales, y la separación entre secciones adyacentes.

Siguiendo con los conceptos planteados en el modelo HEC-2 para la determinación de perfiles de la superficie de agua, el USACE (Army Corps of Engineers of the United States) desarrolló un Sistema de Análisis de Ríos, conocido como HEC-RAS. (1995, 2000). El modelo HEC-RAS es muy idéntico al modelo HEC-2, con pocos cambios menores. Los Objetivos, metas y resultados de los programas son los mismos. La gran mejora es la adición del poder gráfico al usuario (GUI). El GUI es un sistema de Windows que permite al usuario entrar, editar, y desplegar datos y gráficas en un formato de lectura fácil. Esta capacidad facilita al modelador una mejor visualización del río y su condición. Hasta permite imprimir la geometría del río en tres dimensiones.

En adición a las mejoras gráficas encontradas en HEC-RAS, muchas otras mejoras han sido hechas. HEC-2 está limitado para correr en condiciones de flujo subcrítico o supercrítico. HEC-RAS es capaz de operar con un régimen de condición mixta. HEC-RAS también incluye la

habilidad de modelar dentro de esclusas, compuertas, múltiples alcantarillas y tiene un nuevo método para evaluar el efecto de las columnas en puentes.

ECUACIÓN DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

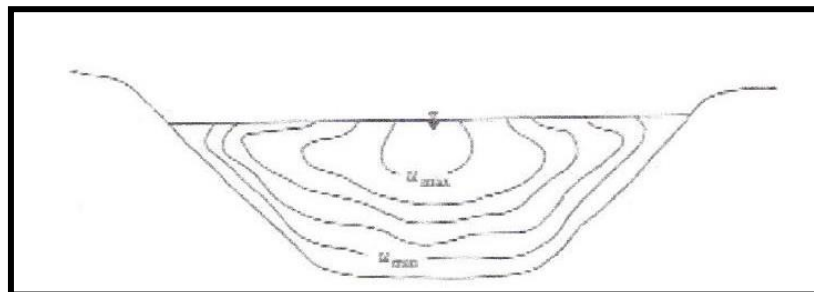
Cuando el flujo en un canal o una corriente abierta encuentra un cambio de pendiente del fondo o cambio en la sección transversal, la profundidad de flujo puede cambiar gradualmente. Tal condición de flujo donde la profundidad y velocidad pueden cambiar a lo largo del canal se debe analizar numéricamente. La ecuación de la energía se aplica a un volumen de control diferenciado, y la ecuación que resulta relaciona el cambio en la profundidad con la distancia a lo largo de la trayectoria del flujo. Una solución es posible si uno asume que la pérdida principal en cada sección es igual a la del flujo normal con la misma velocidad y profundidad de la sección. Así, un problema de flujo no uniforme es aproximado por una serie de segmentos uniformes de la corriente del flujo.

La energía total de una sección dada del canal puede ser escrita como,

$$H = z + y + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (1)$$

donde está “z+y”, es la cabeza potencial de la energía sobre un datum y la capacidad cinética de la energía es representada por el término que contiene la velocidad promedio en la sección. El valor de α se extiende de 1.05 a 1.36.

Figura No. 6
Distribuciones típicas de la velocidad en un canal abierto



Para la mayoría de los canales “ α ” es una indicación de la distribución de la velocidad a través de la sección transversal. Este se define como el coeficiente de la energía,

$$\alpha = \frac{\sum_i \frac{v_i \Delta A}{V^3 A}}{\quad} \quad (2)$$

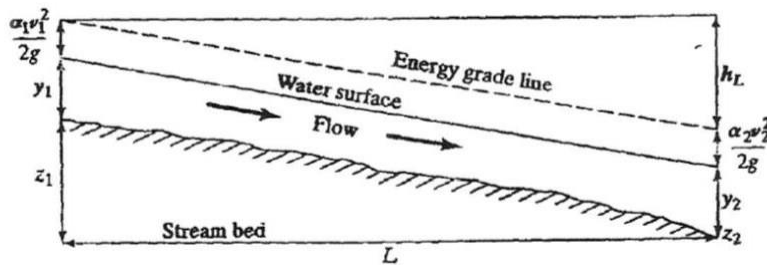
v_i es la velocidad en la sección ΔA y V es la velocidad promedio en la sección transversal. En muchos casos, el valor de α se asume de 1.0 (**Figura No. 6**), pero debe ser estimado para las corrientes o ríos en donde la variación de la velocidad puede ser grande.

