CONTRATO DE CONSULTORIA Nº 1089 DE 2021
CONSULTORIA TECNICA PARA LAS OBRAS NECESARIAS EN ATENCION DE LA CALAMIDAD PÚBLICA DECLARADA EN EL DECRETO N. 110 DEL 26 DE MARZO DE 2021

MUNICIPIO DE SABANETA

PUNTO CRITICO SECTOR GUADARRAMA

INFORME HIDROLOGICO Y MODELACION HIDRAULICA PARA LA SOLICITUD DE OCUPACION DE CAUCE DE LAS OBRAS EN LA QUEBRADA LA SABANETICA EN EL SECTOR GUADARRAMA



Elaborado por:
Cóncavas Ingenieros y Arquitectos

Medellín, Colombia.
Julio de 2021

CUADRO DE CONTROL

Versión Informe	Fecha emisión	Observaciones	Profesional Responsable
1	Julio 16 de 2021		Ing. Carlos Alberto Vasquez V. Mat: 05202-69097 ANT

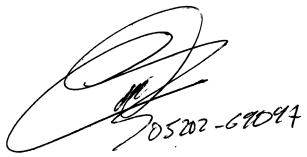


TABLA DE CONTENIDO

CUADRO DE CONTROL 2
LISTA DE ANEXOS 6

INTRODUCCIÓN 7

1. GENERALIDADES. 9
1.1. Localizacion General. 9
1.2. Localización Área de Estudio. 10
1.3. Levantamiento topografico. 11
1.4. Clima. 12
1.5. Geología. 13
1.5.1. Unidades Litológicas 13
1.5.2. Esquistos Cuarzo-sericíticos (Pzes) 13
1.5.3. Esquistos cuarzo-biotíticos y neises migmatíticos (Penm y Pees) 13
1.5.4. Anfibolitas de Medellín (Pea) 13
1.5.5. Depósitos superficiales 14
1.5.6. Depósitos de vertiente sobre anfibolita (Qdv) 14
1.5.7. Depósitos de vertiente sobre esquistos (Qdv) 14
1.5.8. Abanico aluvial de la quebrada La Sabanetica (Qal) 14
1.5.9. Abanico aluvial de la quebrada Grande (Qal) 14
1.5.10. Terrazas aluviales del Río Medellín (Qt) 14
1.5.11. Depósitos aluviales de las Quebradas La Sabanetica y La Sabaneta (Qal) 14
1.5.12. Rasgos estructurales 14
1.5.13. Procesos Geomorfológicos 15
1.6. Localización. 16
1.7. Estudio existente 17
1.8. Información Disponible 19

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA. 20
2.1. Descripción de las condiciones encontradas en el sitio quebrada La Sabanetica. 20
2.2. Comentarios del registro fotográfico. 36

3. ESTUDIO HIDROLOGICO. 37
3.1. Cálculos de Caudales Máximos. 38

3.1.1. Método De Snyder. 38
3.1.2. Método Racional. 38
3.1.3. Método de Williams y Hann. 39
3.2. Parámetros Geomorfológicos. 40
3.2.1. Preliminares. 40
3.2.2. Área de la Cuenca (A). 41
3.2.3. Longitud del Cauce Principal (L). 41
3.2.4. Perímetro de la Cuenca (P). 41
3.2.5. Ancho de la Cuenca (W). 41
3.2.6. Coeficiente de Compacidad o de Gravelius (K). 41
3.2.7. Orden del Cauce Principal. 42
3.2.8. Densidad de Drenaje. 42
3.2.9. Longitud recta desde el punto de control hasta la divisoria de aguas. 42
3.2.10. Longitud a lo largo del cauce hasta el Centroide de la Cuenca. 42
3.2.11. Pendiente promedio de la cuenca. 42
3.2.12. Resultados. 44
3.3. Tiempo de Concentración. 45
3.3.1. Fórmulas para el Cálculo del Tiempo de Concentración. 45
3.3.2. Resultados. 48
3.4. Magnitud y Distribución Temporal de la Tormenta de Diseño. 49
3.5. Distribución temporal de la lluvia 53
3.6. Precipitación Efectiva. 56
3.6.1. Capacidad de almacenamiento. 62
3.6.2. Infiltración inicial del suelo. 62
3.7. Coeficiente de escorrentía. 62
3.7.1. Formulas del Coeficiente de escorrentía. 65
3.8. Métodos para la determinación de crecientes de diseño. 67
3.9. Selección del caudal de diseño. 67
3.9.1. Resultados de caudales pico. 67
3.9.2. Selección del caudal para diseño hidráulico. 68

4. MODELACION HIDRÁULICA. 71
4.1. Modelación Hidráulica Condiciones Actuales. 71
4.1.1. Condiciones de Frontera para Modelación Hidráulica. 72
4.1.2. Rugosidad de Manning (n). 73
4.1.3. Coeficientes de expansión y contracción. 74
4.1.4. Condiciones de frontera del modelamiento. 74

4.1.5. Análisis de resultados. 80
4.1.5.1. Comportamiento hidráulico Tramo aguas arriba del sitio 80
4.1.5.2. Comportamiento hidráulico del cruce con la via existente. 84
4.1.5.3. Comportamiento hidráulico Tramo aguas abajo 85
4.1.5.4. Conclusiones Etapa de Diagnóstico y obra proyectada. 86
4.1.5.5. Alternativas de solución. 87
4.2. Modelación Condiciones con Obras Proyectadas. 89
4.2.1. Coeficientes de expasión y contracción. 90
4.2.2. Condiciones de frontera del modelamiento. 90
4.2.3. Consideraciones para el diseño. 91
4.2.4. Resultados Arrojados por la Modelación Utilizando el Programa HEC-RAS. 93
4.2.5.1. Comportamiento hidráulico aguas arriba del sitio de cruce y canal en concreto. 99
4.2.5.5. Comportamiento hidráulico Tramo aguas abajo del sitio del cruce. 105

5. BIBLIOGRAFÍA 109

6. ANEXOS
6.1. Anexo 1. Memorias hidrologia.
6.2. Anexo 2. Modelación Hidráulica.
6.3. Anexo 3. Planos.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Memorias hidrologia.
Anexo 2. Modelación Hidráulica.
Anexo 3. Planos.

INTRODUCCIÓN

Sobre la margen derecha de la quebrada La Sabanetica aguas arriba de la estructura hidráulica existente que permite el paso vehicular y peatonal hacia la urbanización quintas de Guadarrama y Vegas de Guadarrama calle 77D sur No 40 – 220, la quebrada La Sabanetica viene presentando en épocas de intensas lluvias en los últimos 15 años fuertes inundaciones afectando obras de infraestructura daños a las edificaciones y bienes materiales y edificaciones de los residentes de la zona. Igualmente, sobre su margen izquierda la corriente de agua ha venido presentando erosiones y socavación al talud, generando deslizamientos y poniendo en alto riesgo varias edificaciones ubicadas en la corona del talud.

Si bien los propietarios de los predios de los terrenos sobre la margen izquierda han construido obras de protección sobre el talud, estas han sido de carácter temporal, ya que la acción del agua ha desestabilizado la base haciendo que estos se derrumben y vuelquen generando consigo deslizamientos recientes de la masa de suelo. En el estudio hidrológico se presenta un registro fotográfico detallado del tramo de estudio y el estado del talud y obras seriamente afectadas.

Por otro lado, la estructura de paso de la corriente de agua a través de la vía de acceso a la zona según los represamientos e inundaciones que se presentan durante una lluvia intensa no posee capacidad hidráulica. El atascamiento de tallos de guadua, madera y vegetación que es arrastrada por la corriente de agua en la entrada del estrecho box culvert de solo 1.0 m de ancho, se cruzan una gran cantidad de objetos orgánicos restringiendo el paso libre del agua lo que aumenta los niveles del agua en el canal, desbordándose hacia las vía pública y privadas de las urbanizaciones.

La poca profundidad del canal respecto a la vía pública y la reducción del ancho de este por el creciente aumento de plantas de guadua, disminuyeron la sección hidráulica del canal aguas arriba del box culvert, sumándose a otra causa más de los periódicos desbordamientos de la quebrada.

El objeto de este estudio es como primera medida garantizar la capacidad hidráulica de la quebrada en el tramo de estudio que corresponde aproximadamente a 137 m, unos 18 m aguas abajo del box culvert existente y otros 112 m aguas arriba de este, incluyendo los 7.0 m de la estructura actual. Con esta longitud de canal a intervenir desde el box culvert existente hasta unos metros más arriba del acceso a la urbanización Vegas de Guadarrama, se logra garantizar la capacidad hidráulica del tramo de canal paralelo a la vía pública.

Se pretende con este informe técnico solicitar a la Autoridad Ambiental el Permiso de Ocupación de Cauce para las obras que se deberán construir de forma inmediata sobre la quebrada La Sabanetica en el sector Guadarrama, de tal forma que valide su adecuado funcionamiento hidráulico y de estabilidad.

Para los estudios se realizaron visitas de campo y recolección de toda la información, como un levantamiento de la quebrada La Sabanetica en el sector Guadarrama, aguas arriba y abajo del sitio del tramo de estudio, planos IGAC, estudios anteriores y características geomorfológicas e hidráulicas del sector.

El estudio hidrológico partirá de la definición de todos los parámetros geomorfológicos para obtener caudales máximos por las diferentes metodologías de cálculo (Método Racional Chow, Racional en función del CN, Williams y Hann, Snyder AEI, Integral, CUHP 1 y CUHP 2). Con estos resultados de caudales de 2.33, 5, 10, 25, 50 y de 100 años servirán para realizar la modelación hidráulica del tramo de quebrada en estudio.

Para la modelación hidráulica se utilizará un programa muy conocido en el medio denominado el HEC–RAS. Este es un software del centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la armada de los Estados Unidos. Con los resultados del programa se definirán los niveles de máxima inundación para un periodo de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Adicionalmente, se realizará un estudio Geotécnico, para tener un conocimiento de las características y aspectos geotécnicas del suelo, y unas recomendaciones para la fundación de la estructura nueva y taludes afectados.
Se presenta en las páginas siguientes todos los trabajos realizados y que corresponden básicamente a los siguientes puntos.

- Se realizó un levantamiento del tramo de quebrada afectado.
- Registro fotográfico del sitio de estudio.
- Estudio de suelos.
- Estudio hidrológico para la determinación de los caudales máximos por las metodologías de Snyder, Racional y William y Hann
- Modelación hidráulica de las condiciones actuales y proyectadas con el programa HEC RAS.
- Diseño hidráulico de las obras proyectadas.
- Diseño estructural de las obras o estructuras hidráulicas proyectadas.

1. GENERALIDADES.

A continuación, se hace una breve descripción de la zona en estudio y las condiciones actuales en relación con su topografía, climatología, temas ambientales y recursos hídricos.

1.1. Localizacion General.

El Municipio de Sabaneta está situado al sur del Valle de Aburrá del Departamento de Antioquia, en la República de Colombia e integra el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
El municipio se encuentra localizado en la posición georeferenciada bajo las siguientes coordenadas: 6º, 9´ y 12", de Latitud Norte y 75º, 34´ y 08" de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y 1º, 32´, 18" de Longitud Este, de acuerdo con el Meridiano de Bogotá. Su altura sobre el nivel del mar es de 1.570 metros en su parte urbana.
El Municipio está ubicado a 14 Km de Medellín con vías de acceso que lo comunican con esta ciudad como: La Avenida El Poblado, Las Vegas y la Regional. Su transporte más significativo es el Sistema Metro. Así mismo, lo bordea la Troncal Occidental, la cual le permite la comunicación con el sur del departamento y el país.
Es un territorio que posee grandes elevaciones, donde sobresalen alturas que superan los 2.500 msnm. Se destacan los altos de Piedra Blanca en la Romera (2.650 msnm), la Cuchilla de Santa Teresa (2.200 msnm.), Pan de Azúcar, la Siberia y el Ancón. Por su situación geográfica, el territorio pertenece al régimen de clima ecuatorial, con leves cambios de temperatura y períodos de lluvias. La precipitación promedio anual es de 2.277 mm y la humedad relativa es del 68%.



Figura N.º 1. *Ubicación del municipio de Sabaneta dentro del Departamento de Antioquia.*

1.2. Localización Área de Estudio.

El tramo de la quebrada La Sabanetica en estudio se encuentran ubicada en la zona urbana del municipio de Sabaneta, en sector Guadarrama, en donde se cuenta con una estructura tipo Box culvert localizado en la calle 77 D sur, de sección 1.0 m de ancho x 1.75 m de alto, pero la poca sección hidráulica produce un remanso de la corriente de agua por la incapacidad de la estructura, haciendo que esta se desborde sobre la vía vehicular.

