ALCALDIA MUNICIPAL DE GUADUAS

CONSULTORIA PARA LA GESTIÓN Y EL TRAMITE DEL PERMISO DE OCUPACIÓN DEL CAUCE ASOCIADO A LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL SOBRE EL RÍO GUADERO EN EL MUNICIPIO DE GUADUAS, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

CONSULTOR

LUIS ALEJANDRO BALLESTEROS MEDINA
MP: 091037-0534263 CND

Producto 2

INFORME HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y SOCAVACION

OCTUBRE DE 2025

CONTENIDO

1 ESTUDIO HIDROLOGICO 8
1.1 INTRODUCCIÓN 8
1.2 ALCANCE 9
1.3 MARCO GENERAL DE CLIMA 10
1.4 CIERRE DE CUENCA 11
1.5 INVENTARIO DE ESTACIONES 13
1.5.1 VALORES DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 H ESTACION GUADUAS 14
1.5.2 CURVA IDF ESTACION GUADUAS 15
1.5.3 HIETOGRAMAS DE DISEÑO 17
1.6 ANALISIS HIDROLOGICO 18
1.6.1 PARAMETROS MORFOMETRICOS 18
1.6.2 CARACTERIZACION EDAFOLOGICA 20
1.6.3 OBTENCION DE LA CURVA NUMERO 21
1.6.4 DESARROLLO DEL MODELO HMS 22
1.7 RESULTADOS OBTENIDOS 24
1.7.1 CAUDALES PICO 24
1.7.2 HIDROGRAMAS 24
2 HIDRAULICA 25
2.1 INTRODUCCIÓN 25
2.2 METODOLOGÍA 25
2.2.1 AGUAS CLARAS | HEC-RAS 25
2.2.2 AGUAS CLARAS | IBER 2D 30
2.3 HIDRAULICA TRAMO DE ESTUDIO - ESTADO ACTUAL 33
2.3.1 MODELO UNIDIMENSIONAL (HEC-RAS 1D) 33
2.3.2 MODELO BIDIMENSIONAL (IBER 2D) 38
2.4 RESULTADOS MODELO HIDRÁULICO ACTUAL 47
2.4.1 PROFUNDIDADES DE FLUJO 47
2.4.2 VELOCIDADES DE FLUJO 50
2.4.3 SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAUCE 52
2.4.4 PERFIL LONGITUDINAL 60

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

2.4.5 TABLA DE PARAMETROS HIDRAULICOS 61
2.4.6 PUENTE EXISTENTE 71
2.5 IMPLANTACION PUENTE NUEVO 72
2.5.1 CARACTERISTICAS 72
2.5.2 INCORPORACION EN EL MODELO HIDRAULICO 1D 73
2.5.3 INCOPORACION EN EL MODELO HIDRAULICO 2D 77
2.5.4 RESULTADOS 78
3 SOCAVACION 80
3.1 TRANSPORTE DE FONDO | IBER 2D 80
3.1.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS 80
3.1.2 APLICACIONES PRÁCTICAS DEL SOFTWARE 89
3.1.3 USO DEL SOFTWARE E INSUMOS 89
3.2 ESQUEMATIZACION DEL MODELO DE SOCAVACIÓN – CONDICION ACTUAL 90
3.2.1 MODELO HIDRÁULICO DE AGUAS CLARAS 90
3.2.2 CONDICIONES DE FRONTERA DE SEDIMENTOS 91
3.2.3 CAPA DE ROCA 91
3.2.4 DIÁMETRO DE FONDO 92
3.3 RESULTADOS DEL MODELO DE SOCAVACIÓN CONDICIÓN ACTUAL 95
3.3.1 ESPACIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DE EROSIÓN 95
3.3.2 SECCION TRANSVERSAL DE SOCAVACION EN EL PUNTO DE INTERES ANTES DE LAS OBRAS 96
3.4 IMPLANTACION PUENTE 97
4 CONCLUSIONES 98

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cierre de cuenca 11
Figura 2 Microcuencas identificadas..... 12
Figura 3 Inventario de estaciones 14
Figura 4 Regiones según la metodología de Díaz Granados..... 15
Figura 5 Curvas IDF estación Guaduas..... 16
Figura 6 Curva hipsométrica 19
Figura 7 Distribución de pendientes..... 20
Figura 8 Topología del modelo 24
Figura 9 Hidrogramas..... 24
Figura 10 Interfaz del software..... 26
Figura 11 Cauce y canal con llanura de inundación..... 28
Figura 12 Representación de términos en la ecuación de energía..... 28
Figura 13 Espacialización de caudales..... 33
Figura 14 Geometría del modelo..... 34
Figura 6. Ortofoto y fotos para la obtención de coeficiente de rugosidad de Manning para el área de estudio 37
Figura 7. DTM 39
Figura 8. Input de Caudales..... 40
Figura 9. Esquematización del modelo hidráulico 41
Figura 10. Discretización del modelo anchos de malla en metros 42
Figura 11. Ortofoto y fotos para la obtención de coeficiente de rugosidad de Manning para el área de estudio 45
Figura 12. Condición de salida del modelo 2D. 46
Figura 13. Condición inicial del modelo. 47
Figura 14. Profundidades de Flujo TR 2.33 Años..... 48
Figura 15. Profundidades de Flujo TR 25 Años. 49
Figura 16. Profundidades de Flujo TR 50 Años..... 49
Figura 17. Profundidades de Flujo TR 100 Años..... 49
Figura 18. Velocidad de Flujo TR 2.33 Años..... 50
Figura 19. Velocidad de Flujo TR 25 Años..... 50
Figura 20. Velocidad de Flujo TR 50 Años..... 51
Figura 21. Velocidad de Flujo TR 100 Años..... 51
Figura 22. Secciones Transversales Rio Guadero k1+150 a k1+010..... 52
Figura 23. Secciones Transversales Rio Guadero k1+000 a k0+860..... 53
Figura 33 Secciones Transversales Rio Guadero k0+850 a k0+710..... 54
Figura 34 Secciones Transversales Rio Guadero k0+700 a k0+560..... 55
Figura 35 Secciones Transversales Rio Guadero k0+550 a k0+420..... 56
Figura 36 Secciones Transversales Rio Guadero k0+410 a k0+272..... 57
Figura 37 Secciones Transversales Rio Guadero k0+263 a k0+120..... 58
Figura 38 Secciones Transversales Rio Guadero k0+110 a k0+010..... 59

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Figura 30. Perfil Longitudinal Rio Guadero 60
Figura 40 Sección aguas arriba del puente existente 71
Figura 41 Sección aguas abajo del puente existente..... 71
Figura 42 Perfil longitudinal hidráulico puente existente 72
Figura 43 Planta Estructura Proyectada..... 73
Figura 44 Alzado Estructura Proyectada 73
Figura 45 Geometría del modelo..... 74
Figura 46 Secciones Transversales Estructura 75
Figura 47 Incorporación Tablero..... 76
Figura 48 Incorporación estructura en Modelo 2D..... 77
Figura 49 Sección Transversal Aguas Arriba 78
Figura 50 Sección Transversal Aguas Abajo 78
Figura 51 Sección Transversal Aguas Abajo 79
Figura 1.Procesos de transporte en fuentes loticas 81
Figura 2.Tipos de transporte en fuentes loticas. 81
Figura 3.Localización según tipo de transporte. 82
Figura 4.Interfaz fondo -suspensión..... 83
Figura 5.Tipo de transporte que no puede ser modelado con Iber 84
Figura 6.Curva granulométrica 85
Figura 7.Granulometría extendida y uniforme. 85
Figura 8.Distribución granulometría extendida 86
Figura 9.Raíz cuadrada D84 y el D16. 86
Figura 10.Raíz cuadrada D60 y el D10 87
Figura 11.Tipo de curvas granulométricas 87
Figura 12.Tipo de curva granulométrica. Fuente: Propia..... 87
Figura 13. Lugar de asignación de capacidad de arrastre de fondo 91
Figura 14. Profundidad estrato más fuerte..... 92
Figura 15. Curva granulométrica y D50..... 93
Figura 16. Carga de información en el módulo de transporte de sedimentos de fondo 94
Figura 17. Espacialización de la Erosión TR 100 Tramo de interés – condición sin obra 95
Figura 18. Espacialización de la Agradación TR 100 en el punto de interés – condición sin obra 95
Figura 19. Sección Transversal en el eje de puente Erosión TR 100 – condición sin obra 96
Figura 71 Espacialización de la Erosión TR 100 en el punto de interés condición con obra 97
Figura 21. Sección Transversal en el eje del puente con Erosión TR 100 97
Figura 73 Comparativa de profundidades [Izquierda condición con obra] [Derecha condición actual] 99

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Figura 73 Comparativa de profundidades de socavación [Izquierda condición con obra] [Derecha condición actual] 99

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Inventario de estaciones CAR 13
Tabla 2 Inventario estaciones IDEAM 13
Tabla 3 Valores de precipitación máxima en 24 horas 14
Tabla 4 Valores de las constantes para cada una de las regiones 15
Tabla 5 Valores calculados para las curvas IDF 16
Tabla 6 Hietogramas para cada periodo de retorno 17
Tabla 7 Parámetros morfométricos 19
Tabla 8 Características edafológicas del suelo 20
Tabla 9 Código CLC y área 21
Tabla 10 Calculo de la curva numero 21
Tabla 11 Caudales pico 24
Tabla 12 Rango de valores para los coeficientes de Cowan 35
Tabla 13 Calculo de rugosidad por el método de Cowan 37
Tabla 12 Rango de valores para los coeficientes de Cowan 43
Tabla 13 Calculo de rugosidad por el método de Cowan 45
Tabla 18 Parámetros Hidráulicos TR 2.33 61
Tabla 19 Parámetros Hidráulicos TR 25 63
Tabla 20 Parámetros Hidráulicos TR 50 65
Tabla 21 Parámetros Hidráulicos TR 100 68
Tabla 1 Tamaño de particulas 84
Tabla 2 Selección de ecuación de transporte de sedimentos 90

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

INDICE DE ANEXOS

1. HIDROLOGIA
    1.1. CARTOGRAFIA BASICA
    1.2. CARTOGRAFIA TEMATICA
    1.3. INFORMACION HIDROMETEREOLOGICA
    1.4. IDF
    1.5. MORFOMETRIA
    1.6. GEOHMS
    1.7. CURVA NUMERO
    1.8. MODELO HMS
2. HIDRAULICA
    2.1. INSUMOS
    2.2. MODELOS
        2.2.1. 1D
        2.2.2. 2D
    2.3. RESULTADOS
3. SOCAVACION
    3.1. GRANULOMETRIAS
    3.2. MODELOS

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

1 ESTUDIO HIDROLOGICO

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo desarrolla el análisis hidrológico en el marco del proyecto de construcción de infraestructura vial sobre el río Guadero, ubicado en el municipio de Guaduas, departamento de Cundinamarca. El alcance incluye la caracterización detallada de la dinámica hidrológica de la cuenca aportante al sector de interés.

El río Guadero es una corriente de cuarto orden que rodea la zona urbana de Guaduas y presenta un comportamiento asociado a eventos de creciente súbita, esto en función de las condiciones climáticas extremas. Por tanto, el análisis hidrológico contenido en este informe tiene como finalidad establecer los parámetros de diseño hidrológico fundamentales para evaluar las condiciones de escorrentía en el punto de intervención propuesto.

Para tal efecto, se recopilaron y procesaron series históricas de precipitación, temperatura, evaporación y caudales máximos anuales, utilizando información proveniente de estaciones hidrometeorológicas administradas por el IDEAM y la CAR, ubicadas en el entorno inmediato de la cuenca. A partir de esta información se desarrollaron análisis de frecuencias hidrológicas, estimaciones de caudales pico para diferentes periodos de retorno y generación de hidrogramas de diseño utilizando la metodología del Servicio de Conservación de Suelos (SCS).

Los resultados obtenidos de este capítulo son el insumo técnico para el posterior análisis hidráulico y de estabilidad del cauce, con el fin de definir condiciones de obra que garanticen la seguridad de la infraestructura proyectada y la sostenibilidad ambiental del cauce intervenido.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

1.2 ALCANCE

El presente estudio hidrológico tiene como finalidad aportar los insumos técnicos necesarios para la formulación y soporte del trámite de permiso de ocupación de cauce, requerido para la ejecución de obras de infraestructura vial sobre el rio Guadero en el municipio de Guaduas, Cundinamarca. En concordancia con la normatividad ambiental vigente y las exigencias técnicas de la autoridad ambiental competente, el alcance del estudio comprende los siguientes componentes:

La caracterización climática e hidrometeorológica de la cuenca aportante al punto de intervención, mediante la recopilación, análisis y validación de series históricas de precipitación, temperatura, evaporación y caudales.

La delimitación hidrológica de la cuenca y análisis morfométrico con base en cartografía oficial y modelos digitales de elevación, con el fin de definir con precisión el área de aporte y sus parámetros geométricos relevantes.

La evaluación de la calidad de los datos mediante análisis estadístico, inspección visual y tratamiento de datos faltantes y atípicos, garantizando la confiabilidad de los resultados.

El cálculo de caudales pico asociados a crecientes con periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años, mediante análisis de frecuencias hidrológicas ajustadas a distribuciones probabilísticas validadas estadísticamente.

La estimación de parámetros hidrológicos como el número de curva (CN), abstracción inicial, tiempo de concentración y tiempo de retardo, con base en la metodología del Servicio de Conservación de Suelos (SCS).

La generación de hidrogramas de diseño para cada evento de creciente mediante la aplicación del hidrograma unitario del SCS, con el propósito de establecer escenarios de escorrentía crítica en el área de estudio.

Síntesis técnica de resultados que sirva como base para el posterior modelamiento hidráulico y la definición de soluciones de ingeniería compatibles con la dinámica hídrica del sistema.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

1.3 MARCO GENERAL DE CLIMA

El clima y el régimen de escorrentía en la zona de estudio están condicionados por la interacción de diversos factores geográficos y atmosféricos, cuya combinación da lugar a una distribución particular de las variables meteorológicas. A continuación, se presenta una descripción general de los principales fenómenos que influyen en la variación espacial y temporal del clima en la cuenca del río Guadero, y que por tanto determinan su comportamiento hidrológico.

En esta región del país, como en gran parte del territorio colombiano, las precipitaciones están fuertemente influenciadas por el comportamiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). Esta franja atmosférica, caracterizada por la convergencia de masas de aire húmedo con baja presión relativa, experimenta un movimiento latitudinal estacional que responde al desplazamiento aparente del sol, con un desfase aproximado de dos meses.

Dicho desplazamiento genera un patrón bimodal de lluvias, con dos periodos húmedos principales a lo largo del año. El primero se presenta entre los meses de abril y mayo, y el segundo entre octubre y noviembre. Estos periodos coinciden con la mayor actividad convectiva inducida por la cercanía de la ZCIT, provocando un aumento en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones en la región.

Durante los primeros meses del año, la ZCIT se posiciona al sur del territorio nacional, provocando un incremento en la pluviosidad en las regiones del piedemonte y Amazonía. A medida que avanza el año, esta zona se desplaza progresivamente hacia el norte, alcanzando su posición más septentrional entre julio y agosto, alrededor de los 10° de latitud norte, para luego retornar hacia el sur.

Este movimiento estacional de la ZCIT da origen a una alternancia regular de periodos secos y lluviosos, reflejada en la variabilidad intraanual de la precipitación y otras variables climáticas asociadas, como la humedad relativa, la nubosidad y la temperatura superficial. Este comportamiento cíclico es un factor determinante en la generación de eventos extremos y en la planificación de las obras hidráulicas previstas para la intervención del cauce.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

1.4 CIERRE DE CUENCA

Con el propósito de delimitar con precisión el área de aporte al punto de interés sobre el río Guadero, se utilizó un Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución espacial de 12.5 × 12.5 metros, obtenido a partir de imágenes del satélite ALOS PALSAR. Este modelo ofrece una alta fidelidad en la representación del relieve y, por tanto, permite una definición más precisa de la red de drenaje natural y de los límites hidrológicos de la cuenca.

La información derivada del MDE fue procesada mediante herramientas de análisis hidrológico en sistemas de información geográfica (SIG), lo cual permitió trazar con mayor exactitud los contornos de la cuenca hidrográfica asociada al tramo del río donde se proyecta la intervención. Esta delimitación constituye la base para el análisis morfométrico, la caracterización hidrológica y la estimación de caudales de diseño empleados en el presente estudio.

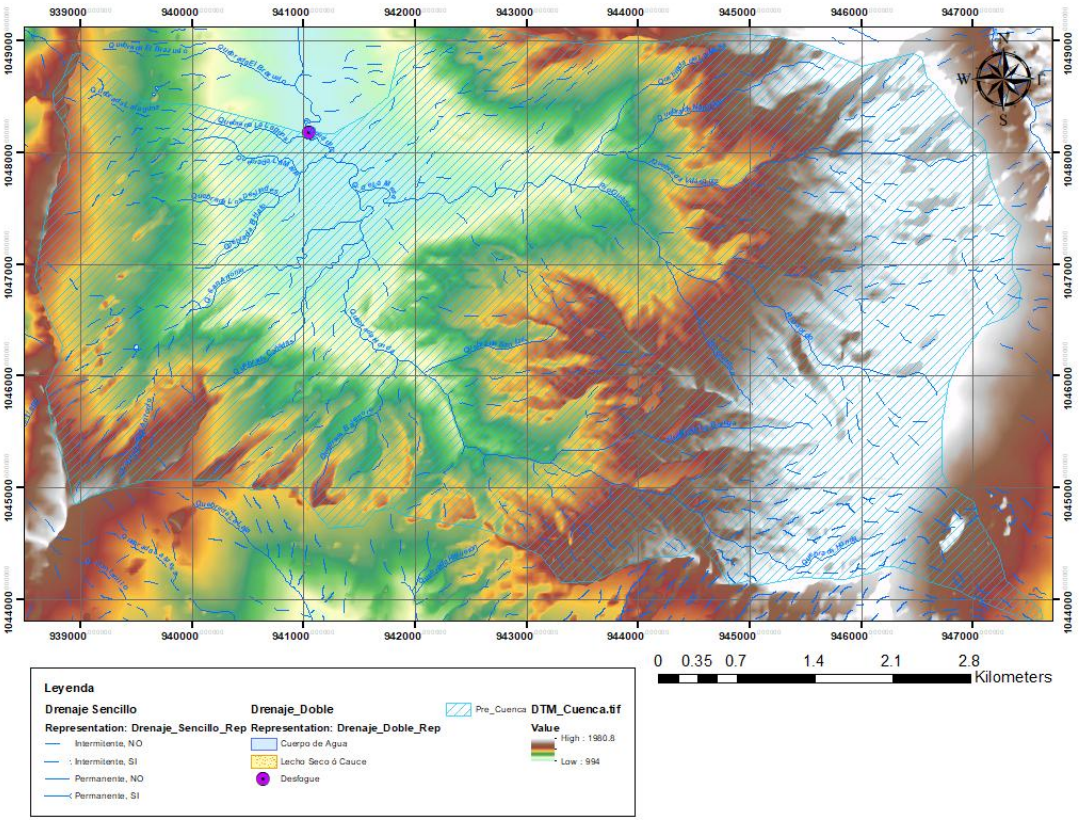


Figura 1 Cierre de cuenca

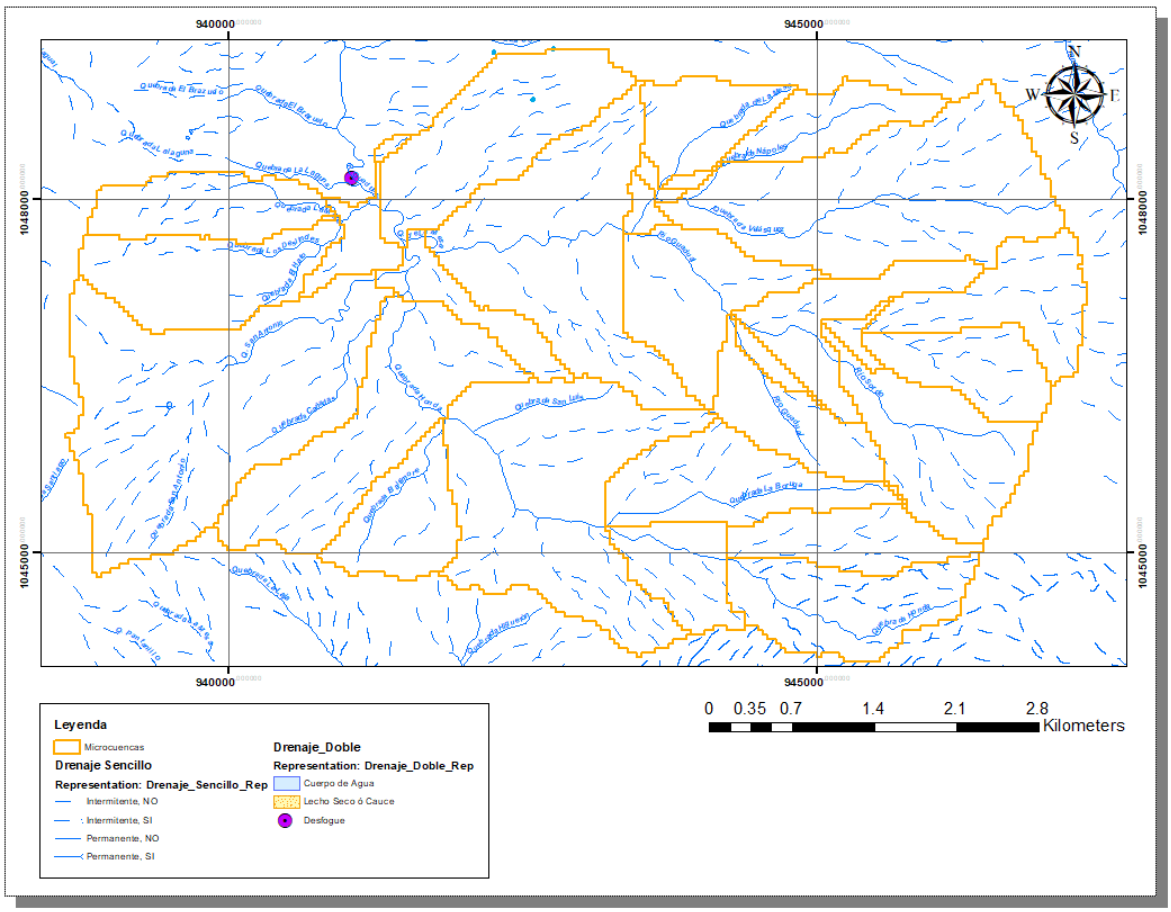


Figura 2 Microcuencas identificadas

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

1.5 INVENTARIO DE ESTACIONES

Como parte del proceso de caracterización hidrológica de la cuenca del río Guadero, se realizó un inventario detallado de las estaciones hidrometeorológicas ubicadas en el área de influencia del proyecto. La selección de las estaciones se basó en su proximidad al punto de estudio, la representatividad espacial dentro de la cuenca y la calidad y continuidad de sus registros históricos.

La consulta se realizó a partir del catálogo nacional del IDEAM y la base de datos de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), identificando estaciones en un radio de hasta 10 km alrededor del punto de cierre de la cuenca. Se priorizaron estaciones con información de caudales máximos anuales, precipitaciones acumuladas, temperatura, evaporación y otros parámetros climáticos relevantes.

Tabla 1 Inventario de estaciones CAR

Código	Nombre	Tipo	E	N
2306034	SAN ISIDRO	PM	952727	1050100
2306517	GUADUAS	CP	942251	1050950

Tabla 2 Inventario estaciones IDEAM

CODIGO	NOMBRE	CATEGORIA	TECNOLOGIA	ESTADO	FECHA_INST
2306500106	ALTO DEL TRIGO - [2306500106]	Climática Principal	Automática con Telemetría	Activa	3/26/2018
21230120	BELLEZA LA [21230120]	Pluviométrica	Convencional	Activa	12/15/1986
23065200	TRAPICHE EL [23065200]	Climática Ordinaria	Convencional	Suspendida	5/12/2009
23060140	TUSCOLO EL [23060140]	Pluviométrica	Convencional	Activa	2/14/1971

La estación seleccionada para trabajo fue la estación Guaduas operada por la CAR ya que esta posee los datos de precipitación máxima en 24 horas, mientras que las estaciones del IDEAM únicamente suministraron las precipitaciones acumuladas en un día pluviométrico.

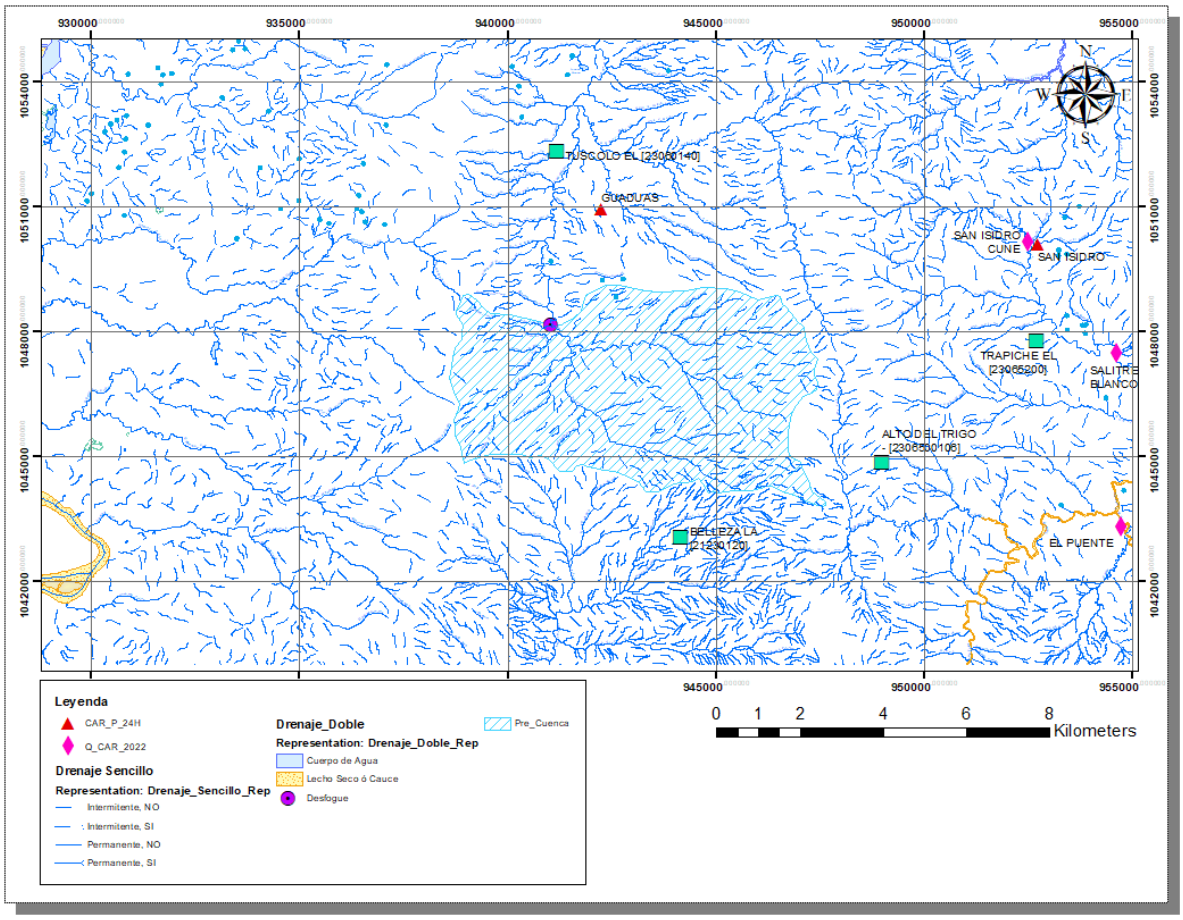


Figura 3 Inventario de estaciones

1.5.1 VALORES DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 H ESTACION GUADUAS

Los datos registrados por la estación Guaduas una vez completados los datos vacíos se muestran a continuación.

Tabla 3 Valores de precipitación máxima en 24 horas

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	Pmax Anual
2000	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	9.0	39.0	24.0	29.0	39.0
2001	40.0	26.0	44.0	17.0	37.0	22.0	4.0	0.0	26.0	18.0	18.0	25.0	44.0
2002	38.0	0.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	30.0	31.0	17.0	38.0	38.0
2003	0.0	54.0	54.0	54.0	11.0	54.0	54.0	8.0	21.0	31.0	34.0	26.0	54.0
2004	13.0	29.0	25.0	76.0	44.0	57.0	7.0	6.0	76.0	76.0	0.0	53.0	76.0
2005	27.0	86.0	86.0	31.0	86.0	40.0	74.0	62.0	2.0	19.0	17.0	1.0	86.0
2006	10.0	20.0	40.0	14.0	16.0	4.0	18.0	19.0	30.0	24.0	47.0	23.0	47.0
2007	34.0	2.0	60.0	40.0	20.0	7.0	38.0	15.0	21.0	150.0	22.0	20.0	150.0
2008	58.0	37.0	10.0	30.0	26.0	6.0	62.0	39.0	25.0	33.0	81.0	34.0	81.0
2009	67.0	25.0	31.0	30.0	57.0	28.0	6.0	24.0	7.0	67.0	29.0	43.0	67.0
2010	2.0	49.0	50.0	86.0	44.0	18.0	33.0	18.0	25.0	57.0	58.0	38.0	86.0
2011	17.0	73.0	22.0	48.0	32.0	34.0	34.0	12.0	23.0	38.0	89.0	16.0	89.0

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	Pmax Anual
2012	44.0	59.0	15.0	53.0	18.0	11.0	4.0	13.0	20.0	93.0	40.0	8.0	93.0
2013	7.0	35.0	58.0	86.0	36.0	10.0	3.0	70.0	33.0	50.0	34.0	65.0	86.0
2014	52.0	15.0	31.0	20.0	33.0	26.0	4.0	9.0	29.0	46.0	48.0	38.0	52.0
2015	16.0	17.0	42.0	28.0	35.0	14.0	14.0	2.0	18.0	26.0	12.0	1.0	42.0
2016	9.0	22.0	76.0	52.0	48.0	22.0	19.0	3.0	57.0	59.0	23.0	40.0	76.0
2017	36.0	15.0	69.0	43.0	52.0	29.0	9.0	22.0	10.0	59.0	44.0	17.0	69.0
2018	24.0	18.0	28.0	21.0	47.0	14.0	11.0	15.0	28.0	92.0	34.0	6.9	92.0
2019	18.8	26.3	32.3	26.1	39.1	14.2	15.4	18.7	40.8	34.8	19.2	78.1	78.1
2020	6.2	17.0	15.5	17.1	40.1	25.9	33.8	37.5	15.1	26.0	19.0	31.3	40.1
2021	25.4	51.0	39.8	132.6	25.2	48.1	17.8	20.7	13.3	56.6	48.4	47.6	132.6

1.5.2 CURVA IDF ESTACION GUADUAS

Con base en la información de precipitaciones en 24 horas se generaron las curvas IDF mediante la metodología de Díaz Granados con las constantes correspondientes a las de la región andina.