La ecuación de la energía para el flujo permanente entre dos secciones, 1 y 2 (**Figura No.7**), separadas por una distancia L se convierte en,

$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_L, \quad (3)$$

Donde h_L es la pérdida principal de la sección 1 a la sección 2. Si asumimos que $\alpha=1$, $z_1 - z_2 = S_0 L$, y $h_L = S L$, la ecuación de la energía se convierte en,

Figura No. 7
Ecuación de la energía del flujo no uniforme.



$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_L \quad (4)$$

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + (S - S_0)L.$$

La pendiente de la energía se determina con la ecuación (5), utilizando la ecuación de Manning (unidades pie-s) y solucionando para S, tenemos

$$S = \left(\frac{n V_m}{1.49 R_m^{2/3}} \right)^2 \quad (5)$$

donde el subíndice m refiere a un valor medio. Si diferenciamos la ecuación (1) con respecto a x, la distancia a lo largo del canal, la tasa de cambio de la energía será entonces,

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g} \frac{d(V^2)}{dx} \quad (6)$$

La ecuación (7) describe la variación de la energía total para los flujos que varían gradualmente. Los términos S_0 y S pueden ser substituidos de las ecuaciones anteriores. La pendiente del perfil de la superficie del agua depende si el flujo es suscritico o supercrítico. Al utilizar $V = q / y$ (sección rectangular), y asumiendo que $\alpha=1$, la ecuación (6) se transforma en,

$$\frac{1}{2g} \frac{d}{dx} (V^2) = \frac{1}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{q^2}{y^2} \right) = - \left(\frac{q^2}{g} \right) \frac{1}{y^3} \frac{dy}{dx} \quad (7)$$

Así

$$-S = -S_0 + \frac{dy}{dx} \left(1 - \frac{q^2}{gy^3} \right) \quad (8)$$

Si incluimos la definición del número de Forude (Fr), entonces la pendiente de la superficie del agua para una sección rectangular se puede escribir como,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S}{1 - (V^2 / gy)} = \frac{S_0 - S}{1 - Fr^2} \quad (9)$$

Además, del levantamiento topográfico se visitó el área para identificar los coeficientes de Manning (n), que se deben utilizar en el modelo HEC-RAS en la simulación.

La selección del coeficiente “n” de rugosidad de Manning, se basa generalmente en **“el mejor juicio de la ingeniería”**; o en valores establecidos por ordenanzas municipales de diseño. Varias tablas están disponibles en la literatura general para la selección del coeficiente de rugosidad de Manning para un particular canal abierto. Para nuestro análisis se toman los valores recomendados por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) (Ver Tabla No.1 **“Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales de acuerdo a lo exigido en el Ministerio de Obras Públicas”** , Segunda Edición, 2003).

Tabla No. 1

Valores del coeficiente de rugosidad (n) en la fórmula de Manning recomendados por el MOP

CANALES	
“n”	
0.012	Para Canales de Matacán repellado.
0.015	Para Canales de Matacán Liso sin Repellar
0.020	Para Canales de Matacán Liso y Fondo de Tierra.
0.025	Para Cauce de tierra lisa con Vegetación Rasante
0.030	Para Cauce de tierra con Vegetación normal, lodo con escombros o irregular a causa de erosión.
0.035	Excavaciones Naturales, cubiertas de escombros con vegetación.
0.020	Excavaciones Naturales de trazado sinuoso.

Coeficiente Utilizado 0.025

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON EL MODELO HEC-RAS

A continuación se presentan los análisis y resultados obtenidos del análisis hidráulico realizado a partir del modelo HEC-RAS, considerando los parámetros y consideraciones antes mencionadas.

La simulación se realizó considerando un flujo permanente para un periodo de retorno de 50 años.

La **Figura No.8** muestra la configuración diseñada con el modelo HEC-RAS de la “Quebrada El Cerro”.