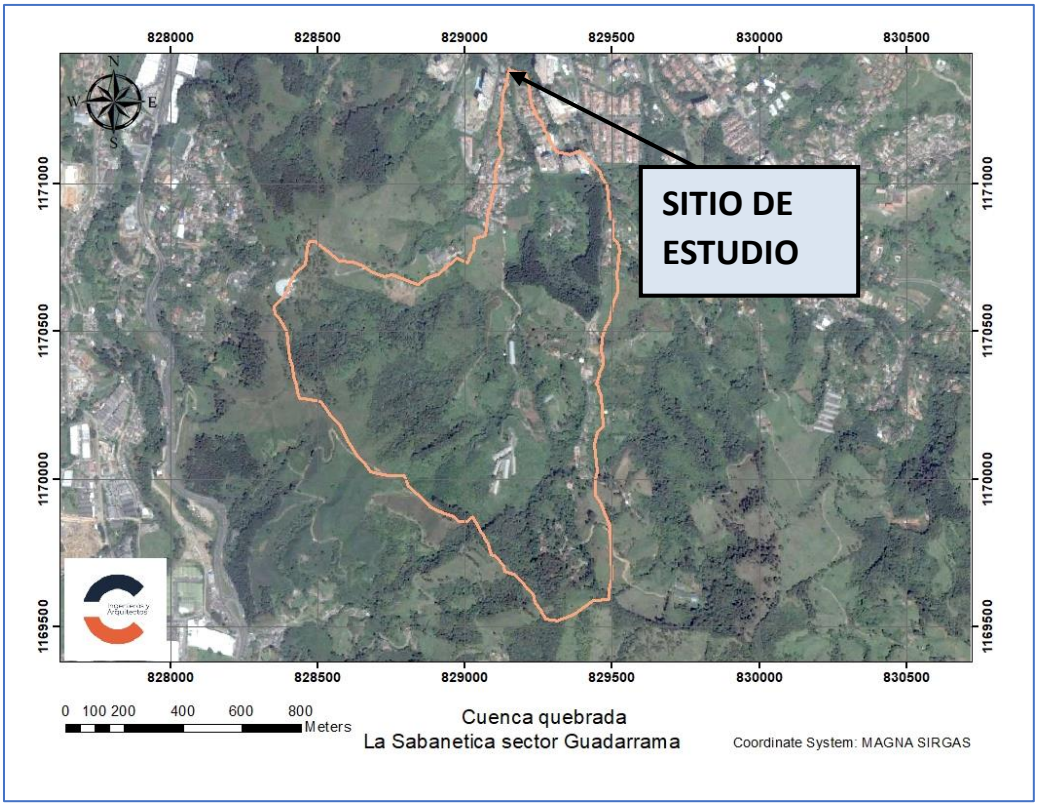


Figura N.º 2. *Localización del proyecto* ***(Imagen tomada del Google Earth)***

1.3. Levantamiento topografico.

Se realizó un levantamiento del proyecto en la zona afectada por el intenso y largo periodo de lluvias presentado en los primeros meses de este año en el sector Guadarrama del municipio de Sabaneta, con el objeto de realizar los diseños hidráulicos que permitan definir la construcción de una obra que permita el cruce de la quebrada en la calle 77 D sur, de tal manera que no afecten la dinámica de la quebrada.

Estos estudios son necesarios para legalizar las obras y obtener los permisos de ocupación de cauce ante la Entidad Ambiental.

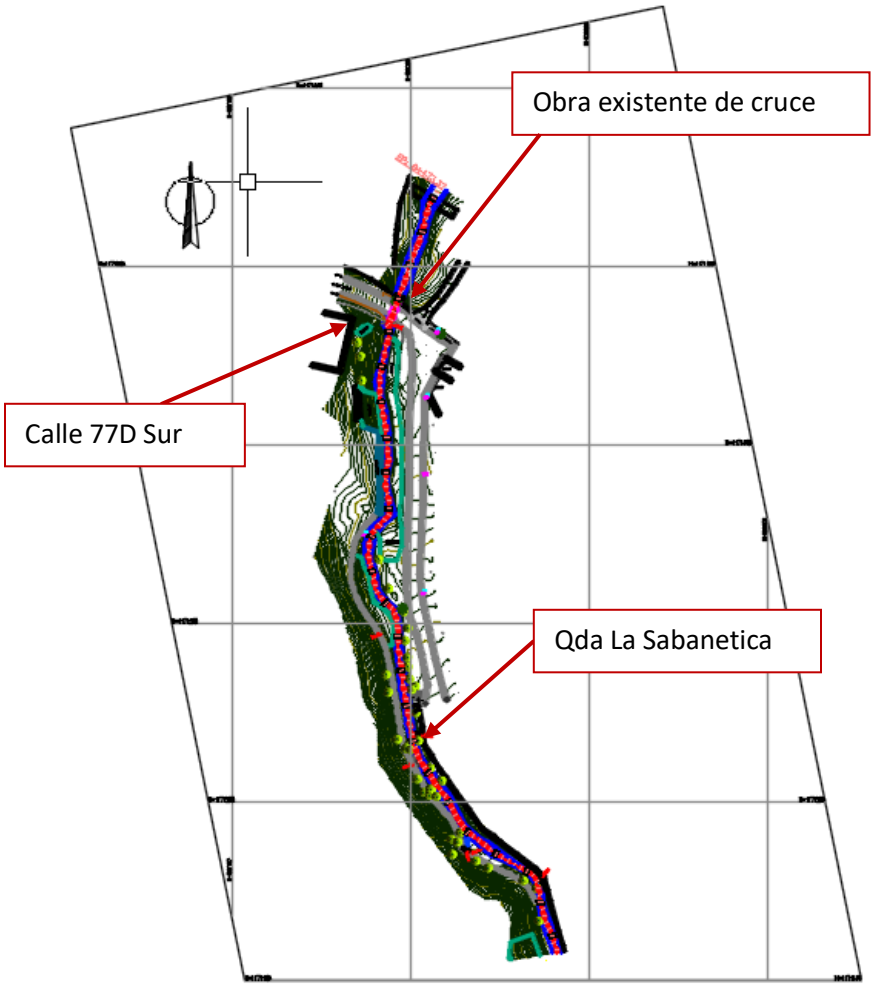


Figura N.º 3. *Esquema de la topografía levantada*

1.4. Clima.

La cuenca de la quebrada está bajo la influencia del clima ecuatorial típico de montaña. Las precipitaciones promedias mensuales en las estaciones pluviográficas con influencia en la cuenca (Estación Planta de Tratamiento Ayurá y Estación San Antonio de Prado) se pueden apreciar en las tablas siguientes.

Tabla 1: Precipitación promedia mensual. Estación Planta de Tratamiento Ayurá

MES	PRECIPITACIÓN PROMEDIA MENSUAL (mm)
Enero	75.6
Febrero	75.7
Marzo	125.2
Abril	183.1
Mayo	218.2
Junio	145.7
Julio	118.1
Agosto	138.0
Septiembre	196.7
Octubre	227.6
Noviembre	171.0
Diciembre	121.9
Anual	**1796.8**

Tabla 2: Precipitación promedia mensual. Estación San Antonio de Prado

MES	PRECIPITACIÓN PROMEDIA MENSUAL (mm)
Enero	83.4
Febrero	106.7
Marzo	149.2
Abril	227.7
Mayo	246.9
Junio	173.0
Julio	130.0
Agosto	155.0
Septiembre	196.0
Octubre	244.9
Noviembre	206.8
Diciembre	125.6
Anual	**2045.2**

De acuerdo con lo que se observa en las tablas, los regímenes de precipitación son similares, aunque mayores en la estación San Antonio de Prado que los de la Estación Planta de Tratamiento Ayurá. Se denotan períodos secos entre los meses de diciembre, enero y febrero y menos intenso entre los meses de julio y agosto. Los períodos de precipitación están comprendidos entre los meses de abril-mayo y septiembre-octubre, siendo los meses más lluviosos mayo y octubre. En la Estación San Antonio de Prado el segundo período lluvioso se extiende hasta el mes de noviembre. Se puede apreciar como la precipitación en el mes más lluvioso casi triplica la precipitación del mes más seco.

1.5. Geología.

Tomada de Zonificación del Área Metropolitana y caracterización de zonas de amenaza geológica del área rural del Municipio de Sabaneta (Universidad Nacional. 1.994).

1.5.1. Unidades Litológicas

Tomada de Zonificación del Área Urbana y Caracterización de Zonas de Amenaza Geológica del área rural del Municipio de Sabaneta (Universidad. Nacional. 1.994).

En el Municipio de Sabaneta afloran tres unidades litológicas pertenecientes al Complejo Polimetamórfico de La Cordillera Central, y varios depósitos cuaternarios de origen aluvial y coluvial.

1.5.2. Esquistos Cuarzo-sericíticos (Pzes)

Esta unidad está conformada principalmente por esquistos cuarzo sericíticos con grafito, algunas cuarcitas y cuerpos de anfibolitas sin granates y dispuesta en forma alargada con dirección NW, atravesando de extremo a extremo el municipio y abarcando un área de 5.8 Km2 comprendida entre los límites municipales con Envigado e Itagui al SE y la falla La Sabanetica (al Oeste) que marca el contacto entre esta unidad y los cuerpos de diorita y anfibolita que afloran al oeste y suroeste del municipio, en l[imites con Caldas, Itaguí y La Estrella.

1.5.3. Esquistos cuarzo-biotíticos y neises migmatíticos (Penm y Pees)

Esta unidad litológica, definida y diferenciada de la anterior por Maya y Escobar (1985), está delimitada por la falla La Doctora, el cuerpo de las anfibolitas de Medellín y la Cuchilla de El Muñeco. En lo que corresponde al área de estudio, esta unidad abarca una extensión aproximada de 2.8 Km^2. Su composición incluye esquistos biotíticos compuestos por sillimanita y andalucita, así mismo, neises migmatíticos y cuerpos pegmatíticos. Los neisses y la pegmatitas presentan una notable diferencia composicional con respecto a los esquistos, mostrando minerales con mayor temperatura de formación como sillimanita, ausencia de grafito y abundante biotita (Maya y Escobar, 1985).

1.5.4. Anfibolitas de Medellín (Pea)

En la zona de estudio, este cuerpo está limitado al norte y al occidente por depósitos cuaternarios (Qa), al sur por los esquistos biotíticos (Penm) y al oriente por la cuenca de la quebrada Cien Pesos, dentro de la zona de estudio comprende un área de 2.9 Km2. Dadas sus características petrográficas (Maya y Escobar, (1985)), estas rocas han sido correlacionadas con la Anfibolita de Medellín.

1.5.5. Depósitos superficiales

Localmente, los depósitos superficiales de la zona están recubiertos por Cenizas volcánicas, alcanzando espesores promedios de 1.0 m, se caracterizan por presentar coloraciones claras, compuestas por partículas tamaño limo, sobre las cuales se desarrolla un nivel orgánico que alcanza espesores promedios de 0.70 m.

1.5.6. Depósitos de vertiente sobre anfibolita (Qdv)

Localizados al nordeste del municipio, al norte del cuerpo anfibólico y extendiéndose hasta los depósitos aluviales del Río Medellín y la quebrada La Doctora.

1.5.7. Depósitos de vertiente sobre esquistos (Qdv)

Localizados al nordeste del municipio, cubren las partes medias y media baja de las cuencas objeto de estudio, y se extienden hasta empalmarsen con los depósitos aluviales de la quebrada La Sabanetica y La Sabanetica.

1.5.8. Abanico aluvial de la quebrada La Sabanetica (Qal)

El carácter torrencial de la quebrada La Sabanetica dio origen a un abanico aluvial sobre el que se ubica la parte céntrica del área urbana del Municipio de Sabaneta, y que se inicia en cercanías a la Urbanización Las Playas, conformando un depósito extenso caracterizado por presentar pendientes medias a bajas.

1.5.9. Abanico aluvial de la quebrada Grande (Qal)

Este abanico está situado al noroeste de la cabecera municipal, se prolonga en sentido oeste – este desde El Ancón enfrente del lugar donde desemboca la quebrada Grande al Río Medellín.

1.5.10. Terrazas aluviales del Río Medellín (Qt)

La trayectoria del Río Medellín en la zona de estudio ha configurado dos niveles de terrazas ubicadas en la parte noreste del municipio formando francas alargadas en dirección al este.

1.5.11. Depósitos aluviales de las Quebradas La Sabanetica y La Sabaneta (Qal)

Se ubican en el costado oeste del municipio y corresponden a depósitos más recientes que los anteriormente descritos, a los cuales probablemente los cauces que le dieron origen retrabajaron y separaron.