Tabla 4 Valores de las constantes para cada una de las regiones

Región	#Estaciones evaluadas	a	b	c	d	r^2
Región Andina (R1)	116	0.94	0.18	0.66	0.83	0.93
Región del Caribe (R2)	28	24.85	0.22	0.50	0.10	0.72
Región del Pacífico(R3)	17	13.92	0.19	0.58	0.20	0.88
Región Orinoquia (R4)	4	5.53	0.17	0.63	0.42	0.91

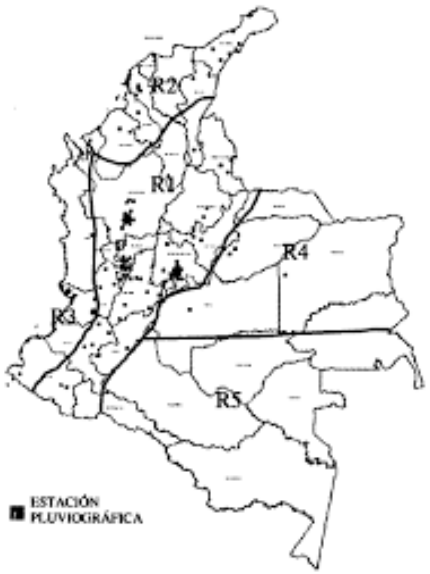


Figura 4 Regiones según la metodología de Díaz Granados

Tabla 5 Valores calculados para las curvas IDF

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)					
	2.33	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
10	126.48	145.12	164.40	193.88	219.64	248.83
20	80.05	91.84	104.05	122.70	139.01	157.48
30	61.25	70.28	79.62	93.89	106.37	120.50
40	50.66	58.12	65.85	77.66	87.98	99.67
50	43.72	50.16	56.83	67.02	75.93	86.02
60	38.77	44.48	50.39	59.42	67.32	76.26
70	35.02	40.17	45.51	53.67	60.81	68.89
80	32.06	36.79	41.67	49.15	55.68	63.08
90	29.66	34.03	38.56	45.47	51.51	58.36
100	27.67	31.75	35.97	42.42	48.05	54.44
110	25.98	29.81	33.77	39.83	45.12	51.12
120	24.53	28.15	31.89	37.61	42.60	48.27
130	23.27	26.70	30.25	35.67	40.41	45.78
140	22.16	25.43	28.80	33.97	38.48	43.60
150	21.17	24.29	27.52	32.46	36.77	41.66
160	20.29	23.28	26.37	31.10	35.24	39.92
170	19.50	22.37	25.34	29.88	33.85	38.35
180	18.77	21.54	24.40	28.78	32.60	36.93

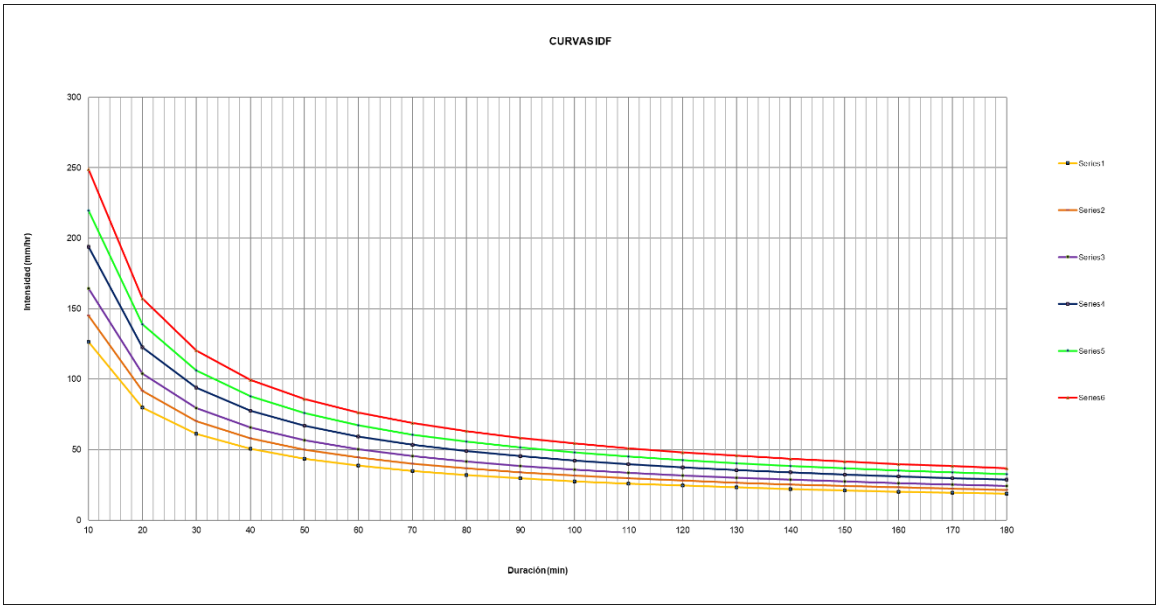


Figura 5 Curvas IDF estación Guaduas

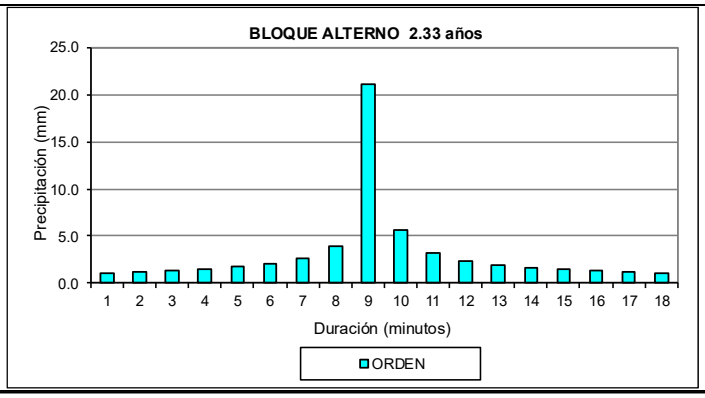
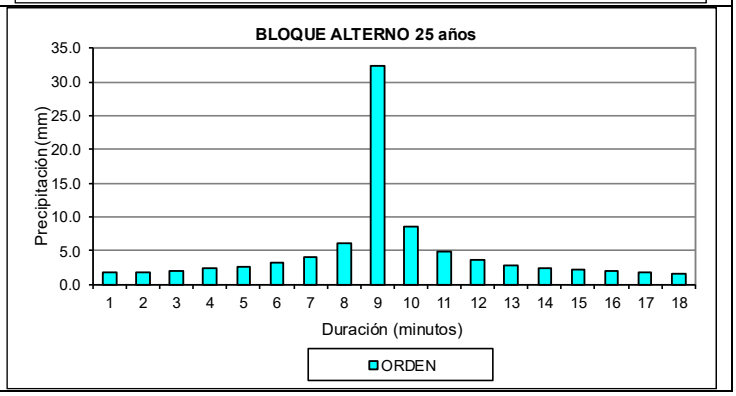
1.5.3 HIETOGRAMAS DE DISEÑO

Con base en las curvas IDF y la duración esperada del evento (igual al tiempo de concentración de la microcuenca), se construyeron los respectivos hietogramas sintéticos de diseño para cada periodo de retorno. Se adoptó una distribución tipo bloque alterno para la simulación en HEC-HMS, lo cual permite representar de manera realista el evento.

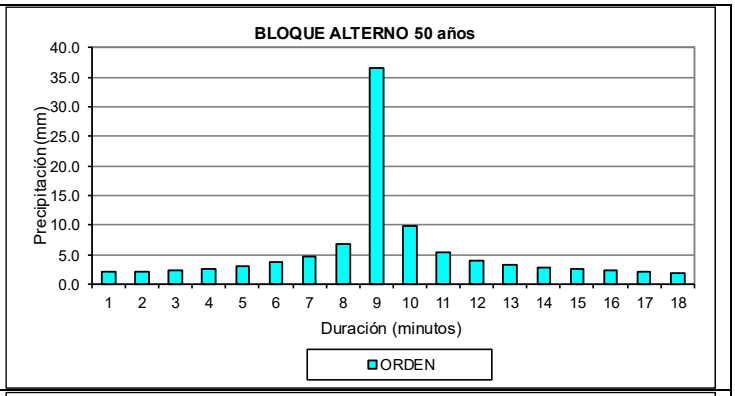
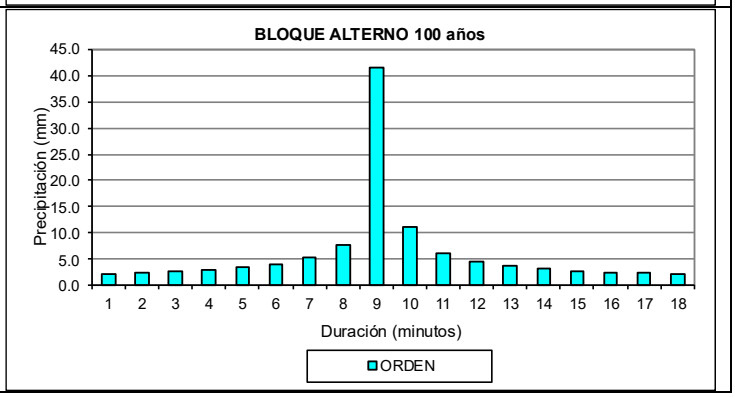
Los hietogramas fueron generados para los siguientes periodos de retorno:

- TR = 2.33 años → eventos frecuentes de escorrentía
- TR = 25 años → eventos de diseño para infraestructura menor
- TR = 50 años → eventos de retorno medio-alto
- TR = 100 años → eventos extremos de referencia para zonas protegidas

Tabla 6 Hietogramas para cada periodo de retorno

Retorno 2.33 Años	
Retorno 25 Años	

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Retorno 50 Años	
Retorno 100 Años	

1.6 ANALISIS HIDROLOGICO

Este capítulo presenta el análisis hidrológico de la cuenca del río Guadero, como parte fundamental para comprender la dinámica hídrica del sistema y establecer parámetros de diseño confiables que respalden el trámite del permiso de ocupación de cauce. El análisis integra información climatológica e hidrometeorológica procesada a partir de estaciones representativas ubicadas en el área de influencia, priorizando aquellas con registros históricos robustos y cercanía al punto de estudio.

Se desarrollan evaluaciones específicas de variables clave como precipitación, temperatura y evaporación, con el fin de caracterizar el régimen hidrológico de la cuenca y determinar condiciones críticas que puedan influir en la ocurrencia de eventos extremos. Los resultados obtenidos permiten estimar la disponibilidad hídrica superficial, las condiciones de escurrimiento, y los riesgos asociados a la variabilidad climática de la zona.

1.6.1 PARAMETROS MORFOMETRICOS

Se realiza una caracterización cuantitativa de la morfología de la cuenca hidrográfica de la zona de estudio con el fin de tener un entendimiento aproximado de la variación

espacial de los elementos del régimen hidrológico (Monsalve Sáenz, 1995). Para esto se determinan algunos parámetros característicos de las cuencas hidrográficas a partir de la cartografía obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Tabla 7 Parámetros morfométricos

Propiedades	Área	3347.2	Ha
	Perímetro	31.7	km
	Longitud Cauce principal	8.1	Km
	Longitud Axial	6.04	km
	Longitud Transversal	4.9	km
	Longitud de drenajes	127.96	km
	Cantidad de drenajes	127.00	und

Lineales	Densidad de drenajes	3.823	km/Km2
	Densidad hidrográfica	0.00038	Cauces/Km2
	Textura drenaje	4.00	Cauces/Km
	Longitud del flujo superficial	0.131	km

De forma	Relación de elongación	0.80	ad
	Relación de circularidad	0.42	ad
	Coeficiente de compacidad	1.55	ad
	Factor de forma	4.12	ad
	Forma de la cuenca	1.97	ad

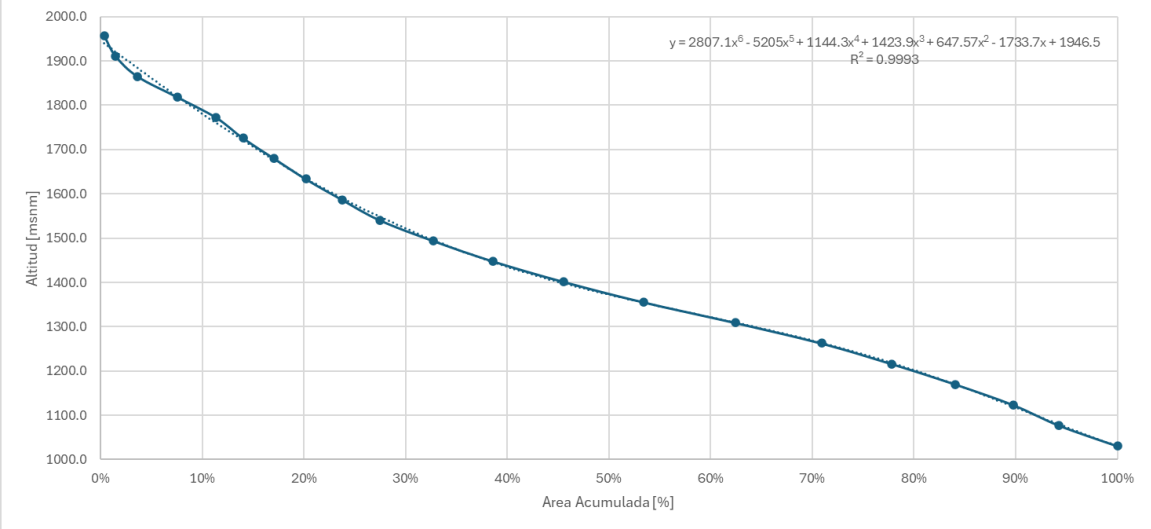


Figura 6 Curva hipsométrica

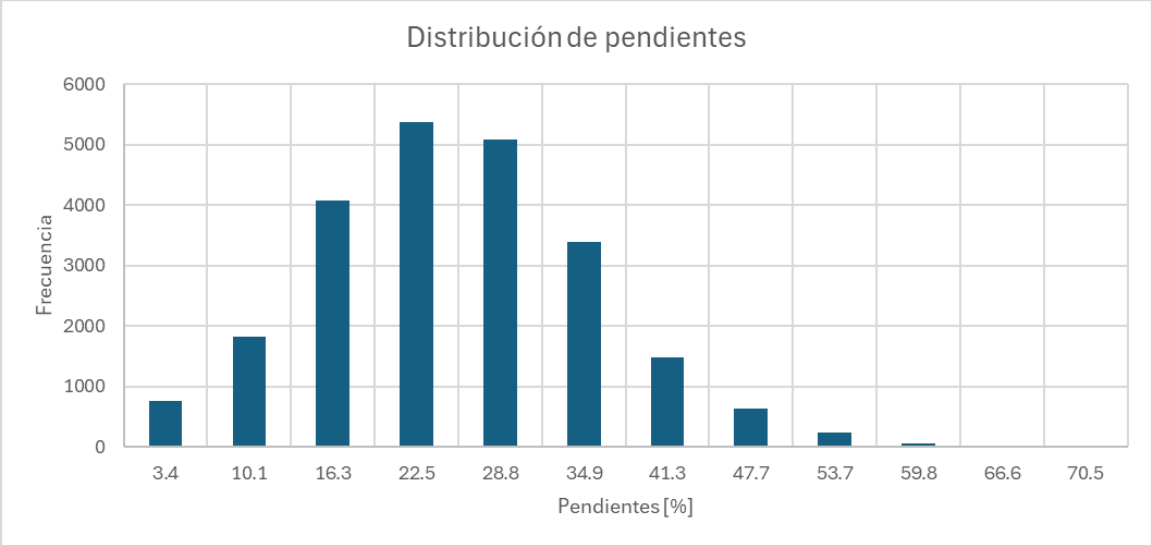


Figura 7 Distribución de pendientes

1.6.2 CARACTERIZACION EDAFOLOGICA

La caracterización edafológica se realizó a partir de los estudios del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el cruce de datos con el visor Colombia en Mapas. El análisis se enfocó en los perfiles taxonómicos dominantes, su distribución espacial y su relación con el comportamiento hidrológico del suelo en cuanto a capacidad de retención, drenaje y potencial de recarga hídrica, a continuación, se presenta la información obtenida de la capa Suelos Cundinamarca estala 1:100000.

Tabla 8 Características edafológicas del suelo

Característica del suelo	Área en Ha
Suelos moderadamente profundos a superficiales, bien a excesivamente drenados, de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, reacción fuertemente ácida a neutra, baja saturación de aluminio y fertilidad moderada a alta	179.71
Suelos moderadamente profundos a superficiales, bien drenados, de texturas finas a moderadamente finas, reacción neutra a medianamente alcalina y fertilidad alta	77.02
Suelos moderadamente profundos, bien drenados, con texturas medias, reacción muy fuerte a medianamente ácida, media a alta saturación de aluminio y fertilidad baja	208.87
Suelos profundos a moderadamente profundos, bien a excesivamente drenados, de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, reacción muy fuerte a ligeramente ácida, saturación de aluminio baja y fertilidad moderada a alta	316.78
Suelos profundos a moderadamente profundos, bien drenados, de texturas finas, reacción mediana a ligeramente ácida, saturación de aluminio baja y fertilidad alta	123.82

Característica del suelo	Área en Ha
Suelos profundos a superficiales, bien a excesivamente drenados, con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, reacción extremada a fuertemente ácida, media a alta saturación de aluminio y fertilidad moderada a baja	1892.88
Suelos superficiales a profundos, bien drenados, con texturas finas a medias, reacción extremadamente ácida a medianamente alcalina, saturación de aluminio baja y fertilidad moderada a alta	548.16

La caracterización del uso actual del suelo se llevó a cabo a partir de la clasificación de coberturas CORINE Land Cover (CLC) adaptada a Colombia, a nivel de desagregación 3. Esta información fue obtenida mediante análisis SIG y validación puntual con imágenes satelitales. El objetivo de este componente es identificar las coberturas predominantes y su relación funcional con los procesos de recarga hídrica, a partir del grado de intervención antrópica y la capacidad de infiltración asociada.

Tabla 9 Código CLC y área

Código CLC y cobertura	Área Ha
2.3.1. Pastos limpios	1090.07
2.3.3. Pastos enmalezados	114.59
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	161.47
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	946.68
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	100.76
3.1.4. Bosque de galería y ripario	31.25
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	675.88
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	226.54

1.6.3 OBTENCION DE LA CURVA NUMERO

Se realizo el cruce de las capas de coberturas de usos actuales y la caracterización edafológica, con lo que se obtienen las siguientes clasificaciones hidrológicas ya asignaciones de curvas número correspondientes a cada microcuenca obtenida.

Tabla 10 Calculo de la curva numero

Cuencas CN	39	57	61	64	65	68	71	73	77	79	70	66	50	Total general	CN
W420	49.52	35.43	53.49	8.13	6.73			3.39	18.94	21.83	1.64	0.42	9.80	209.31	*58.45*
W490	0.50		20.15	2.15					59.20	7.48			0.19	89.68	*72.99*
W410	30.13		48.32	19.11				25.08	215.83	0.30		9.24	60.53	408.55	*67.20*
W380	35.48	0.41	2.78					1.37	0.08	8.13	0.35		4.87	53.46	*48.49*
W290	82.72		28.62					1.03		5.06			53.61	171.04	*47.52*
W330				2.89				5.39	59.61	7.70		9.14	10.64	95.38	*72.47*
W360			1.89					25.13	1.39	6.64				35.06	*73.65*

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

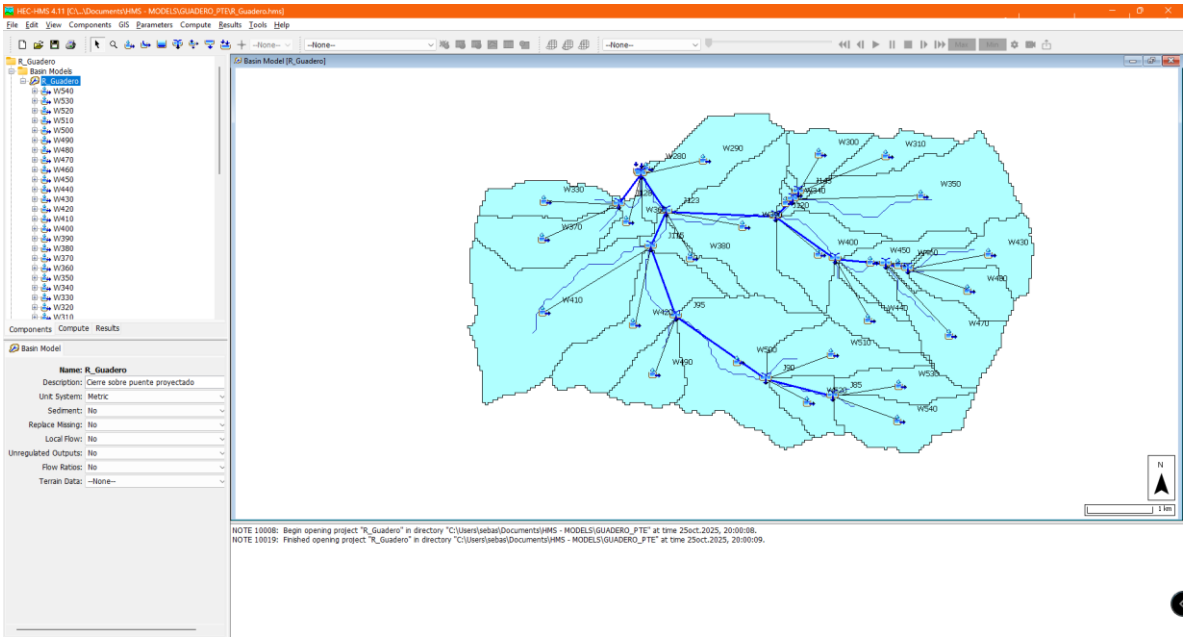
W370				0.79				8.77	91.14	1.24		22.71	12.07	136.72	*72.48*
W530	17.92	0.14		3.98			6.54						54.39	82.97	*49.96*
W540	47.21	0.24		41.46			0.00						42.98	131.90	*50.48*
W350	19.69		73.04	72.22	48.99	0.17	1.69		13.78	4.79		4.09	79.22	317.69	*59.28*
W450	0.47		0.09	31.05		3.16	46.57			0.12		0.00	9.97	91.44	*66.06*
W430	15.67	0.12	2.88	2.51		12.68	23.40			21.59			29.09	107.94	*61.50*
W300	5.31	26.19		4.63	37.19								0.00	73.32	*60.20*
W310		5.32		59.98	6.20				3.43					74.93	*64.18*
W390	203.58	0.23	3.74	22.11	4.08	29.15							8.07	270.95	*45.20*
W500	127.79	20.79	42.46	20.95			7.91		1.41			11.61	79.68	312.58	*49.65*
W510	25.52			42.85			48.76						12.00	129.12	*60.40*
W520	30.70						30.30						9.26	70.26	*54.25*
W400	1.58			85.07			23.77						30.10	140.52	*61.90*
W440	4.77			23.34			14.42						41.02	83.55	*56.91*
W470	70.59	2.42		14.12			14.19						44.46	145.77	*48.19*
W480	39.28	0.02		15.28			1.81						26.72	83.11	*47.84*
W320	0.14			1.00	5.13									6.28	*64.24*
W340	0.53			6.40	4.75									11.69	*63.27*
W460				3.34			7.18							10.52	*68.78*
W280	0.15		3.35											3.51	*60.04*

1.6.4 DESARROLLO DEL MODELO HMS

El objetivo de este apartado es el de modelar el comportamiento de las cuencas hidrográficas frente a eventos de precipitación. En esta fase, se desarrolla un modelo de lluvia-escorrentía utilizando HEC-HMS (Hydrologic Modeling System), una herramienta que permite simular el proceso de transformación de la lluvia en escorrentía a partir de datos hidrometeorológicos y características de la cuenca. El propósito del modelo es proporcionar una estimación precisa del caudal resultante de eventos de precipitación específicos, lo que resulta crucial para la planificación hidrológica y la gestión de recursos hídricos.

La implementación de este modelo incluye la definición de las características de la cuenca, la distribución de la lluvia, la generación de hietogramas y la selección de métodos de transformación de lluvia a escorrentía. Este proceso es fundamental para la toma de decisiones en la gestión de inundaciones, diseño de infraestructura hidráulica y conservación de los ecosistemas acuáticos.

El modelo hidrológico de lluvia-escorrentía fue desarrollado utilizando el software HEC-HMS (Hydrologic Modeling System), una herramienta ampliamente utilizada en la simulación de procesos hidrológicos en cuencas hidrográficas. HEC-HMS, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, permite modelar la transformación de la precipitación en escorrentía a través de la representación de diversos procesos hidrológicos, tales como la pérdida de agua por infiltración, la acumulación de flujo en el sistema de drenaje y la propagación del caudal a lo largo de cauces y cuerpos de agua.



El software se adapta a una gran variedad de condiciones topográficas y climáticas, lo que lo hace adecuado para su aplicación en cuencas de diferentes escalas y características. En este estudio, HEC-HMS fue seleccionado por su capacidad para integrar datos hidrometeorológicos, como las curvas IDF y los hietogramas generados, así como por su flexibilidad para utilizar diferentes métodos de estimación de pérdidas, transformación de lluvia a escorrentía, y modelos de flujo base.

HEC-HMS permite configurar subcuencas, redes de canales, reservorios y otros elementos hidrológicos de manera esquemática, lo que facilita la representación precisa de la cuenca hidrográfica de [nombre de la cuenca]. Además, el software ofrece una interfaz gráfica intuitiva y herramientas de análisis que permiten la calibración y validación del modelo mediante la comparación de los resultados simulados con datos observados.

La versión utilizada en este estudio fue la versión 4.12, y se configuró para simular eventos de precipitación a partir de los hietogramas generados. Los resultados obtenidos del modelo son fundamentales para evaluar el comportamiento hidrológico de la cuenca y para la planificación de recursos hídricos, análisis de inundaciones y diseño de infraestructuras.

Para este modelo se emplearon un total de 27 elementos tipo cuenca o unión de cuencas, y 27 elementos tipo conexión o drenaje.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

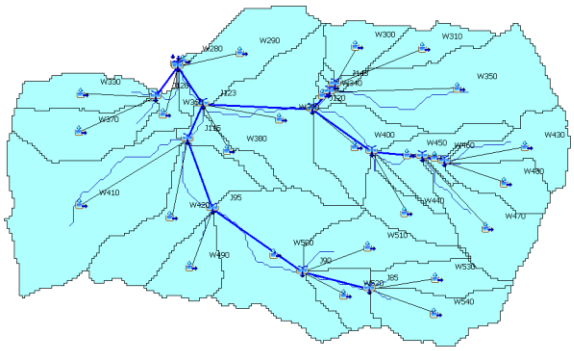


Figura 8 Topología del modelo

1.7 RESULTADOS OBTENIDOS

1.7.1 CAUDALES PICO

Los caudales pico obtenidos se resumen a continuación:

Tabla 11 Caudales pico

TR	Q m^3/s
TR 2.33	13.1
TR 25	51.9
TR 50	73.0
TR 100	101.5

1.7.2 HIDROGRAMAS

Los hidrogramas obtenidos se resumen a continuación:

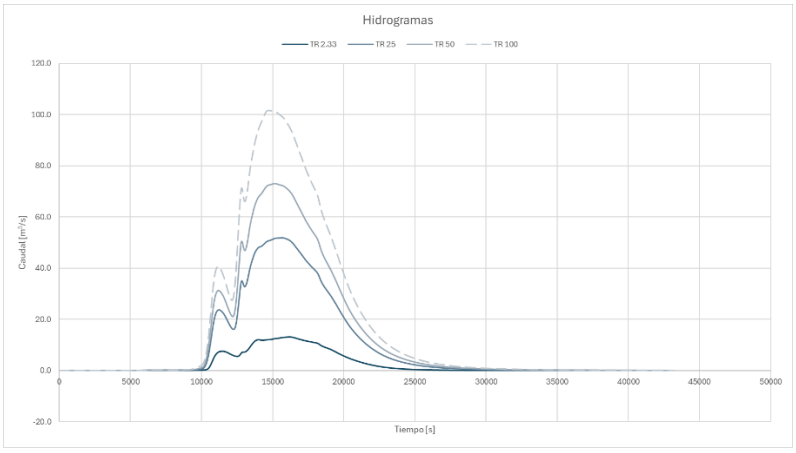


Figura 9 Hidrogramas

2 HIDRAULICA

2.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo tiene como objetivo evaluar el comportamiento hidráulico del cauce del río Guadero en un tramo de 1.15 km. La modelación se adelanta con la finalidad de dar sustento técnico a la solicitud del permiso de ocupación para el puente vehicular proyectado sobre el rio Guadero sustituyendo el actual paso hidráulico tipo boxCulvert en el municipio de Guaduas Cundinamarca.

A partir de los caudales de diseño obtenidos en el estudio hidrológico, se implementaron modelos numéricos en dos dimensiones (2D) y unidimensionales (1D) que permiten simular el régimen de flujo en condiciones de creciente, analizar el comportamiento del agua en el entorno del cauce y establecer los parámetros críticos necesarios para el diseño de obras hidráulicas seguras y sostenibles.

La modelación unidimensional se realizó en HEC-RAS, orientada al análisis del flujo longitudinal a lo largo del cauce y la evaluación de la capacidad hidráulica mediante perfiles de superficie libre. De forma complementaria, se utilizó IBER 2D para simular la propagación espacial del flujo y representar con mayor detalle la interacción del agua con el terreno circundante, permitiendo identificar zonas de desbordamiento, velocidades críticas y potenciales áreas de afectación por inundaciones o socavación.

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 AGUAS CLARAS | HEC-RAS

El software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) es modelo de dominio público desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE. UU. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

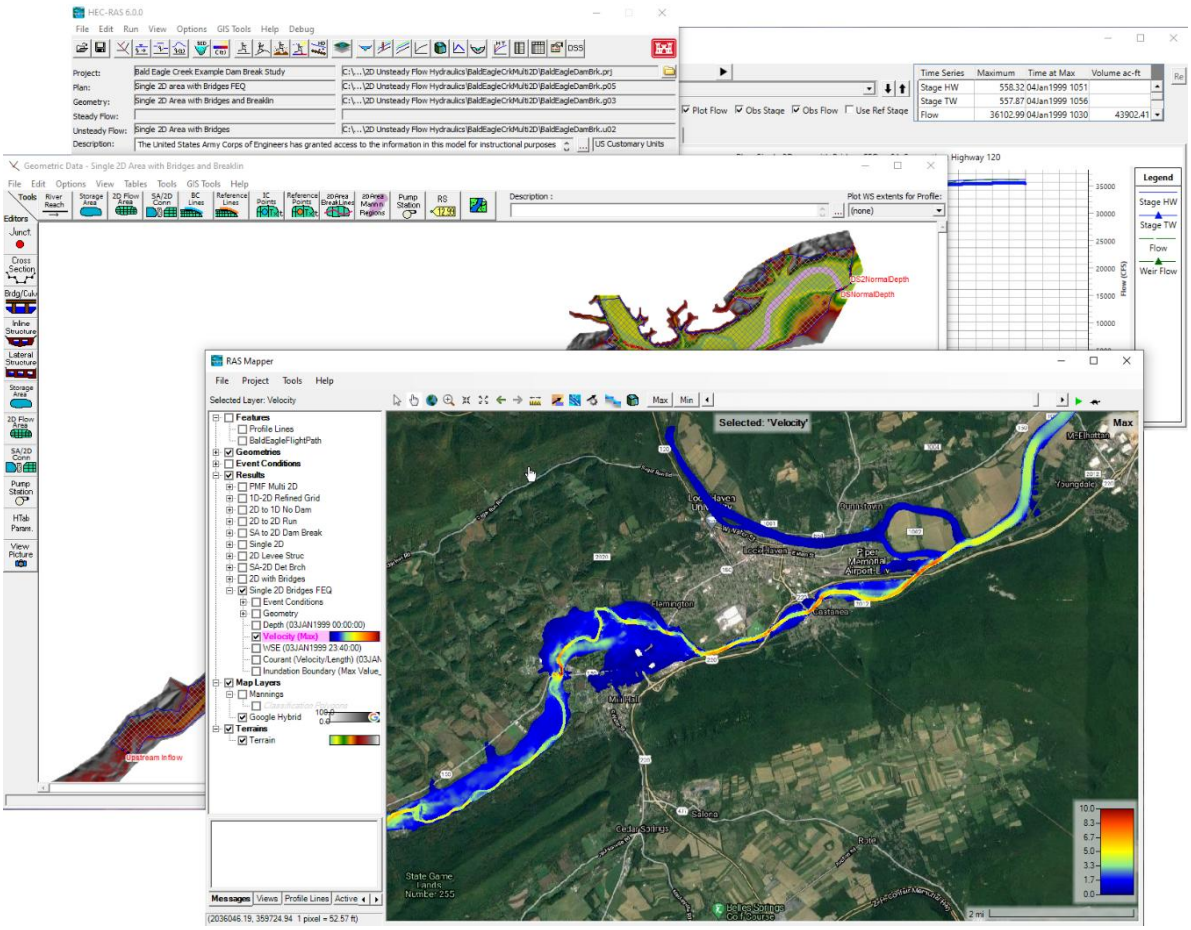


Figura 10 Interfaz del software

2.2.1.1 CARACTRISTICAS TECNICAS

Un modelo unidimensional en energías permite el cálculo en dominios con escalas muy grandes, de modo que la simulación de kms de la corriente se realiza con una velocidad de cálculo enorme (orden de segundos). Por tanto, la capacidad de repetición y corrección de un cálculo es muy alta.

El uso de la ecuación de la energía para el balance entre secciones, dada la incertidumbre existente en la estimación de las pérdidas de carga (resistencia al flujo), es un método bastante aproximado en problemas de gran escala (fluviales). La simplificación del flujo turbulento tridimensional a un flujo unidimensional es relativamente aceptable para grandes escalas (ríos y barrancos) con precisiones poco exigentes.
Gran libertad geométrica: Permite el análisis con secciones naturales no regulares (secciones fluviales: cauce principal y llanuras de inundación). Es una gran ventaja sobre otro tipo de modelos hidráulicos existentes (y mucho más rígidos).

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Facilidad de creación, modificación y edición de geometrías (entorno visual muy cómodo y rápido) e introducción de datos de rugosidad y estructuras transversales (puentes, obras de paso, aliviaderos). Gran comodidad de visualización de resultados y edición de figuras.
Este modelo mundialmente utilizado en la práctica simula la hidráulica del flujo para canales de cualquier tipo de sección transversal bajo flujo permanente o gradualmente variado, trabajando de acuerdo con la ecuación de Bernoulli:

Ecuación 1. Bernoulli.

$$Z_1 + Y_1 + \left(\frac{V_1^2}{2g}\right) = Z_2 + Y_2 + \left(\frac{V_2^2}{2g}\right) + h_e$$

En donde:

Z: Nivel del fondo del canal aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, denominado este término cabeza de posición, en m.

Y: Lámina de agua aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, denominado este término cabeza de presión, en m.

V2/2g: Cabeza de velocidad aguas arriba (1) y abajo del tramo (2), denominado este término cabeza de velocidad, en m.

he: Pérdidas de energía en el tramo, dividiéndose en pérdidas por fricción y localizadas, en m.

Se utiliza como la expresión más simple de un flujo de un fluido incompresible en nuestro caso el agua. Si se toma como referencia un tubo de flujo o volumen encerrado por las líneas de corriente en régimen permanente y debido a que no hay pérdida de masa o ganancia de esta en el interior de este tubo se cumple que:

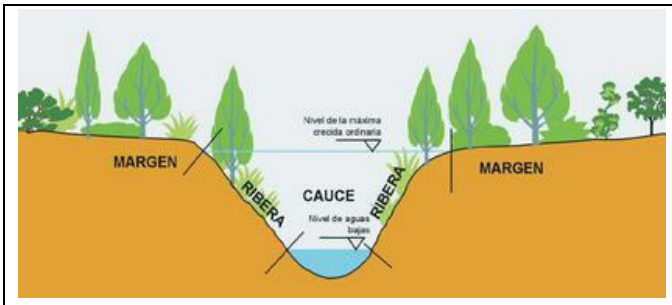
Ecuación 2. Flujo de un fluido

$$Q = \frac{V_1 A_1}{V_2 A_2}$$

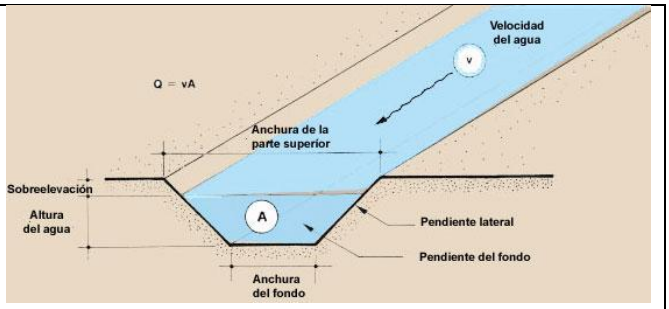
Esta expresión sencilla es una ayuda significativa a la hora de analizar cualquier flujo, pues se cumple siempre. Intuitivamente la expresión lo que indica es que el volumen se conserva pues la densidad es independiente de la posición y del tiempo. En esta ecuación Q es el caudal, v la velocidad y A el área normal al flujo. Esta idea sencilla de flujo normal hay que tenerla en cuenta a la hora de desarrollar modelos numéricos de flujo en cauces.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

La ecuación de continuidad se puede expresar para canal rectangular o su equivalente para un cauce de un río. En la siguiente figura se observa la representación de un cauce natural y un cauce artificial.