Figura No. 8
Configuración de la “Quebrada el Cerro” con el modelo HEC-RAS

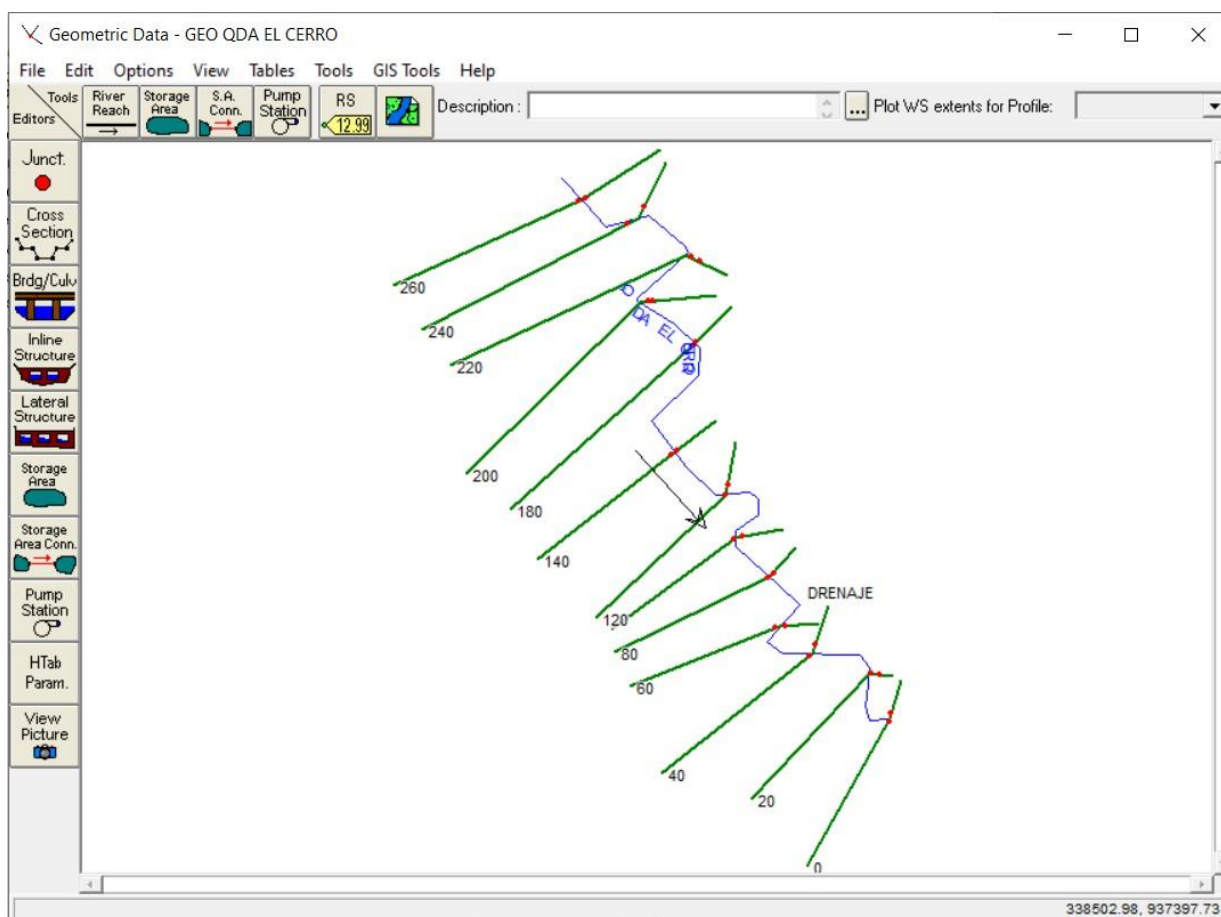