1.5.12. Rasgos estructurales

Dos fallas atraviesan las rocas dentro del área de estudio, la falla Ancón y la falla La Doctora.

La falla de Ancón. recorre la zona con una dirección N 50° W, cartografiada desde la cabecera de la quebrada La Romera hasta el Ancón Sur por Maya y Escobar (1985), y evidenciada dentro de la zona de estudio por cambios fuertes de pendientes y silletas alineadas.

La falla La Doctora. que controla la quebrada del mismo nombre, tiene una dirección N 45° W, paralela a la falla de Ancón tiene un recorrido aproximadamente recto de 2.5 Km desde aguas abajo de la confluencia de dicha quebrada con la quebrada Buenavista; en este tramo los afluentes del lado norte se encuentran notablemente distorsionados.

1.5.13. Procesos Geomorfológicos

A continuación, se describen los procesos geomorfológicos detectados en la zona de estudio.

Procesos erosivos naturales

Los principales procesos erosivos son:

Erosión fluvial, erosión lineal o profundización del cauce, socavación lateral (producida en las orillas de ríos, quebradas y drenajes secundarios por el desgaste lateral de los cauces de agua), erosión por escorrentía, erosión concentrada (surcos y cárcavas), movimientos de masa (reptación y deslizamientos).

Procesos erosivos antrópicos

Erosión acelerada localizada por sobrepastoreo, reptación, aumento de la escorrentía por la deforestación, eliminación de desechos aguas residuales y basuras y por el impacto de obras civiles y urbanización. Dichos problemas originan o aceleran procesos como terráceo por el sobrepastoreo,

1.6. Localización.

La cuenca de la quebrada La Sabanetica se ubica al occidente del Municipio de Sabaneta, inclusive el límite de esta cuenca sirve de límite con el Municipio de La Estrella, al costado suroccidental de la cuenca. Buena parte de la cuenca se encuentra en perímetro rural, la parte media de la cuenca se encuentra en terreno de expansión y una parte muy pequeña se ubica en perímetro urbano.

Nace en inmediaciones de la vereda San José, cerca de la unidad básica San José en la cota 1976 msnm y desemboca en la quebrada La Doctora sobre la margen izquierda en la cota 1594 msnm en la Avenida Las Vegas. Limita al oriente con la microcuenca de la quebrada San Alejo, al sur, al occidente con tributarios directos del Río Medellín, y al norte con la cuenca del Río. La gran mayoría de los cursos de agua son naturales, en casos muy aislados corresponden a acequias para el uso en riego de las zonas cultivadas, pero no se presenta trasvase de aguas a otras cuencas.

El sitio de estudio se localiza en la parte baja o llanura aluvial de la quebrada La Sabanetica, donde predominan las pendientes suaves (por debajo del 3%) y en menor proporción pendientes del 3% al 7%, al sur del casco urbano se incrementan los rangos de pendiente entre el 7% y el 12%. En la parte media y alta de la microcuenca se presentan cañones cuyas laderas poseen pendientes más fuertes. El rango del 25% al 50%.

La microcuenca comprende parte de las veredas Pan de Azúcar, Cañaveralejo, San Jose y parte urbana del municipio de Sabaneta.

El sitio de estudio de la quebrada en estudio está localizada en la zona rural del municipio, en el sector Guadarrama.

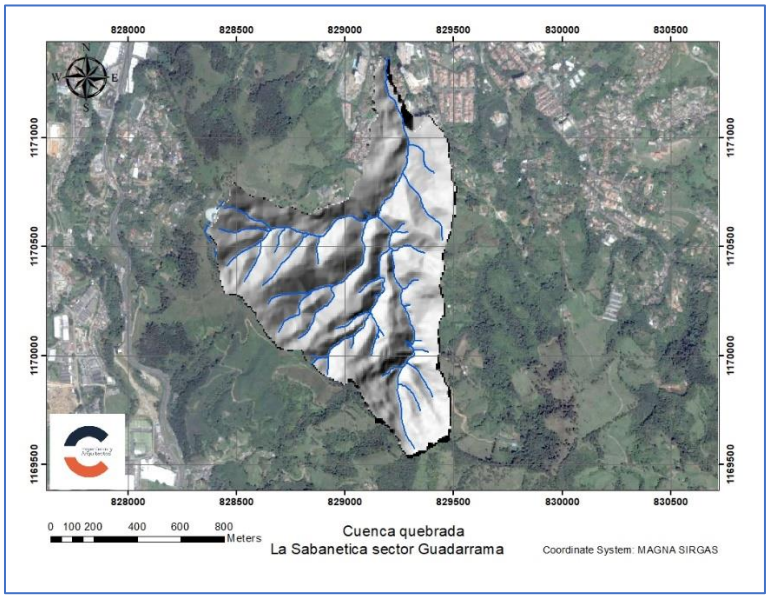


Figura N.º 4. *Cuenca Hidrográfica de la quebrada La Sabanetica.*

1.7. Estudio existente

- En el año 2006 mediante convenio Interadministrativo N.309 de 2005 del municipio de Sabaneta con el Área Metropolitana, se realizaron los estudios hidrológicos de la quebrada La Sabanetica dentro del contrato N.254 de 2006 entre la empresa Ingedelta y el municipio de Sabaneta cuyo objeto fue "Estudios hidrológicos e hidráulicos de cinco quebradas en diferentes sitios de las mismas y diseño de las obras de protección para la estabilización de taludes en la zona urbana del municipio de Sabaneta", dentro de los estudios se determinó un caudal de 24.23 m3/s asociado la crecente con periodo de retorno de 100 años.
  De los estudios se extracta la siguiente información:

  Estudio de la quebrada La Sabanetica hasta la confluencia con la quebrada La Doctora.
  Se estimaron los parámetros geomorfológicos hasta la confluencia con la quebrada La Sabanetica.

Parámetros	Valor
Área de la cuenca (km²)	2.03
Longitud del canal principal (km)	3.23
Cota máxima de la cuenca (m)	1975
Cota de salida de la cuenca (m)	1593.9
Distancia al centroide (km)	1.48
Perímetro (km)	8.74
Pendiente media (%)	52.9
Pendiente promedio del canal principal (%)	18.8
Longitud de la cuenca (m)	2.69
Coordenadas Este (m)	828873
Coordenadas Norte (m)	1171947.6

  Tc= 30 min
  Se utilizo la estación pluviográfica de Ayurá
  CN=79.3

  Antecedente de humedad AMC II
  Se aplicaron las metodologías de William y Hann, Snyder, S.C.S y Racional.
  Los resultados son:

Caudales máximos (m^3/s)							
Método	Área (km^2)	Periodos de retorno					
		2.33	5	10	25	50	100
William y Hann	2.03	2.55	5.96	9.51	13.85	19.98	23.26
Snyder		3.75	6.12	10.71	18.22	20.40	23.93
S.C.S		3.9	6.47	8.15	17.64	20.91	24.23
Racional		15.27	20.32	24.45	29.66	33.52	37.34

Como caudal máximo de diseño para el periodo de retorno de 100 años en la cuenca de la quebrada La Sabanetica hasta la confluencia con la quebrada La Doctora, según el estudio realizado por la Empresa INGEDELTA para el municipio de Sabaneta Contrato N. 254 de 2006 convenio interadministrativo N.309 de 2005 con el AREA METROPOLITANA y cuyo objeto fue "Estudios hidrológicos e hidráulicos de cinco quebradas en diferentes sitios de las mismas y diseño de las obras de protección para la estabilización de taludes en la zona urbana del municipio de Sabaneta", se escogió el del método S.C.S de 24.23 m3/s.

- En el año 2016 se realizó un estudio del sitio para la solución hidráulica de un tramo del canal en la quebrada La Sabanetica en un tramo de 123 m en el sector Cañaveralejo- Quintas de Guadarrama, para el remplazo de la estructura tipo Box culvert localizado en la calle 77 D sur, de sección 1.0 m de ancho x 1.75 m de alto, que por la poca sección hidráulica la estructura tiene una incapacidad, que hace que la quebrada La Sabanetica en este sector, esta se desborde sobre la vía vehicular.
- La ola invernal durante el mes de diciembre provocó el desbordamiento de la quebrada la Sabanetica a la altura de la Urbanización Guadarrama, en donde se presenta desbordamiento del agua sobre un box culvert existente de aproximadamente 1.0 m de ancho por 1.5 m de altura, afectando de manera importante el talud de la margen izquierda, situado hacia aguas arriba de la estructura.

MÉTODO	*CAUDAL (m^3/s)*						
	Tr(años)	2.33	5	10	25	50	100
Snyder - integral		0.335	0.66	0.97	1.42	1.78	2.15
Snyder AEI		1.10	2.15	3.19	4.64	5.83	7.05
Snyder Cuhp 1		1.58	3.09	4.57	6.65	8.36	10.11
Snyder Cuhp 2		0.99	1.95	2.89	4.20	5.28	6.38
Racional Texas Austin		8.34	11.62	14.42	18.67	22.21	26.32
Racional en función de CN		2.74	5.38	7.97	11.60	14.58	17.63
Williams y Hann		3.61	6.30	8.78	12.45	14.75	17.40
Se escogerá el promedio de los métodos Racional en función de CN y Williams y Hann							
Caudal de Diseño		**3.18**	**5.84**	**8.38**	**12.03**	**14.66**	**17.52**

1.8. Información Disponible

La información cartográfica existente en el IGAC y en Planeación Municipal es desactualizada, respecto a las construcciones existentes en la actualidad. Los planos consultados y trabajados para el estudio corresponden a las planchas 310, 313, 314, 316 y 317 en escala 1:2000.

Igualmente se realizó visitas para recopilar toda la información necesaria para realizar los estudios pertinentes.

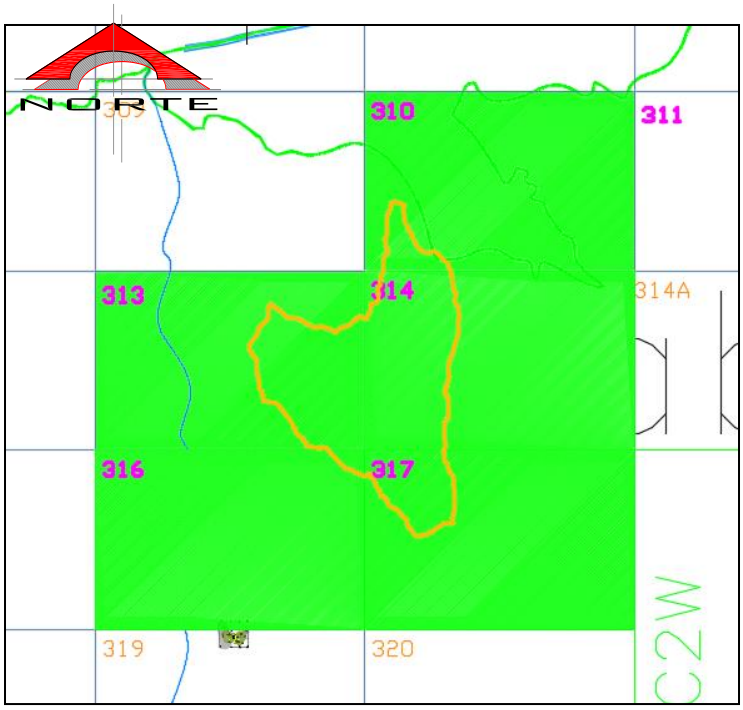


Figura N.º 5. *Planchas de la base de datos SIGMA utilizadas en la zona.*

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA.

2.1. Descripción de las condiciones encontradas en el sitio quebrada La Sabanetica, Sector Guadarrama.

En las páginas siguientes se presenta un registro fotográfico donde se observan las condiciones actuales del cauce de la quebrada la quebrada La Sabanetica en el sector Guadarrama del municipio de Sabaneta. En este tramo de la quebrada La Sabanetica se encuentran sobre la margen izquierda, algunas urbanizaciones Vegas de Guadarrama, Quintas de Guadarrama, y fincas privadas y otras edificaciones.

El intenso y largo periodo de lluvias presentado en los primeros meses de este año, ha ocasionado problemas de incapacidad en la estructura en box culvert localizado en el cruce con la calle 77 D sur.

De igual manera se observan problemas de estrechamiento del cauce y perdida de la sección hidráulica de la quebrada por la presencia de guaduas sobre ambas márgenes, que a su vez han ocasionado afectación en los taludes y derrumbes de los cerramientos de las edificaciones sobre esta margen

Con el fin de dar solución a la problemática presentada en el tramo de estudio, se recomienda construir una nueva obra de cruce en un box culvert de mayor sección.

A continuación, se mostrará la localización del sitio a intervenir, así como un registro fotográfico con las condiciones del sitio.