Cauce Natural



Cauce Artificial

Figura 11 Cauce y canal con llanura de inundación

Fuente: Propia

En la siguiente figura se muestra un diagrama que muestra los términos de la ecuación de energía entre 2 secciones separadas una distancia L.

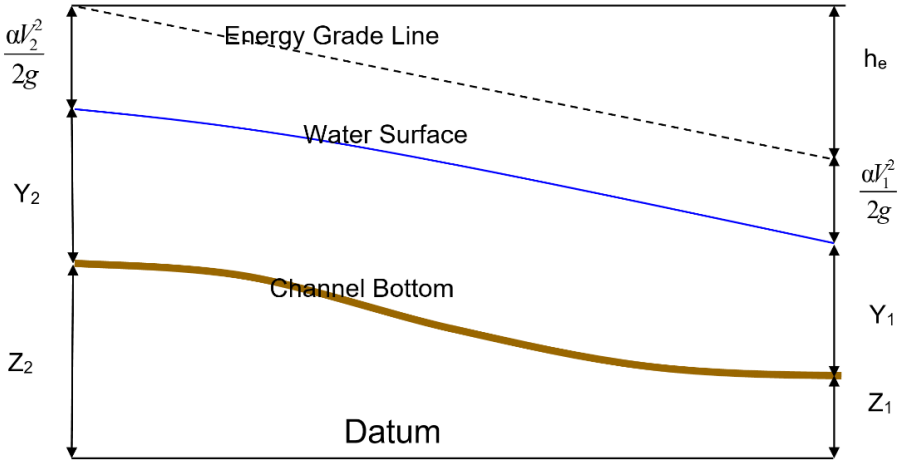


Figura 12 Representación de términos en la ecuación de energía

Fuente: (US Army Corps of Engineers, 2024)

La pérdida de carga de energía. (he)entre dos secciones transversales se compone de pérdidas por fricción y pérdidas por contracción o expansión. La ecuación para la pérdida de carga de energía es la siguiente:

Ecuación 3. Ecuación de perdidas energéticas.

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

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Donde:

L: Longitud de alcance ponderada de descarga
$\overline{S_f}$: Pendiente de fricción representativa entre dos secciones
C: Coeficiente de pérdida de expansión o contracción

2.2.1.2 APLICACIONES PRACTICAS

HEC-RAS es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelación de flujo en régimen permanente.
- Modelación de flujo en régimen no permanente.
- Modelación del trasporte de sedimentos.
- Análisis de calidad de aguas.

Este software nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua, incluso podemos incluir en el modelo la existencia de obras hidráulicas como puentes, conducciones, presas, etc, por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundación y determinación de zonas inundables.
El programa permite simular diferentes caudales y obras hidráulicas y permite obtener una gran variedad de resultados (resultados por secciones, resultados en forma de tablas, en forma de gráficos, visualización sobre imágenes georreferenciadas, etc).

2.2.1.3 USO DEL SOFTWARE E INSUMOS

SOBRE EL MODELO DIGITAL DE TERRENO

- Se definen las orillas y el eje del cauce.
- De acuerdo con la geomorfología del cauce implícita en el modelo de terreno, se discretiza en secciones transversales al eje del canal que definen el área transversal y cota batea del vaso, así como la morfología y pendiente transversal del área aferente. El número de secciones generado es específico para cada cuerpo lotico evaluado y depende de la geomorfología de este (meandros, pendiente longitudinal, rugosidades diferenciales, estructuras hidráulicas en línea, etc)
- Se correlacionan espacialmente las secciones transversales, respecto a la distancia entre ejes y orillas de una sección a otra, de igual forma se determina la pendiente entre secciones y el perfil longitudinal de flujo.

- Se definen las rugosidades específicas por tramo en función de la morfología del lecho, preferiblemente por métodos de medición directa (estación limnímetro o limnígrafo) o en su defecto por extrapolación de información obtenida de otros estudios para condiciones morfológicas similares.
- Se incluyen en el modelo estructuras hidráulicas en línea (culverts, puentes, compuertas, etc).
- Se alimenta el modelo hidráulico con los caudales obtenidos en el estudio hidrológico (flujo permanente y/o no permanente).
- Se generan las corridas del modelo y se definen los tramos con incapacidad hidráulica para cada uno de los períodos de retorno evaluados. De igual forma se evalúan estructuras que afectan la hidrodinámica natural del cauce evaluado.

FRONTERAS DEL MODELO

Una vez implementada la topología en el modelo y cargados los caudales, es necesario definir las condiciones hidráulicas de frontera del tramo evaluado. En el caso de no conocer la lámina asociada al caudal (curva de descarga), se debe determinar la profundidad normal de flujo para cada caudal evaluado en los extremos topológicos del modelo. Conocida la profundidad normal se calcula el número de Froude, a partir del cual se define si el flujo es subcrítico o supercrítico, definiendo de esta manera el control hidráulico en el modelo.

2.2.2 AGUAS CLARAS | IBER 2D

El software Iber es un modelo numérico bidimensional para la simulación del flujo superficial libre en ríos y estuarios. Iber resuelve las ecuaciones de aguas poco profundas promediadas en profundidad para calcular la profundidad del agua y los dos componentes horizontales de la velocidad promediada en profundidad. Estas ecuaciones se resuelven con un solucionador de volumen finito no estructurado explícito en el tiempo. Los algoritmos implementados en el modelo han sido extensamente validados y aplicados en estudios previos relacionados con inundaciones de ríos y corrientes de marea en estuarios.

2.2.2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Las ecuaciones hidrodinámicas, así como los modelos de turbulencia y el modelo de transporte de sedimentos, se resuelven con un solucionador de volumen finito no estructurado.

Las características de los esquemas numéricos utilizados en IBER son las siguientes:

- Esquemas conservadores de volumen finito
- Esquema de Roe de ceñida de alta resolución para resolver las ecuaciones de aguas poco profundas
- Capacidad para resolver flujos subcríticos y supercríticos y cambios en el régimen de flujo.
- Mallas no estructuradas formadas por elementos de 3 o 4 caras
- Tratamiento conservador de frentes húmedo-seco
- Esquema explícito en el tiempo.

2.2.2.2 APLICACIONES PRÁCTICAS DEL SOFTWARE

Con Iber se pueden realizar gran cantidad de modelos numéricos con aplicación a la hidráulica y morfología fluvial. El cálculo de flujo en ríos, definición de zonas inundables, evaluación de zonas de riesgo, y delimitación de vías de intenso desagüe, supuestos donde el flujo es bidireccional, son algunas de sus aplicaciones fundamentales. Se incluye entre sus posibilidades el transporte de sedimentos y transporte de fondo junto con el flujo de marea en estuarios. La simulación de paso del agua bajo puentes, compuertas y vertederos se puede realizar también incluyendo el efecto del viento, y siendo posible modelizar la rotura de balsas y presas.

2.2.2.3 USO DEL SOFTWARE E INSUMOS

- Los insumos base para un modelo hidráulico corresponden a los caudales a transitar; que son definidos en el estudio hidrológico, y el modelo digital de terreno DTM, el cual es generado a partir del levantamiento topobatimétrico realizado.
- Se define el cauce y la planicie de inundación en formato SHP, sobre el DTM generado en el levantamiento topobatimétrico.
- A partir de la discretización anterior se generan las superficies NURBS a partir del archivo SHP indicado en el paso anterior.
- Se asigna la condición de rugosidad a cada superficie NURBS generada.
- Se asignan las condiciones hidrodinámicas a cada superficie NURBS. Estas condiciones corresponden a las condiciones iniciales asociadas a la profundidad de lámina de agua en el dominio y a las condiciones de contorno tanto aguas arriba como aguas abajo del cauce. Generalmente en el modelo bidimensional se transitan hidrogramas con picos asociados a cada período de retorno (flujo no permanente), por lo cual estos hidrogramas corresponden a la condición de frontera de ingreso en el modelo. La condición de frontera de salida del modelo se define con base al cálculo de profundidad normal de flujo

empleado en el modelo unidimensional, en el caso que no se dispongan de datos de campo (estación limnimétrica).

- Se genera la malla computacional a partir las superficies NURBS generadas. El número de elementos de la malla se define con base a criterios físicos, como son el ancho del cauce, planicie de inundación, longitud del cauce y experticia del modelador para la generación de un modelo con un grado de detalle suficiente, pero que sea igualmente eficiente (tiempos computacionales de cálculo) para la generación de diferentes escenarios de simulación. Se incluyen en el modelo estructuras hidráulicas en línea (culverts, puentes, compuertas, etc).
- Una vez definida la malla de simulación, esta se eleva a las cotas propias del DTM (modelo digital de terreno), este proceso es desarrollado automáticamente por el software.
- Definida la información topológica, hidrológica e hidráulica en el modelo se procede a definir el tiempo máximo de simulación y el intervalo de resultados.
- Una vez el modelo se encuentra alimentado de toda la información se procede a habilitar los complementos de Iber Plus, los cuales paralelizan los cálculos mediante el uso de la tarjeta gráfica con el objetivo de obtener resultados en un menor tiempo.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

2.3 HIDRAULICA TRAMO DE ESTUDIO - ESTADO ACTUAL

2.3.1 MODELO UNIDIMENSIONAL (HEC-RAS 1D)

En este caso se implementará un modelo hidráulico de flujo estacionario, este tipo de modelos requiere de los siguientes insumos:

2.3.1.1 ESPACIALIZACIÓN DE CAUDALES

Los caudales corresponden a los caudales pico para los períodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años obtenidos del estudio hidrológico del presente contrato; estos caudales son espacializados en el inicio del tramo de modelación, como se muestra en la siguiente figura.

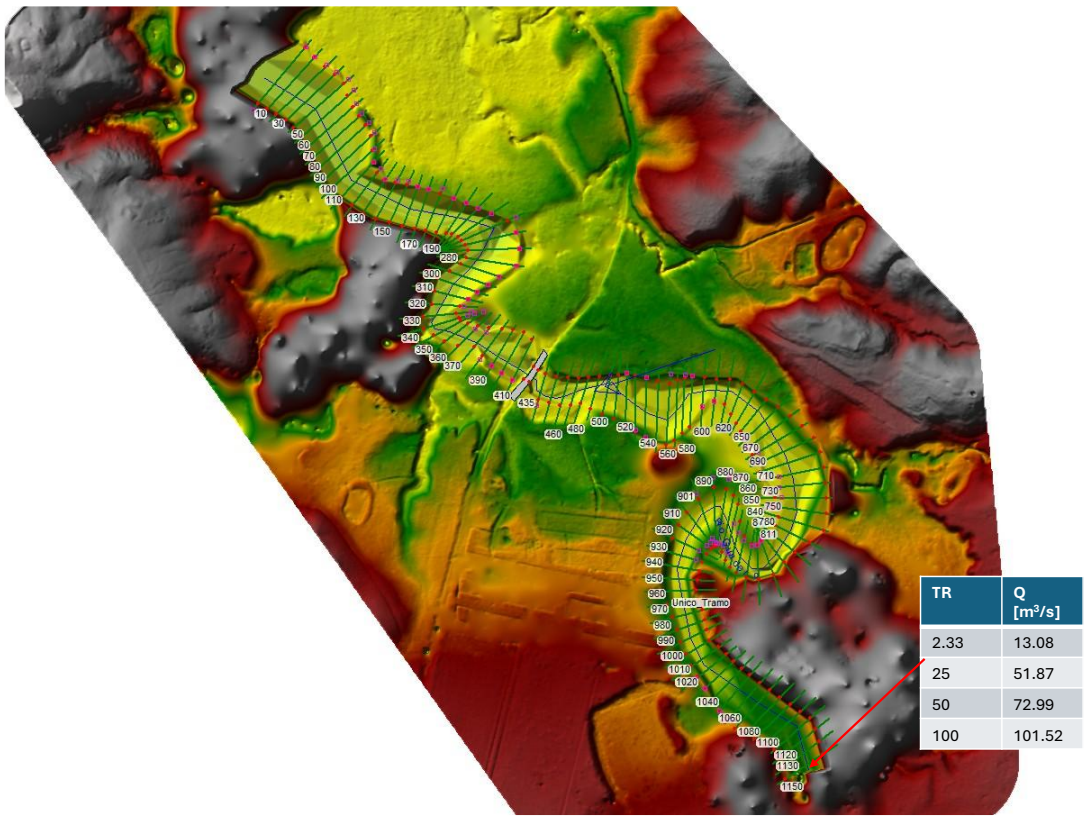


Figura 13 Espacialización de caudales

2.3.1.2 GEOMETRÍA DEL MODELO

La geometría del modelo se estableció con base al DTM generado a partir del levantamiento topobatimétrico realizado por el presente contrato. Sobre el DTM se definió el eje del río y se trazaron sobre este, secciones transversales de hasta 50 m de ancho cada 10m (aumentando su número en curvas o zonas de meandro). A continuación, se muestra la esquematización del modelo en el software HEC-RAS.

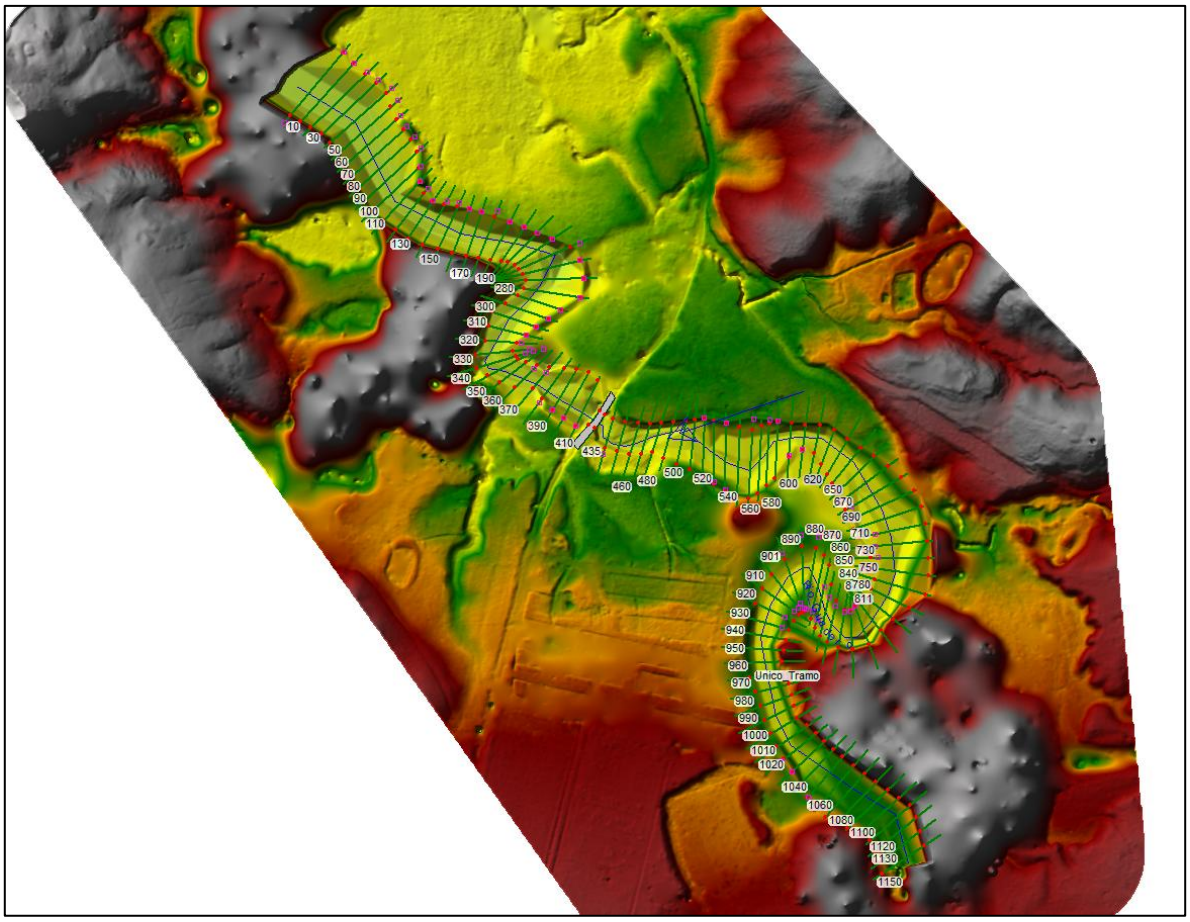


Figura 14 Geometría del modelo

2.3.1.3 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

Los coeficientes de rugosidad fueron calculados mediante el uso de la metodología de Cowan y la observación en campo de la distribución, composición y espacialización de los elementos que componen las orillas y lecho del río, adicionalmente se apoyó esta observación en campo con el ortofotomosaico que se obtuvo mediante vistas satelitales.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

La metodología de Cowan, se define mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Metodología Cowan

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)n_5$$

n0 - Valor básico de n para un canal recto y uniforme de un material dado.
n1 - Se determina para corregir el efecto por irregularidades de la superficie.
n2 - Se considera las variaciones en la forma y tamaño de la sección transversal del canal.
n3 - Se considera el efecto de obstrucción u obstáculos al flujo.
n4 - Depende de la vegetación.
n5 - Depende de la sinuosidad longitudinal del canal.

Para esta ecuación se encuentran valores típicos que representan cada variable en la siguiente tabla:

Tabla 12 Rango de valores para los coeficientes de Cowan

Condiciones canal			Valores
Material	Tierra	n_0	0.020
	Roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Ligero	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones en la sección transversal del canal	Gradual	n_2	0.000
	Ocacional		0.005
	Frecuente		0.010 - 0.015
Efecto relativo de Obstáculos	Desprecialble	n_3	0.000
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005 - 0.010
	Media		0.010 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy alta		0.050 - 0.100
Grado de sinuosidad	Menor	n_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Se efectúo un análisis por tramos homogéneos y se asignó el valor para cada uno de los parámetros establecidos por Cowan. La sumatoria de estos parámetros definen el coeficiente de rugosidad de Manning para el tramo particular.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com





Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com



Figura 15. Ortofoto y fotos para la obtención de coeficiente de rugosidad de Manning para el área de estudio

Tabla 13 Calculo de rugosidad por el método de Cowan

Parámetro	Material	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Ajustado	Valor final
Material	Tierra	0.02	No aplica	No aplica	0.02
Grado de irregularidad	Ligero	0	No aplica	No aplica	0
Variación de la sección transversal del canal	Gradual	0.05	0	0	0
Efecto relativo de obstáculos	Menor	0.015	0.01	0.01	0.01
Vegetación	Baja	0.01	0.005	0.005	0.005
Grado de sinuosidad	Menor	1	No aplica	No aplica	1
Rugosidad					

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Según las observaciones realizadas mediante el ortofotomosaico obtenido en el producto de topografía, se identificaron las coberturas asociadas a esta zona, con lo que se obtiene.

El coeficiente de rugosidad se establecerá constante en un valor de 0.035 para el lecho, mientras que para las planicies se adoptará la rugosidad 0.045.

2.3.1.4 CONDICIONES DE FRONTERA

Una vez implementada la topología en el modelo y cargados los caudales, es necesario definir las condiciones hidráulicas de frontera del tramo evaluado. En el caso de no conocer la lámina asociada al caudal (curva de descarga), se debe determinar la profundidad normal de flujo para cada caudal evaluado en los extremos topológicos del modelo. Se realiza mediante la aproximación de profundidad normal de flujo en tramos rectos casi homogéneos que indica que la pendiente norma del flujo es igual a la pendiente de terreno.

Las pendientes aguas arriba y aguas abajo son de 0.007 y 0.0083 m/m respectivamente.

2.3.2 MODELO BIDIMENSIONAL (IBER 2D)

En este caso se implementará un modelo hidráulico de flujo no estacionario, este tipo de modelos requiere de los siguientes insumos:

2.3.2.1 MODELO DIGITAL DE TERRENO

El DTM se obtuvo del producto de Topobatimetría del presente contrato, a continuación, se muestra el modelo digital de elevación.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

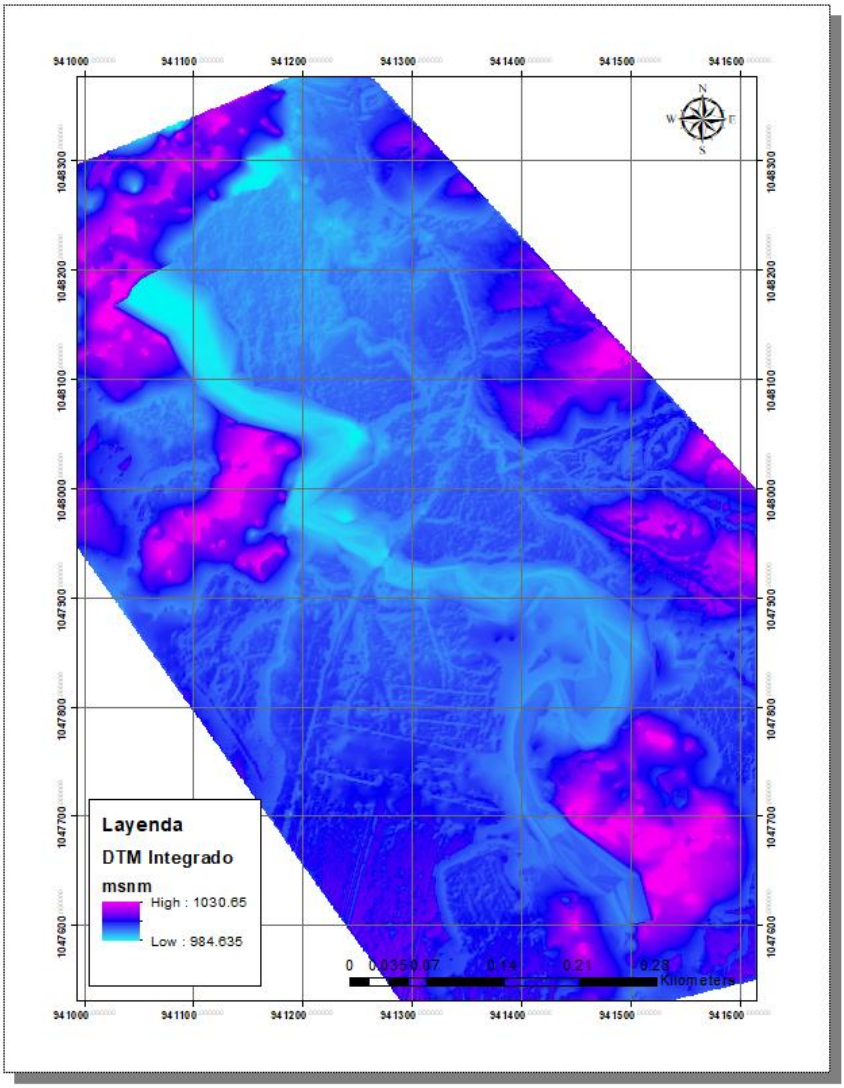


Figura 16. DTM

2.3.2.2 ESPACIALIZACIÓN DE CAUDALES

Los caudales corresponden a los hidrogramas de entrada para los períodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años obtenidos del estudio hidrológico del presente contrato, estos caudales se espacializan en el inicio del tramo de modelación, como se muestra a continuación.



Figura 17. Input de Caudales

2.3.2.3 ESQUEMATIZACIÓN

La esquematización del modelo 2D corresponde a la sectorización de las áreas a modelar, es decir, la diferenciación entre el lecho, planicie de inundación y paramentos, a continuación, se muestra la esquematización del modelo.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

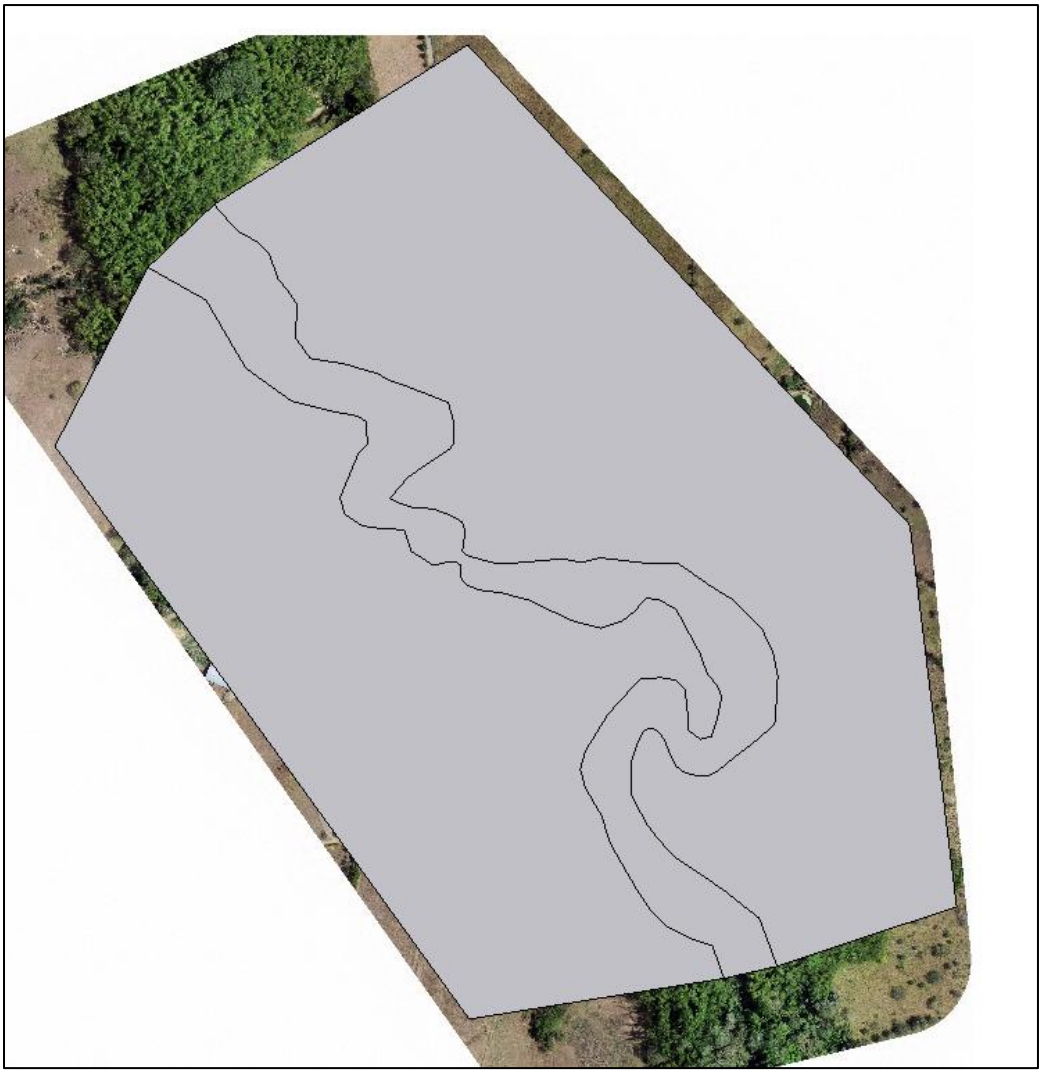


Figura 18. Esquematización del modelo hidráulico

2.3.2.4 DISCRETIZACIÓN DEL MODELO

La discretización del modelo corresponde a la división de la malla computacional, en este caso la discretización del modelo se sectorizo en planicie (2 m), cauce (0.5m), a continuación, se muestra la asignación de los tamaños de celdas al modelo.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com



Figura 19. Discretización del modelo anchos de malla en metros

2.3.2.5 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

Los coeficientes de rugosidad fueron calculados mediante el uso de la metodología de Cowan y la observación en campo de la distribución, composición y espacialización de los elementos que componen las orillas y lecho del río, adicionalmente se apoyó esta observación en campo con el ortofotomosaico que se obtuvo mediante vistas satelitales.

La metodología de Cowan, se define mediante la siguiente ecuación:

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Ecuación 5. Metodología Cowan

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)n_5$$

n0 - Valor básico de n para un canal recto y uniforme de un material dado.
n1 - Se determina para corregir el efecto por irregularidades de la superficie.
n2 - Se considera las variaciones en la forma y tamaño de la sección transversal del canal.
n3 - Se considera el efecto de obstrucción u obstáculos al flujo.
n4 - Depende de la vegetación.
n5 - Depende de la sinuosidad longitudinal del canal.

Para esta ecuación se encuentran valores típicos que representan cada variable en la siguiente tabla:

Tabla 14 Rango de valores para los coeficientes de Cowan

Condiciones canal			Valores
Material	Tierra	n_0	0.020
	Roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Ligero	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones en la sección transversal del canal	Gradual	n_2	0.000
	Ocacional		0.005
	Frecuente		0.010 - 0.015
Efecto relativo de Obstáculos	Desprecialble	n_3	0.000
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005 - 0.010
	Media		0.010 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy alta		0.050 - 0.100
Grado de sinuosidad	Menor	n_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Se efectúo un análisis por tramos homogéneos y se asignó el valor para cada uno de los parámetros establecidos por Cowan. La sumatoria de estos parámetros definen el coeficiente de rugosidad de Manning para el tramo particular.





Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com



Figura 20. Ortofoto y fotos para la obtención de coeficiente de rugosidad de Manning para el área de estudio

Tabla 15 Calculo de rugosidad por el método de Cowan

Parámetro	Material	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Ajustado	Valor final
Material	Tierra	0.02	No aplica	No aplica	0.02
Grado de irregularidad	Ligero	0	No aplica	No aplica	0
Variación de la sección transversal del canal	Gradual	0.05	0	0	0
Efecto relativo de obstáculos	Menor	0.015	0.01	0.01	0.01
Vegetación	Baja	0.01	0.005	0.005	0.005
Grado de sinuosidad	Menor	1	No aplica	No aplica	1
Rugosidad					

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Según las observaciones realizadas mediante el ortofotomosaico obtenido en el producto de topografía, se identificaron las coberturas asociadas a esta zona, con lo que se obtiene.

El coeficiente de rugosidad se establecerá constante en un valor de 0.035 para el lecho, mientras que para las planicies se adoptará la rugosidad 0.045.

2.3.2.6 CONDICIONES DE FRONTERA

Las condiciones de frontera de entrada para el modelo bidimensional corresponden a los hidrogramas de entrada. La condición de frontera de salida del modelo para el caso particular corresponde a una salida subcrítica tipo vertedero con cota definida. Esta altura de vertedero se calculó a partir una condición de vaso lleno, esta altura corresponde a 994.24 msnm.

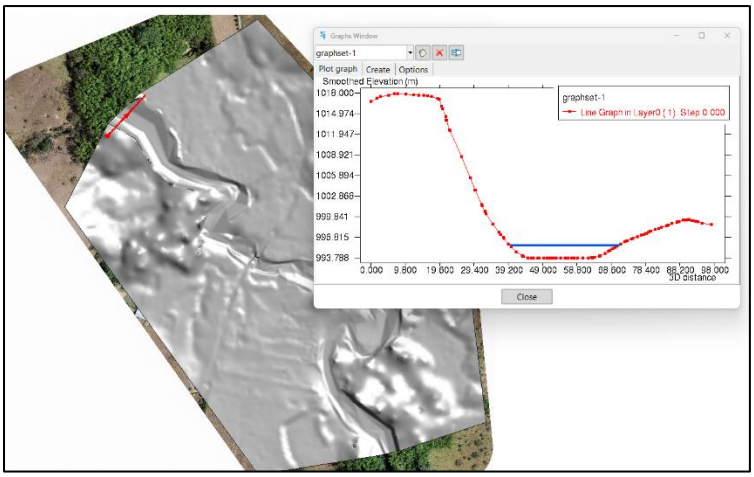


Figura 21. Condición de salida del modelo 2D.

2.3.2.7 CONDICIONES INICIALES

Para las condiciones iniciales hidráulicas del tramo evaluado se adopta la condición más crítica asociada a cauce lleno con una lámina inicial de 0.25 m en todo el tramo modelado. Análogamente se utiliza un valor de 0 m para las planicies de inundación.



Figura 22. Condición inicial del modelo.

2.3.2.8 TIEMPO DE CÓMPUTO

El tiempo de cómputo es definido por el tiempo requerido por el hidrograma para transitar el tramo evaluado. En este caso se emplea un tiempo de cálculo de 43200 segundos, que corresponden a 12 horas. En este tiempo se garantiza que el pico del hidrograma sale del sistema y se visualiza el abatimiento de las manchas de inundación. Los resultados del modelo se extraen cada 60 segundos, con lo cual se obtiene un equilibrio entre resolución de resultados y peso del modelo.

2.4 RESULTADOS MODELO HIDRÁULICO ACTUAL

2.4.1 PROFUNDIDADES DE FLUJO

Las profundidades de flujo obtenidas en los modelos hidráulicos de aguas claras se muestran a continuación.