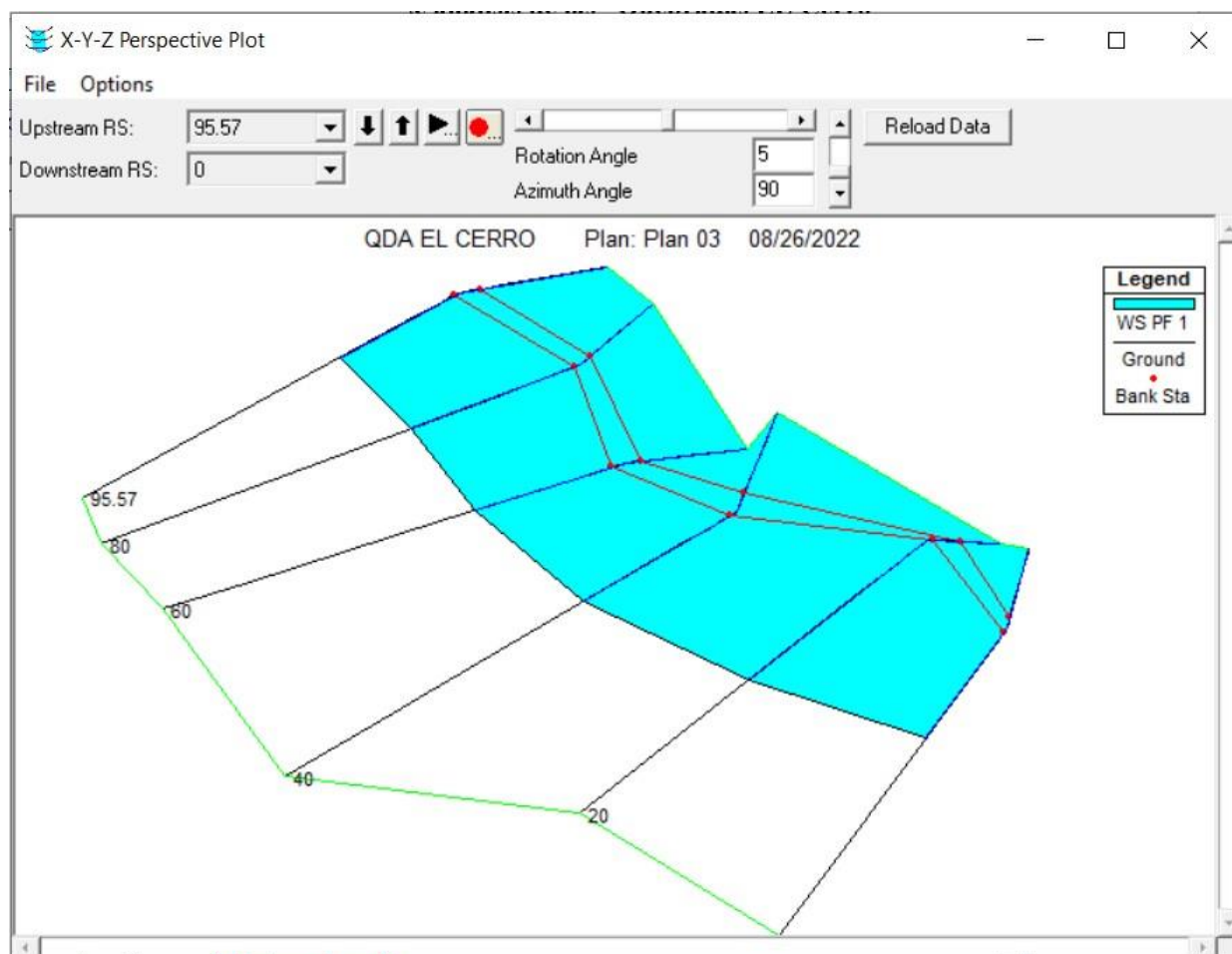
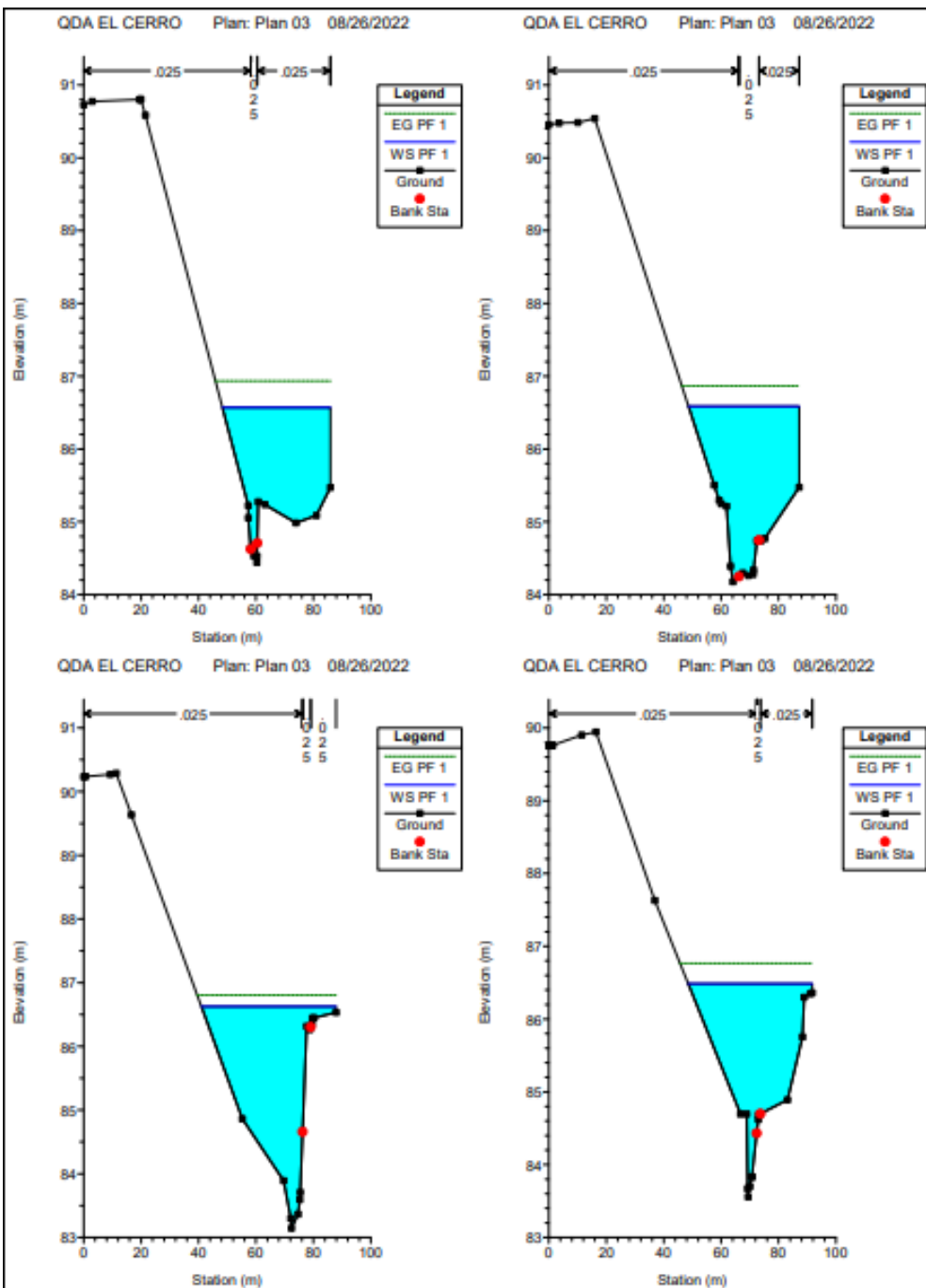