Fotografía Nº 1. Vista general del cauce de la quebrada La Sabanetica a la altura de la urbanización Vegas de Guadarrama. Nótese como el cerramiento hace parte del cauce de la quebrada, mermando la capacidad hidráulica.



Fotografía Nº 2. Se aprecia el detalle del tramo de la quebrada La Sabanetica aguas arriba de la urbanización Vegas de Guadarrama en la zona donde esta es paralela a la vía. Obsérvese la poca diferencia entre la cota de la vía y la cota de la quebrada



Fotografía Nº 3. Detalle general del cauce de la quebrada aguas donde es paralelo la vía. Nótese la gran cantidad de guaduas que estrechan el cauce, ya que es una vegetación bastante invasiva. Nótese un pequeño jarillon sobre la margen izquierda para proteger la vía de posibles inundaciones ante un evento de creciente.



Fotografía Nº 4. Vista de un tramo de la quebrada donde se observa algunos desgarres sobre la margen de la quebrada debido a los problemas de socavación lateral que posee. Nótese como las guaduas estrechan el cauce y lo obliga a ir la corriente hacia la otra margen ocasionando este desgarre.



Fotografía Nº 5. Detalle general de la quebrada al salir de la urbanización Vegas de Guadarrama. Esta urbanización coloco un cerramiento que puede afectar la capacidad hidráulica de la quebrada



Fotografía Nº 6. Sobre la margen izquierda aledaña a las edificaciones, se observan desgarres de la masa de suelos ocasionadas por la acción del agua debido a las guaduas han desviado el cauce hacia la otra margen, ocasionando derrumbes del talud y afectación de los cerramientos de la urbanización aledañas a la quebrada. Esta situación por lo general se presenta en las curvas debido que estos taludes están conformados en su mayoría por llenos antrópicos que fueron arrojados a la quebrada cuando se construyeron estas edificaciones.



Fotografía Nº 7. Detalle general de otro sitio afectado con desgarres en el tramo de estudio, donde se observa como la comunidad construyo un muro en costales como obra provisional de protección ante los efectos erosivos del agua de la quebrada, nótese que estas obras se están derrumbando, así como los cerramientos se está edificaciones.



Fotografía Nº 8. Se aprecia el cauce de la quebrada la Sabanetica en el estudio en el sector de Guadarrama. Nótese como a lado y lado de quebrada han crecido bastante guaduas que han estrechado el cauce, disminuyéndola capacidad hidráulica de esta.



Fotografía Nº 9. Nótese como las obras construidas por los propietarios de las edificaciones de la margen izquierda se han ido derrumbando por las crecientes de la quebrada en estos tiempos de largos e intensos inviernos.



Fotografía Nº 10. Se observa como las guaduas o largo del tramo de estudio estrechan el cauce. Podemos observar la diferencia de cotas entre el fondo de la quebrada y la vía, unos 0.80 m, nótese que hay solo un Jarillón pequeño que protege la vía ante las posibles inundaciones.



Fotografía Nº 11. Nótese como en ambas márgenes de la quebrada existentes guaduas que están estrechando y disminuyendo la capacidad de la quebrada para evacuar las crecientes en estos tiempos de inviernos largos e intensos. Estos problemas ocasionan problemas de socavación lateral en el talud de la margen izquierda y derrames del flujo sobre la vía en los momentos que se producen crecientes.



Fotografía Nº 12. La mayor parte del tramo aguas arriba del sitio de estudio se observan taludes altos sobre la margen izquierda y una poca diferencia en la margen derecha entre el nivel de la vía y de la quebrada, donde solo un pequeño Jarillón protege la vía ante posibles inundaciones.



Fotografía Nº 13. La quebrada corre en una parte del tramo analizado paralela la vía, en todo este tramo la quebrada está a poca diferencia de cotas con la vía.



Fotografía Nº 14.. Sobre la margen izquierda a lo largo del tramo de estudio se pueden observar obras de protección con costales, así como la presencia de guaduas que estrechan el cauce y disminuyen la sección hidráulica de la quebrada.



Fotografía Nº 15. Nótese como algunos cerramientos sobre la margen izquierda se han derrumbado debido al empuje que ha generado las guaduas. Se sigue observando como se estrecha aun mas el cauce de la quebrada.



Fotografía Nº 16 Detalle de una obra de protección en Costales sobre la margen izquierda con el fin de proteger las viviendas localizadas en esta margen ante los posibles desgarres que se presentan constantemente en la quebrada.



Fotografía Nº 17. Nótese en otro tramo analizado de la quebrada como sigue las guaduas empujando hacia el cauce de la quebrada el cerramiento ocasionado el derrumbe de este.



Fotografía Nº 18. Tramo aguas arriba del sitio de cruce en un box culvert de sección 1.0 m de ancho por 1.75 m de alto, dicha estructura no posee capacidad hidráulica para evacuar caudales con periodos de retorno de 100 años, nótese como se ha depositado gran cantidad de material sobre la vía dejados cuando la quebrada ha pasado por encima de la estructura debido a su incapacidad y la gran cantidad de material vegetal que disminuye aún más la capacidad de esta estructura.



Fotografía Nº 19. En la fotografía podemos observar la diferencia de altura entre la vía y la quebrada, al producirse una creciente la incapacidad hidráulica de la obra existente hace que el agua se remanse y pase por encima inundando la vía, y hacia aguas abajo donde existen edificaciones. Nótese todo el material que se ha depositado en la vía por las intensidades de los aguaceros de los últimos meses, debido a la incapacidad de la estructura y de las secciones hacia aguas arriba de la quebrada.



Fotografía Nº 20. Nótese en esta fotografía el estrechamiento del cauce por el crecimiento de las guaduas, una especie bastante invasiva. Nótese como las guaduas secas caen al cauce y pueden mermar la capacidad hidráulica de la estructura de cruce localizada hacia aguas abajo del tramo analizado.



Fotografía Nº 21. A lo largo del tramo de estudio se observan afectación de los taludes sobre la margen izquierda debido a la acción del agua de la quebrada, duración e intensidad de los aguaceros de los últimos mese y composición del suelo de los taludes, conformados por llenos antrópicos, realizados cuando construyeron las viviendas.



Fotografía Nº 22. Nótese como sobre la margen izquierda se han presentado derrumbes de taludes conformados por llenos antrópicos, debido a la acción continua del agua, derrumbes que aumentaron en estas épocas de invierno largo e intensos, por la saturación de los suelos.



Fotografía Nº 23. Detalle de la obra de cruce sobre la calle 77 D sur, es un box culvert de sección 1.0 m por 1.75 m de alto, el cual no posee capacidad hidráulica, además el cauce presenta bastante material vegetal y palos de las guaduas secas que en cualquier momento pueden disminuir aun mas la capacidad de la estructura



Fotografía Nº 24. Aguas arriba de la estructura el tramo de estudio las diferencias de niveles entre la vía y la quebrada sobre la margen derecha en muy baja, lo que en gran parte es la que ocasiona que se presenten derrames del flujo de la quebrada sobre esta margen.



Fotografía Nº 25. Detalle de talud afectado, problemas que tienen que ver con los llenos antrópicos que conforman el talud, la acción continua de un caño sobre la base del talud y la saturación de los suelos debido a las prolongadas lluvias durante los últimos meses. Este derrumbe puede afectar de manera importante las edificaciones localizadas sobre esta margen.



Fotografía Nº 26. Detalle del cruce de la quebrada la Sabanetica en la calle 77 D sur, nótese las huellas dejadas por la quebrad debido a la incapacidad de la estructura.



Fotografía Nº 27. Detalle de la obra de cruce un box culvert de sección 1.0 m de ancho por 1.75 m de alto, se puede observar las evidencias de cómo el agua pasa por encima de la vía al producirse un aguacero.



Fotografía Nº 28. Detalle del cauce aguas arriba de la obra de cruce nótese la poca diferencia de cotas entre la quebrad y la margen derecha donde está la vía.



Fotografía Nº 29. Detalle del cauce aguas abajo del cruce con el box culvert en la calle 77 D sur, nótese como se sigue observando la presencia de guaduas sobre ambos lados de la quebrada, que merman considerablemente la sección hidráulica de la quebrada.



Fotografía Nº 30. Detalle de la depositación del material cuando se produce la incapacidad de la estructura de cruce.

2.2. Comentarios del registro fotográfico.

- Como se pudo observar en las fotografías anteriores, el cauce de la quebrada La Sabanetica en la zona de estudio presenta unos problemas de los taludes localizados sobre la margen izquierda donde se encuentran las edificaciones, estos taludes fueron afectados debido a las prolongadas lluvias durante los últimos meses, la acción continua de un caño sobre la base del talud y la saturación de los suelos, y los llenos antrópicos que conforman el talud. La presencia en el cauce de una vegetación compuesta en su mayoría por guaduas ha ocasionado que el cauce se estreche y pierda gran parte de su capacidad hidráulica, y en algunos tramos ha ocasionado la destrucción y derrumbes de cerramiento de las urbanizaciones localizados sobre la margen izquierda. Adicionalmente, la estructura tipo box culvert de sección 1.0 m de ancho por 1.75 m de alto que permite el paso de la quebrada en la calle 77 D sur, no posee capacidad hidráulica para evacuar caudales con periodos de retorno mayores a 50 años, poniendo en alto riesgo la estabilidad de la estructura, así mismo los taludes hacia aguas arriba.
- La poca profundidad del canal respecto a la vía pública y la reducción del ancho de este por el creciente aumento de plantas de guadua, disminuyeron la sección hidráulica del canal aguas arriba del box culvert, sumándose a otra causa más de los periódicos desbordamientos de la quebrada, solo se construyó un pequeño Jarillón sobre esta margen.
- De acuerdo con lo observado en las fotografías, para la solución definitiva del problema se debe construir una estructura hidráulica de cruce (box culvert) mejorando su sección hidráulica y construyendo un canal rectangular permitiendo el paso del caudal de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 100 años. Esta estructura permitirá la protección en los tramos de taludes afectados cercanos a las urbanizaciones sobre la margen izquierda. Con la construcción de estructuras se mejorará la seguridad e integridad de los habitantes de la zona.
- La cobertura vegetal compuesta por guaduas, evidenciada sobre todo aguas arriba del tramo de estudio, se deberá retirar del cauce de la quebrada, permitiendo a la quebrada recuperar su sección hidráulica. Estas guaduas generan el atascamiento de tallos, madera y vegetación que es arrastrada por la corriente de agua en la entrada del estrecho box culvert de solo 1.0 m de ancho, se cruzan una gran cantidad de objetos orgánicos restringiendo el paso libre del agua lo que aumenta los niveles del agua en el canal, desbordándose hacia las vía pública y privadas de las urbanizaciones.
- Si bien los propietarios de los predios de los terrenos sobre la margen izquierda han construido obras de protección sobre el talud, estas han sido de carácter temporal, ya que la acción del agua ha desestabilizado la base haciendo que estos se derrumben y vuelquen generando consigo deslizamientos recientes de la masa de suelo
- Debe tenerse en cuenta que, los continuos cambios de usos del suelo, la construcción improvisada de estructuras hidráulicas como las existentes, hacen que en épocas de invierno se aumente la amenaza de desbordamiento e inundación por parte de la quebrada a todo lo largo del tramo de estudio
- Este estudio es realizado básicamente para solicitar la ocupación de cauce de un canal rectangular en co0ncretoy de una estructura de cruce ubicado en el sector Guadarrama del municipio de Sabaneta. Se presenta a continuación el estudio hidrológico e hidráulico que permitirá determinar la cota de máxima inundación de la quebrada y la ubicación de las obras.

3. ESTUDIO HIDROLOGICO.

Este estudio es fundamental para obtener la creciente de diseño de una corriente superficial, teniendo en cuenta las características físicas o morfológicas de una hoya hidrográfica, la precipitación de la zona, la infiltración y el uso de algunos métodos hidrológicos que sirven para determinar la escorrentía superficial o la creciente de diseño que transita por un cauce de una quebrada o río, teniendo en cuenta paralelamente la intensidad, frecuencia y duración de la lluvia.

El diseño hidrológico para el control de aguas está relacionado con la mitigación de los efectos adversos causados por caudales altos o crecientes. Se considera que una creciente es cualquier caudal alto que desborde los terraplenes ya sean artificiales o naturales a lo largo de la corriente. Las magnitudes de las crecientes están descritas por sus caudales, sus elevaciones y sus volúmenes, cada uno de estos factores son importantes en el diseño hidrológico de diferentes tipos de estructuras para el control de flujo. En este caso el diseño corresponde a una evaluación de un tramo de cauce de la quebrada a La Sabanetica en el sector Guadarrama en el municipio de Sabaneta, cuyo principal objetivo es proyectar unas obras de protección en las márgenes de la quebrada, y construir la obra de cruce en la vía, de tal forma que valide su adecuado funcionamiento hidráulico y de estabilidad.