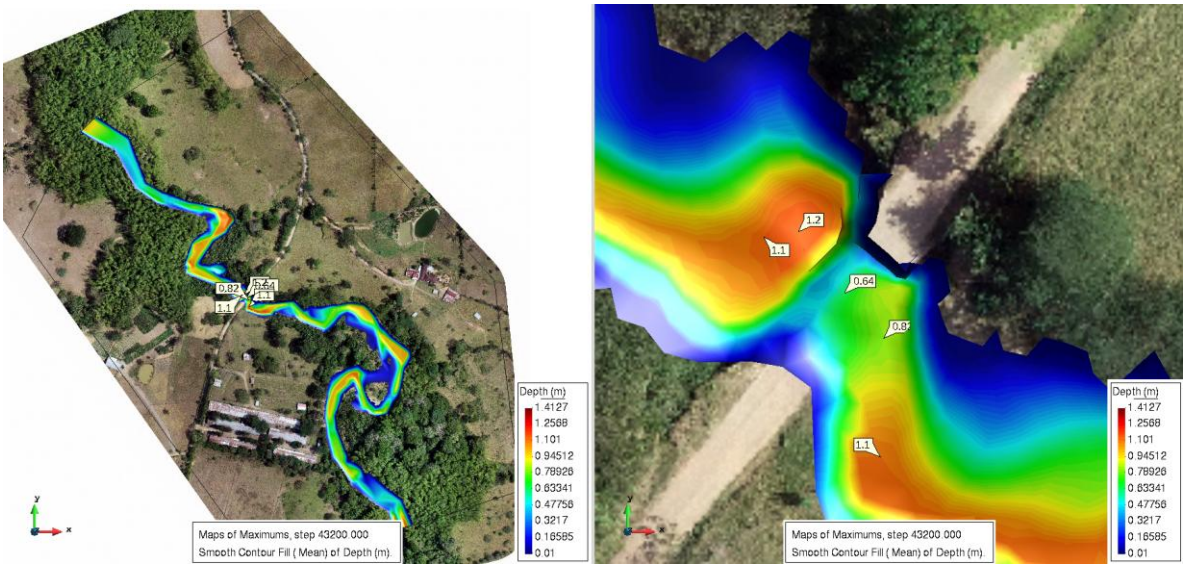
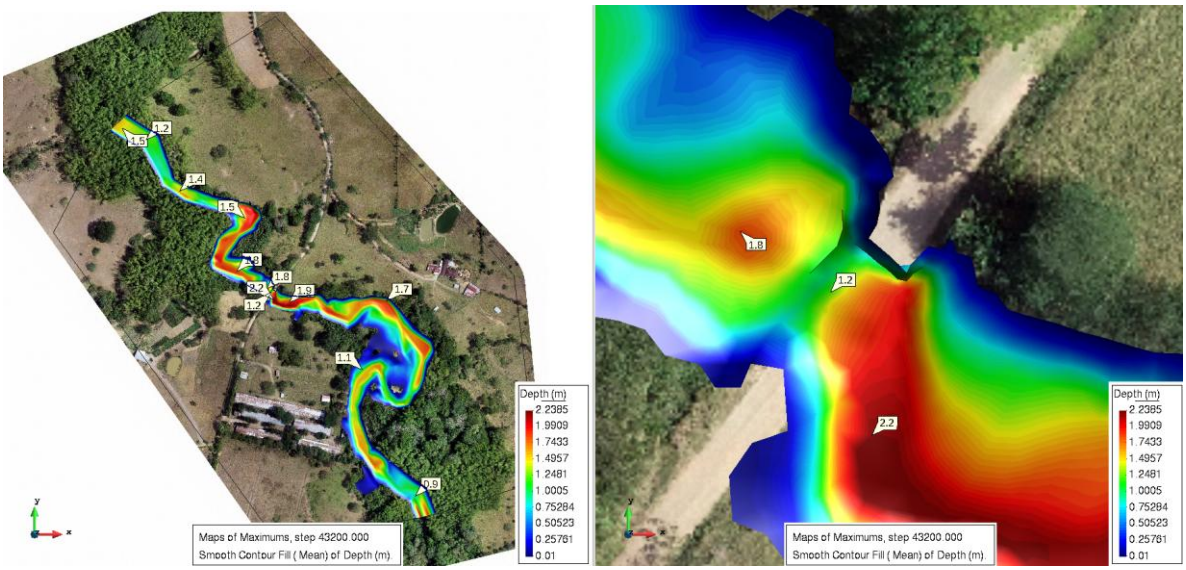


Figura 23. Profundidades de Flujo TR 2.33 Años



Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Figura 24. Profundidades de Flujo TR 25 Años.

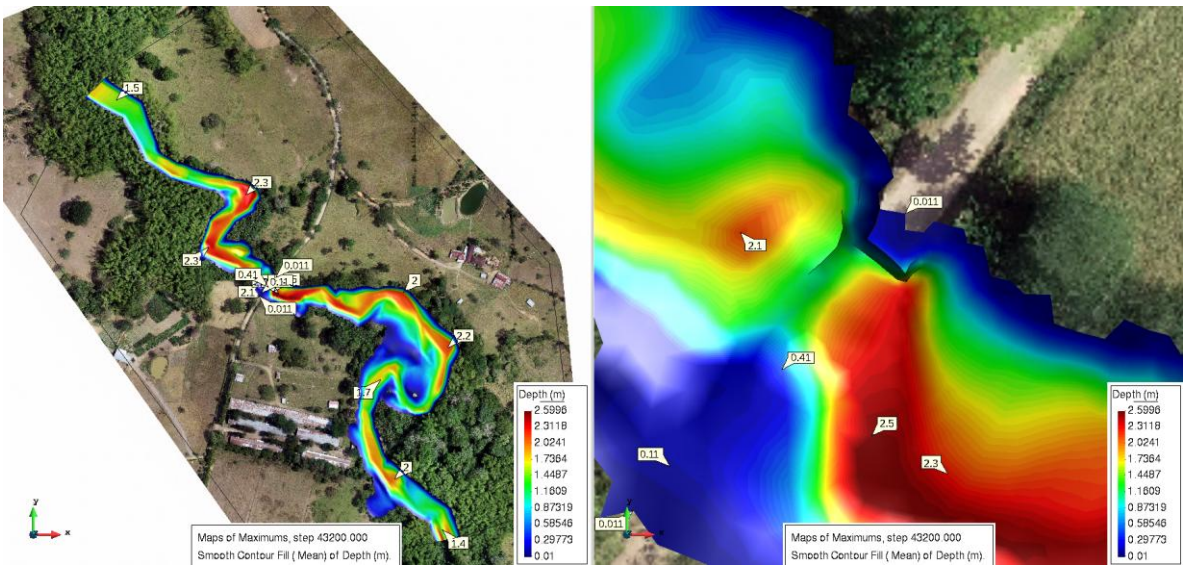


Figura 25. Profundidades de Flujo TR 50 Años

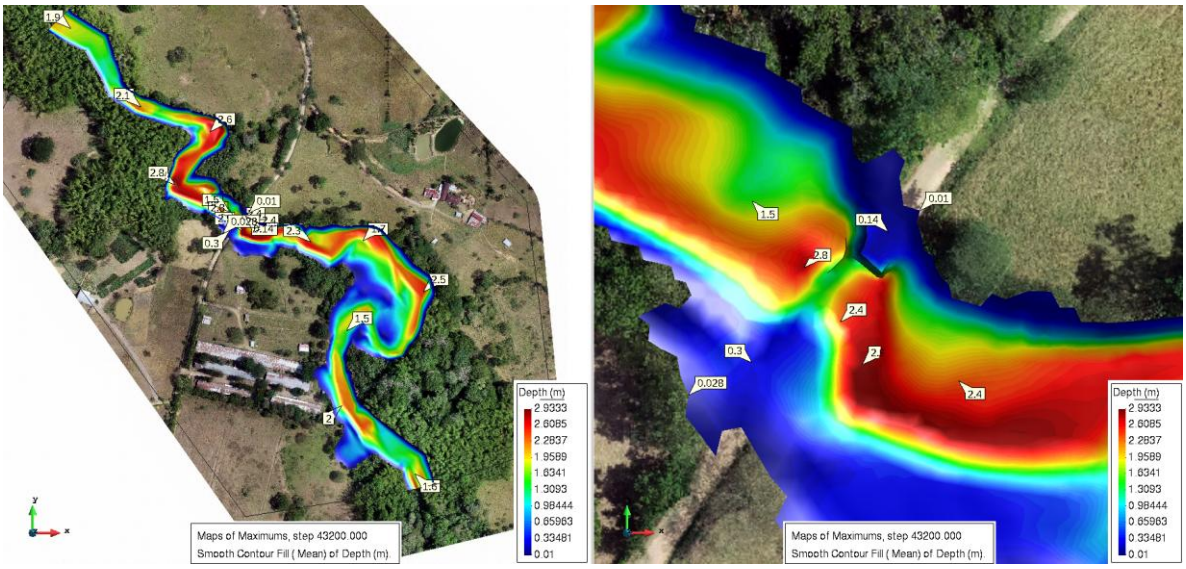


Figura 26. Profundidades de Flujo TR 100 Años

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

2.4.2 VELOCIDADES DE FLUJO

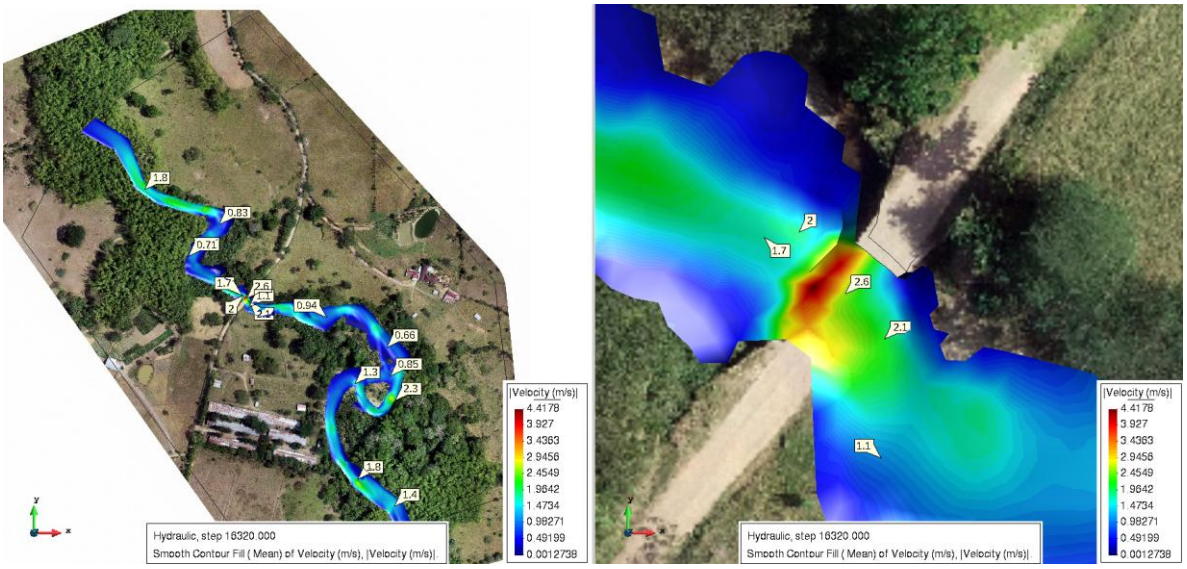


Figura 27. Velocidad de Flujo TR 2.33 Años

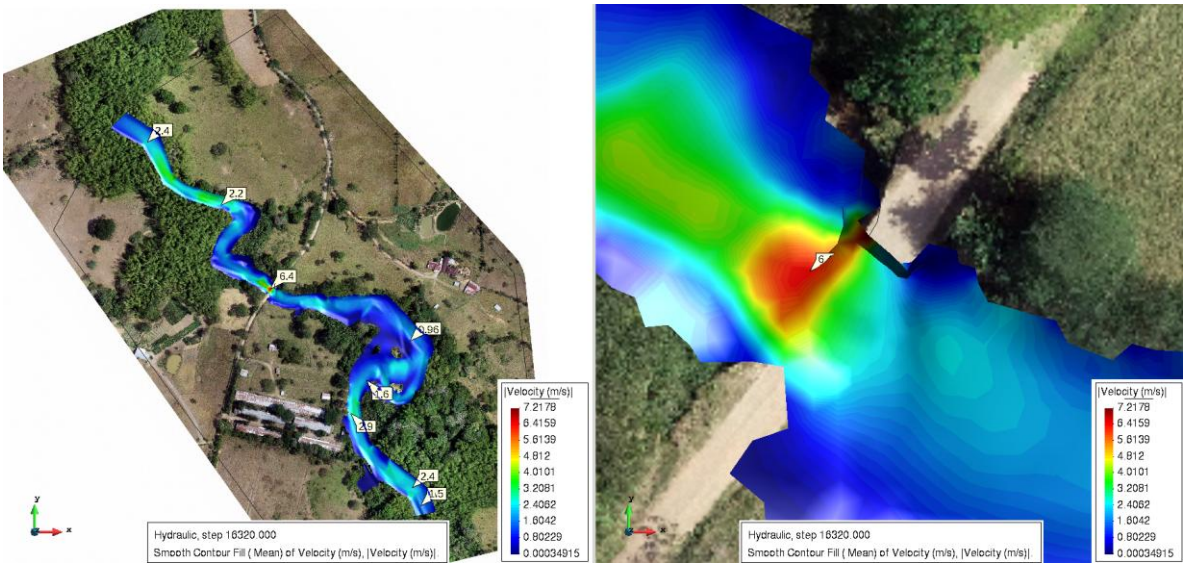


Figura 28. Velocidad de Flujo TR 25 Años

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

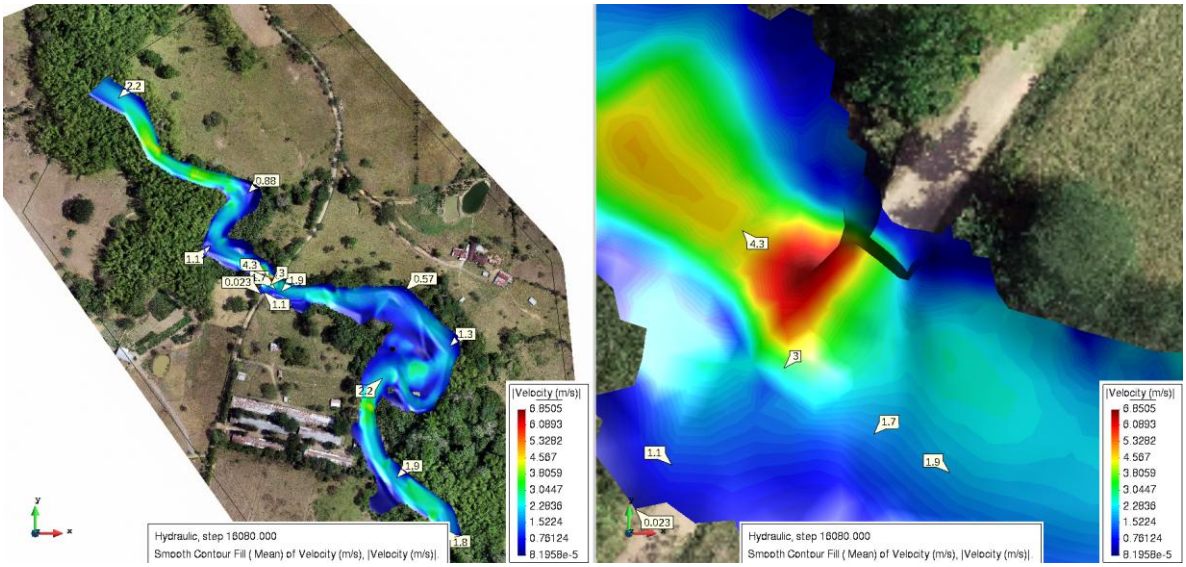


Figura 29. Velocidad de Flujo TR 50 Años

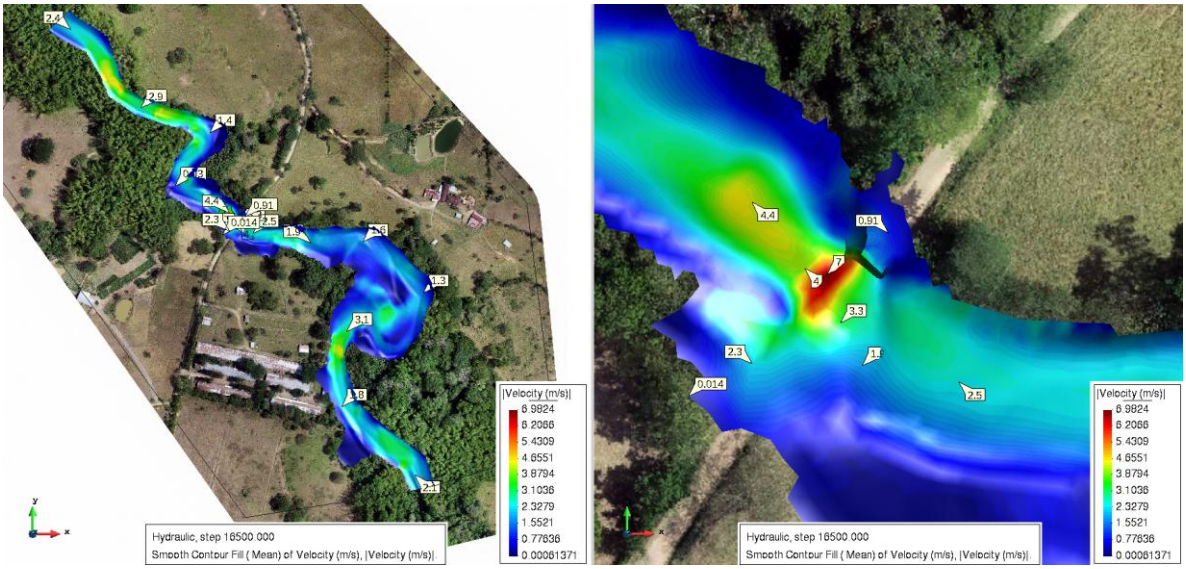


Figura 30. Velocidad de Flujo TR 100 Años

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

2.4.3 SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAUCE

A continuación, se presentan las secciones transversales con sus respectivas láminas de agua asociadas al periodo de retorno de los 2.33, 25, 50 y 100 años del Guadero.