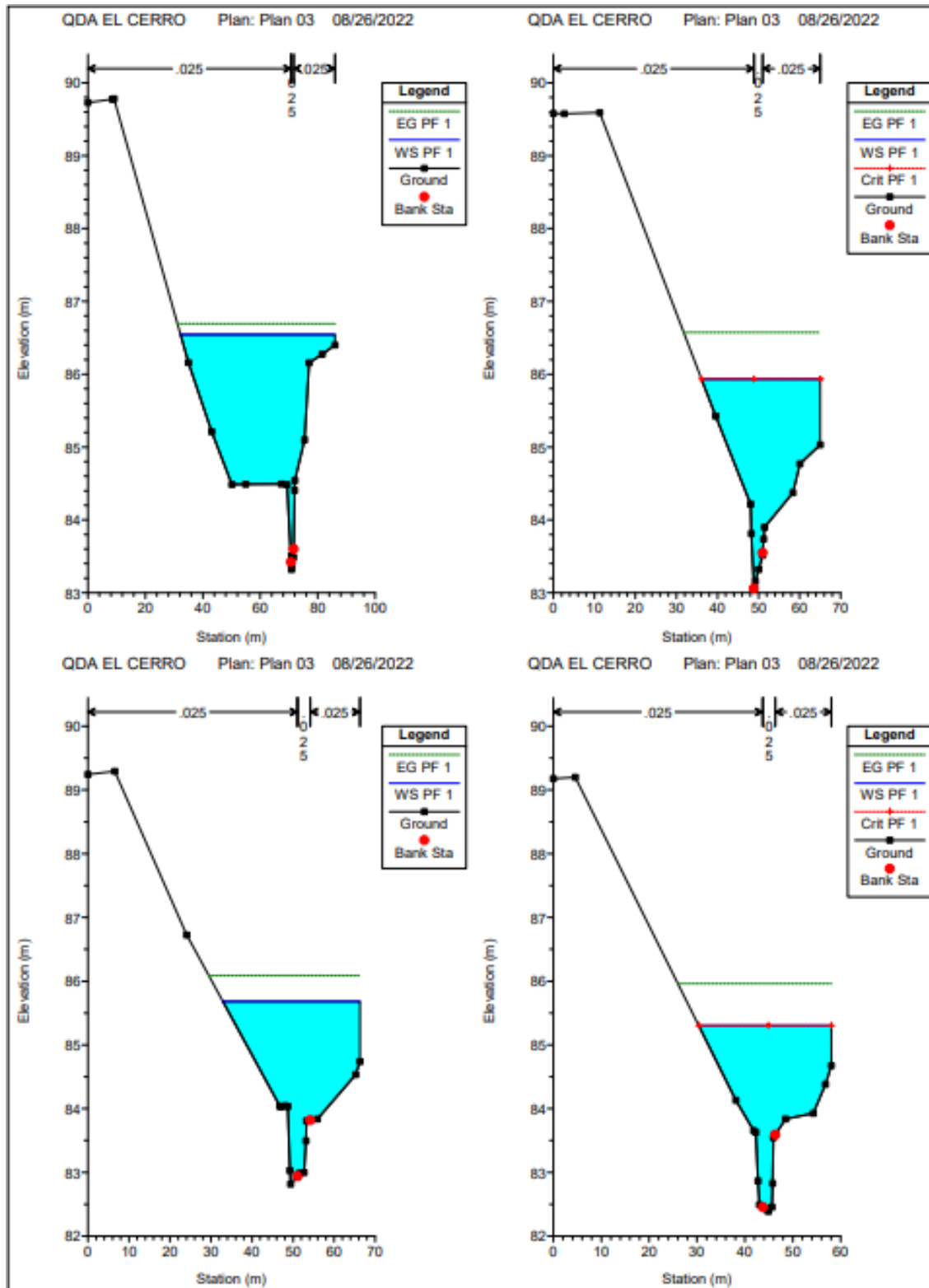
Figura No. 10
Vista en 3D de los tramos de análisis de las “Quebradas EL Cerro”