Para el cálculo de diseño en este tipo de obras es usual considerar periodos de retorno entre 50 a 100 años, obteniéndose caudales altos que requieren estructuras con secciones hidráulicas considerables que impliquen mayores costos de construcción, pero que minimicen las pérdidas humanas y materiales sustancialmente. Otro criterio para considerar es el criterio de riesgo, que consiste en el riesgo que se desea asumir en el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil de la obra, el cual se considera en este caso debido a la importancia de este tipo de obras de 50 años.

Luego la probabilidad de ocurrencia **K** dentro de **n** años la vida útil de la obra o riesgo permisible para un periodo de retorno de **T** esta dado por:

- **K= 1-(1-1/T)n para n=50 años y T= 100 años**

- **K= 0.395 =39.5%**

Esto significa que la posibilidad de excedencia de que el caudal determinado sea superado durante la vida útil de la estructura (50 años) es del 39.5%. Probabilidades menores originan obras más costosas que usualmente son difíciles de construir.

Se describe a continuación, algunas metodologías usadas en el presente estudio para la determinación de la creciente de diseño.

3.1. Cálculos de Caudales Máximos.

Se describe a continuación, algunas metodologías usadas en el presente estudio para la determinación de la creciente de diseño.

3.1.1. Método De Snyder.

Este método fue desarrollado en los Estados Unidos en cuencas localizadas en la región montañosa de los Apalaches y con áreas de drenaje entre 10 y 10000 millas cuadradas. Fue utilizado en el "Estudio Hidrológico del Valle de Aburrá" calibrando algunos de sus coeficientes básicos (Cp y Ct), con base en crecientes registradas en el Río Pantanillo y la Quebrada Las Palmas. Sin embargo, las ecuaciones fundamentales en las que se basa el método son el resultado de generalizaciones hidrológicas en otras latitudes.

Una componente muy importante para la determinación del caudal pico, es la determinación de la retención superficial del suelo, la cual afecta el cálculo del volumen de escorrentía directa resultante de la tormenta, y por lo tanto afecta el valor del caudal pico resultante.

3.1.2. Método Racional.

En este método los efectos de la lluvia y del tamaño de la cuenca son considerados en la expresión explícitamente y otros procesos son considerados implícitamente en el tiempo de concentración y el coeficiente de escorrentía. El almacenamiento temporal y las variaciones espacio-temporales de la lluvia no son tenidos en cuenta, concluyéndose debido a esto que el método debe dar buenos resultados sólo en cuencas pequeñas no mayores de 2.5 Km^2, aunque en algunos textos se habla de áreas menores o iguales a 50 Km^2. La intensidad es obtenida de las curvas I-F-D para una lluvia con una duración igual al tiempo de concentración Tc.

De acuerdo con el libro de hidrología de Antioquia, debido a que el almacenamiento temporal y las variaciones espacio-temporales de la lluvia no son tenidos en cuenta en los cálculos, se concluye que el método debe dar resultados solo en cuencas pequeñas no mayores de 50 km^2, es así como en este libro se han calculado por esta metodología en varias regiones de Antioquia. *Ver páginas 73 a 79 del libro de hidrología de Antioquia.*

De acuerdo con el Manual de Drenaje para carreteras del Instituto Nacional de Vías, este método Racional se debe aplicar cuando se analicen obras de drenaje cuyas áreas de drenaje sean menores o iguales a 2.5 km^2.

Así mismo, en el Manual de Drenaje para Carreteras, se describe el método racional y se aclara que existen discrepancias entre los diferentes autores sobre el rango de aplicabilidad del método en relación con el área de drenaje de las Hoyas hidrográficas; es así como valores entre 0.65 y 12.5 km^2 han sido citados en la literatura técnica.

Mc Pherson señaló las limitaciones más importantes que tiene esta metodología:

- El método proporciona solamente un caudal pico, no el hidrograma de creciente.

- El método racional asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación (sí duplica la precipitación, la escorrentía se duplica también). En la realidad esto no es cierto, pues la escorrentía depende también de muchos otros factores tales como precipitaciones antecedentes, condiciones de humedad del suelo, etc.
- El método asume que el período de retorno de la precipitación y el de la escorrentía son los mismos, lo que no es cierto. La precipitación es filtrada por la cuenca para producir escorrentía y ese filtro no es lineal. La transformación de precipitación en escorrentía se ve afectada por las características de la cuenca, el estado de la cuenca al momento de la lluvia y otros factores. Por ejemplo, precipitaciones con períodos de retorno pequeños pueden producir caudales con períodos de retorno mayores, debido a las condiciones de humedad de la cuenca en el momento en que ocurra la tormenta.
- El coeficiente de escorrentía depende en gran medida de las condiciones de humedad antecedente de la cuenca, que a su vez dependen de las tormentas que hayan ocurrido antes.

3.1.3. Método de Williams y Hann.

El modelo de Williams y Hann es un método de simulación de fenómenos hidrológicos que tiene como objetivo reproducir lo más fielmente posible los procesos físicos que ocurren en una cuenca mediante expresiones matemáticas que representan las relaciones existentes entre estos fenómenos y las respuestas de la cuenca.

Este modelo proporciona la hidrógrafa unitaria instantánea, lo que implica que la duración de la lluvia asociada con ella es muy corta, por lo que se recomienda asumir lluvias de duración pequeñas, comparadas con el tiempo al pico. Para construir la hidrógrafa unitaria se requiere conocer los dos parámetros de la cuenca: tp y k, que son incluidos en las ecuaciones que dan la forma de la hidrógrafa. El parámetro tp representa el tiempo al pico desde el inicio de la lluvia y k es la constante de recesión de la cuenca. En este método, los tiempos al pico son pequeños en magnitud, como es de esperarse en cuencas montañosas, por ser de tiempos de concentración cortos.
Las ecuaciones de k y tp son de la forma que intuitivamente deben tener:

- Aumentan con el área.
- Disminuyen con la pendiente.
- Aumentan con la relación largo-ancho.

3.2. Parámetros Geomorfológicos.

3.2.1. Preliminares.

Los parámetros Geomorfológicos de la quebrada La Sabanetica en el sector Guadarrama son considerados hasta el punto de control. La información fue extraída de los planos del IGAC (310, 313, 314, 316 y 317 en escala 1:2000) imágenes satelitales, después de haber definido la línea divisoria de aguas. (Ver figura y plano anexo).

La delimitación de una Cuenca Hidrográfica se realiza a partir de restituciones cartográficas y fotogramétricas, y para ello se deben seguir las reglas básicas que se mencionan a continuación:

- La divisoria de aguas pasa por los puntos más altos de las cordilleras, cruzando los valles que estas delimitan.
- Su delimitación comienza en el punto de concentración y se continúa a cada lado de este punto con líneas siempre perpendiculares a las curvas de nivel.
- La divisoria de aguas nunca debe interceptar los cauces naturales.
- Imagine una gota de agua cayendo sobre el mapa, sí la gota llegara al punto de concentración, esta área debe pertenecer a la Cuenca.

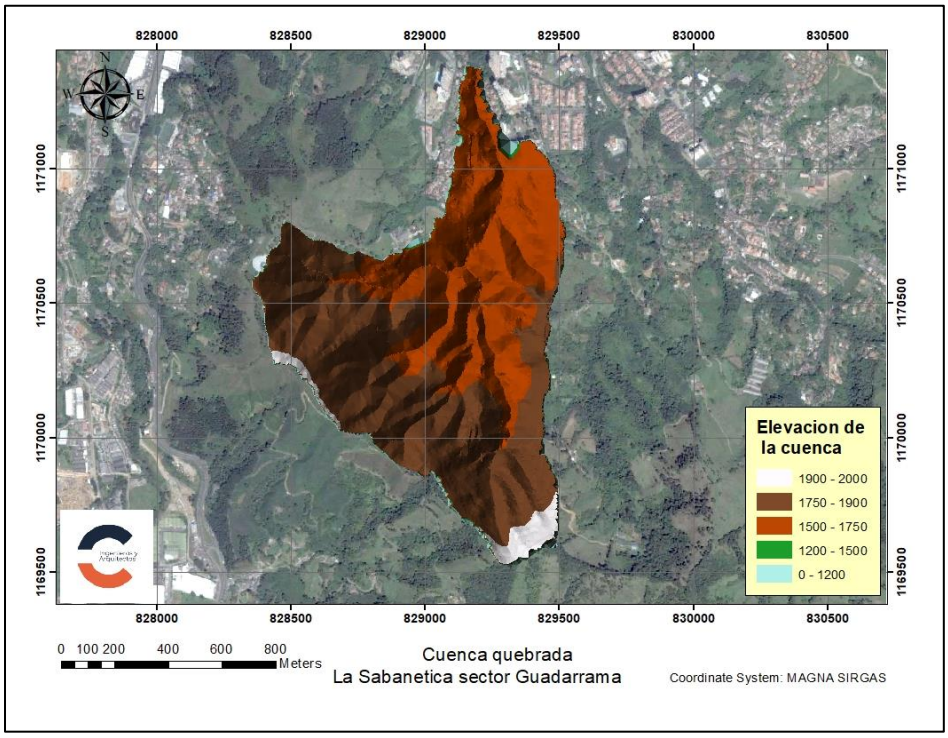


Figura N.º 6. Calculo área cuenca de la cuenca hasta el punto de control

3.2.2. Área de la Cuenca (A).

Superficie total de drenaje definida por la divisoria de aguas. De gran importancia porque existe una relación directamente proporcional entre este parámetro y la magnitud del caudal de respuesta de la cuenca.

3.2.3. Longitud del Cauce Principal (L).

Distancia horizontal entre el nacimiento del cauce principal y un punto sobre el cauce en la salida de la cuenca.

3.2.4. Perímetro de la Cuenca (P).

Longitud total de la línea de divisoria de guas que define la cuenca.

3.2.5. Ancho de la Cuenca (W).

Definida como la relación entre el área de la cuenca y su longitud.

Donde: W: Ancho de la cuenca

A: Área de la cuenca (Km^2)

L: Longitud del cauce principal (Km)

3.2.6. Coeficiente de Compacidad o de Gravelius (K).

Definido como la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área a la de la cuenca.

$$K = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

donde: P: Perímetro de la Cuenca (Km)

A: Área de la cuenca (Km2)

Luego se tiene:

El coeficiente de Gravelius define la forma de la cuenca. Estas formas, están estandarizadas según convenio COL 88/010 de la forma como se relacionan en la Tabla 1.

Tabla 3: *Rangos para el Índice de Compacidad o de Gravelius.*

RANGO		FORMA
De	A	
	< 1	Redonda
1	1.24	Oval-redonda
1.25	1.50	Oval-oblonga
1.50	1.75	Rectangular-oblonga
> 1.76		Alargada

Según esta definición, la cuenca es **Oval- Oblonga**, ya que el valor del **coeficiente de compacidad es 1.49** para el área en estudio.

3.2.7. Orden del Cauce Principal.

Para la determinación de este parámetro se siguió la definición de Horton de orden de cauce, que dice que los canales de primer orden son aquellos que no poseen tributarios. Cuando se unen canales de igual orden, forman un canal de orden inmediatamente superior. Según esta definición el **orden de la cuenca** hasta el punto de control es **4.**

3.2.8. Densidad de Drenaje.

Definida como la relación entre la longitud total de los cauces de la cuenca y la superficie total de drenaje. Se puede expresar como:

Donde:

$$D_{\Omega} = \frac{\sum L_i}{A}$$

DΩ: Densidad de drenaje (Km/Km2)
Li: Longitud de los cauces de cada orden (Km)
A: Área de la cuenca (Km2)

Valores bajos de DΩ generalmente están asociados con regiones de alta resistencia a la erosión, muy permeables y de bajo relieve. Valores altos fundamentalmente son encontrados en regiones de suelos impermeables con poca vegetación y de relieve montañoso.

3.2.9. Longitud recta desde el punto de control hasta la divisoria de aguas.

Esta longitud es la medida en línea recta desde el punto de control hasta la divisoria de aguas de la cuenca.

3.2.10. Longitud a lo largo del cauce desde el punto de control hasta el Centroide de la Cuenca.

Esta longitud es la medida desde el punto de control hasta el centroide de masa (proyección plana) de la cuenca, tomada a lo largo del cauce principal.