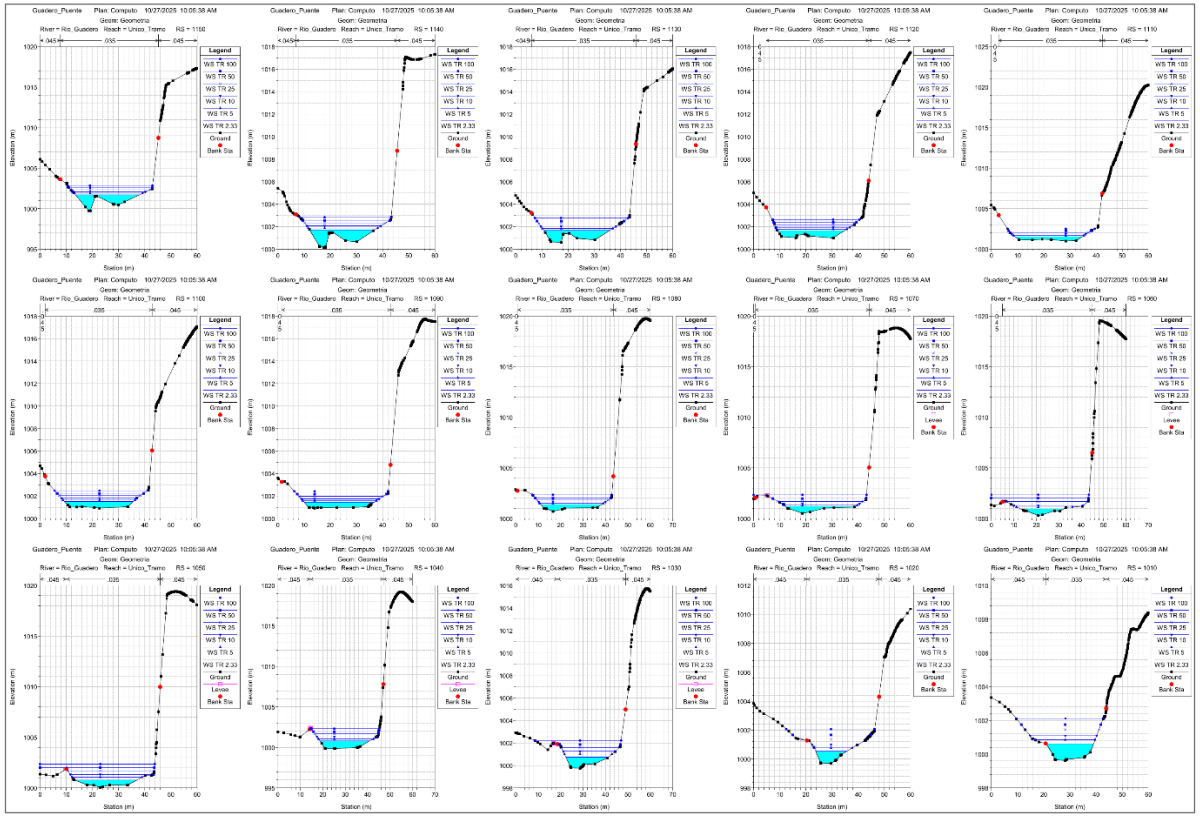


Figura 31. Secciones Transversales Rio Guadero k1+150 a k1+010

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

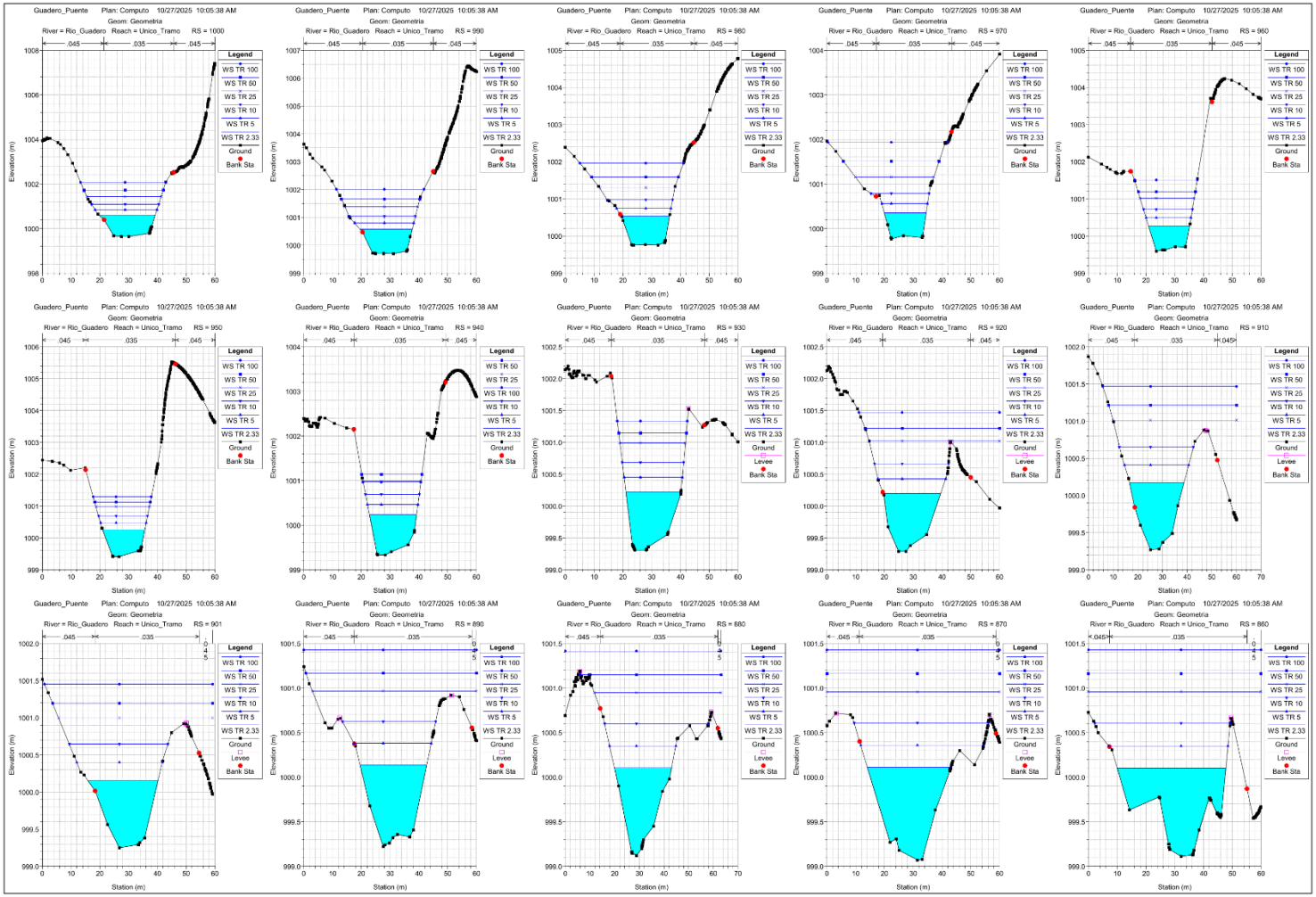


Figura 32. Secciones Transversales Rio Guadero k1+000 a k0+860

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

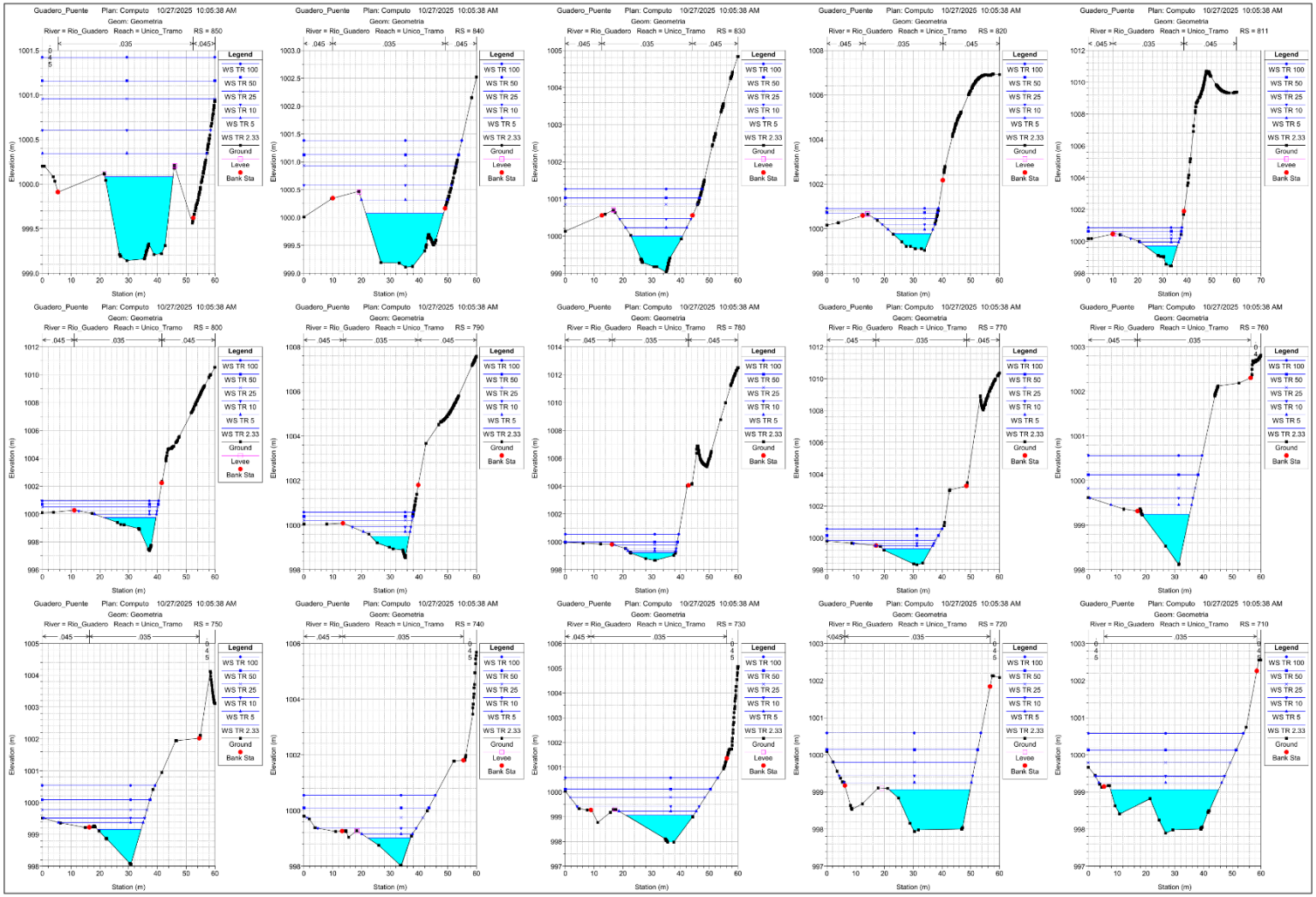


Figura 33 Secciones Transversales Rio Guadero k0+850 a k0+710

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

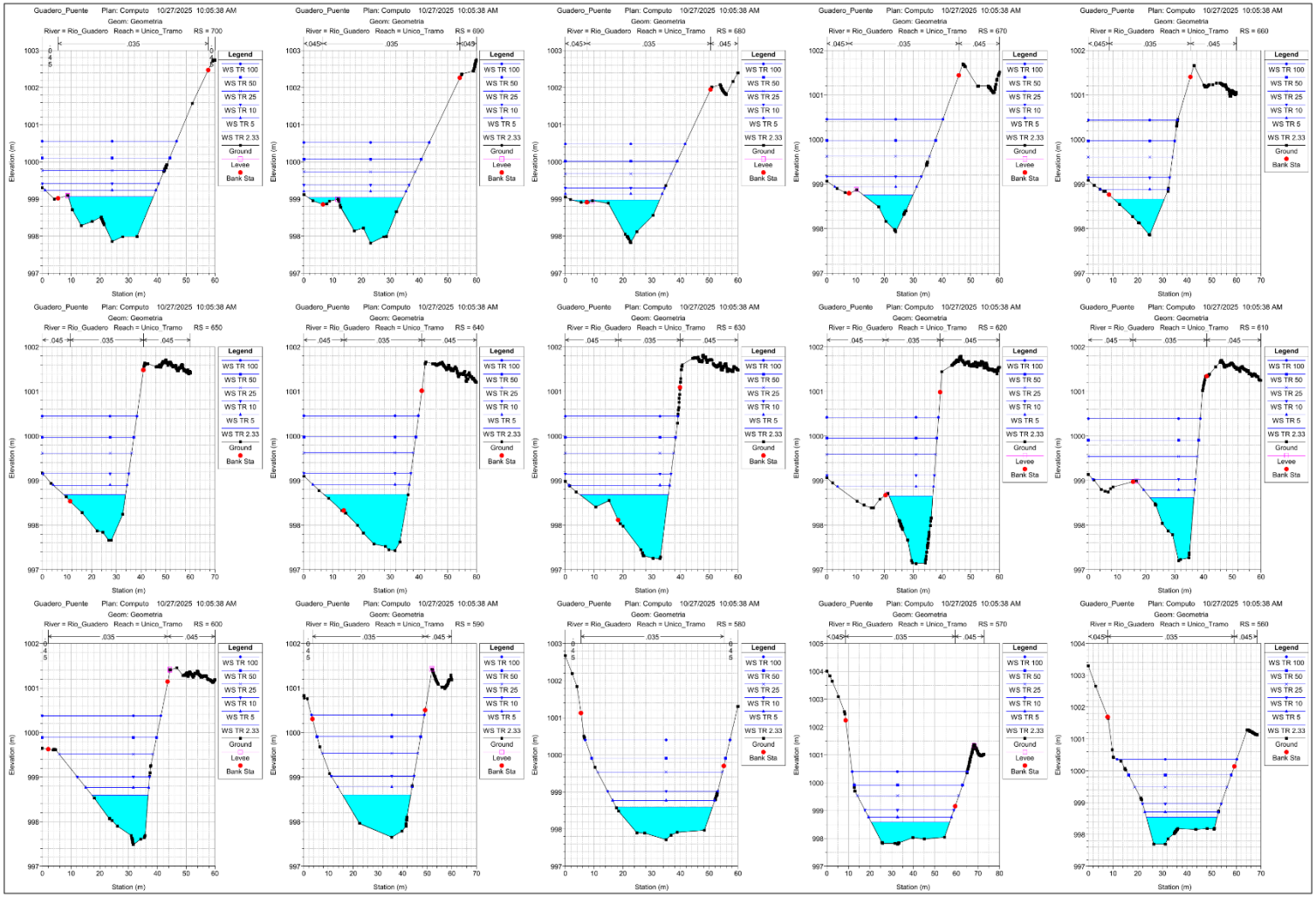


Figura 34 Secciones Transversales Rio Guadero k0+700 a k0+560

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

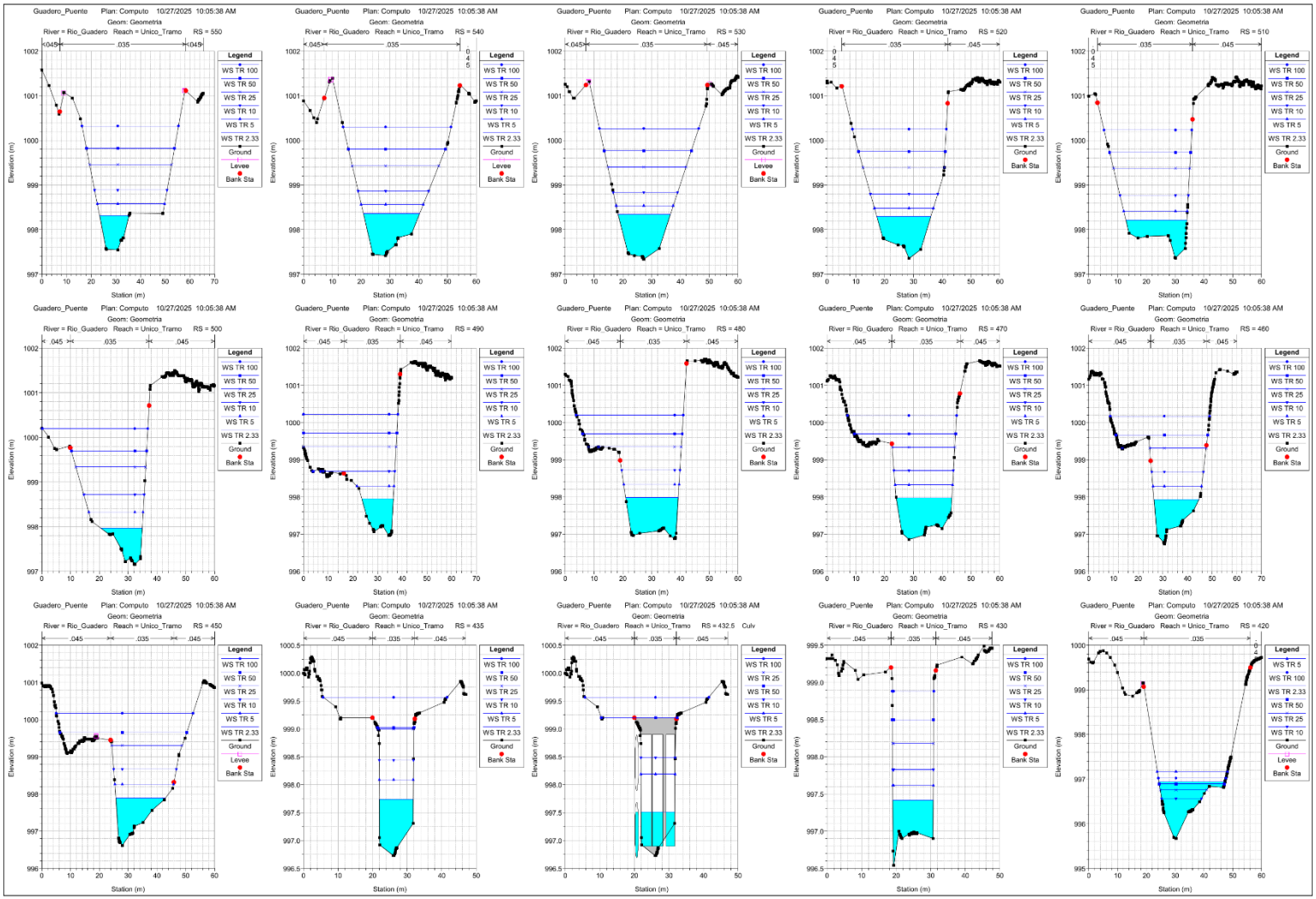


Figura 35 Secciones Transversales Rio Guadero k0+550 a k0+420

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

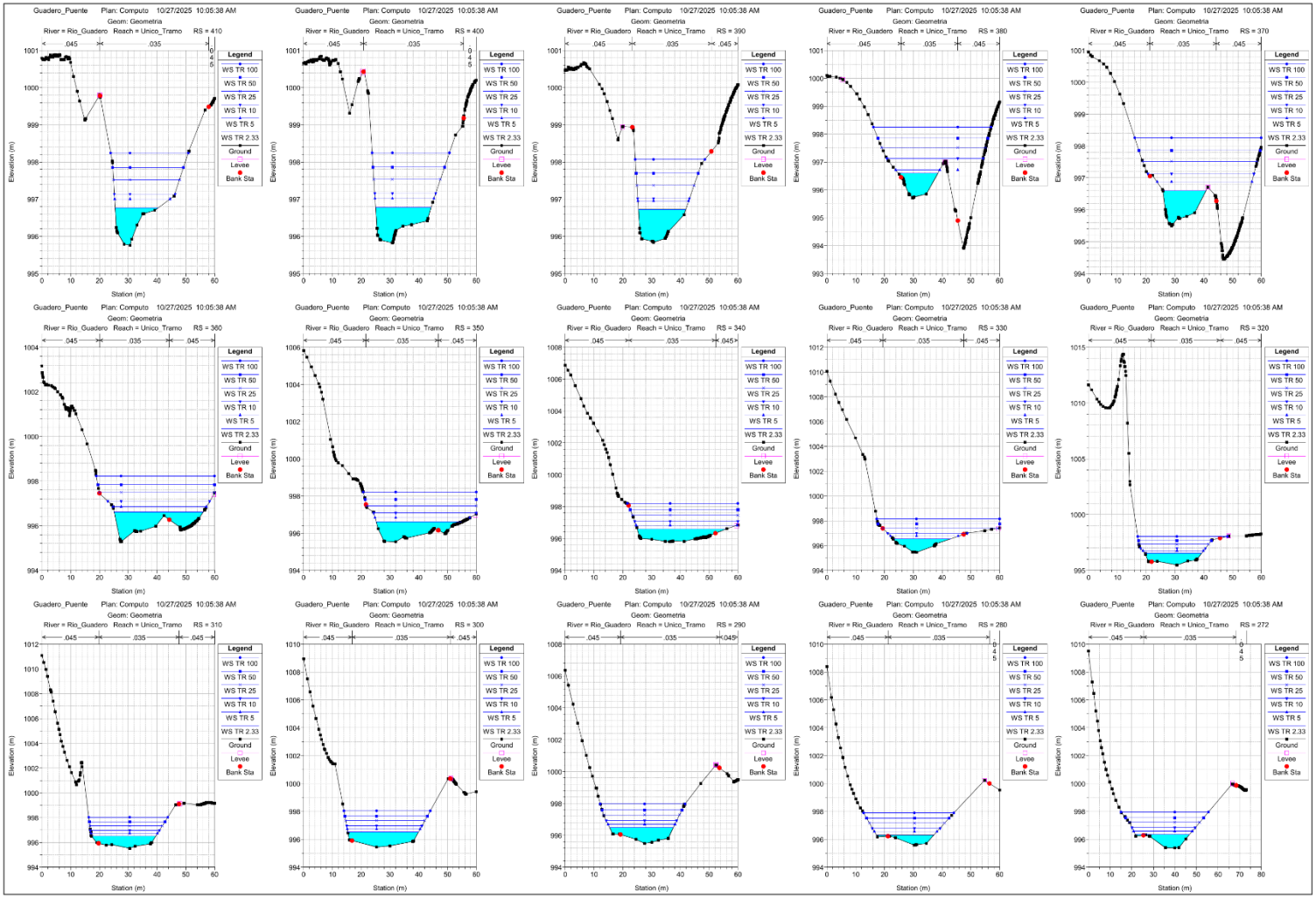


Figura 36 Secciones Transversales Rio Guadero k0+410 a k0+272

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

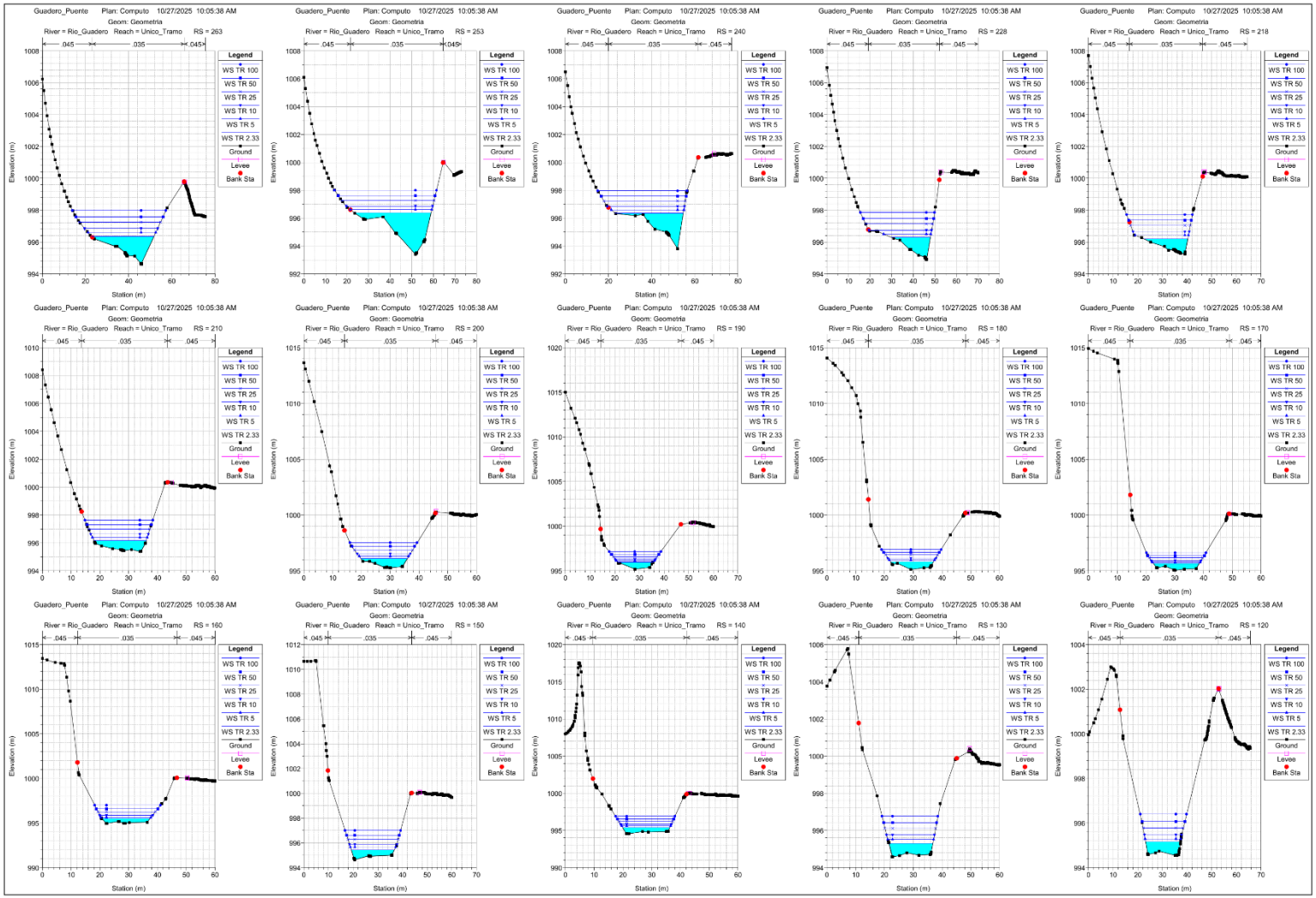


Figura 37 Secciones Transversales Rio Guadero k0+263 a k0+120

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

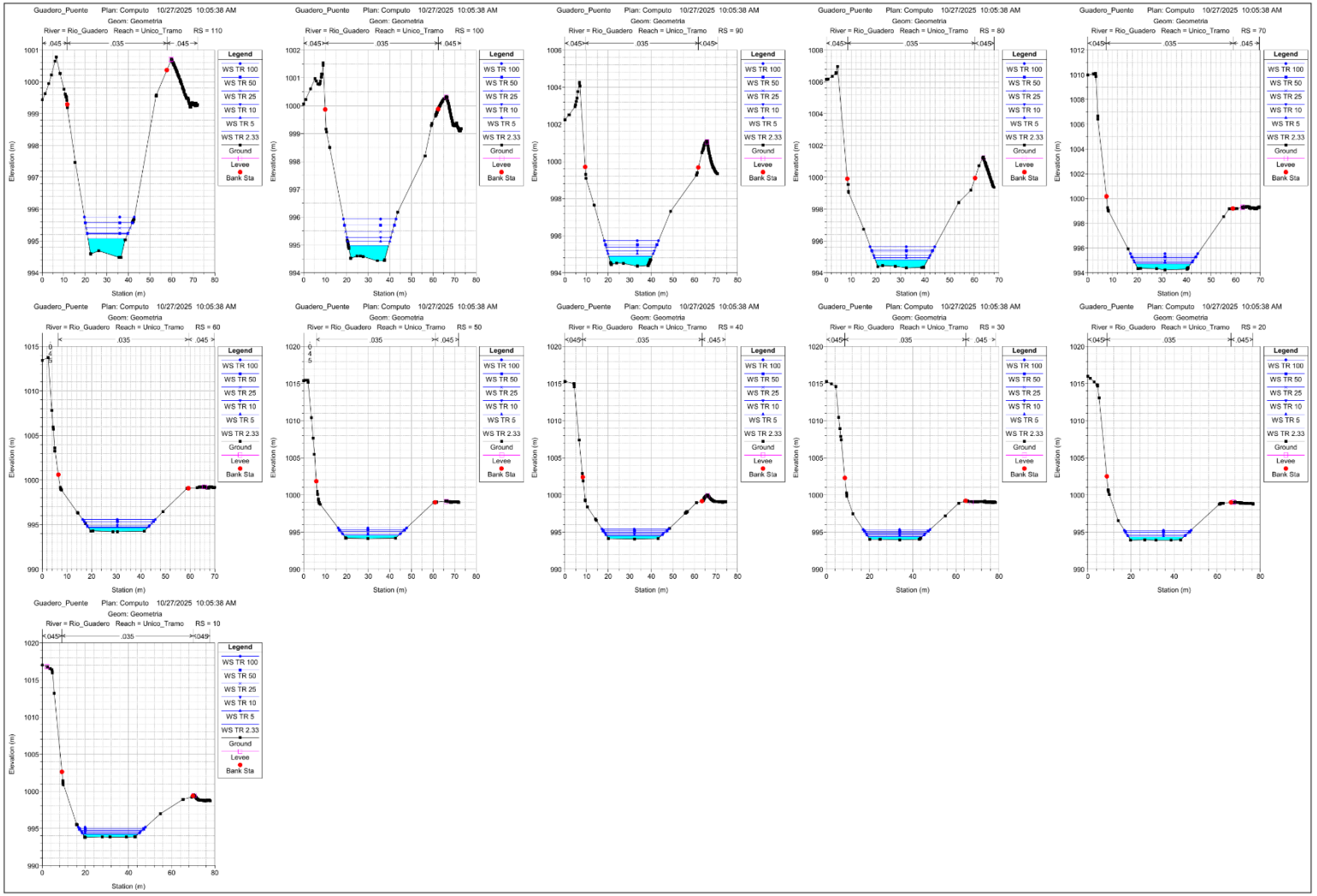


Figura 38 Secciones Transversales Rio Guadero k0+110 a k0+010

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

2.4.4 PERFIL LONGITUDINAL

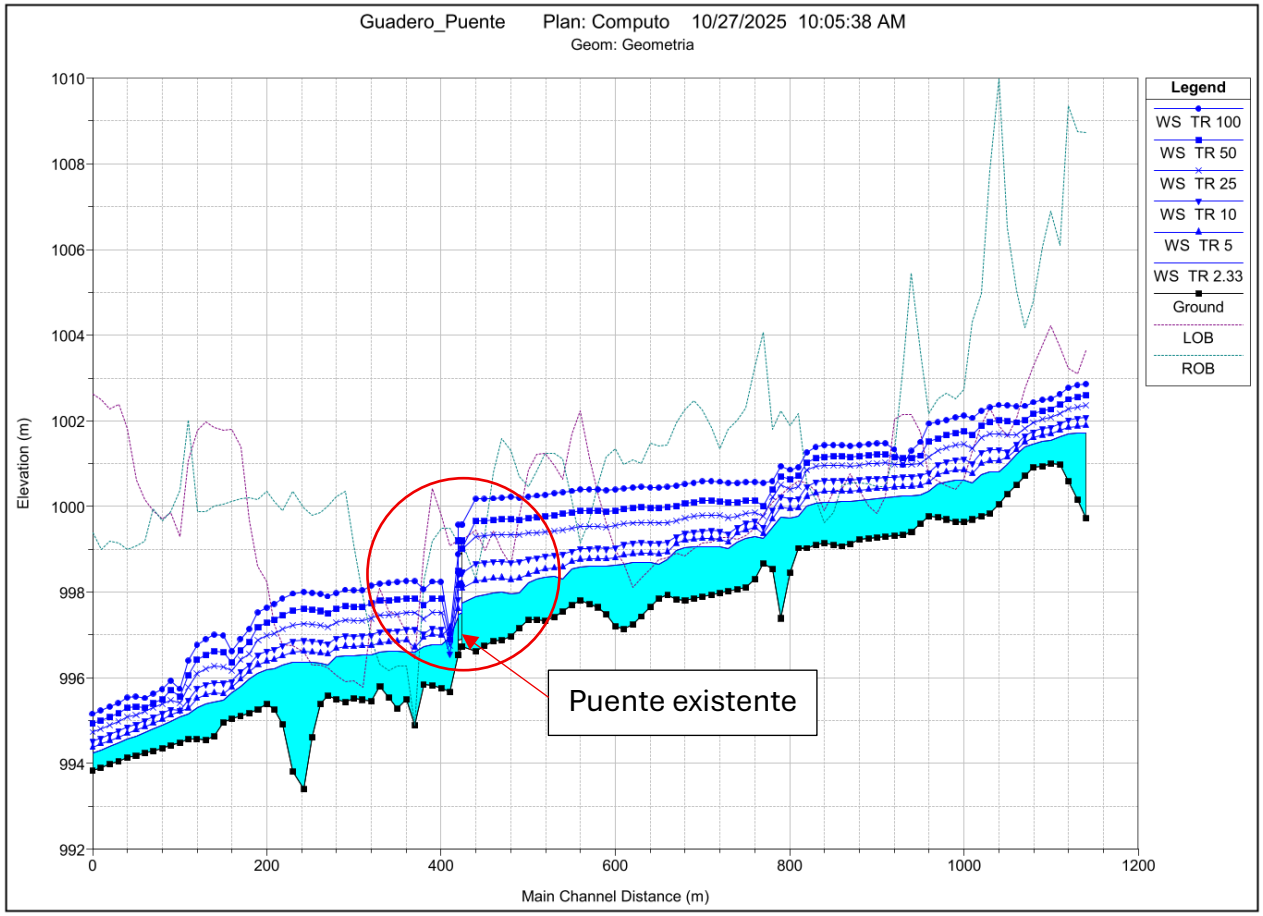


Figura 39. Perfil Longitudinal Rio Guadero

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

2.4.5 TABLA DE PARAMETROS HIDRAULICOS

Tabla 16 Parámetros Hidráulicos TR 2.33

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
1150	13.08	999.73	1001.71	1001.74	0.000774	0.67	19.65	0.24
1140	13.08	1000.16	1001.7	1001.73	0.000931	0.7	18.65	0.26
1130	13.08	1000.58	1001.68	1001.71	0.00148	0.8	16.25	0.32
1120	13.08	1000.98	1001.63	1001.69	0.004216	1.1	11.84	0.52
1110	13.08	1001.01	1001.55	1001.63	0.00695	1.28	10.19	0.65
1100	13.08	1000.94	1001.52	1001.57	0.00395	1.07	12.2	0.5
1090	13.08	1000.92	1001.46	1001.53	0.004888	1.13	11.53	0.55
1080	13.08	1000.71	1001.38	1001.47	0.007519	1.29	10.17	0.67
1070	13.08	1000.5	1001.21	1001.35	0.017844	1.68	7.79	0.99
1060	13.08	1000.29	1000.97	1001.16	0.01933	1.95	6.7	1.06
1050	13.08	1000.05	1000.8	1000.87	0.005115	1.2	10.88	0.57
1040	13.08	999.84	1000.81	1000.84	0.001146	0.79	16.58	0.29
1030	13.08	999.77	1000.75	1000.82	0.003275	1.15	11.35	0.47
1020	13.08	999.7	1000.55	1000.75	0.010532	1.96	6.69	0.84
1010	13.08	999.63	1000.62	1000.67	0.001779	0.97	13.42	0.36
1000	13.08	999.64	1000.61	1000.65	0.001417	0.92	14.42	0.33
990	13.08	999.7	1000.58	1000.63	0.002046	1.04	12.64	0.39
980	13.08	999.75	1000.53	1000.61	0.003371	1.22	10.69	0.49
970	13.08	999.77	1000.36	1000.54	0.011895	1.89	6.94	0.87
960	13.08	999.59	1000.27	1000.43	0.00883	1.74	7.53	0.76
950	13.08	999.41	1000.25	1000.35	0.004462	1.4	9.34	0.56
940	13.08	999.33	1000.24	1000.31	0.00275	1.16	11.31	0.44
930	13.08	999.31	1000.22	1000.28	0.002348	1.04	12.58	0.41
920	13.08	999.29	1000.2	1000.25	0.002606	1.06	12.38	0.43
910	13.08	999.27	1000.17	1000.23	0.002257	1.01	13.21	0.4
901	13.08	999.25	1000.16	1000.2	0.001843	0.92	14.43	0.36
890	13.08	999.22	1000.14	1000.18	0.001975	0.92	14.28	0.37
880	13.08	999.12	1000.11	1000.16	0.002635	1	13.11	0.42
870	13.08	999.07	1000.11	1000.14	0.001078	0.7	18.71	0.28
860	13.08	999.11	1000.1	1000.12	0.001015	0.62	21.21	0.26
850	13.08	999.14	1000.08	1000.11	0.001072	0.75	17.33	0.28
840	13.08	999.11	1000.08	1000.1	0.001037	0.71	18.47	0.27
830	13.08	999.03	1000	1000.08	0.003808	1.23	10.62	0.51
820	13.08	999.03	999.76	999.99	0.015583	2.13	6.14	1
811	13.08	998.45	999.72	999.85	0.005872	1.57	8.35	0.63
800	13.08	997.39	999.75	999.79	0.001538	0.91	14.36	0.33
790	13.08	998.54	999.5	999.74	0.016554	2.14	6.11	1.01
780	13.08	998.67	999.24	999.53	0.02768	2.35	5.56	1.27
770	13.08	998.31	999.3	999.4	0.004832	1.36	9.6	0.57
760	13.08	998.11	999.25	999.35	0.005243	1.4	9.35	0.59
750	13.08	998.07	999.16	999.28	0.006871	1.57	8.32	0.68
740	13.08	998.03	999.01	999.19	0.01189	1.87	6.99	0.87
730	13.08	997.98	999.05	999.1	0.00257	0.99	13.24	0.42
720	13.08	997.94	999.07	999.08	0.00048	0.55	23.65	0.19
710	13.08	997.89	999.07	999.08	0.000478	0.49	26.53	0.19

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
700	13.08	997.85	999.06	999.07	0.000601	0.58	22.5	0.21
690	13.08	997.81	999.04	999.06	0.001186	0.73	18.39	0.29
680	13.08	997.82	998.98	999.04	0.004342	1.12	11.9	0.53
670	13.08	997.93	998.76	998.95	0.016413	1.94	6.74	0.99
660	13.08	997.86	998.66	998.8	0.011723	1.64	7.96	0.84
650	13.08	997.66	998.68	998.73	0.002028	0.93	14.17	0.38
640	13.08	997.43	998.69	998.71	0.0006	0.64	21.28	0.22
630	13.08	997.25	998.68	998.7	0.000541	0.68	21.23	0.21
620	13.08	997.14	998.65	998.69	0.001191	0.92	14.25	0.3
610	13.08	997.2	998.62	998.68	0.002104	1.09	12.02	0.39
600	13.08	997.49	998.6	998.65	0.002511	1.05	12.51	0.42
590	13.08	997.65	998.6	998.63	0.001137	0.72	18.1	0.29
580	13.08	997.72	998.59	998.62	0.000975	0.64	20.43	0.26
570	13.08	997.8	998.59	998.61	0.000975	0.62	21.11	0.26
560	13.08	997.69	998.54	998.59	0.002879	0.94	13.9	0.43
550	13.08	997.55	998.31	998.52	0.011586	2.02	6.46	0.88
540	13.08	997.42	998.36	998.42	0.00286	1.09	11.98	0.45
530	13.08	997.34	998.34	998.4	0.002094	1.03	12.75	0.39
520	13.08	997.36	998.3	998.37	0.003571	1.19	11.01	0.5
510	13.08	997.36	998.21	998.32	0.007646	1.42	9.22	0.69
500	13.08	997.16	997.97	998.19	0.016837	2.09	6.26	1.01
490	13.08	996.97	997.96	998.07	0.004577	1.47	8.88	0.57
480	13.08	996.88	997.99	998.02	0.000985	0.81	16.22	0.27
470	13.08	996.86	997.98	998.01	0.001111	0.82	15.9	0.29
460	13.08	996.74	997.93	997.99	0.002823	1.12	11.73	0.44
450	13.08	996.62	997.89	997.96	0.003406	1.2	10.87	0.48
435	13.08	996.73	997.74	997.89	0.005796	1.71	7.64	0.62
432.5	Culvert							
430	13.08	996.54	997.42	997.67	0.01805	2.24	5.83	1.02
420	13.08	995.67	996.94	997	0.002729	1.01	12.95	0.43
410	13.08	995.76	996.77	996.94	0.011113	1.82	7.19	0.84
400	13.08	995.82	996.78	996.85	0.003555	1.17	11.22	0.49
390	13.08	995.84	996.73	996.81	0.003877	1.28	10.24	0.52
380	13.08	994.89	996.6	996.75	0.007659	1.74	7.58	0.72
370	13.08	995.5	996.6	996.68	0.003223	1.25	10.43	0.48
360	13.08	995.29	996.62	996.65	0.000968	0.72	20.49	0.27
350	13.08	995.54	996.61	996.64	0.000964	0.74	19.23	0.27
340	13.08	995.8	996.6	996.62	0.001284	0.75	17.74	0.3
330	13.08	995.46	996.54	996.6	0.003232	1.13	11.61	0.47
320	13.08	995.49	996.53	996.57	0.001533	0.93	14.57	0.34
310	13.08	995.52	996.52	996.56	0.001385	0.87	15.59	0.32
300	13.08	995.44	996.52	996.54	0.000697	0.67	19.97	0.23
290	13.08	995.5	996.49	996.53	0.001718	0.95	14.52	0.36
280	13.08	995.59	996.31	996.48	0.01313	1.86	7.32	0.91
272	13.08	995.38	996.34	996.4	0.002961	1.07	12.48	0.45
263	13.08	994.62	996.36	996.38	0.000565	0.58	22.69	0.21
253	13.08	993.4	996.37	996.37	0.000092	0.31	42.81	0.09
240	13.08	993.81	996.36	996.37	0.000484	0.52	24.99	0.19
228	13.08	994.91	996.29	996.35	0.002704	1.1	11.86	0.43
218	13.08	995.25	996.21	996.31	0.006398	1.43	9.13	0.64

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
210	13.08	995.38	996.18	996.26	0.004384	1.28	10.26	0.54
200	13.08	995.27	996.1	996.21	0.005909	1.47	8.92	0.63
190	13.08	995.17	995.97	996.13	0.00956	1.77	7.4	0.79
180	13.08	995.11	995.81	996.01	0.014742	1.99	6.58	0.96
170	13.08	995.04	995.65	995.85	0.016096	1.99	6.57	0.99
160	13.08	994.96	995.48	995.68	0.017561	2.01	6.52	1.03
150	13.08	994.63	995.43	995.54	0.006767	1.48	8.86	0.66
140	13.08	994.55	995.38	995.48	0.004969	1.38	9.5	0.58
130	13.08	994.57	995.31	995.42	0.005695	1.48	8.86	0.62
120	13.08	994.56	995.16	995.34	0.011249	1.87	7.01	0.85
110	13.08	994.48	995.08	995.22	0.01033	1.68	7.79	0.8
100	13.08	994.43	994.98	995.12	0.009984	1.62	8.08	0.79
90	13.08	994.36	994.89	995.01	0.009407	1.55	8.47	0.76
80	13.08	994.3	994.81	994.92	0.008707	1.48	8.86	0.73
70	13.08	994.25	994.73	994.83	0.008904	1.45	9	0.73
60	13.08	994.19	994.64	994.74	0.008352	1.39	9.39	0.71
50	13.08	994.13	994.57	994.66	0.007427	1.31	9.98	0.67
40	13.08	994.06	994.49	994.58	0.008318	1.36	9.6	0.71
30	13.08	993.98	994.41	994.5	0.008323	1.36	9.62	0.71
20	13.08	993.91	994.32	994.41	0.008261	1.35	9.66	0.7
10	13.08	993.83	994.24	994.34	0.008335	1.35	9.66	0.71

Tabla 17 Parámetros Hidráulicos TR 25

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
1150	51.87	999.73	1002.35	1002.45	0.001957	1.4	37.11	0.4
1140	51.87	1000.16	1002.32	1002.43	0.002174	1.44	36.03	0.43
1130	51.87	1000.58	1002.28	1002.4	0.002844	1.57	33.11	0.48
1120	51.87	1000.98	1002.17	1002.36	0.005249	1.91	27.19	0.64
1110	51.87	1001.01	1002.07	1002.3	0.006971	2.09	24.81	0.73
1100	51.87	1000.94	1002.04	1002.22	0.005426	1.91	27.12	0.65
1090	51.87	1000.92	1001.96	1002.16	0.006299	1.98	26.26	0.7
1080	51.87	1000.71	1001.83	1002.08	0.009187	2.22	23.35	0.83
1070	51.87	1000.5	1001.68	1001.97	0.012157	2.39	21.67	0.94
1060	51.87	1000.29	1001.67	1001.85	0.006192	1.88	27.66	0.68
1050	51.87	1000.05	1001.7	1001.8	0.002068	1.39	37.22	0.42
1040	51.87	999.84	1001.69	1001.78	0.001421	1.32	39.29	0.36
1030	51.87	999.77	1001.6	1001.75	0.002893	1.7	30.56	0.5
1020	51.87	999.7	1001.36	1001.68	0.009257	2.54	20.51	0.85
1010	51.87	999.63	1001.45	1001.59	0.002116	1.66	33.78	0.44
1000	51.87	999.64	1001.43	1001.57	0.002044	1.67	33.17	0.44
990	51.87	999.7	1001.38	1001.54	0.002656	1.83	30.28	0.49
980	51.87	999.75	1001.3	1001.5	0.00371	2.04	27.18	0.57
970	51.87	999.77	1001.16	1001.45	0.006865	2.41	22.82	0.75
960	51.87	999.59	1001.01	1001.37	0.008129	2.62	19.77	0.82
950	51.87	999.41	1000.98	1001.28	0.006066	2.41	21.51	0.72
940	51.87	999.33	1000.99	1001.21	0.00409	2.07	25.06	0.59
930	51.87	999.31	1000.99	1001.16	0.003038	1.81	28.69	0.51
920	51.87	999.29	1001.03	1001.11	0.001959	1.33	43.52	0.41

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
910	51.87	999.27	1001.01	1001.08	0.001809	1.23	46.92	0.39
901	51.87	999.25	1001	1001.07	0.001823	1.23	47.15	0.39
890	51.87	999.22	1000.97	1001.04	0.002172	1.27	44.14	0.42
880	51.87	999.12	1000.95	1001.02	0.001913	1.18	44.61	0.39
870	51.87	999.07	1000.96	1001	0.000847	0.92	59.29	0.27
860	51.87	999.11	1000.96	1000.99	0.000565	0.79	69.89	0.22
850	51.87	999.14	1000.95	1000.98	0.000539	0.78	71	0.22
840	51.87	999.11	1000.93	1000.98	0.000897	0.98	57.38	0.28
830	51.87	999.03	1000.85	1000.96	0.002714	1.49	38.48	0.47
820	51.87	999.03	1000.45	1000.87	0.012885	2.87	18.1	1
811	51.87	998.45	1000.4	1000.72	0.009953	2.51	20.69	0.87
800	51.87	997.39	1000.49	1000.61	0.002694	1.54	36.11	0.46
790	51.87	998.54	1000.22	1000.54	0.010864	2.56	21.82	0.9
780	51.87	998.67	999.78	1000.36	0.022856	3.38	15.33	1.29
770	51.87	998.31	999.86	1000.15	0.007699	2.45	23.65	0.79
760	51.87	998.11	999.83	1000.06	0.006232	2.25	26.89	0.71
750	51.87	998.07	999.77	1000	0.006649	2.28	26.61	0.73
740	51.87	998.03	999.74	999.92	0.00578	1.96	28.94	0.67
730	51.87	997.98	999.78	999.86	0.001926	1.26	42.87	0.4
720	51.87	997.94	999.8	999.84	0.00066	0.87	60.55	0.24
710	51.87	997.89	999.79	999.83	0.00072	0.9	58.88	0.25
700	51.87	997.85	999.77	999.82	0.000995	1.06	50.92	0.3
690	51.87	997.81	999.73	999.81	0.001517	1.25	43.74	0.36
680	51.87	997.82	999.67	999.78	0.00278	1.54	35.91	0.48
670	51.87	997.93	999.62	999.75	0.003319	1.65	33.77	0.52
660	51.87	997.86	999.61	999.72	0.002225	1.52	36.93	0.44
650	51.87	997.66	999.62	999.69	0.001248	1.28	44.82	0.34
640	51.87	997.43	999.62	999.68	0.000705	1.07	54.61	0.26
630	51.87	997.25	999.61	999.67	0.000727	1.14	54.71	0.27
620	51.87	997.14	999.59	999.66	0.001063	1.29	49.31	0.31
610	51.87	997.2	999.54	999.64	0.001783	1.46	40.89	0.4
600	51.87	997.49	999.52	999.62	0.002221	1.43	36.38	0.43
590	51.87	997.65	999.54	999.59	0.000975	1.04	49.69	0.29
580	51.87	997.72	999.54	999.58	0.000718	0.91	56.86	0.25
570	51.87	997.8	999.53	999.57	0.000621	0.86	60.69	0.24
560	51.87	997.69	999.49	999.56	0.001304	1.16	44.89	0.34
550	51.87	997.55	999.45	999.54	0.001746	1.32	39.25	0.39
540	51.87	997.42	999.43	999.53	0.00162	1.34	38.59	0.38
530	51.87	997.34	999.41	999.51	0.001652	1.41	36.85	0.39
520	51.87	997.36	999.39	999.49	0.001713	1.4	36.98	0.39
510	51.87	997.36	999.37	999.47	0.001642	1.41	36.91	0.38
500	51.87	997.16	999.34	999.45	0.001895	1.52	34.21	0.41
490	51.87	996.97	999.35	999.43	0.001236	1.34	44.61	0.33
480	51.87	996.88	999.34	999.42	0.000749	1.2	44.01	0.27
470	51.87	996.86	999.34	999.41	0.000747	1.18	43.84	0.27
460	51.87	996.74	999.32	999.4	0.000985	1.28	40.53	0.31
450	51.87	996.62	999.31	999.39	0.000962	1.29	41.19	0.3
435	51.87	996.73	999	999.34	0.004934	2.58	20.1	0.59
432.5	Culvert							
430	51.87	996.54	998.18	998.8	0.014714	3.5	14.8	1
420	51.87	995.67	996.75	998.41	0.087162	5.7	9.09	2.43
410	51.87	995.76	997.52	997.79	0.007158	2.32	22.36	0.75
400	51.87	995.82	997.53	997.71	0.003826	1.91	27.13	0.56