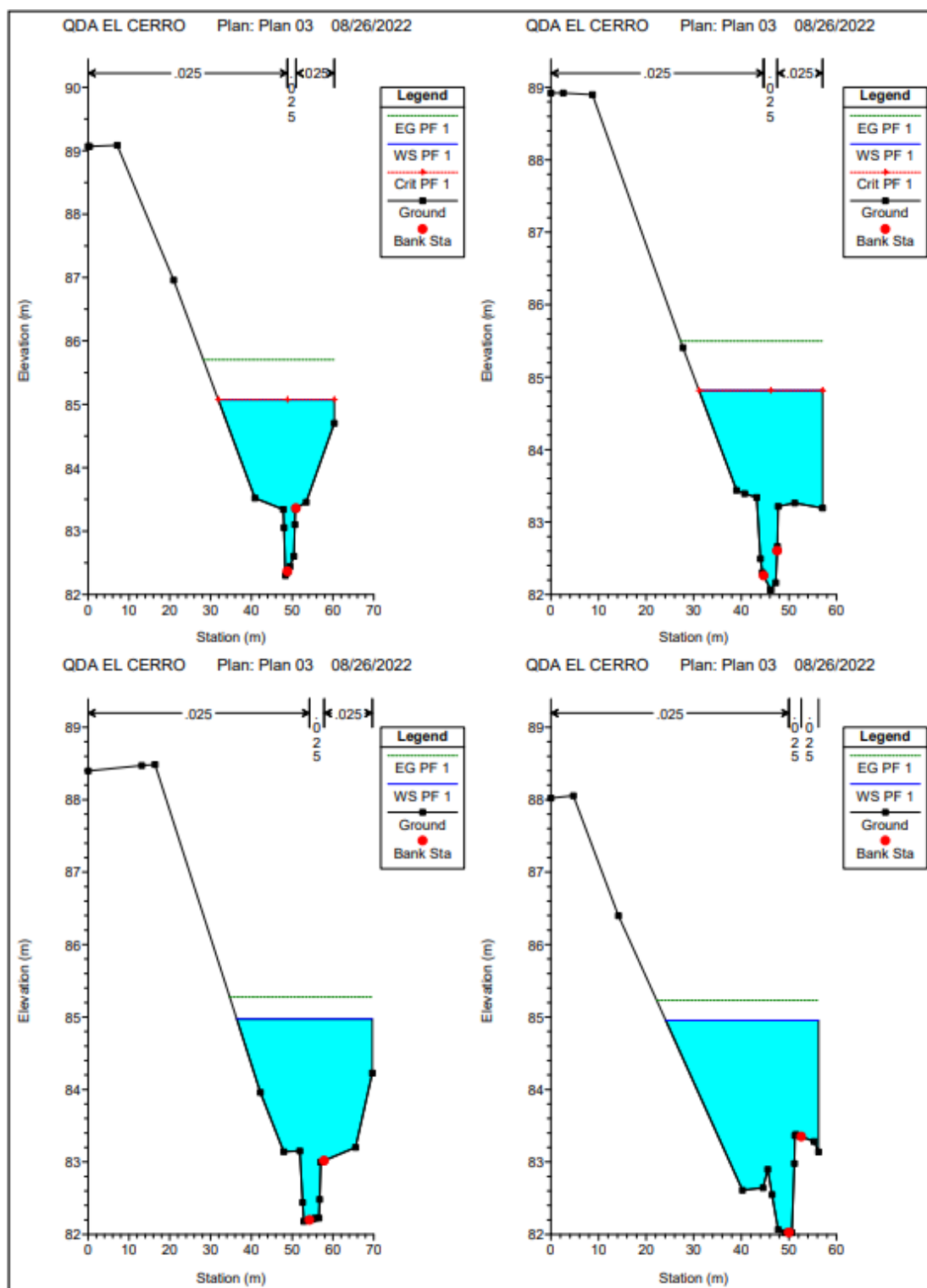
Estación 0+260.00 a Estación 0+200.00



Estación 0+180.00 a Estación 0+100.00



Estación 0+080.00 a Estación 0+020.00