3.2.11. Pendiente promedio de la cuenca.

Para el cálculo de la pendiente promedio de la cuenca se obtiene a partir de las pendientes de la cuenca en estudio, según mapa realizado con el programa ARCGIS, donde se pudo se observar diferentes rangos de valores**. La pendiente promedia es de 54.18 % para la quebrada hasta el punto de control**.

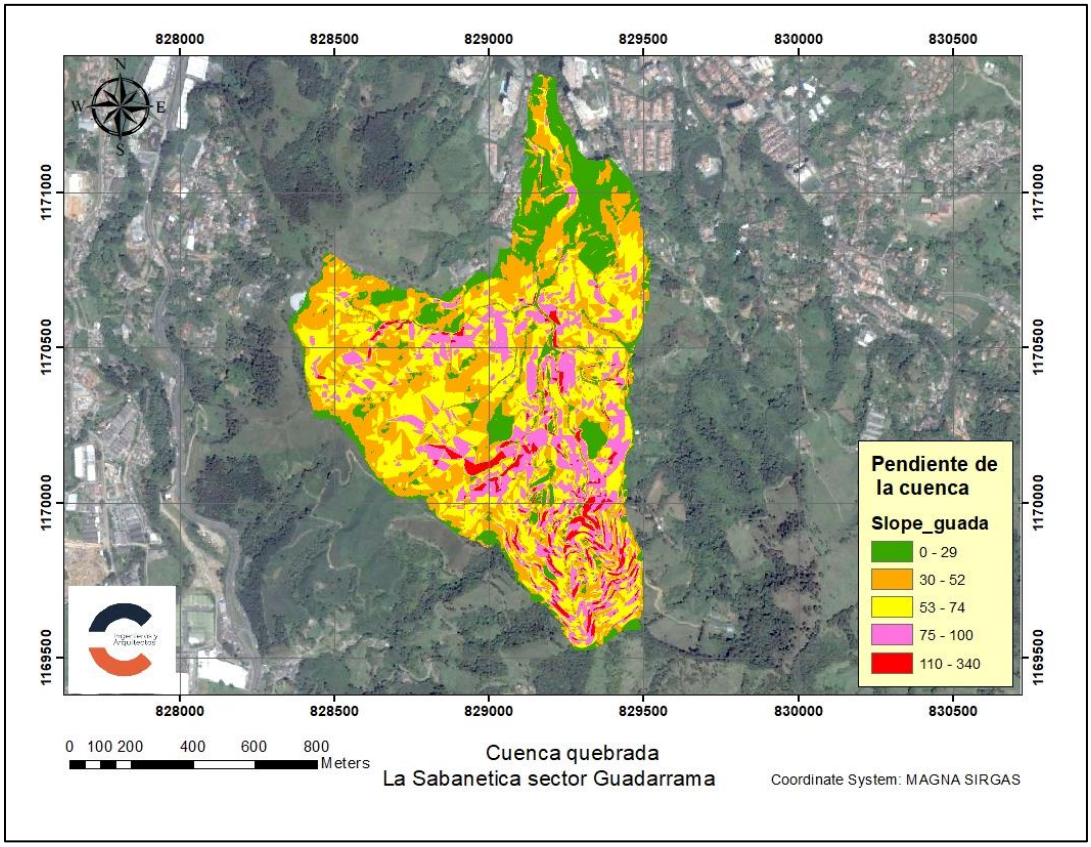


Figura N.º 7. Calculo pendiente de la cuenca hasta el punto de control

3.2.12. Resultados.

En la Tabla 4, se puede apreciar un resumen general de todos los parámetros geomorfométricos de la cuenca hasta el punto de control.

Tabla 4: *Parámetros morfométricos de la cuenca hasta el punto de control.*

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNID.
Área	1.098452	km²
	0.42411	mi²
Perímetro de la cuenca	5.5550	km
	3.452	mi
Ancho de la Cuenca	0.508	km
	0.342	mi
Longitud de la Cuenca	2.1626	km
	1.344	mi
Longitud del Cauce Principal (L)	1.9966	km
	1.2406	mi
Longitud al Centroíde	1.2580	km
	0.7817	mi
Longitud recta desde punto de control a sitio más alejado de la cuenca	1.8140	km
	1.127	mi
Longitud total de los cauces	8.6176	km
	5.355	mi
Cota nacimiento Cauce	1920.00	msnm
	6299.21	pies
Cota inferior Cauce o punto de control	1615.00	msnm
	5298.56	pies
Cota Superior Cuenca	1975.00	msnm
	6479.66	pies
Cota Inferior Cuenca	1615.00	msnm
	5298.56	pies
Gradiente promedio del Cauce	305.00	m
	1000.66	pies
Gradiente promedio de la Cuenca	360.00	m
	1181.10	pies
Pendiente promedia del Cauce Principal	15.28%	-
Pendiente media de la Cuenca	54.18%	
Coeficiente de Compacidad o de Gravelius (K)	1.4952	-
Orden del Cauce Principal	4	
Densidad de Drenaje	7.8452	km/km²

Las características físicas de una cuenca son elementos de gran importancia en el comportamiento y la respuesta hidrológica de la misma, de ahí que la determinación de ellas sea de gran utilidad práctica. Generalmente los caudales crecen en proporción al área de la cuenca hasta cierto rango; sin embargo, existen otros factores que condicionan la respuesta hidrológica y que pueden hacer variar esa condición. La pendiente del cauce y de la cuenca son parámetros muy importantes que influyen directamente en la velocidad del flujo y esta a su vez en la capacidad de arrastre de sedimento y erodabilidad de las márgenes.

En general, la forma de la cuenca tiene una clara incidencia en la ocurrencia de avenidas y en el régimen hidráulico del cauce; cuencas de forma redonda ofrecen mayor riesgo de inundación, en tanto que en cuencas alargadas el agua fluye gradualmente hacia el cauce principal, disminuyendo los riesgos de inundación.

3.3. Tiempo de Concentración.

Es el tiempo para el cual toda la cuenca empieza a contribuir. Desde el punto de vista físico se entiende el tiempo de concentración como el que tarda una gota de agua en llegar de las partes más alejadas de la cuenca al sitio de interés. Es clara entonces la dependencia de este parámetro con variables morfométricas, tales como el área, pendiente de la cuenca, longitud del cauce principal, etc. Por esto no se han considerado métodos para su cálculo que no involucren dentro de los parámetros para su estimación ninguno de éstos.

El tiempo de concentración (tc) es uno de los parámetros más importantes en los modelos Precipitación – Escorrentía, pues la duración de la tormenta de diseño se define con base en él. La duración crítica de la lluvia debe asumirse igual al tiempo de concentración, pues para duraciones menores que tc, no toda el área de la cuenca contribuye y para duraciones más grandes que tc no hay incremento en el área contribuyente y en cambio la intensidad de la lluvia de una frecuencia dada disminuye. Se asume que para duraciones menores que el tiempo de concentración, el efecto de la reducción en el área contribuyente es mayor que el del incremento en la intensidad de la lluvia.

3.3.1. Fórmulas para el Cálculo del Tiempo de Concentración.

- ***Williams (1922).***

$$T_C = \frac{L\,A^{0.4}}{D\,S^{0.2}}$$

Donde: TC: Tiempo de concentración (hr)

S: Diferencia en cotas sobre la longitud del cauce (%)

L: Distancia en línea recta desde el punto de control hasta el punto más alto de la cuenca (mi)

D: Diámetro de una cuenca circular cuya área sea igual al área de drenaje de la cuenca (mi)

A: Área de drenaje de la cuenca (mi2)

- ***Kirpich (1940).***

$$T_C = \frac{13*10^{-5}\ L^{0.77}}{S^{0.5}}$$

$$T_C = \frac{21.67*10^{-5}\ L^{0.77}}{S^{0.5}}$$

La primera relación fue obtenida para las cuencas de Pennsylvania y la segunda para las cuencas de Tennessee (Estados Unidos).

Donde TC: Tiempo de concentración (hr)
L: Distancia en línea recta desde el punto de control hasta el punto más alejado de la cuenca (mi)
S: Diferencia en cotas sobre la longitud del cauce (%)

- ***Kirpich (1940, 7 Cuencas).***

$$T_C = 0.066\left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.77}$$

Donde: Tc: Tiempo de concentración (horas).
L: Longitud del cauce principal en Km.
S: Pendiente promedia del cauce principal en %.

- ***Giandiotti (2).***

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{\sqrt{H}}$$

Donde: Tc: Tiempo de concentración (hr)
A: Área de la cuenca (Km2)
L: Longitud del cauce principal (Km)
H: Diferencia de cotas (m)

- ***Linsley.***

$$T_C = C_t \left[\frac{L \bar{L}}{\sqrt{S}} \right]^{0.35}$$

Donde: Tc: Tiempo de concentración (hr).
Ct: Factor de zona (1,2 área montañosa; 0,72 zona en pie de ladera; 0,35 zona en valle).
L: Longitud de la cuenca (mi)
$\bar{L}$: Longitud del punto de control al centro de gravedad de la cuenca (mi)
S: Diferencia en cotas dividida por la longitud (%)

- ***Snyder.***

$$T_C = C_t \left(L \bar{L} \right)^{0.3}$$

Donde: Tc: Tiempo de concentración (hr).
Ct: Factor de zona (1,2 área montañosa; 0,72 zona en pie de ladera; 0,35 zona en valle). Se usa 0.72
L: Longitud de la cuenca (mi)
$\bar{L}$: Longitud del punto de control al centro de gravedad de la cuenca (mi)
S: Diferencia en cotas dividida por la longitud (%)

- ***Temez (1978).***

$$T_C = 0.3 \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.75}$$

Donde: Tc: Tiempo de concentración (hr)
L: Longitud del cauce principal (km)
S: Diferencia de cotas sobre la longitud (%)

Es importante anotar, que si bien el utilizar tiempos de concentración bajos generan intensidades mayores y por ende también caudales altos sí se considera toda el área contribuyendo, ésto puede conllevar a obras sobredimensionadas y muy costosas, que en algunos casos hacen que los proyectos sean inviables.

Para la selección del tiempo de concentración "adecuado", lo que realmente es muy difícil de determinar, debe el evaluador o revisor tener en cuenta que porcentaje de Área se puso a contribuir y que factores de mayoración del caudal fueron considerados. Factores de mayoración que involucran o tienen en cuenta el aumento de caudal por arrastre de sólidos, empalizadas, etc. Adicionalmente, cuando se determina la intensidad de la lluvia con el **tc** considerado, se está aceptando que durante el tiempo de concentración la intensidad es constante, situación que no es cierta, debido a que ésta es variable y menor antes y/o después de alcanzar la intensidad de lluvia calculada para el periodo de retorno considerado.

Adicionalmente, en la mayoría de las ecuaciones que se utilizan para evaluar el Tiempo de Concentración, no se considera el tipo de vegetación o cobertura vegetal de la cuenca, factor que tiene que ver con la respuesta hidrológica de la cuenca. Una cuenca con buena cobertura vegetal tendrá una menor respuesta hidrológica; es decir, se tendrán crecientes menores que una cuenca con escasa cobertura vegetal, ya que el proceso de interceptación de la lluvia depende del tipo y tamaño de la cobertura vegetal (baja, media y alta). Por otro lado y como factor de seguridad para determinar la sección hidráulica adecuada, el diseñador podrá considerar simultáneamente a los parámetros anteriores un borde libre suficiente que podrá depender entre otros factores del tipo de flujo que se presenta durante la avenida o creciente.

3.3.2. Resultados.

En la tabla siguiente se presentan los tiempos de concentración obtenidos por cada uno de estos métodos para la cuenca en el sitio de los estudios.

Tabla 5: *Valores del tiempo de Concentración por diferentes métodos.*

MÉTODO	Tc (hr)	Tc (min)
Kirpich (1940)	0.1429	8.57
Temez (1978)	0.3022	18.13
Williams (1922)	0.6309	37.86
Kirpich (1990)	0.2464	14.78
Giandiotti (1990)	0.5144	30.86
Linsley	0.7576	45.46
Snyder	1.2178	73.07

Para la estimación del tiempo de concentración se considera el promedio de los tiempos obtenidos por las metodologías de Linsley, y Snyder obteniéndose

Número de Datos: 2
Media Aritmética: $\bar{x}$ = 24.50 minutos
Desviación Estándar: G = 2.36 minutos
Intervalo de Confianza: 22.13 minutos $\leq \bar{x} \leq$ 26.87 minutos

El tiempo de concentración seleccionado **24.50 min**, el cual se encuentra dentro del intervalo de confianza.

3.4. Magnitud y Distribución Temporal de la Tormenta de Diseño.

Elaborando los Polígonos de Thiessen para la cuenca de la quebrada La Sabanetica y al tomar las estaciones pluviográficas, se puede concluir que el 53.76 % del área en estudio está abarcada por La Estación Pluviográfica de San Antonio de Prado y el 46.24 % del área en estudio está abarcada por La Estación Pluviográfica de Planta de Tratamiento La Ayurá. (Ver plano anexo).