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
390	51.87	995.84	997.37	997.66	0.006225	2.35	22.04	0.71
380	51.87	994.89	997.52	997.57	0.00091	1.06	52.12	0.28
370	51.87	995.5	997.52	997.56	0.000744	0.92	58.06	0.26
360	51.87	995.29	997.49	997.55	0.001097	1.14	50.94	0.31
350	51.87	995.54	997.47	997.54	0.001064	1.18	49.3	0.31
340	51.87	995.8	997.46	997.53	0.001023	1.15	48.17	0.31
330	51.87	995.46	997.39	997.5	0.002351	1.53	35.76	0.45
320	51.87	995.49	997.34	997.48	0.0022	1.69	32.56	0.45
310	51.87	995.52	997.34	997.45	0.001821	1.54	35.04	0.41
300	51.87	995.44	997.35	997.43	0.001143	1.29	41.45	0.33
290	51.87	995.5	997.28	997.41	0.002164	1.65	33.78	0.44
280	51.87	995.59	997.18	997.37	0.004359	2.04	27.44	0.61
272	51.87	995.38	997.22	997.32	0.00194	1.46	37.72	0.42
263	51.87	994.62	997.24	997.3	0.000739	1.03	52.11	0.26
253	51.87	993.4	997.26	997.28	0.000235	0.67	77.99	0.15
240	51.87	993.81	997.23	997.28	0.000638	0.94	55.78	0.24
228	51.87	994.91	997.13	997.25	0.002585	1.54	33.81	0.46
218	51.87	995.25	997.04	997.22	0.003789	1.88	27.62	0.56
210	51.87	995.38	996.99	997.19	0.003746	1.97	26.31	0.57
200	51.87	995.27	996.88	997.14	0.005311	2.24	23.17	0.67
190	51.87	995.17	996.57	997.04	0.012381	3.04	17.05	0.99
180	51.87	995.11	996.42	996.91	0.013637	3.11	16.7	1.04
170	51.87	995.04	996.16	996.74	0.018543	3.38	15.34	1.19
160	51.87	994.96	996.26	996.58	0.007359	2.48	20.9	0.77
150	51.87	994.63	996.27	996.49	0.004276	2.08	24.93	0.6
140	51.87	994.55	996.21	996.45	0.004362	2.16	24.04	0.61
130	51.87	994.57	996.11	996.39	0.005394	2.35	22.04	0.67
120	51.87	994.56	995.78	996.29	0.012753	3.16	16.43	1
110	51.87	994.48	995.41	996.1	0.027211	3.66	14.17	1.4
100	51.87	994.43	995.48	995.9	0.01277	2.84	18.24	0.99
90	51.87	994.36	995.39	995.76	0.011528	2.69	19.28	0.94
80	51.87	994.3	995.3	995.64	0.01069	2.58	20.09	0.91
70	51.87	994.25	995.21	995.53	0.01039	2.51	20.65	0.89
60	51.87	994.19	995.14	995.42	0.009089	2.36	21.97	0.83
50	51.87	994.13	995.09	995.33	0.007414	2.16	23.98	0.76
40	51.87	994.06	994.98	995.24	0.008461	2.27	22.9	0.8
30	51.87	993.98	994.9	995.16	0.008426	2.26	22.96	0.8
20	51.87	993.91	994.82	995.08	0.008404	2.26	22.99	0.8
10	51.87	993.83	994.74	994.99	0.008333	2.25	23.1	0.8

Tabla 18 Parámetros Hidráulicos TR 50

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
1150	72.99	999.73	1002.59	1002.72	0.00225	1.64	44.53	0.44
1140	72.99	1000.16	1002.56	1002.7	0.00252	1.68	43.51	0.47
1130	72.99	1000.58	1002.5	1002.67	0.003198	1.81	40.31	0.52
1120	72.99	1000.98	1002.38	1002.62	0.005448	2.17	33.61	0.67
1110	72.99	1001.01	1002.27	1002.55	0.007139	2.37	30.77	0.76
1100	72.99	1000.94	1002.23	1002.48	0.005816	2.18	33.42	0.69
1090	72.99	1000.92	1002.16	1002.41	0.006497	2.23	32.75	0.73

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
1080	72.99	1000.71	1002.02	1002.33	0.008856	2.46	29.72	0.84
1070	72.99	1000.5	1001.97	1002.24	0.007836	2.32	31.48	0.79
1060	72.99	1000.29	1002	1002.15	0.003637	1.76	42.96	0.55
1050	72.99	1000.05	1002.01	1002.11	0.001664	1.45	53.82	0.39
1040	72.99	999.84	1001.97	1002.09	0.001567	1.53	47.56	0.38
1030	72.99	999.77	1001.88	1002.07	0.003045	1.93	37.85	0.52
1020	72.99	999.7	1001.68	1002.01	0.006933	2.57	29.44	0.77
1010	72.99	999.63	1001.75	1001.92	0.002212	1.88	42.61	0.46
1000	72.99	999.64	1001.72	1001.9	0.002239	1.92	40.98	0.47
990	72.99	999.7	1001.66	1001.87	0.002851	2.09	37.76	0.52
980	72.99	999.75	1001.58	1001.84	0.003828	2.28	35.2	0.6
970	72.99	999.77	1001.51	1001.79	0.005149	2.41	33.46	0.68
960	72.99	999.59	1001.19	1001.7	0.010309	3.16	23.11	0.93
950	72.99	999.41	1001.12	1001.59	0.008602	3.02	24.17	0.86
940	72.99	999.33	1001.14	1001.48	0.005768	2.59	28.17	0.71
930	72.99	999.31	1001.15	1001.41	0.004214	2.26	32.36	0.61
920	72.99	999.29	1001.22	1001.33	0.002159	1.56	52.6	0.44
910	72.99	999.27	1001.21	1001.31	0.001947	1.44	57.09	0.42
901	72.99	999.25	1001.2	1001.29	0.001914	1.42	58.08	0.41
890	72.99	999.22	1001.17	1001.27	0.002137	1.44	55.91	0.43
880	72.99	999.12	1001.15	1001.24	0.001943	1.35	55.33	0.41
870	72.99	999.07	1001.16	1001.22	0.000949	1.08	71.55	0.3
860	72.99	999.11	1001.16	1001.21	0.000669	0.95	82.18	0.25
850	72.99	999.14	1001.16	1001.2	0.000641	0.94	83.24	0.25
840	72.99	999.11	1001.13	1001.19	0.001057	1.18	67.82	0.31
830	72.99	999.03	1001.02	1001.17	0.003015	1.74	46.54	0.51
820	72.99	999.03	1000.71	1001.09	0.010797	2.8	28.69	0.93
811	72.99	998.45	1000.63	1000.96	0.009147	2.61	29.94	0.85
800	72.99	997.39	1000.7	1000.85	0.002902	1.78	44.46	0.49
790	72.99	998.54	1000.39	1000.78	0.010601	2.86	28.36	0.92
780	72.99	998.67	1000	1000.62	0.018132	3.52	22.22	1.19
770	72.99	998.31	1000.15	1000.42	0.005736	2.44	34.67	0.71
760	72.99	998.11	1000.13	1000.35	0.004628	2.24	38.24	0.64
750	72.99	998.07	1000.09	1000.31	0.00451	2.2	38.69	0.63
740	72.99	998.03	1000.09	1000.25	0.003486	1.84	43.85	0.55
730	72.99	997.98	1000.12	1000.2	0.001453	1.29	59.51	0.36
720	72.99	997.94	1000.14	1000.19	0.000609	0.96	77.82	0.24
710	72.99	997.89	1000.13	1000.18	0.000667	0.99	75.97	0.25
700	72.99	997.85	1000.1	1000.17	0.000932	1.16	65.53	0.3
690	72.99	997.81	1000.07	1000.16	0.001362	1.35	57.13	0.36
680	72.99	997.82	1000.02	1000.14	0.002176	1.59	48.99	0.44
670	72.99	997.93	999.98	1000.11	0.002442	1.66	46.91	0.47
660	72.99	997.86	999.97	1000.09	0.001831	1.6	49.27	0.42
650	72.99	997.66	999.97	1000.06	0.001153	1.39	57.95	0.34
640	72.99	997.43	999.98	1000.05	0.000717	1.21	68.41	0.27
630	72.99	997.25	999.97	1000.04	0.000753	1.27	68.33	0.28
620	72.99	997.14	999.95	1000.03	0.001019	1.4	62.99	0.31
610	72.99	997.2	999.91	1000.01	0.001485	1.53	54.8	0.37
600	72.99	997.49	999.89	1000	0.001851	1.46	50.31	0.41
590	72.99	997.65	999.91	999.97	0.000891	1.13	64.7	0.29

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
580	72.99	997.72	999.91	999.96	0.00065	0.99	73.62	0.25
570	72.99	997.8	999.91	999.95	0.000552	0.94	78.95	0.23
560	72.99	997.69	999.86	999.94	0.001157	1.22	59.64	0.33
550	72.99	997.55	999.83	999.93	0.001492	1.4	52.06	0.37
540	72.99	997.42	999.8	999.91	0.001538	1.45	50.37	0.38
530	72.99	997.34	999.77	999.89	0.001648	1.54	47.27	0.39
520	72.99	997.36	999.76	999.88	0.001607	1.53	47.61	0.39
510	72.99	997.36	999.74	999.86	0.001609	1.56	46.8	0.39
500	72.99	997.16	999.69	999.84	0.00192	1.69	43.18	0.42
490	72.99	996.97	999.72	999.81	0.00113	1.45	58.51	0.33
480	72.99	996.88	999.7	999.8	0.000847	1.4	55.99	0.29
470	72.99	996.86	999.69	999.79	0.00087	1.4	54.42	0.29
460	72.99	996.74	999.67	999.78	0.001058	1.49	51.56	0.33
450	72.99	996.62	999.66	999.77	0.001027	1.48	54.84	0.32
435	72.99	996.73	999.03	999.68	0.009537	3.58	20.41	0.82
432.5	Culvert							
430	72.99	996.54	998.5	999.28	0.014354	3.92	18.63	1
420	72.99	995.67	996.89	998.86	0.115177	6.22	11.74	2.75
410	72.99	995.76	997.85	998.15	0.005691	2.41	30.31	0.69
400	72.99	995.82	997.86	998.08	0.00356	2.08	35.08	0.56
390	72.99	995.84	997.69	998.03	0.005757	2.54	28.68	0.71
380	72.99	994.89	997.86	997.93	0.000952	1.25	64.84	0.3
370	72.99	995.5	997.86	997.91	0.000764	1.09	72.16	0.27
360	72.99	995.29	997.83	997.9	0.000994	1.26	64.83	0.31
350	72.99	995.54	997.82	997.89	0.000992	1.31	62.51	0.31
340	72.99	995.8	997.8	997.88	0.000988	1.28	60.88	0.31
330	72.99	995.46	997.74	997.87	0.001761	1.59	50.58	0.41
320	72.99	995.49	997.67	997.84	0.002276	1.91	40.58	0.47
310	72.99	995.52	997.66	997.81	0.001894	1.76	43.39	0.43
300	72.99	995.44	997.68	997.79	0.001232	1.48	50.68	0.35
290	72.99	995.5	997.6	997.76	0.002176	1.85	42.51	0.46
280	72.99	995.59	997.51	997.73	0.003752	2.16	36.65	0.59
272	72.99	995.38	997.56	997.68	0.001797	1.58	49.47	0.41
263	72.99	994.62	997.59	997.65	0.000761	1.17	65.5	0.28
253	72.99	993.4	997.61	997.64	0.000273	0.8	93.2	0.17
240	72.99	993.81	997.57	997.63	0.000655	1.08	68.93	0.25
228	72.99	994.91	997.47	997.61	0.002162	1.66	44.54	0.44
218	72.99	995.25	997.36	997.58	0.003397	2.05	35.64	0.55
210	72.99	995.38	997.29	997.54	0.003739	2.21	33.01	0.58
200	72.99	995.27	997.18	997.49	0.005185	2.47	29.57	0.68
190	72.99	995.17	996.83	997.39	0.011901	3.34	21.87	1
180	72.99	995.11	996.64	997.26	0.013896	3.49	20.92	1.07
170	72.99	995.04	996.37	997.09	0.018219	3.76	19.39	1.21
160	72.99	994.96	996.6	996.95	0.006113	2.62	27.91	0.73
150	72.99	994.63	996.61	996.88	0.003954	2.28	32.03	0.6
140	72.99	994.55	996.53	996.83	0.004331	2.41	30.23	0.62
130	72.99	994.57	996.42	996.78	0.00546	2.65	27.56	0.69
120	72.99	994.56	996.07	996.67	0.011944	3.45	21.15	1
110	72.99	994.48	995.57	996.47	0.029736	4.2	17.38	1.5
100	72.99	994.43	995.71	996.21	0.012134	3.13	23.31	0.99

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
90	72.99	994.36	995.51	996.07	0.015373	3.32	21.98	1.1
80	72.99	994.3	995.4	995.94	0.014819	3.23	22.58	1.08
70	72.99	994.25	995.3	995.82	0.015107	3.19	22.85	1.09
60	72.99	994.19	995.33	995.7	0.009261	2.67	27.31	0.87
50	72.99	994.13	995.29	995.59	0.007369	2.43	30.04	0.78
40	72.99	994.06	995.18	995.51	0.008496	2.56	28.56	0.83
30	72.99	993.98	995.1	995.43	0.008451	2.55	28.64	0.83
20	72.99	993.91	995.01	995.34	0.008441	2.55	28.65	0.83
10	72.99	993.83	994.93	995.26	0.008331	2.53	28.83	0.82

Tabla 19 Parámetros Hidráulicos TR 100

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
1150	101.52	999.73	1002.86	1003.04	0.002491	1.91	53.25	0.48
1140	101.52	1000.16	1002.83	1003.02	0.002749	1.92	52.78	0.5
1130	101.52	1000.58	1002.77	1002.98	0.00345	2.05	49.45	0.56
1120	101.52	1000.98	1002.63	1002.93	0.005533	2.44	41.6	0.7
1110	101.52	1001.01	1002.51	1002.86	0.007038	2.63	38.66	0.78
1100	101.52	1000.94	1002.49	1002.78	0.005758	2.41	42.09	0.71
1090	101.52	1000.92	1002.43	1002.72	0.005786	2.4	42.23	0.71
1080	101.52	1000.71	1002.35	1002.66	0.006333	2.48	40.92	0.74
1070	101.52	1000.5	1002.33	1002.58	0.005679	2.23	45.66	0.69
1060	101.52	1000.29	1002.36	1002.52	0.002586	1.8	58.63	0.49
1050	101.52	1000.05	1002.37	1002.49	0.001467	1.57	69.51	0.38
1040	101.52	999.84	1002.31	1002.47	0.001712	1.77	57.47	0.41
1030	101.52	999.77	1002.23	1002.44	0.002743	2.07	51.79	0.51
1020	101.52	999.7	1002.07	1002.39	0.005056	2.57	41.95	0.68
1010	101.52	999.63	1002.12	1002.32	0.002212	2.09	54.26	0.47
1000	101.52	999.64	1002.08	1002.3	0.002343	2.16	51.09	0.49
990	101.52	999.7	1002.01	1002.27	0.002976	2.32	47.86	0.54
980	101.52	999.75	1001.96	1002.24	0.0035	2.41	47.69	0.58
970	101.52	999.77	1001.94	1002.19	0.00394	2.36	49.23	0.61
960	101.52	999.59	1001.5	1002.1	0.009823	3.42	29.7	0.93
950	101.52	999.41	1001.3	1001.99	0.011425	3.68	27.58	1.01
940	101.52	999.33	1000.96	1001.83	0.016593	4.13	24.57	1.19
930	101.52	999.31	1001.33	1001.72	0.005584	2.76	36.81	0.72
920	101.52	999.29	1001.47	1001.61	0.002247	1.79	64.44	0.46
910	101.52	999.27	1001.47	1001.59	0.001979	1.65	70.44	0.43
901	101.52	999.25	1001.45	1001.57	0.001892	1.6	72.58	0.42
890	101.52	999.22	1001.43	1001.55	0.001953	1.58	71.57	0.43
880	101.52	999.12	1001.42	1001.52	0.001756	1.48	73.13	0.4
870	101.52	999.07	1001.43	1001.5	0.000987	1.24	87.38	0.31
860	101.52	999.11	1001.43	1001.49	0.000734	1.11	98.07	0.27
850	101.52	999.14	1001.42	1001.48	0.000708	1.1	99.09	0.27
840	101.52	999.11	1001.38	1001.47	0.001146	1.37	81.75	0.34
830	101.52	999.03	1001.26	1001.44	0.00299	1.96	57.85	0.53
820	101.52	999.03	1000.91	1001.36	0.01046	3.1	36.31	0.94

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
811	101.52	998.45	1000.86	1001.25	0.008215	2.84	38.72	0.83
800	101.52	997.39	1000.94	1001.14	0.003127	2.05	54.01	0.53
790	101.52	998.54	1000.59	1001.06	0.010428	3.17	35.9	0.94
780	101.52	998.67	1000.55	1000.88	0.005692	2.67	43.77	0.72
770	101.52	998.31	1000.57	1000.81	0.003634	2.29	51.55	0.59
760	101.52	998.11	1000.56	1000.76	0.003094	2.15	55	0.54
750	101.52	998.07	1000.54	1000.73	0.002981	2.09	55.78	0.53
740	101.52	998.03	1000.55	1000.69	0.002155	1.73	64.31	0.45
730	101.52	997.98	1000.58	1000.66	0.001045	1.29	82.93	0.32
720	101.52	997.94	1000.59	1000.64	0.00052	1.03	101.65	0.23
710	101.52	997.89	1000.58	1000.64	0.000573	1.05	99.69	0.24
700	101.52	997.85	1000.55	1000.63	0.0008	1.23	86.01	0.29
690	101.52	997.81	1000.52	1000.62	0.001127	1.4	76.23	0.34
680	101.52	997.82	1000.48	1000.6	0.001617	1.59	67.63	0.4
670	101.52	997.93	1000.45	1000.58	0.001757	1.65	65.33	0.41
660	101.52	997.86	1000.44	1000.57	0.001455	1.67	65.96	0.38
650	101.52	997.66	1000.44	1000.54	0.001003	1.48	75.7	0.32
640	101.52	997.43	1000.45	1000.53	0.000679	1.32	86.92	0.27
630	101.52	997.25	1000.44	1000.52	0.000719	1.38	86.6	0.28
620	101.52	997.14	1000.42	1000.51	0.000916	1.5	81.21	0.31
610	101.52	997.2	1000.39	1000.5	0.001191	1.58	73.31	0.35
600	101.52	997.49	1000.38	1000.49	0.001288	1.47	70.1	0.35
590	101.52	997.65	1000.4	1000.47	0.000737	1.18	86.15	0.27
580	101.52	997.72	1000.4	1000.46	0.000539	1.05	97.35	0.24
570	101.52	997.8	1000.4	1000.45	0.000452	0.99	104.42	0.22
560	101.52	997.69	1000.36	1000.44	0.000935	1.24	81.78	0.3
550	101.52	997.55	1000.32	1000.43	0.001182	1.44	70.61	0.34
540	101.52	997.42	1000.3	1000.41	0.001254	1.49	68.15	0.35
530	101.52	997.34	1000.27	1000.4	0.001434	1.6	63.33	0.38
520	101.52	997.36	1000.25	1000.38	0.001359	1.61	63.2	0.37
510	101.52	997.36	1000.23	1000.37	0.001417	1.65	61.34	0.37
500	101.52	997.16	1000.2	1000.35	0.001543	1.77	59.74	0.39
490	101.52	996.97	1000.22	1000.32	0.000939	1.51	77.86	0.31
480	101.52	996.88	1000.2	1000.31	0.000821	1.54	73.86	0.29
470	101.52	996.86	1000.19	1000.31	0.00084	1.54	72.76	0.3
460	101.52	996.74	1000.17	1000.3	0.000923	1.6	71.16	0.31
450	101.52	996.62	1000.17	1000.28	0.000852	1.55	78.22	0.3
435	101.52	996.73	999.57	1000.2	0.007879	3.6	32.74	0.78
432.5	Culvert							
430	101.52	996.54	998.88	999.86	0.014233	4.37	23.22	1.01
420	101.52	995.67	997.02	999.42	0.108521	6.85	14.82	2.76
410	101.52	995.76	998.24	998.56	0.004834	2.52	40.28	0.66
400	101.52	995.82	998.24	998.5	0.003346	2.26	45.01	0.56
390	101.52	995.84	998.07	998.45	0.005514	2.73	37.14	0.7
380	101.52	994.89	998.25	998.34	0.000985	1.46	80.45	0.32
370	101.52	995.5	998.26	998.33	0.000766	1.26	89.34	0.28
360	101.52	995.29	998.23	998.32	0.000939	1.41	81.01	0.31
350	101.52	995.54	998.21	998.31	0.000954	1.47	77.88	0.32
340	101.52	995.8	998.2	998.3	0.000966	1.44	75.8	0.32
330	101.52	995.46	998.15	998.28	0.001434	1.67	67.81	0.38

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
320	101.52	995.49	998.04	998.26	0.002481	2.11	51.09	0.5
310	101.52	995.52	998.03	998.23	0.001976	1.99	53.38	0.45
300	101.52	995.44	998.05	998.2	0.001321	1.7	61.73	0.37
290	101.52	995.5	997.97	998.17	0.002206	2.06	53.12	0.47
280	101.52	995.59	997.9	998.14	0.003332	2.29	48.25	0.57
272	101.52	995.38	997.95	998.09	0.001669	1.7	64.58	0.41
263	101.52	994.62	997.98	998.07	0.000779	1.31	82	0.29
253	101.52	993.4	998	998.05	0.000311	0.94	111.52	0.18
240	101.52	993.81	997.96	998.04	0.000678	1.23	84.75	0.26
228	101.52	994.91	997.85	998.02	0.001925	1.81	57.35	0.43
218	101.52	995.25	997.72	997.99	0.003148	2.26	45.05	0.55
210	101.52	995.38	997.64	997.95	0.003839	2.49	40.84	0.6
200	101.52	995.27	997.52	997.9	0.0051	2.73	37.24	0.69
190	101.52	995.17	997.14	997.8	0.011139	3.6	28.18	0.99
180	101.52	995.11	996.91	997.67	0.013813	3.86	26.31	1.09
170	101.52	995.04	996.62	997.5	0.017571	4.16	24.43	1.22
160	101.52	994.96	996.99	997.39	0.005335	2.78	36.53	0.7
150	101.52	994.63	997	997.32	0.003772	2.5	40.56	0.6
140	101.52	994.55	996.9	997.27	0.004362	2.7	37.66	0.64
130	101.52	994.57	996.76	997.22	0.005627	2.98	34.08	0.72
120	101.52	994.56	996.4	997.11	0.011282	3.75	27.1	0.99
110	101.52	994.48	995.75	996.89	0.031237	4.74	21.4	1.57
100	101.52	994.43	995.93	996.58	0.012879	3.55	28.57	1.05
90	101.52	994.36	995.73	996.43	0.015473	3.71	27.34	1.14
80	101.52	994.3	995.64	996.28	0.014185	3.56	28.53	1.09
70	101.52	994.25	995.53	996.15	0.014284	3.51	28.92	1.09
60	101.52	994.19	995.56	996.02	0.009363	3	33.84	0.89
50	101.52	994.13	995.54	995.91	0.00728	2.71	37.51	0.79
40	101.52	994.06	995.41	995.82	0.008519	2.86	35.46	0.85
30	101.52	993.98	995.33	995.74	0.00847	2.85	35.56	0.85
20	101.52	993.91	995.24	995.65	0.008464	2.86	35.56	0.85
10	101.52	993.83	995.16	995.57	0.008341	2.84	35.79	0.84

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

2.4.6 PUENTE EXISTENTE

Se evaluó la capacidad hidráulica de la estructura actual frente a los caudales de 2.33, 25, 50 y 100 años, a continuación, se muestran los resultados obtenidos.

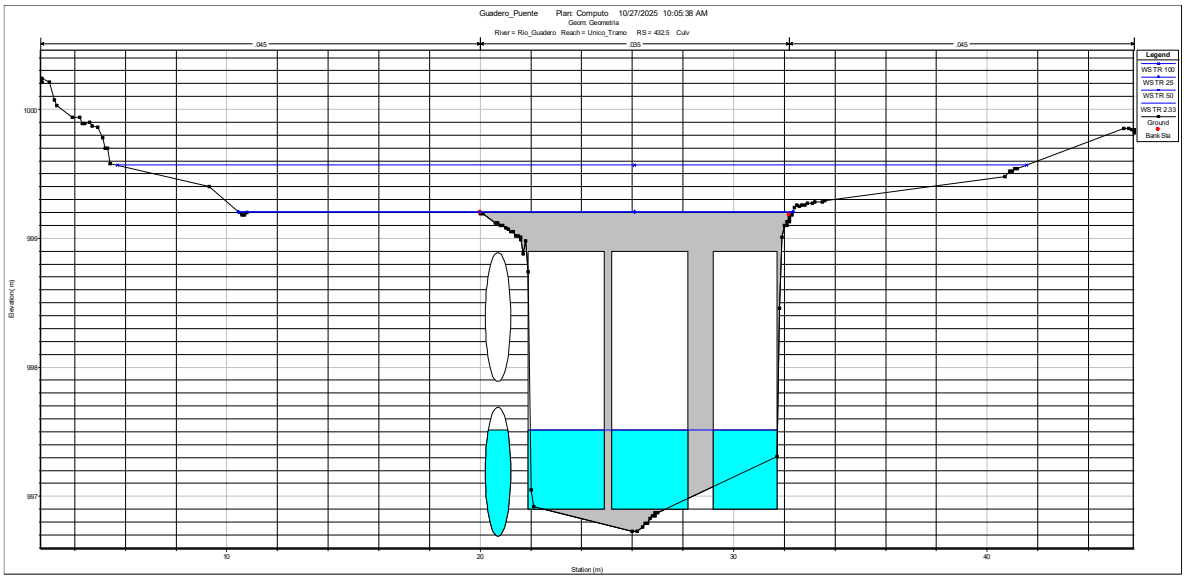


Figura 40 Sección aguas arriba del puente existente

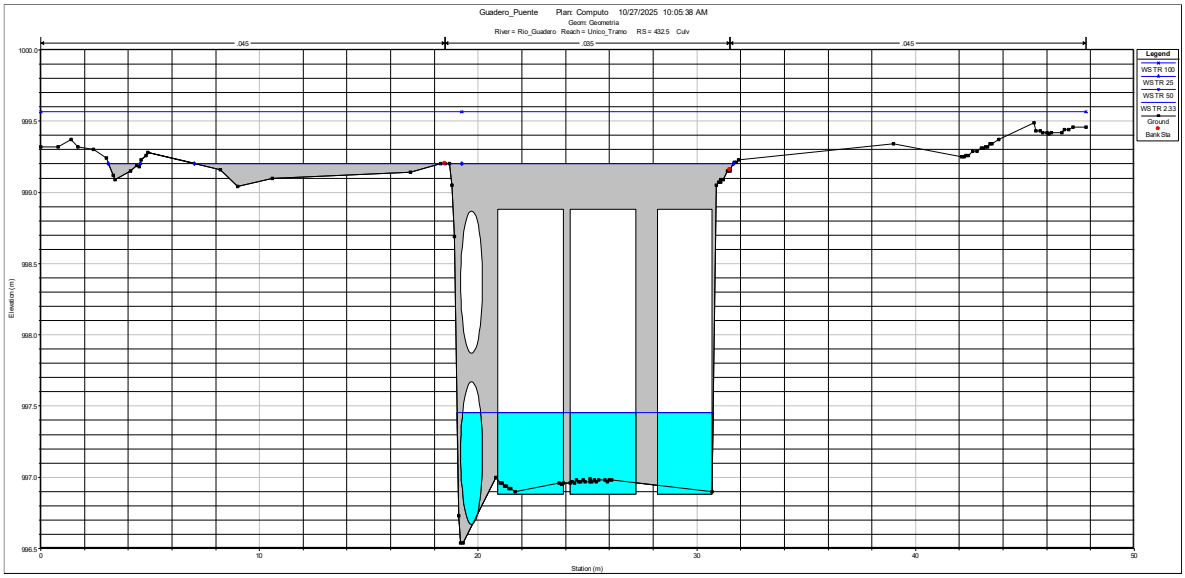


Figura 41 Sección aguas abajo del puente existente

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

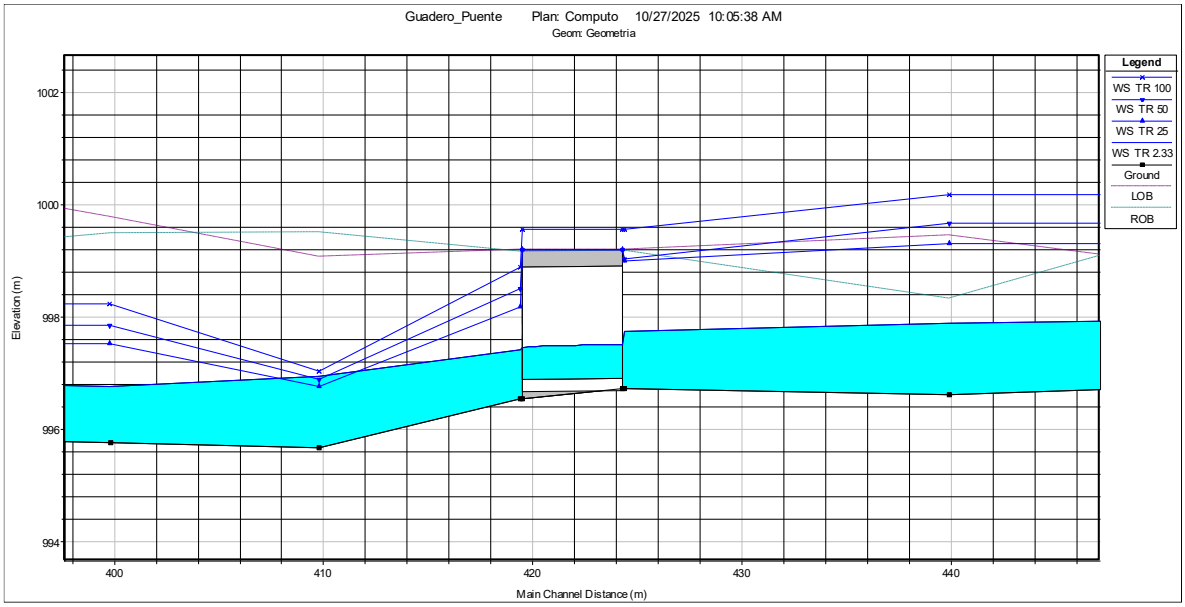


Figura 42 Perfil longitudinal hidráulico puente existente

2.5 IMPLANTACION PUENTE NUEVO

2.5.1 CARACTERISTICAS

El puente proyectado tiene una luz de 21.1 metros y un ancho de 6.7 metros. Los estribos del puente se encuentran emplazados al terreno natural de manera que proporcionan la continuidad con el diseño geométrico horizontal y vertical de la vía proyectada.