Estación 0+000.00

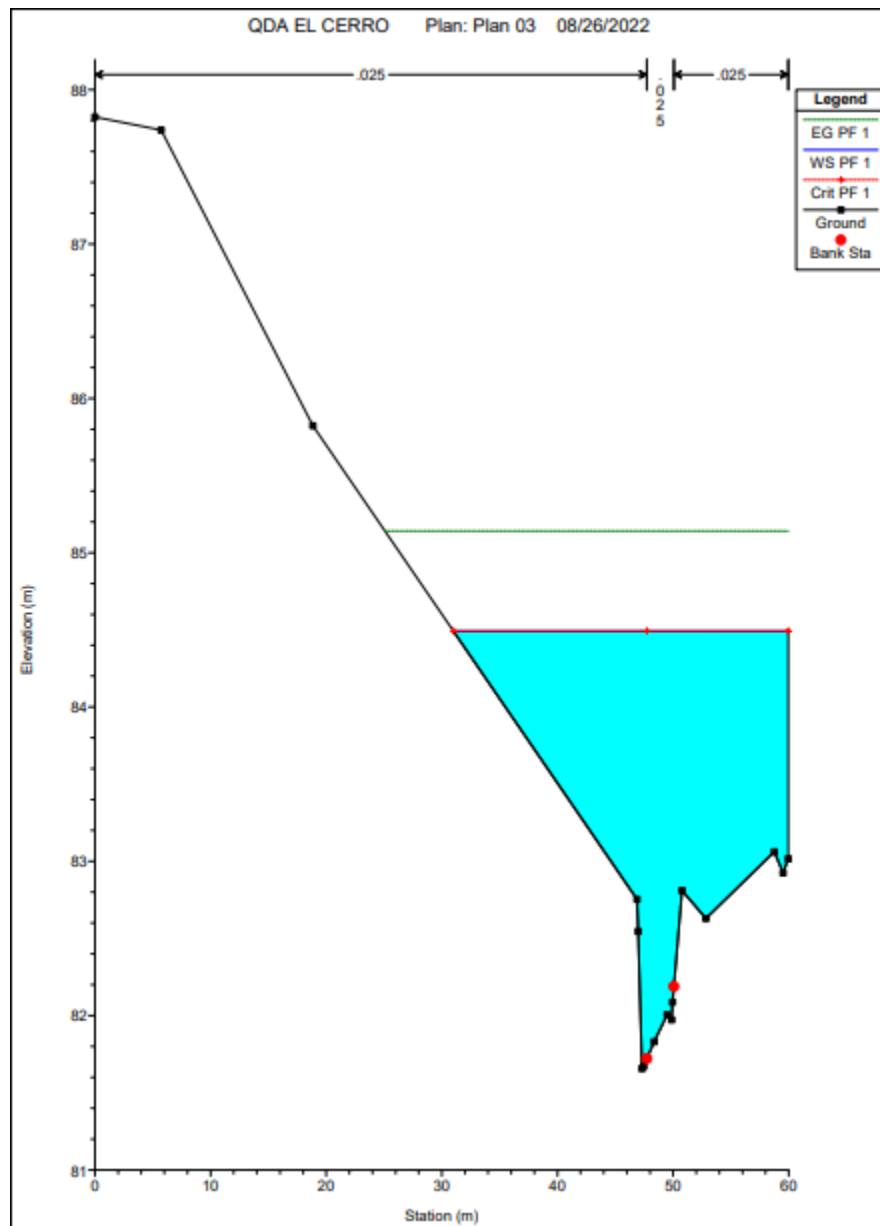


Tabla No. 2

Cuadro con los resultados del tramo de análisis de la “Quebrada El Cerro”