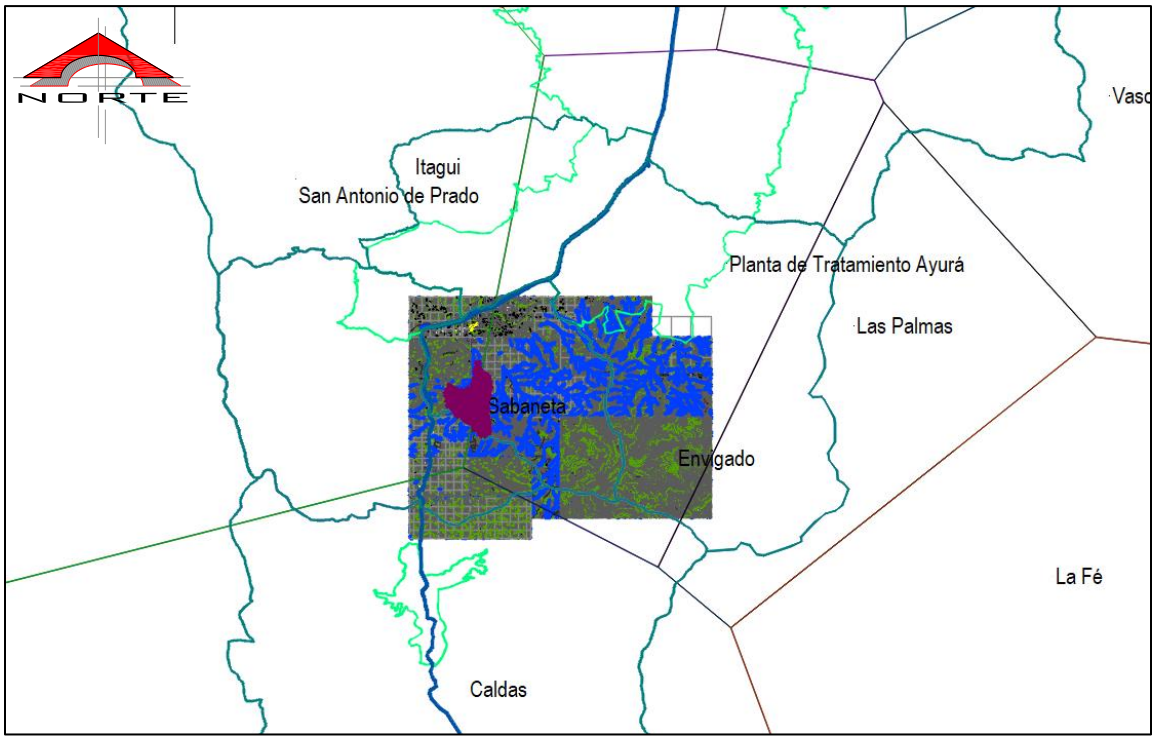


Figura N.º 8. Estación Pluviográfica Seleccionada.

Para la duración de la lluvia de diseño y un período de retorno del evento dado, es posible asociar un valor para la intensidad de precipitación en cada una de las estaciones, esto se hace mediante las curvas de intensidad, frecuencia, duración (IDF) desarrolladas para cada estación. Los períodos de retorno responden al nivel de riesgo en que se está dispuesto a incurrir en función de la probabilidad de ocurrencia de un evento que puede generar pérdida de vidas humanas, daños materiales, entre otros aspectos.

Los períodos de retorno considerados para el análisis fueron de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, esto con el fin no sólo de tener los caudales pico, sino también de evaluar los posibles fenómenos que pueden ocurrir en el cauce principal para los caudales menores.

Los parámetros de las intensidades obtenidas para esta estación se pueden apreciar en la Tabla 4.

Tabla 6: Parámetros de las curvas de Intensidad – Frecuencia – Duración para diferentes Períodos de Retorno, Estación Planta de Tratamiento La Ayurá[1].

PERÍODO DE RETORNO (años)	C	h	m
2.33	4238.2	23	-1.0826
5	6992	22	-1.1422
10	9852.6	22	-1.1821
25	13745	22	-1.2175
50	16776	22	-1.237
100	19876	22	-1.2526

Tabla 7: Parámetros de las curvas de Intensidad – Frecuencia – Duración para diferentes Períodos de Retorno, Estación San Antonio de Prado.

PERÍODO DE RETORNO (años)	C	h	m
2.33	6885	29	-1.1363
5	2978.7	14	-0.9537
10	2614.1	10	-0.9068
25	2445.7	7	-0.8683
50	2549.9	6	-0.8591
100	2585.6	5	-0.8458

Estos parámetros obedecen a la ecuación:

$$i = C \times (h + Tc)^m$$

$i = intensidad\ en\ mm/hr$
$Tc = Duración\ de\ la\ precipitación\ en\ minutos$
$c, h\ y\ m = Parámetros\ obtenidos\ de\ las\ curvas\ IDF$

Como se puede apreciar, las intensidades (i) dependen de los parámetros antes mencionados y del Tiempo de Concentración. Para el estudio presente la duración de la lluvia se considera igual a este tiempo. Estas duraciones de la lluvia seleccionada, así como las intensidades obtenidas se pueden apreciar en la Tabla 5.

[1] Curvas actualizadas según "Estudio de las precipitaciones máximas en el Valle de Aburrá", desarrollado por Héctor Pizarro, Santiago Wilches y Catalina Jaramillo y publicado por EPM en el año 2014.".

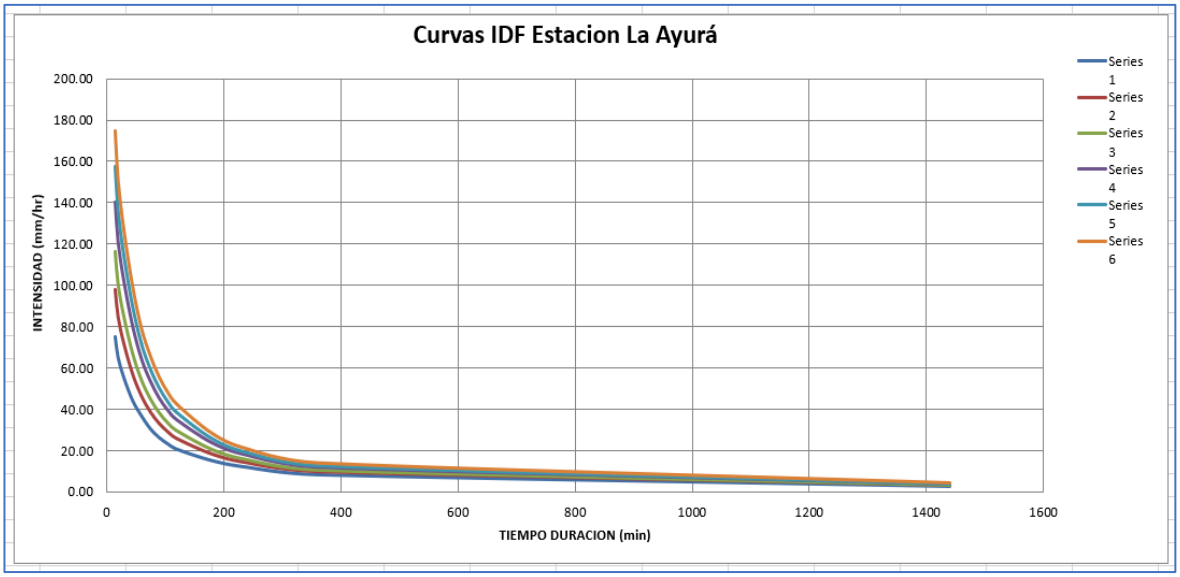


Figura N.º 9. Curvas Intensidad Duración Frecuencia estación Planta de Tratamiento La Ayurá (código 27010936).

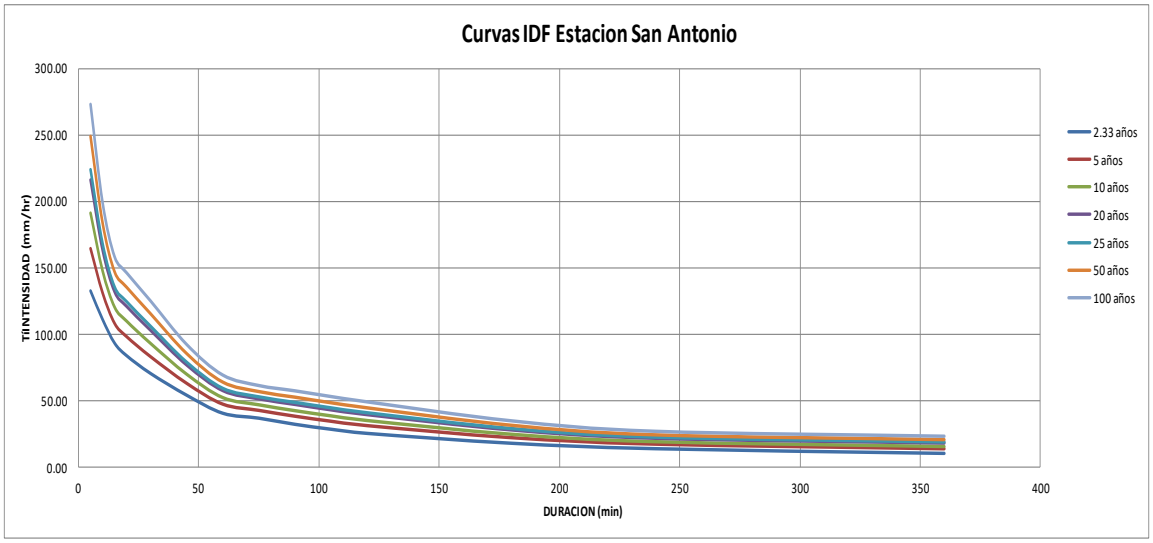


Figura N.º 10. Curvas Intensidad Duración Frecuencia estación San Antonio (código 2708038).

Tabla 8: Intensidades según la duración seleccionada y para diferentes períodos de retorno para la ponderación de las estaciones seleccionadas (Ver memorias en anexo).

Intensidades de la Estación (mm/hr)	
Duraciones TR (años)	Tc (minutos)
	24.50
2.33	70.21
5	89.53
10	105.36
25	125.05
50	139.91
100	154.35

3.5. Distribución temporal de la lluvia

La distribución espacial de la lluvia y la distribución de la lluvia en el tiempo afectan significativamente el hidrograma de respuesta de la cuenca, tanto en la forma de éste como en los valores picos de caudal resultante.

Existen varios procedimientos para la distribución de la lluvia en el tiempo, uno de ellos desarrollado por F.A. Huff para cuencas pequeñas en la USA (referencia (Huff F.A TIME Distribución Characteristics of rainfall rates: Water Res Vol 1 1970): Huff clasifica las lluvias en cuatro grupos o cuartiles de intensidades decreciente).

Después de clasificar las lluvias, se estudia la distribución porcentual del volumen (profundidad) de la lluvia a lo largo del tiempo (duración) y se generalizan sus resultados mediante curvas que representan el porcentaje acumulado de profundidad de la lluvia en función del porcentaje acumulado de tiempo. Para el diseño se acostumbra a tomar los dos primeros cuartiles, utilizar la curva del 50% (mediana) y escoger la distribución que produzca el máximo valor.

En el “estudio de precipitaciones máximas en el Valle de Aburrá”, publicado por EPM en el año 2014, se construyeron las curvas de distribución temporal con información recopilada a nivel local, siguiendo la metodología propuesta por Huff (1967). Las curvas de distribución temporal son presentadas de la misma manera que las presentó Huff, es decir, en las abscisas se presenta el % de tiempo con respecto al total de duración de la tormenta y en las ordenadas él % de la precipitación con respecto al total de la precipitación al final de la duración.

Dentro del “estudio de precipitaciones máximas en el Valle de Aburra” esta curva de distribución temporal para el cuartil 2 con duración inferior a 60 minutos, se observa en la siguiente tabla que la región comprendida entre 10% y 90% de probabilidad es relativamente estrecha, lo que garantiza que con esta gráfica se tiene muy buena representación del comportamiento de la distribución de las precipitaciones máximas en el Valle de Aburrá y el Oriente cercano, por tanto pueden ser utilizadas para la construcción de los hietogramas para la distribución de las precipitaciones.

Tabla 9. Porcentaje del total de las tormentas que predominan en cada cuartil para las duraciones inferiores a 60 minutos (tomada del "estudio de precipitaciones máximas en el Valle de Aburrá").