La cota inferior del tablero del puente es de 999.56 msnm y la cota superior es de 1000.06 msnm, proporcionando un gálibo de 2.6 metros respecto al terreno natural.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

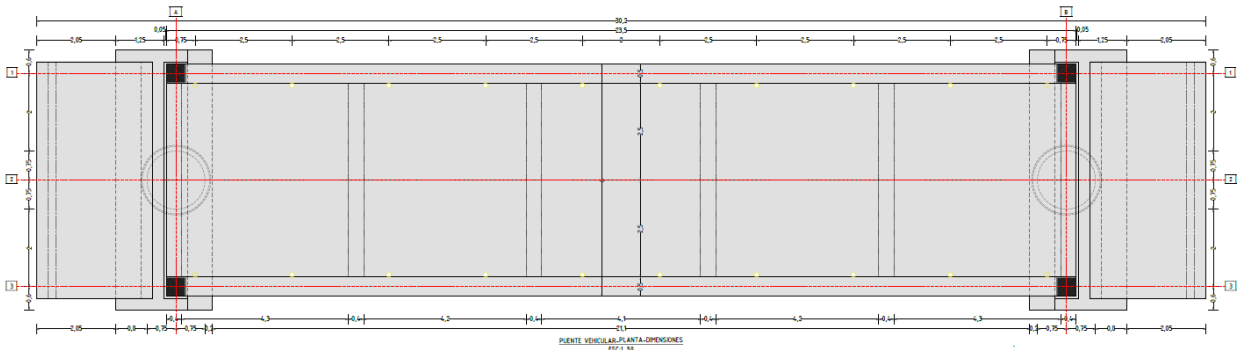


Figura 43 Planta Estructura Proyectada

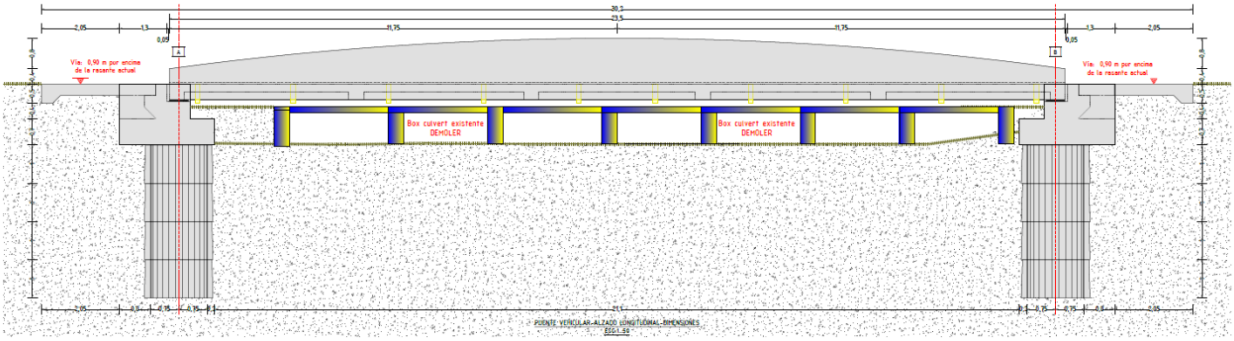


Figura 44 Alzado Estructura Proyectada

2.5.2 INCORPORACION EN EL MODELO HIDRAULICO 1D

Se realizó la incorporación de la estructura en la modelación, para ello las secciones transversales se trazaron en la cara aguas arriba y aguas abajo del puente, la sección aguas arriba corresponde a la sección 435 y la sección aguas abajo a la sección 429, como se muestra en la siguiente figura.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

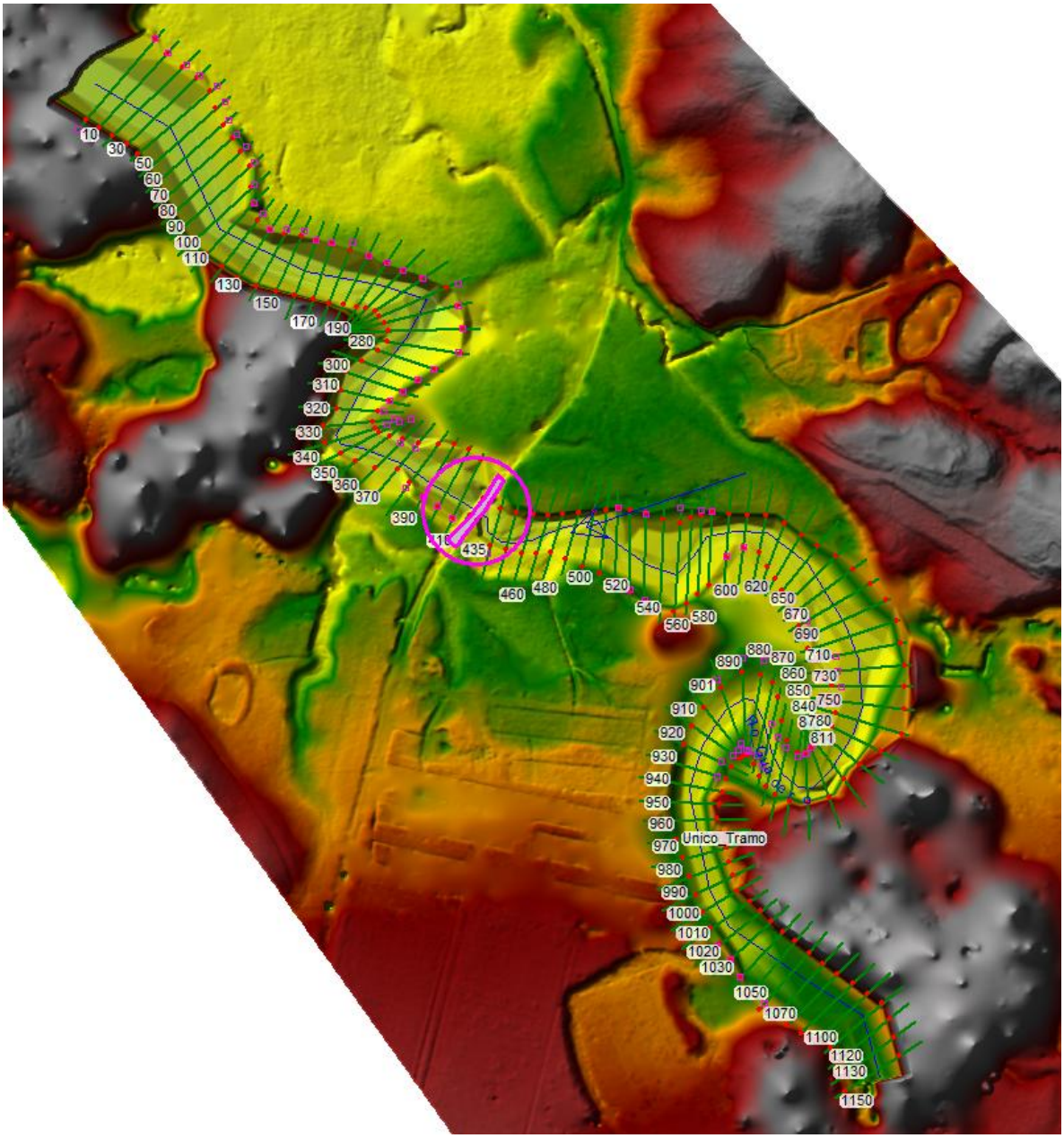


Figura 45 Geometría del modelo

A continuación, se muestra la representación de las secciones del puente, tanto en su tramo aguas arriba como aguas abajo.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

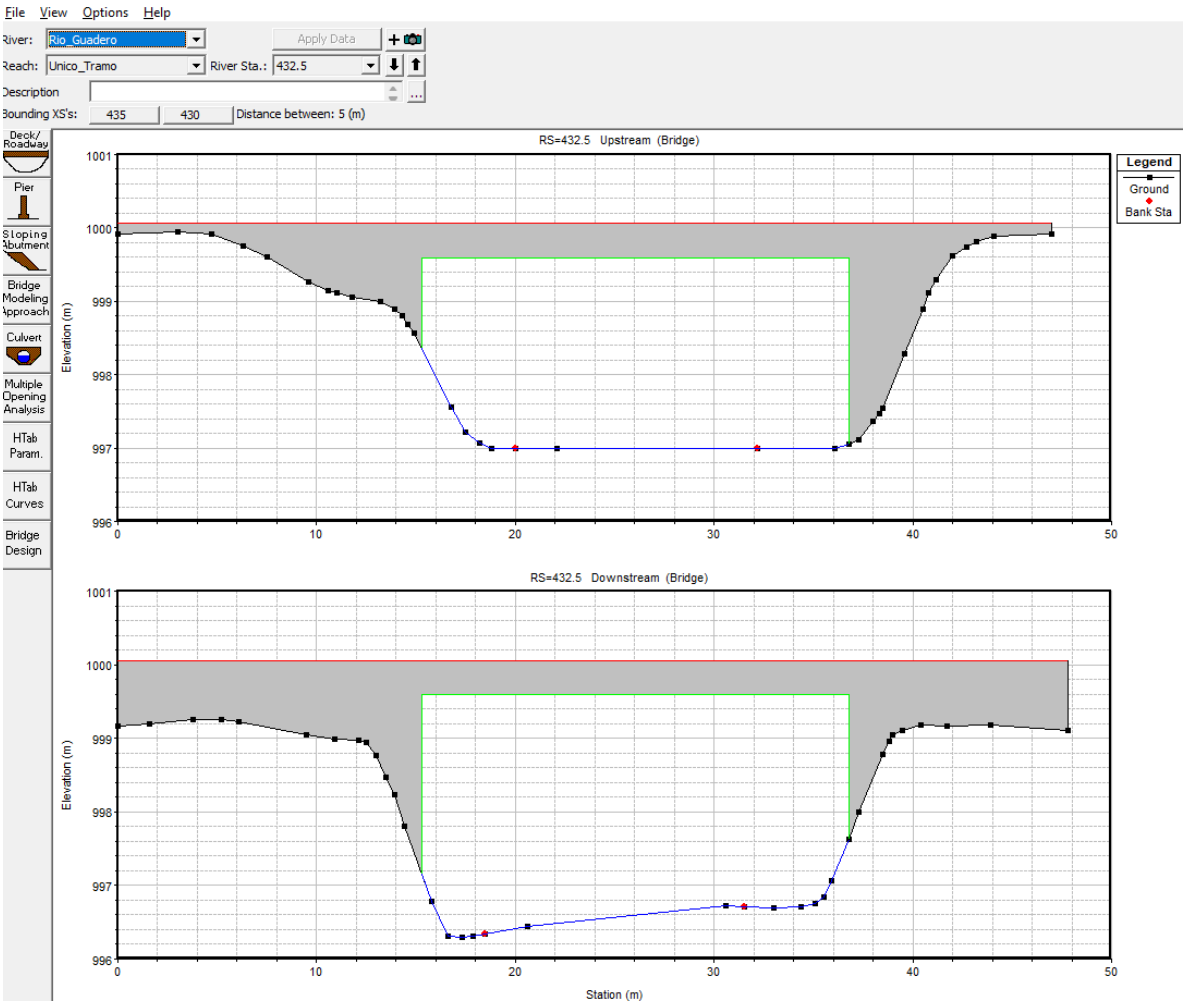


Figura 46 Secciones Transversales Estructura

Para la incorporación del tablero se utilizó la herramienta Deck/Rodway Data Editor como se muestra en la siguiente figura.

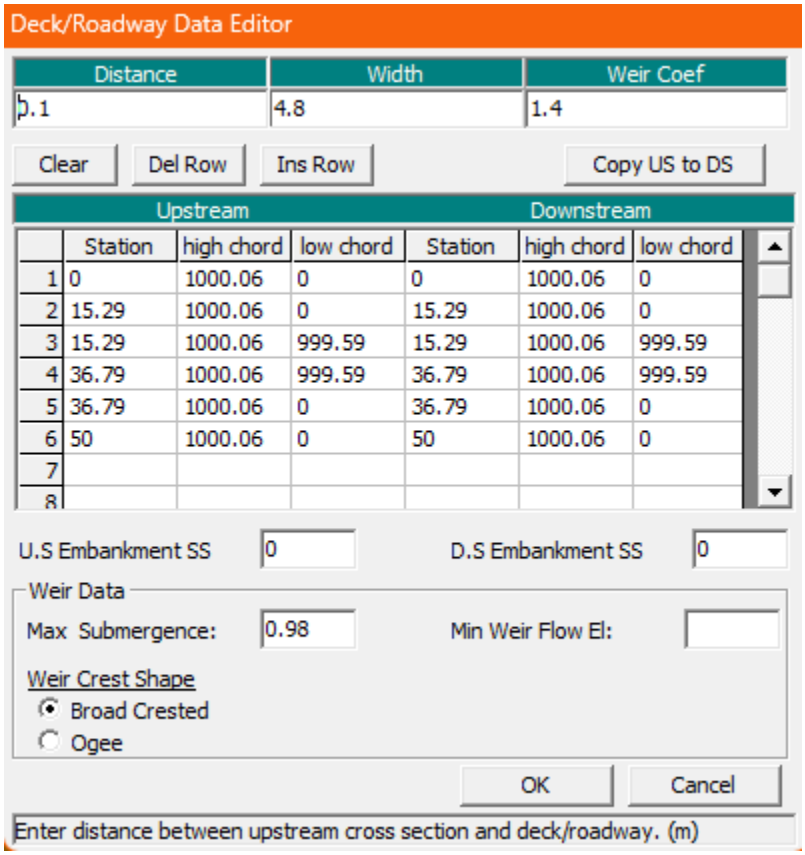


Figura 47 Incorporación Tablero

2.5.3 INCOPORACION EN EL MODELO HIDRAULICO 2D

Se tomo en cuenta el alineamiento proyectado del puente y la ubicación de los estribos en el terreno.



Figura 48 Incorporación estructura en Modelo 2D

La estructura del paso para el modelo bidimensional fue una resta dentro del área de modelación para poner un muro infinito y haga una socavación en función de la existencia de un objeto inamovible.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

2.5.4 RESULTADOS

2.5.4.1 MODELO 1D SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAUCE

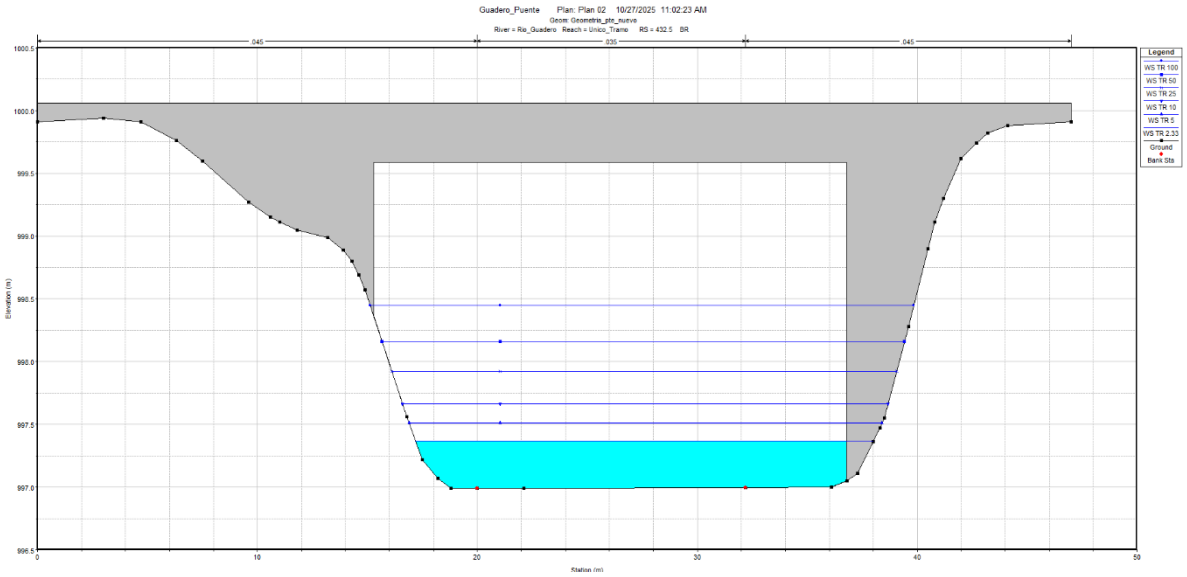


Figura 49 Sección Transversal Aguas Arriba

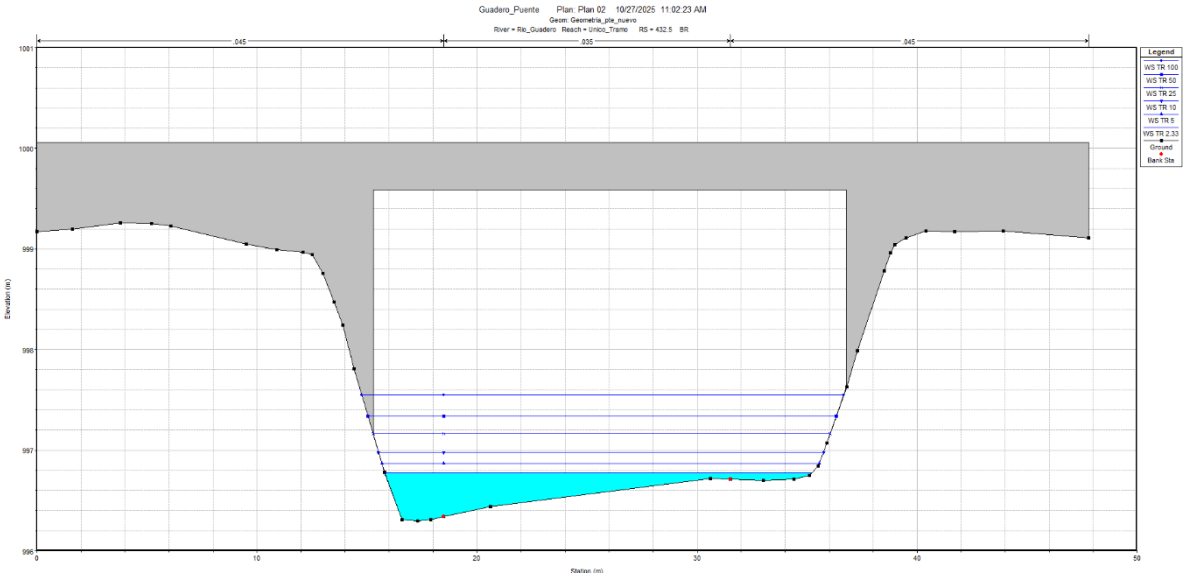


Figura 50 Sección Transversal Aguas Abajo

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

2.5.4.2 PERFIL LOGITUDINAL

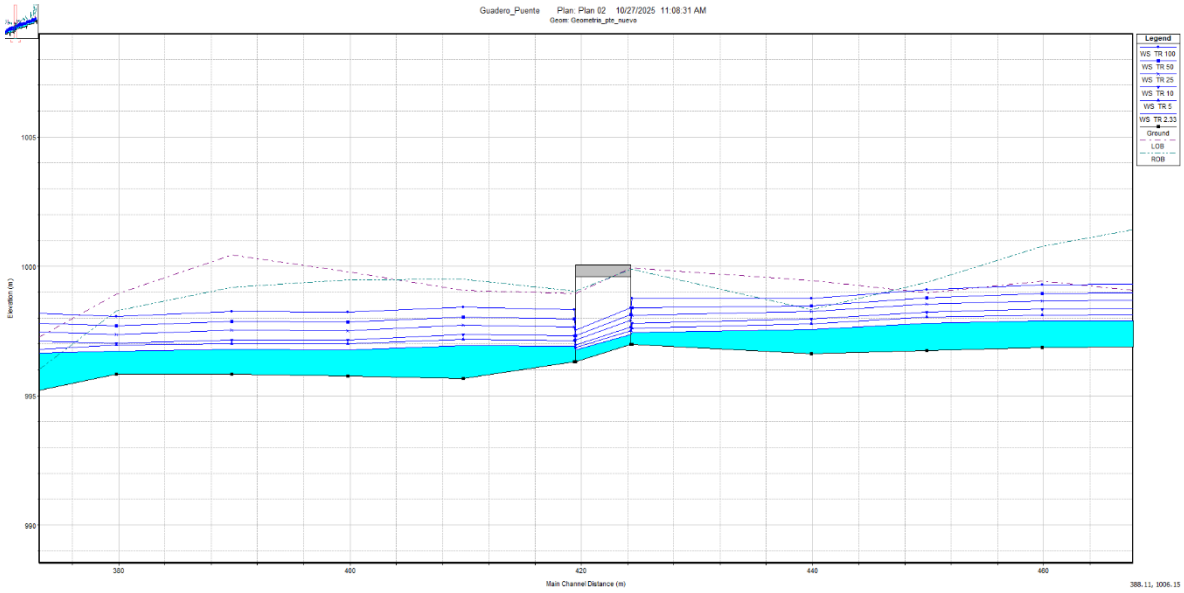


Figura 51 Sección Transversal Aguas Abajo

3 SOCAVACION

Como parte del análisis hidráulico integral, se implementó una simulación de procesos de socavación en el cauce del río Guadero utilizando el módulo de transporte de sedimentos y evolución del lecho disponible en el software IBER 2D. Este procedimiento tiene como finalidad identificar zonas con alto potencial de erosión local y degradación del fondo, que puedan comprometer la estabilidad estructural del puente proyectado en el marco del permiso de ocupación del cauce antes mencionado.

El cálculo de socavación se basa en la solución de las ecuaciones de Saint-Venant acopladas con ecuaciones de transporte de sedimentos, permitiendo simular la evolución morfológica del lecho bajo condiciones de flujo no permanente. La modelación considera la granulometría del material del cauce, la pendiente del terreno, los parámetros hidráulicos del flujo, así como las condiciones iniciales del lecho extraídas del levantamiento topográfico detallado.

Este análisis permite estimar tanto la socavación general como la socavación local esperada en eventos extremos de creciente, con especial atención en los sectores próximos a las estructuras de paso y estribos.

3.1 TRANSPORTE DE FONDO | IBER 2D

El software IBER posee un módulo de transporte de sedimentos, este módulo tiene dos métodos principales para este cálculo, el primero corresponde al transporte de sedimentos de partículas en suspensión, el segundo corresponde al transporte y arrastre de fondo, en este análisis se evaluará únicamente el transporte de fondo.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El transporte de agua a lo largo de un río lleva asociado un flujo de material sólido sedimentario, el cual es transportado por la fuerza que ejerce el agua sobre las partículas de sedimento. El módulo de transporte sólido de Iber calcula el movimiento de sedimentos no cohesivos en flujos de agua poco profundos. Para ello se modelan mediante ecuaciones matemáticas los procesos de puesta en movimiento o puesta en suspensión, transporte y deposición del sedimento.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

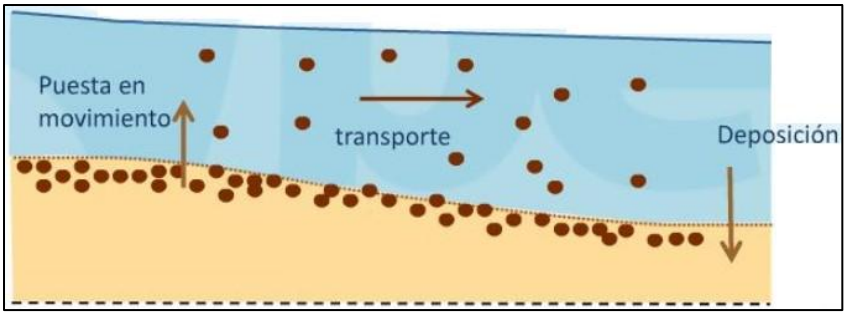


Figura 1.Procesos de transporte en fuentes loticas

Evidentemente, la existencia de transporte sólido está supeditada a la disponibilidad de sedimentos, los cuales pueden provenir de diferentes fuentes. La mayor parte de los sedimentos presentes en los ríos provienen del propio fondo del cauce o del lavado por escorrentía superficial del suelo de la cuenca vertiente. Al sedimento que proviene del lavado de la cuenca vertiente por escorrentía superficial se le llama carga de lavado (o wash load en inglés). Suele ser sedimento muy fino comparado con el existente en el fondo del cauce, y su contribución a la carga total de sedimento de un río es especialmente importante en cuencas áridas con escasa vegetación. El sedimento que proviene del propio fondo del cauce puede tener tamaños comprendidos entre unas pocas mieras (arcillas) y varios centímetros (gravas gruesas y cantos).

Independientemente de su origen, se suele distinguir entre dos posibles modos de transporte de las partículas de sedimento en una corriente de agua:

- Trasporte de fondo, o carga de fondo (qsb)
- Transporte en suspensión, o carga en suspensión (qss)

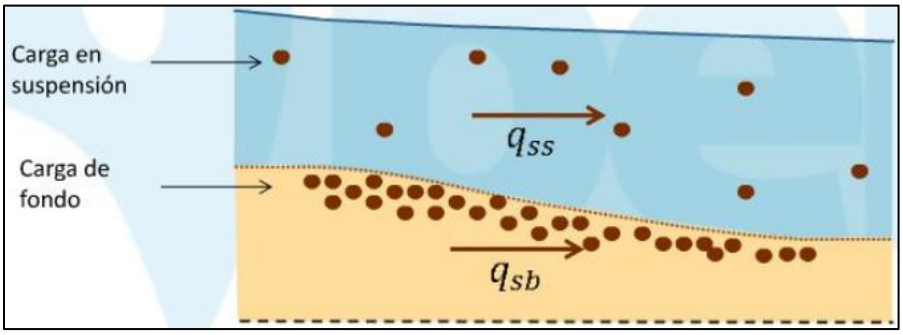


Figura 2.Tipos de transporte en fuentes loticas.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

La carga de fondo la componen las partículas de sedimento que se mueven arrastrándose o rodando por el lecho, pudiendo dar ocasionalmente pequeños saltos cerca del lecho. Son básicamente gravas y arenas.
La carga en suspensión la componen las partículas que se transportan en el seno de la columna de agua, pudiendo ocasionalmente tocar el fondo y volverse a poner en suspensión. Estas partículas se mantienen flotando gracias a la fuerza ascensional ejercida por los remolinos turbulentos existentes en la corriente de agua. Son básicamente arcillas, limos y arenas.

Esta clasificación es evidentemente una simplificación de la realidad. Las partículas más gruesas se transportarán rodando por el lecho y las más finas en suspensión sin tocar en ningún momento el fondo del lecho. Pero existirán muchas otras partículas que debido a su tamaño se encuentren entre los dos modos de transporte anteriormente descritos. En ocasiones se arrastrarán por el fondo y en ocasiones se pondrán en suspensión.

Las gravas se mueven como carga de fondo (salvo en flujos extremadamente potentes). Las arcillas y limos se mueven como carga en suspensión. Las arenas pueden transportarse como carga de fondo o como carga en suspensión en función de su tamaño y de la potencia de la corriente de agua.

En cualquier caso, con el fin de simplificar la representación matemática del fenómeno de transporte de sedimentos se suele admitir que una partícula de un tamaño y densidad dados se transportará como carga de fondo o en suspensión en función de las condiciones hidráulicas (calado, velocidad y tensión de fondo) y otros criterios.

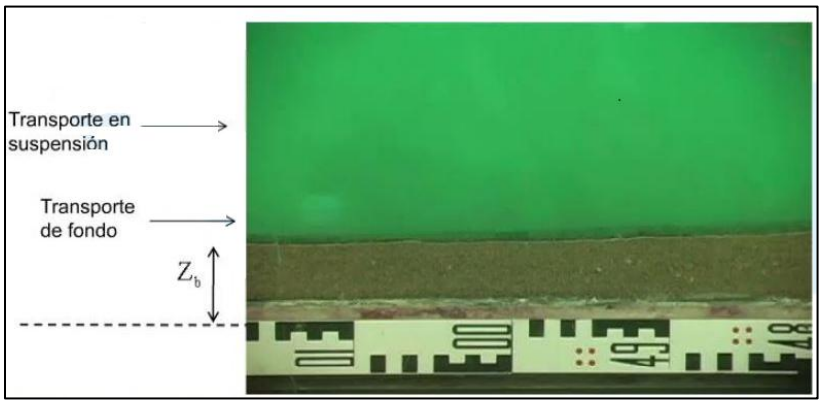


Figura 3.Localización según tipo de transporte.

El usuario de Iber puede elegir qué modos de transporte considerar en el cálculo (fondo, suspensión o ambos). Esta elección debe realizarse en base a criterios físicos, teniendo en cuenta el tamaño del sedimento y las características del flujo en la zona de estudio.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

En el caso de que se consideren ambos modos de transporte en el mismo cálculo, se pueden definir diferentes propiedades del sedimento para la fracción en suspensión y en carga de fondo. En este caso el transporte de cada una de las fracciones se calculará de forma independiente.

En el caso de que exista sedimento en suspensión, la concentración de sedimento en suspensión se define en Iber como la masa de partículas sólidas (kg) por unidad de volumen de fluido (m3).

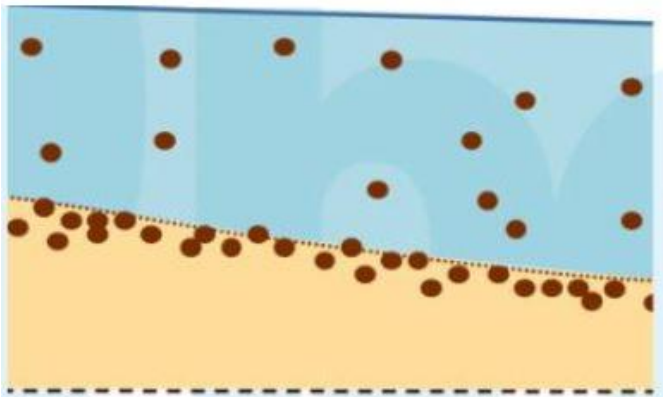


Figura 4.Interfaz fondo -suspensión

La concentración de sedimento en suspensión en un río puede tomar valores muy variados en función de la presencia (o no) de partículas finas (arcillas y limos). Si la concentración alcanza valores muy elevados (superiores a 100-200 g/l); la presencia de las partículas sólidas puede afectar de forma relevante a la densidad y viscosidad de la mezcla fluido-sedimento. En dichos casos se habla de flujos hiperconcentrados si la concentración se superior a 200 g/l y de flujos de lodos y/o flujos de Debris si la concentración es superior a 500 g/l. Si bien los valores que definen un tipo u otro de flujo son variables en la literatura científica.

Las formulaciones implementadas en Iber para sedimento en suspensión son válidas únicamente para casos en los que la concentración de sedimento no afecte a las propiedades del fluido (densidad y viscosidad). No se considera en el modelo la variación de densidad y viscosidad debidas a altas concentraciones de sedimentos y por lo tanto no se deben modelar con él flujos hiperconcentrados o flujos de Debris.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com



Figura 5.Tipo de transporte que no puede ser modelado con Iber

Desde el punto de vista hidráulico, las propiedades básicas del sedimento que interesan para caracterizar su movimiento son:

- Tamaño de las partículas (curva granulométrica)
- Densidad
- Porosidad
- Ángulo de rozamiento interno

A continuación, describiremos brevemente cada una de estas propiedades simplemente con el fin de presentar la notación y nomenclatura.

El tamaño de las partículas es una de las principales características de un determinado sedimento. En función del tamaño de las partículas, se habla de arcillas, limos, arenas, gravas, cantos y bloques.

Tabla 1 Tamaño de particulas

Tipo	D (mm)
Arcillas	<0.002
Limos	0.002-0.64
Arenas	0.064-2
Tipo	D (mm)
Gravas	2-64
Cantos	64-256
Bloques	>256

La curva granulométrica define la distribución del tamaño de las partículas que forman un sedimento. En muchos casos la distribución granulométrica de un sedimento natural se

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

aproxima a una distribución log normal (lo cual quiere decir que el logaritmo del diámetro sigue una distribución normal).

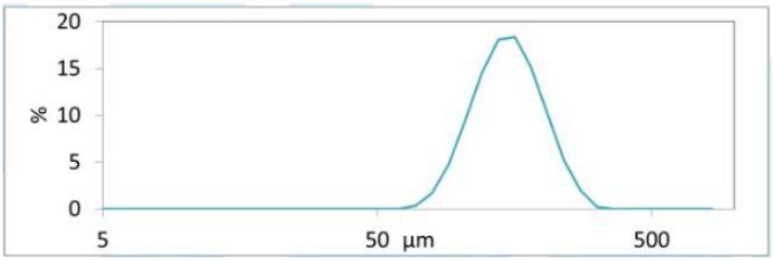


Figura 6.Curva granulométrica

A partir de dicha distribución se utilizan algunos valores característicos para definir el tamaño del sedimento, que suelen ser la mediana de la distribución (D50) o el diámetro medio (Dm). El tamaño de los granos de sedimento puede extenderse a lo largo de un rango de valores mayor o menor. Si todas las partículas de sedimento tienen un tamaño similar se dice que la granulometría es uniforme. Si existe una gran gradación en el tamaño de las partículas se dice que la granulometría es extendida.

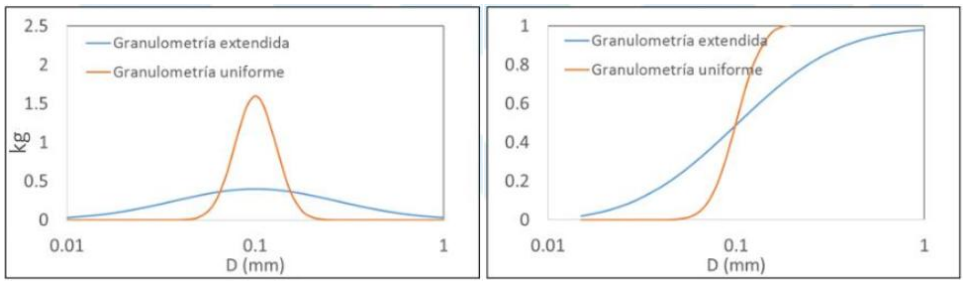


Figura 7.Granulometría extendida y uniforme.

Como medida de la dispersión de la curva granulométrica se suele usar o bien la desviación típica de la distribución de tamaños, o bien parámetros basados en el cociente entre los diámetros gruesos y los finos de la distribución.

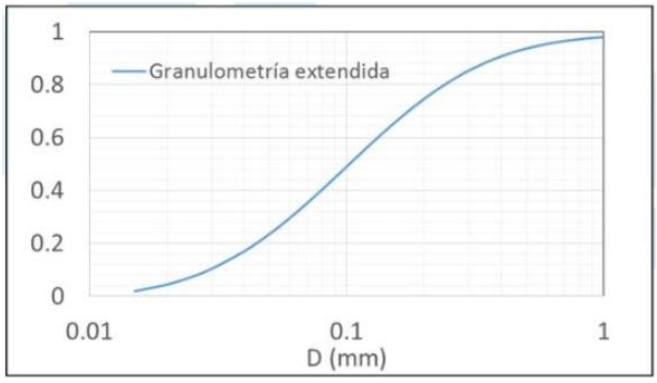


Figura 8.Distribución granulometría extendida

Un parámetro utilizado a menudo es la raíz cuadrada del cociente entre el D84 y el D16 de la distribución granulométrica:

Ecuación 1. Distribución granulométrica.

$$\sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}} = 2.7$$

D84 es el diámetro por debajo del cual queda el 84% del sedimento
D16 es el diámetro por debajo del cual queda el 16% del sedimento

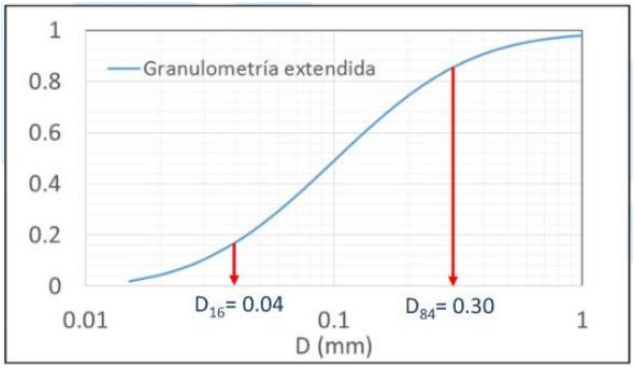
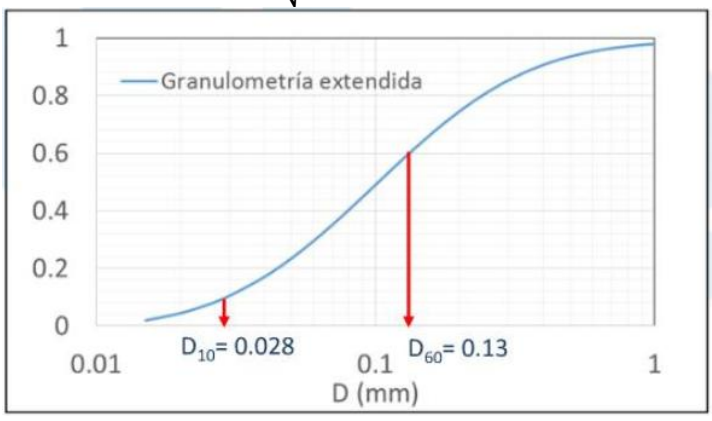


Figura 9.Raíz cuadrada D84 y el D16.

Otro parámetro habitualmente utilizado es el coeficiente de uniformidad, relación entre el D60 y el D10 de la distribución granulométrica:

D60 es el diámetro por debajo del cual queda el 60% del sedimento
D10 es el diámetro por debajo del cual queda el 10% del sedimento

$$\sqrt{\frac{D_{60}}{D_{10}}} = 4.6$$



Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Figura 10.Raíz cuadrada D60 y el D10

En un gran número de casos la curva granulométrica de un sedimento natural es unimodal (un único máximo relativo), aunque pueden existir sedimentos con curvas granulométricas bimodales o trimodales.