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /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 (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
DRENAJE	260	PF 1	126.06	84.44	86.57		86.93	0.002935	3.34	48.81	37.63	0.75
DRENAJE	240	PF 1	126.06	84.25	86.58		86.87	0.001824	2.88	56.44	38.54	0.62
DRENAJE	220	PF 1	126.06	84.66	86.63		86.81	0.001011	0.89	68.80	46.94	0.33
DRENAJE	200	PF 1	126.06	84.43	86.49		86.77	0.002610	3.02	54.07	43.20	0.71
DRENAJE	180	PF 1	126.06	83.32	86.54		86.69	0.001020	2.21	75.95	53.81	0.40
DRENAJE	140	PF 1	126.06	83.06	85.93	85.93	86.57	0.004340	4.92	38.74	28.92	0.97
DRENAJE	120	PF 1	126.06	82.94	85.68		86.09	0.003028	3.60	46.63	33.43	0.74
DRENAJE	95.57	PF 1	126.06	82.39	85.30	85.30	85.96	0.005318	4.63	36.65	27.70	0.91
DRENAJE	80	PF 1	126.06	82.36	85.08	85.08	85.70	0.005316	4.59	37.05	28.45	0.94
DRENAJE	60	PF 1	126.06	82.06	84.82	84.82	85.50	0.004565	4.88	37.31	25.96	0.96
DRENAJE	40	PF 1	126.06	82.20	84.97		85.28	0.001946	3.04	53.17	33.28	0.61
DRENAJE	20	PF 1	126.06	82.02	84.95		85.23	0.001818	2.31	54.60	32.09	0.51
DRENAJE	0	PF 1	126.06	81.72	84.49	84.49	85.14	0.004487	4.88	38.64	28.97	0.97

Total flow in cross section.

QUEBRADA	ESTACION	Q (50 Años)	Nivel Fondo	NAME (T)	NST	Diferencia
		(m ³ /S)	Qda (m)			
El Cerro	0+260	126.06	84.44	86.57	88.07	3.63
El Cerro	0+240	126.06	84.25	86.58	88.08	3.83
El Cerro	0+220	126.06	84.66	86.63	88.13	3.47
El Cerro	0+200	126.06	84.43	86.49	87.99	3.56
El Cerro	0+180	126.06	83.32	86.54	88.04	4.72
El Cerro	0+140	126.06	83.06	85.93	87.43	4.37
El Cerro	0+120	126.06	82.94	85.68	87.18	4.24
El Cerro	0+100	126.06	82.39	85.3	86.80	4.41
El Cerro	0+080	126.06	82.36	85.08	86.58	4.22
El Cerro	0+060	126.06	82.06	84.82	86.32	4.26
El Cerro	0+040	126.06	82.20	84.97	86.47	4.27
El Cerro	0+020	126.06	82.02	84.95	86.45	4.43
El Cerro	0+020	126.06	81.72	84.49	85.99	4.27

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el desarrollo de este estudio podemos llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Se estimó, que en el punto de análisis de este estudio drena una cuenca con una superficie de 440 has, y mediante el método establecido el manual de crecidas máximas (Lavalin) se determinó que el caudal que transitará en el punto de análisis es de $126.06 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Se ha estimado que los niveles seguros de terracería para el proyecto deben estar por encima de los 4.72 metros medidos desde el fondo de las “Quebradas El Cerro”, estos niveles fueron considerados para una lluvia con un periodo de retorno de 1 en 50 años. Es decir, los niveles adecuados de terracería estarán entre las cotas 85.99 m y 88.13 m para el sector que colinda con ella Quebrada El Cerro” (Ver tablas No.2)
- El modelo HEC-RAS simula adecuadamente el tránsito de los caudales de diseño de las “Quebrada El Cerro” para el periodo de retorno de 50 años.
- Se recomienda construir por arriba de los niveles establecidos en el punto anterior para evitar inundaciones en la zona.
- Se recomienda realizar jornadas de limpieza del cauce de forma periódica para garantizar un flujo adecuado y mitigar posible aumento del nivel de aguas máximas extraordinario.