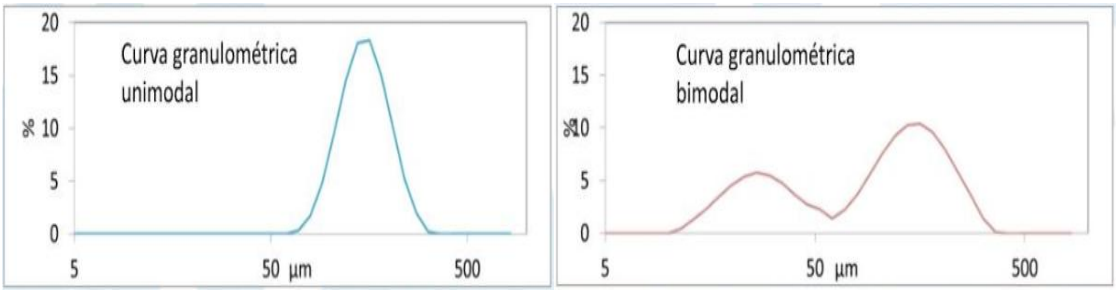


Figura 11.Tipo de curvas granulométricas

En el caso de curvas bimodales no se puede utilizar un único diámetro para caracterizar el sedimento, sino que es necesario dividir la curva granulométrica en dos tramos y caracterizar cada uno de ellos por separado.

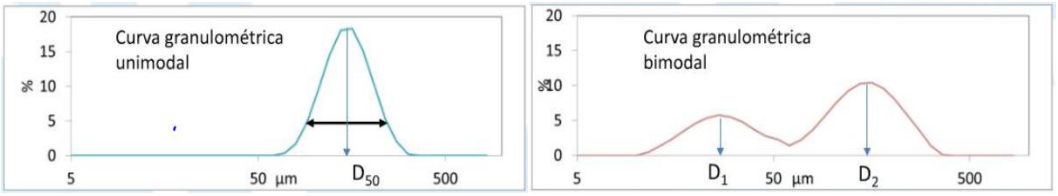


Figura 12.Tipo de curva granulométrica. Fuente: Propia.

En la versión actual de Iber únicamente se consideran sedimentos con una granulometría unimodal y relativamente uniforme, i.e. las partículas de sedimento deben tener todo un tamaño similar. A este tipo de modelos de transporte sólido se les llama monoclase o de granulometría uniforme.

El tamaño del sedimento se caracteriza únicamente por su D50 (mediana de la curva granulométrica). Esta es una simplificación muy importante que se realiza en la mayor parte de los modelos de transporte sólido, y que debe tenerse muy presente a la hora de aplicar el modelo y de interpretar sus resultados. Los modelos de transporte sólido que trabajan con varios diámetros de sedimento o con curvas granulométricas completas se llaman modelos multiclase o modelos de mezclas de sedimentos. Próximas versiones de Iber incluirán un modelo de transporte sólido de mezclas de sedimento.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Aunque es difícil especificar un límite de aplicabilidad de un modelo de granulometría uniforme, idealmente el coeficiente de uniformidad debería ser inferior a 3 y/o la relación entre la raíz del D84 y D16 inferior a 1.5 - 2, si bien estos valores son únicamente orientativos.

$$\sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}} < 1.5 - 2.0 \quad \frac{D_{60}}{D_{10}} < 3.0$$

A medida que la dispersión en el tamaño de los sedimentos aumenta los resultados obtenidos con el modelo se irán deteriorando progresivamente. En lechos formados por sedimentos con granulometrías extendidas o con distribuciones bimodales, se puede producir el fenómeno de acorazamiento, en el cual se forma una coraza superficial en el lecho formada únicamente por partículas gruesas, quedando el sedimento original protegido por dicha coraza.

Al trabajar únicamente con granulométricas uniformes y al caracterizar el sedimento por un único diámetro característico, las formulaciones implementadas en la versión actual de Iber no pueden modelar el fenómeno de acorazamiento.

La densidad del sedimento, junto con su diámetro, son probablemente los dos parámetros más importantes de cara a la caracterización del sedimento en Iber. En Iber el usuario debe introducir la densidad real de las partículas de sedimento (p5). En los sedimentos que se encuentran habitualmente en lechos fluviales o en zonas costeras la densidad real de las partículas toma valores en torno a 2400 - 2650 kg/m3.

No se debe confundir con la densidad aparente del sedimento, la cual depende de la densidad real y de la porosidad, mediante la siguiente relación

$$\rho_{aparente} = \rho_s . (1 - \phi)$$

ρ_s= Densidad que requiere el programa
La densidad se utiliza en las formulaciones de transporte sólido para caracterizar el peso del sedimento. Las formulaciones suelen depender de la densidad sumergida relativa de las partículas de sedimento (R), definida como:

$$R = \frac{\rho_S - \rho}{\rho}$$

Donde ρ_S es la densidad de las partículas sólidas y p es la densidad del agua (1000 kg/m3). El parámetro R aparecerá en varias de las formulaciones. La porosidad total del sedimento (ϕ), definida como el cociente entre el volumen de huecos y el volumen total de una muestra de sedimento, es otro de los parámetros que debe introducir el usuario en Iber.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Un valor medio típico de la porosidad total de un sedimento es 0.4, aunque en función del sedimento la porosidad puede variar entre 0.3 y 0.6 (siendo poco frecuente llegar a estos valores extremos). La porosidad del sedimento se utiliza para evaluar la evolución de la cota del fondo que se genera debido a la redistribución del sedimento en la zona de estudio.
Como consecuencia del transporte sólido es habitual que se produzca una redistribución espacial del sedimento en la zona de estudio. Si la redistribución es importante podrá generar variaciones de la cota de fondo relevantes, que a su vez tendrán un efecto sobre la hidrodinámica (velocidades y calados). Existe por lo tanto un acoplamiento entre la hidrodinámica y el transporte de sedimentos que implica que la ecuación de ambos módulos deba resolverse de forma conjunta. En Iber se calcula la redistribución espacial del sedimento, las variaciones sobre la cota del fondo y su efecto sobre la hidrodinámica.

El módulo de transporte sólido de Iber calcula el movimiento de sedimentos no cohesivos debido a la acción del agua, considerando dos modos de transporte: en suspensión y como carga de fondo. A partir de la redistribución de sedimento en la zona de estudio se calcula la variación de la topografía en la zona de estudio, lo cual puede dar lugar a variaciones en los campos de calado y velocidad. Hidrodinámica y transporte sólido se calculan de forma acoplada en Iber.

3.1.2 APLICACIONES PRÁCTICAS DEL SOFTWARE

El módulo de transporte de sedimentos puede ser ampliamente utilizado en el campo de ingeniería de fluidos, las aplicaciones de este módulo por mencionar algunas, se muestran a continuación:

- Simulación de dársenas de sedimentación
- Simulación de ríos para evaluación de socavación y erosión
- Estudio patológico de estructuras afectadas por fenómenos de socavación.
- Simulaciones de avalanchas y avenidas torrenciales.

3.1.3 USO DEL SOFTWARE E INSUMOS

Para la implementación del módulo de transporte de sedimentos se requiere de un modelo hidráulico 2D en este mismo entorno que ya se encuentre calibrado y ajustado, una vez se tiene este insumo se siguen los pasos a continuación para su activación y uso.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

- Se habilita el módulo de transporte de sedimentos presente en los complementos del programa.
- Se introducen las condiciones de sedimentos en suspensión, los cuales pueden ser sedimento gramas, concentraciones o proporciones entre el caudal sólido y líquido.
- Se asignan las condiciones de transporte de fondo como la capacidad de arrastre neta del fondo del lecho.
- Se introducen los parámetros de profundidad de capa de roca.
- Se activa el módulo en el apartado de datos de problemas dependiendo del módulo que se planee implementar (arrastre o suspensión).
- En caso dado de que se habilite el módulo de arrastre será necesario implementar el D50 que se obtiene de campo mediante granulometrías, en función de este diámetro característico se debe seleccionar una de las siguientes ecuaciones para la modelación del arrastre de fondo de sedimentos:

Tabla 2 Selección de ecuación de transporte de sedimentos

Ecuación	Tamaño de sedimento	Tipo de Transporte
Meyer-Peter&Müller (1948)	2 – 30 mm	Fondo
Van Rijin (1984)	0.2 – 2 mm	Fondo
Engelund-Frendsöe (1976)	1 – 8 mm	Fondo
Engelund-Hansen (1972)	0.2 – 2 mm	Fondo + Suspensión

Fuente: Propia.

3.2 ESQUEMATIZACION DEL MODELO DE SOCAVACIÓN – CONDICION ACTUAL

El modelo de socavación que se implementará mediante el uso del software Iber 2D, este corresponde al modelo de transporte de sedimentos uniformes de fondo, se simulará un único escenario correspondiente al más crítico con relación a los resultados hidráulicos, este escenario corresponde al periodo de retorno de los 100 años tal y como se establece en el manual de diseño de drenajes del INVIAS en su apartado de socavación.

3.2.1 MODELO HIDRÁULICO DE AGUAS CLARAS

Este modelo corresponde al modelo obtenido en el capítulo 2.3.2. MODELO BIDIMENSIONAL (IBER 2D), a este modelo de aguas claras se carga la información de granulometría de fondo y se activa el modelo de transporte de sedimentos, allí mismo se modifican las condiciones de frontera de input de caudales conforme a los escenarios que cada escenario lo requiera.

3.2.2 CONDICIONES DE FRONTERA DE SEDIMENTOS

Para el caso particular solo se modelará arrastre de fondo. Como condición de frontera se adopta la opción de capacidad de arrastre.

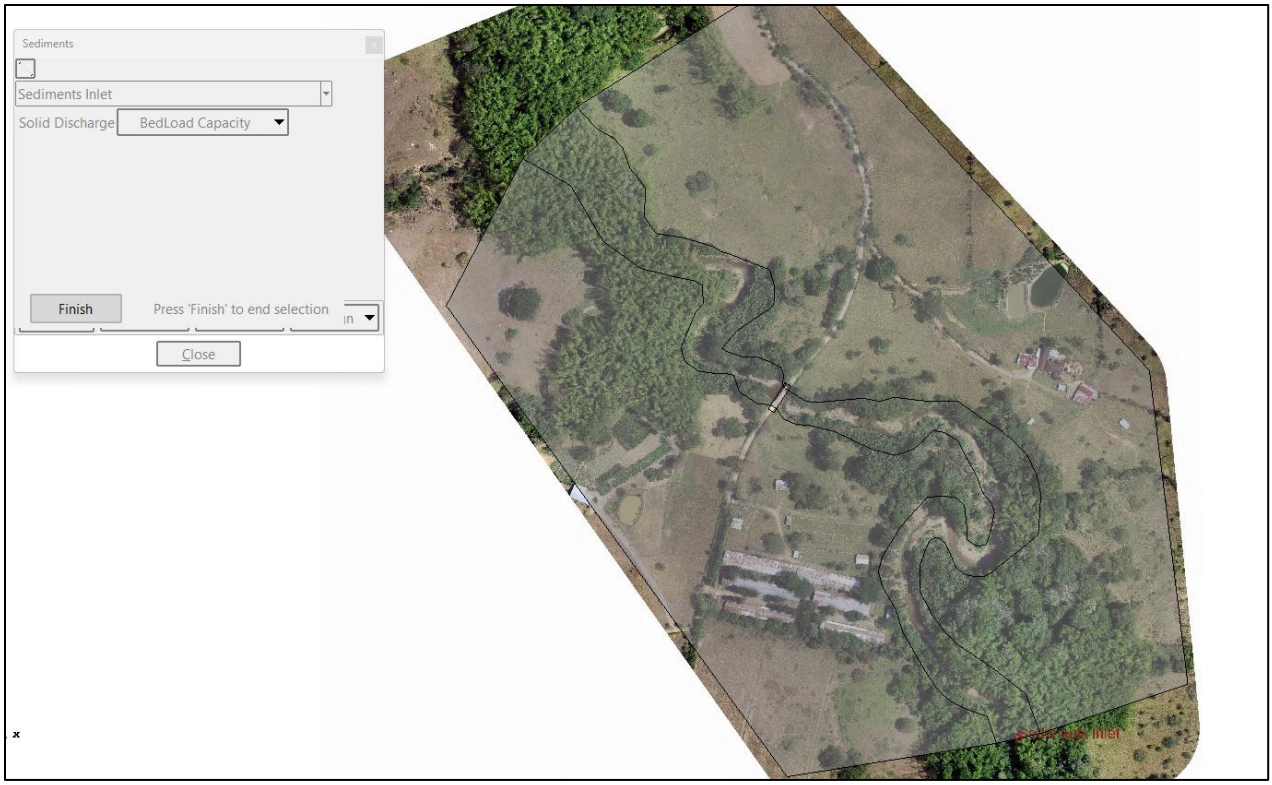


Figura 13. Lugar de asignación de capacidad de arrastre de fondo

3.2.3 CAPA DE ROCA

De acuerdo con los estudios geotécnicos no se encontró un estrato de roca, sin embargo, el estrato más fuerte encontrado se localiza a 5 m de profundidad, sin embargo, se asumió este valor para poder identificar cuáles serían las profundidades máximas de socavación



Figura 14. Profundidad estrato más fuerte

3.2.4 DIÁMETRO DE FONDO

Para el caso de este modelo es necesario especificar la composición particular de la granulometría del lecho del río. Para tal fin se tomaron las muestras del material del lecho y a partir de estas se determinó la granulometría de este material. De esta granulometría se obtuvo el valor de D50, parámetro de ingreso del programa. A continuación, se muestra la curva granulométrica de la muestra y su respectivo valor de D50.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

Descripción de la muestra: Limo areno gravoso café oscuro con raices.

Datos y resultados

MASA INICIAL HÚMEDA [g]:	513,77

MASA INICIAL SECA [g]:	481,96

TAMIZ	MASA RET. [g]	% RETENIDO INDIVIDUAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA UNIFICADO
6"	0	0,0	0,0	100,0
4"	0	0,0	0,0	100,0
3"	0	0,0	0,0	100,0
2 1/2"	0	0,0	0,0	100,0
2"	0	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	0	0,0	0,0	100,0
1"	0	0,0	0,0	100,0
3/4"	0	0,0	0,0	100,0
5/8"	9,31	1,9	1,9	98,1
1/2"	6,45	1,3	3,3	96,7
3/8"	9,01	1,9	5,1	94,9
5/6"	2,19	0,5	5,6	94,4
1/4"	4,65	1,0	6,6	93,4
N°4	8	1,7	8,2	91,8
N°8	13,91	2,9	11,1	88,9
N°10	3,27	0,7	11,8	88,2
N°12	2,44	0,5	12,3	87,7
N°16	5,34	1,1	13,4	86,6
N°30	12,77	2,6	16,0	84,0
N°40	17,71	3,7	19,7	80,3
N°50	26,54	5,5	25,2	74,8
N°60	12,32	2,6	27,8	72,2
N°100	75,17	15,6	43,4	56,6
N°200	133,92	27,8	71,2	28,8
FONDO	138,96	28,8	100,0	0,0

HUMEDAD INICIAL	
Masa rec + suelo húmedo [g].	594,31
Masa rec+suelo seco[g]	562,50
Masa del recipiente[g]	80,54
Recipiente N°	AH
Contenido de humedad (%).	6,60

Módulo de Finura:	1,21

GRADACIÓN	
Finos [%]	28,83
Arenas [%]	62,95
Gravas [%]	8,22
TOTAL [%]	100,00

Figura 15. Curva granulométrica y D50

Según lo anterior, el diámetro característico de la zona D50 tiene un valor de 0.13 mm se encuentra en la categoría de limos, por esta razón se puede emplear la ecuación de Engelund-Frendsöe que aplica para transporte de fondo y diámetros mayores a 0.13 mm y menores a 2 mm.

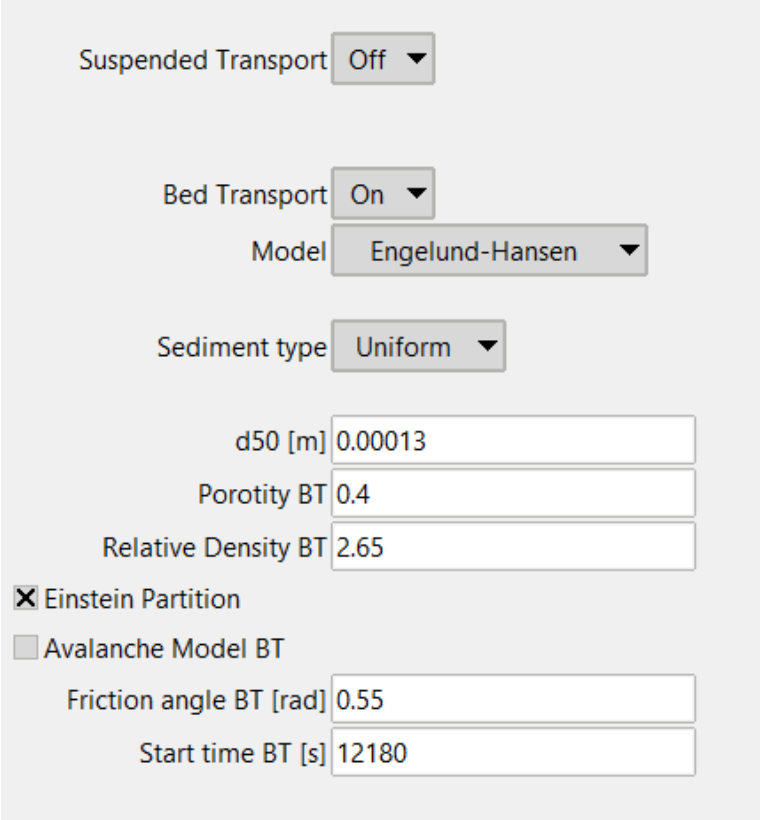


Figura 16. Carga de información en el módulo de transporte de sedimentos de fondo

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

3.3 RESULTADOS DEL MODELO DE SOCAVACIÓN CONDICIÓN ACTUAL

3.3.1 ESPACIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DE EROSIÓN

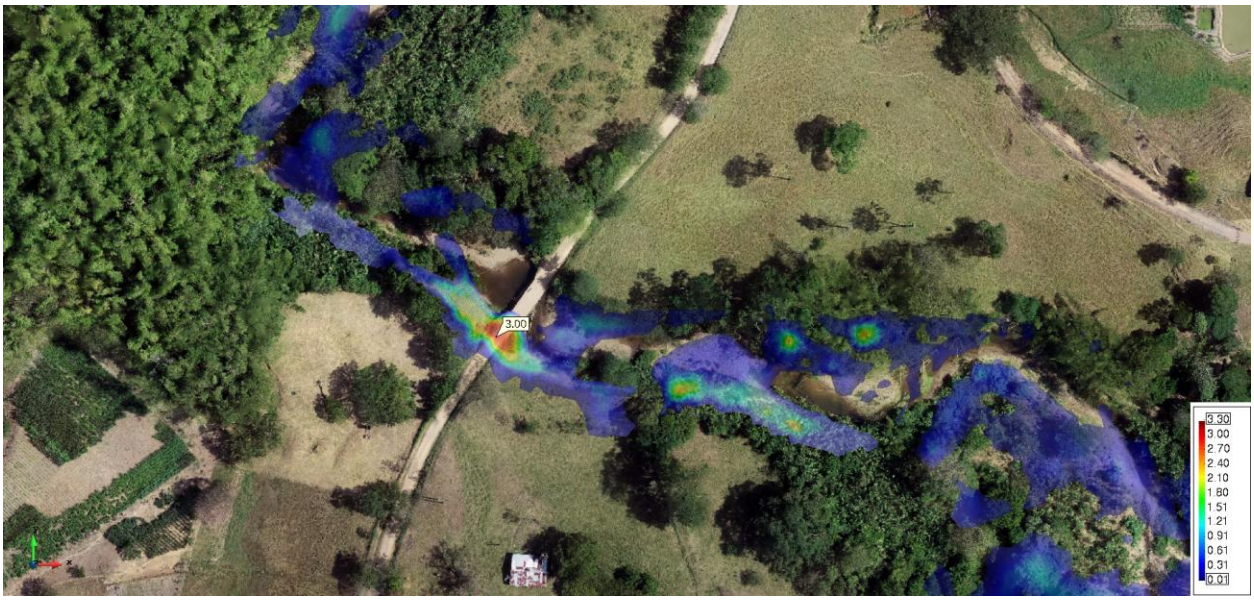


Figura 17. Espacialización de la Erosión TR 100 Tramo de interés – condición sin obra

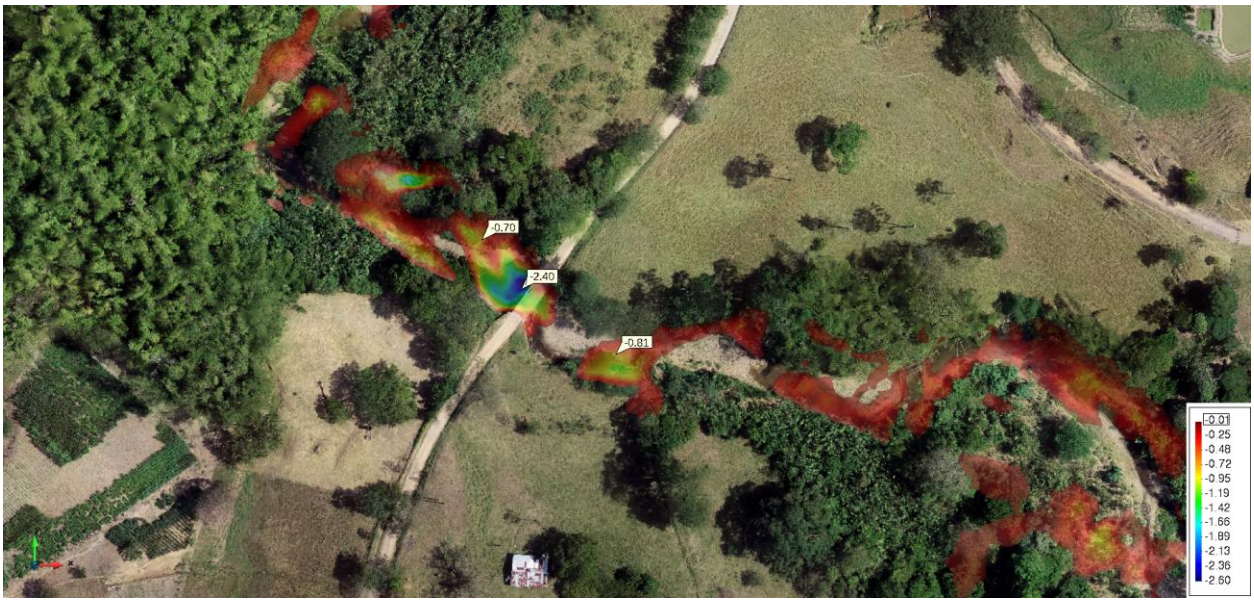


Figura 18. Espacialización de la Agradación TR 100 en el punto de interés – condición sin obra

Se ha observa una erosión de 3 metros en los sitios de emplazamiento del puente.

3.3.2 SECCION TRANSVERSAL DE SOCAVACION EN EL PUNTO DE INTERES ANTES DE LAS OBRAS

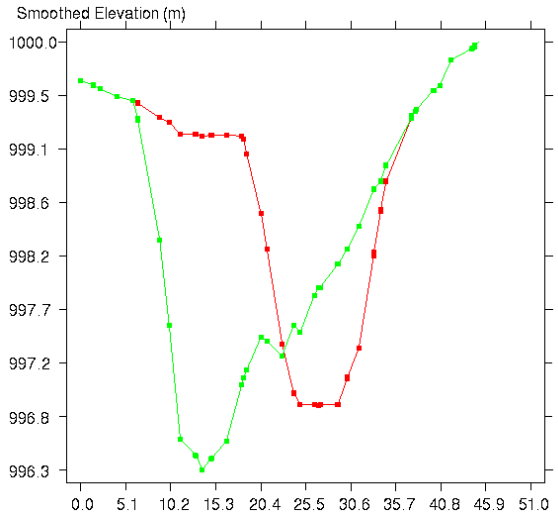


Figura 19. Sección Transversal en el eje de puente Erosión TR 100 – condición sin obra
Verde erosión | Rojo Terreno actual

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

3.4 IMPLANTACION PUENTE

Para este punto se siguió el mismo procedimiento mencionado en el capítulo 3.2, sobre el modelo hidráulico 2D con obras mencionado en el capítulo 2.5.3, a continuación, se muestran los resultados obtenidos por el modelo de socavación sobre los estribos propuestos.

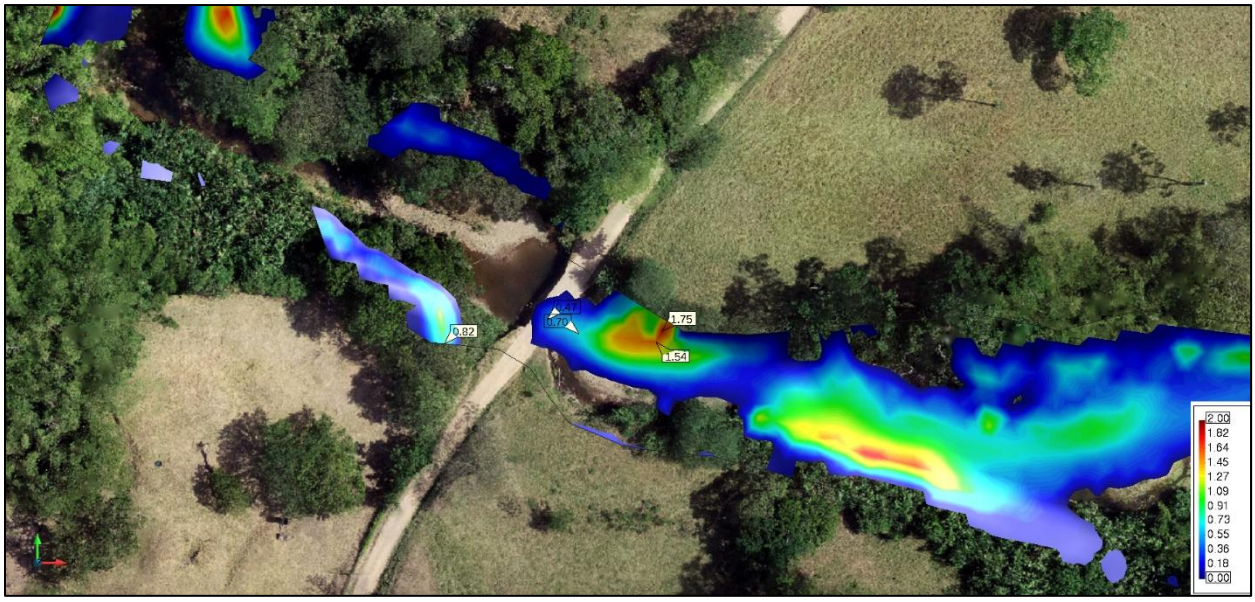


Figura 20 Espacialización de la Erosión TR 100 en el punto de interés condición con obra

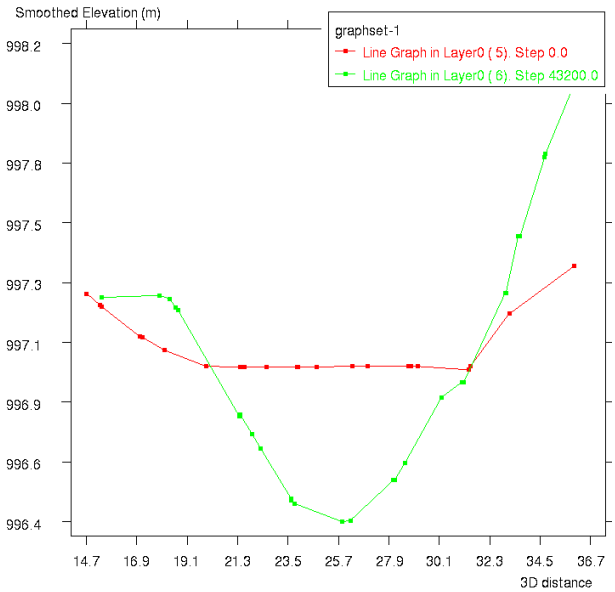


Figura 21. Sección Transversal en el eje del puente con Erosión TR 100

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

4 CONCLUSIONES

El estudio hidrológico permitió determinar los caudales de diseño asociados a los periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años a partir de la simulación lluvia–escorrentía en el modelo HEC-HMS, empleando como insumo las curvas IDF obtenidas para la estación Guaduas, los parámetros hidrológicos derivados de la caracterización morfométrica y edafológica de la cuenca (número de curva SCS, abstracción inicial, tiempo de concentración y de retardo) y la delimitación precisa del área de aporte al punto de intervención.

Los resultados del modelo proporcionaron los hidrogramas de diseño y los caudales pico requeridos para el análisis hidráulico, garantizando coherencia entre las condiciones de precipitación, infiltración y respuesta hidrológica del sistema.

Para el río Guadero, los valores obtenidos fueron:

- 13.08 m^3/s (TR=2.33 años)
- 51.87 m^3/s (TR=25 años)
- 72.99 m^3/s (TR=50 años)
- 101.52 m^3/s (TR=100 años)

El modelamiento hidráulico unidimensional (HEC-RAS 1D) y bidimensional (IBER 2D) evidenció que el cauce del río Guadero mantiene capacidad hidráulica suficiente para transitar los caudales de diseño bajo las condiciones actuales. No obstante, se identificaron zonas localizadas de incremento en velocidad y energía específica en la margen derecha aguas abajo del sitio de intervención, donde podrían concentrarse procesos erosivos en eventos de alta magnitud.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

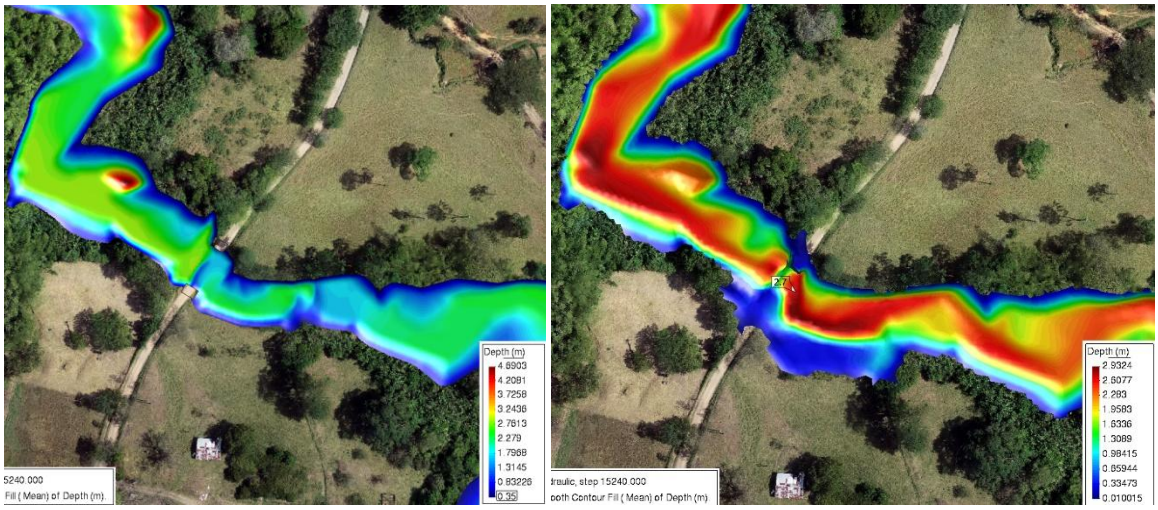


Figura 22 Comparativa de profundidades [Izquierda condición con obra] [Derecha condición actual]

En el componente de hidráulica, el modelo desarrollado en IBER 2D bajo condiciones de flujo no permanente mostró un abatimiento de profundidades máximo cercano a 3 m en el eje del puente en condición con obra antigua. Tras la implantación de la estructura nueva se mejoran las condiciones hidráulicas, se recomienda emplear muros de encole y descole que garanticen la continuidad hidráulica en las zonas previas y posteriores a la implantación de la estructura.

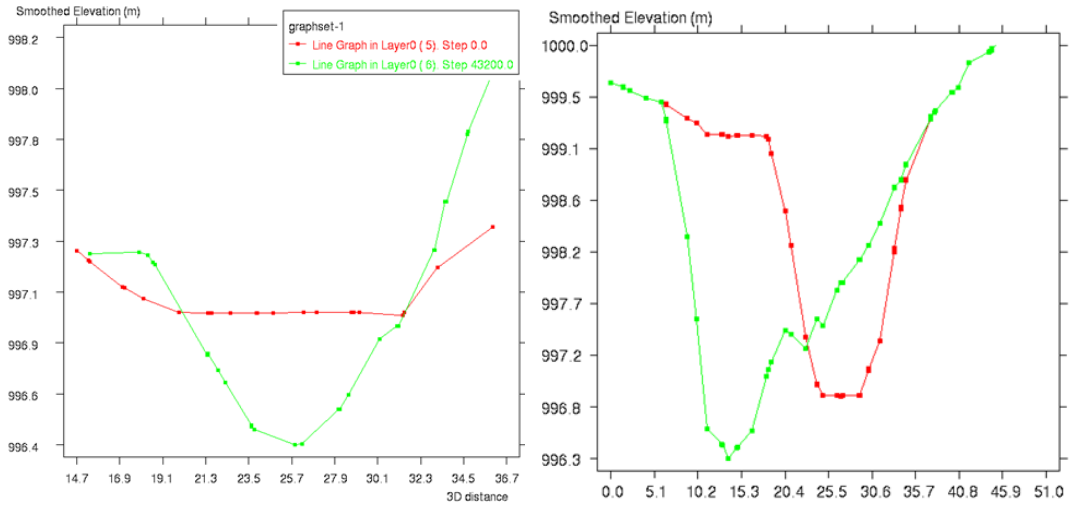


Figura 23 Comparativa de profundidades de socavación [Izquierda condición con obra] [Derecha condición actual]

Los resultados del modelo de socavación implementado en IBER 2D para el periodo de retorno de 100 años muestran que la profundidad máxima de erosión esperada en la zona de intervención es del orden de 0.7 metros. Esta magnitud es significativamente menor frente a la profundidad proyectada para la cimentación del puente, que alcanza los 3.8

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com

metros, lo cual proporciona un margen de seguridad considerable. En consecuencia, no se identifica riesgo de socavación para la infraestructura vial.

Se recomienda emplear una protección en los márgenes y fondo del lecho cercano a la zona de la estructura para disminuir la perdida de material en el fondo y orillas.

La profundidad de cimentación recomendada debe superar 1.4 m de profundidad, para garantizar la durabilidad de la estructura.

Tel +57 300 398 4085
CALLE 78 # 114b - 21
Bogotá Colombia
alejobmedina1@gmail.com