Duración (min)	Cuartil 1	Cuartil 2	Cuartil 3	Cuartil 4
20	19%	40%	33%	8%
30	17%	45%	32%	6%
45	32%	44%	19%	5%
60	28%	47%	17%	8%

En el presente estudio se utilizará un primer grupo con duraciones inferiores a 60 minutos para tormentas cortas, donde predomina el segundo Cuartil.

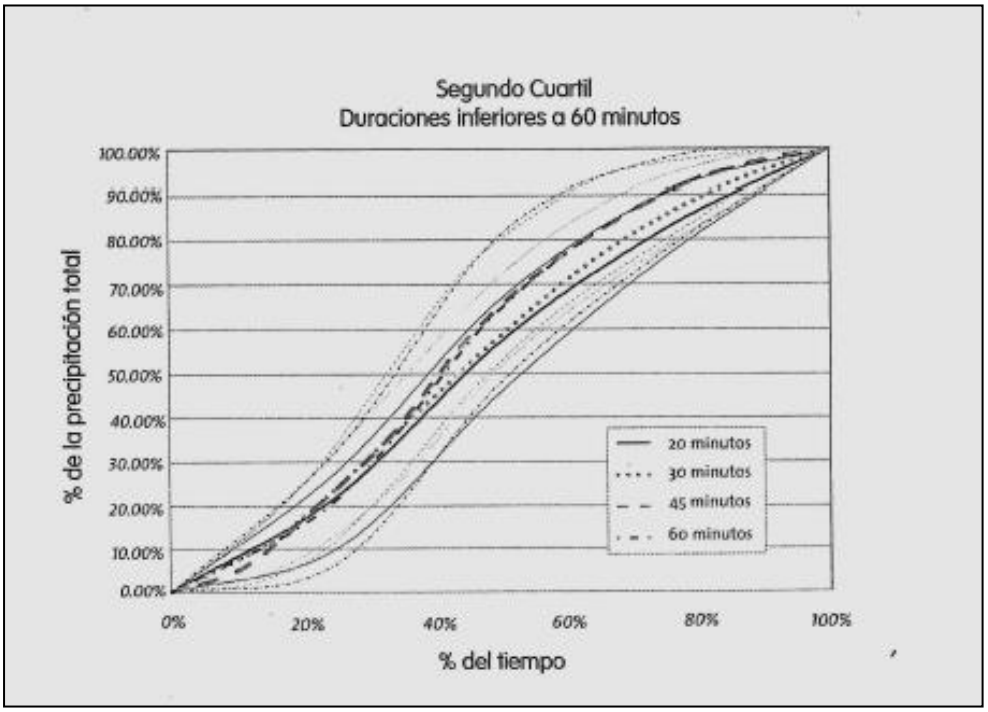


Figura N.º 11. Curvas de distribución de lluvias segundo cuartil duración inferior a 60 minutos (tomada del "estudio de precipitaciones máximas en el Valle de Aburra").

Para la elaboración del hietograma o sea la distribución de la profundidad de la lluvia en función del tiempo, se parte de la curva de intensidad- frecuencia y duración más cercana, para nuestro caso.

Se construye el hietograma para cada una de las lluvias, distribuyendo su profundidad total en el tiempo mediante los porcentajes de distribución que se obtienen de las Curvas de distribución de lluvias segundo cuartil duración inferior a 60 minutos. Ver la siguiente tabla (tabla Extraída del "estudio de precipitaciones máximas en el Valle de Aburrá, desarrollado por Héctor Pizarro, Santiago Wilches y Catalina Jaramillo y publicado por EPM en el año 2014.")

Tabla 10. Porcentaje de lluvia con respecto al tiempo quebrada afluente a la Doctora.

Lluvia de 16.02 min = (5.34 min / 16.02 min)*100% = 33%

% Tiempo	% Lluvia
33%	38
67%	72
100%	100

Lluvia de 24.5 min = (5.34 min / 24.5 min)*100% = 22%

% Tiempo	% Lluvia
22%	20
44%	47
65%	72
87%	86
100%	100

Lluvia de 26.7 min = (5.34 min / 26.7 min)*100% = 20%

% Tiempo	% Lluvia
20%	21
40%	44
60%	65
80%	84
100%	100

Lluvia de 32.04 min = (5.34 min / 32.14 min)*100% = 17%

% Tiempo	% Lluvia
17%	22
33%	37
50%	58
67%	76
83%	87
100%	100

Para más detalle se puede consultar el anexo de memorias hidrológicas.

3.6. Precipitación Efectiva.

La precipitación efectiva es la parte de la precipitación que produce escorrentía superficial directa. Existen varios métodos para determinar la parte de la precipitación total que se descuenta debido a la infiltración, evapotranspiración, etc. En este caso se empleará la metodología del SCS (Servicio de Conservación del Suelo o Soil Conservation Service).

La capacidad de infiltración del suelo depende de varios factores, tales como:

- Uso del suelo
- Tratamiento superficial a que ha sido sometido el suelo.
- Condición hidrológica del suelo: pobre sí los suelos están erosionados, buena sí los suelos están protegidos con cobertura vegetal.

Grupo hidrológico del suelo:

A : Muy permeable
B : Permeable
C : Impermeable
D : Muy impermeable

Humedad antecedente: relacionada con la cantidad de lluvia caída en la cuenca durante los 5 días precedentes. Se definen 3 grupos:

AMC I : Para suelos secos.
AMC II : Para suelos intermedios.
AMC III : Para suelos húmedos.

La precipitación efectiva se calcula por medio de las siguientes expresiones:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Ia = 0.2 x S

Donde: Pe: Precipitación efectiva (pulgadas)
P: Precipitación media sobre la cuenca (pulgadas)
S: Capacidad de almacenamiento del suelo (pulgadas)
I_a: Infiltración inicial del suelo (pulgadas)

CN: Número de curva que depende de todos los factores mencionados y se obtiene de valores tabulados como los que se presentan en la Tabla 11, 12 y 13; a estos valores obtenidos se les realiza un correctivo de acuerdo con la humedad antecedente del suelo según la Tabla14.

Las tablas fueron tomadas del libro del Manual de Drenajes para Carreteras y cuyos valores fueron adaptadas por la SCS, Soil Conservation Service de estados Unidos.

Tabla 11: *Valores CN.*

Tabla 2.14.- Número de curva de escorrentía para áreas urbanas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	% PROMEDIO ÁREAS IMPERMEABLES[1]	NUMERO DE CURVAS PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida):					
Espacios abiertos (prados, parques, campos de golf, cementerios, etc.)[2]					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
Áreas Impermeables:					
Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentados; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
Áreas desiertas urbanas:					
Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables)[3]		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales (barreras impermeables de maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg de diámetro; Cubierta de arena o grava y orillas de áreas húmedas)		96	96	96	96
Áreas urbanas:					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote:					
1/8 de acre o menos (506 m^2 o menos)	65	77	85	90	92
1/4 acre (1012 m^2)	38	61	75	83	87
1/3 acre (1350 m^2)	30	57	72	81	86
1/2 acre (2025 m^2)	25	54	70	80	85
1 acre (4050 m^2)	20	51	68	79	84
2 acre (8100 m^2)	12	46	65	77	82
Áreas urbanas desarrolladas:					
Áreas permeables conformadas (solamente áreas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Referencia: Monsalve S. Germán, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

[1]El porcentaje promedio de área impermeable muestreada fue empleado para desarrollar el conjunto de valores de CN. Otras suposiciones son las siguientes: áreas impermeables están directamente conectadas con el sistema de drenaje, áreas impermeables tienen un CN=98; y áreas permeables son consideradas equivalentes a espacios abiertos con una condición hidrológica buena.

[2]CNs mostrados son equivalentes a aquéllos de pastos. Se pueden calcular valores de CN compuestos para otras combinaciones de tipo de cobertura de espacios abiertos.

[3]Los valores de CN de áreas permeables se suponen equivalentes a arbustos de desierto con un condición hidrológica pobre.

Tabla 12: *Valores CN.*

Tabla 2.15.- Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

COBERTURA		CONDICIÓN HIDROLÓGICA	GRUPO DE SUELOS			
USO DE LA TIERRA	TRATAMIENTO O PRÁCTICA		A	B	C	D
			NÚMERO DE CURVA			
Rastrojo	Hileras Rectas	---	77	86	91	94
Cultivos en hileras	Hileras Rectas	Mala	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en[1] hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80

Referencia: Monsalve S. Germán, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

[1] Siembra tupida o al voleo.

Tabla 13: *Valores CN.*

Tabla 2.16. - Número de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas para una condición de humedad antecedente promedio AMCII e Ia=0.2S

DESCRIPCIÓN Y TIPO DE COBERTURA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMERO DE CURVA PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo[1]	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segados para heno	---	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla con la maleza como principal elemento[2]	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30[3]	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles)[4]	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques[5]	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	---	59	74	82	86

Referencia: Monsalve S. Germán, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

[1]Mala: Menos de 50% del suelo cubierto con pastoreo intensivo sin maleza
Regular: 50 a 75% del suelo cubierto y un pastoreo no muy intensivo.
Buena: más del 75% del suelo cubierto y un pastoreo ocasional a ligero.

[2]Mala: Menos del 50% del suelo cubierto.
Regular: 50 a 75% del suelo cubierto.
Buena: más del 75% del suelo cubierto.

[3]Número de curva actual menor a 30. Emplear CN=30 para cálculos de escorrentía.

[4]Los valores de CN mostrados se calcularon para áreas con 50% bosques y 50% cubiertas con pastos. Se pueden calcular otras combinaciones de CN para bosques y pastos.

[5]Mala: Humus vegetal, pequeños árboles y maleza destruida por pastoreo intensivo, y quemas regulares.
Regular: Bosques con pastoreo pero no quemados, suelo cubierto por humus vegetal.
Buena: Bosques protegidos del pastoreo, y el suelo cubierto adecuadamente por humus vegetal.

Tabla 14: *Corrección del número índice CN para condiciones de humedad AMC I y AMC II.*

CN para AMC II	**CN para AMC I**	**CN para AMC III**		**CN para AMC II**	**CN para AMC I**	**CN para AMC III**
100	**100**	**100**		63	**43**	80
99	**97**	**100**		62	**42**	**79**
98	**94**	**99**		61	**41**	78
97	**94**	**99**		60	**40**	**78**
96	**89**	**99**		59	**39**	77
95	**87**	**98**		58	**38**	**76**
94	**85**	**98**		57	**37**	75
93	**83**	**98**		56	**36**	**75**
92	**81**	**97**		55	**35**	**74**
91	**80**	**97**		54	**34**	**73**
90	78	**96**		53	**33**	**72**
89	**76**	**96**		52	**32**	**71**
88	**75**	**95**		51	**31**	**70**
87	**73**	**95**		50	**31**	**70**
86	**72**	94		49	**30**	**69**
85	**70**	**94**		48	**29**	**68**
84	**68**	**93**		47	**28**	**67**
83	**67**	**93**		46	**27**	**66**
82	**66**	**92**		45	**26**	**65**
81	**64**	92		44	**25**	**64**
80	**63**	**91**		43	**25**	**63**
79	**62**	91		42	**24**	**62**
78	**60**	90		41	**23**	**61**
77	**59**	**89**		40	**22**	**60**
76	**58**	89		39	**21**	**59**
75	**57**	**88**		38	**21**	**58**
74	**55**	**88**		37	**20**	**57**
73	**54**	87		36	**19**	**56**
72	**53**	**86**		35	**18**	**55**
71	**52**	**86**		34	**18**	**54**
70	**51**	85		33	**17**	**53**
69	**50**	84		32	**16**	**52**
68	**48**	**84**		31	**16**	**51**
67	**47**	83		30	**15**	**50**
66	**46**	82		25	**12**	**43**
65	**45**	82		20	**9**	**37**
64	**44**	81		**15**	**6**	**30**

El CN se determinó con las anteriores tablas, clasificando el uso del suelo de acuerdo con las visitas realizadas al sitio, a registros fotográficos, a las figuras satelitales y del Google Earth, y áreas predominantes de la cuenca analizada.

Para el caso de la cuenca afluente a La Sabanetica se clasificaron los usos del suelo de la siguiente forma:

Área predominante residencial	**9.79%**
Bosques naturales fragmentado y plantados	**18.33%**
Cultivos	**14.50%**
Pastizales, pastos con malezas	**41.84%**
Viviendas campestres o parcelación	**15.54%**

Con esto se tiene:

Área predominante residencial	**CN: 79**
Bosques naturales fragmentados y plantados	**CN: 55**
Cultivos	**CN: 75**
Pastizales, pastos con malezas	**CN: 61**
Viviendas campestres	**CN: 74**

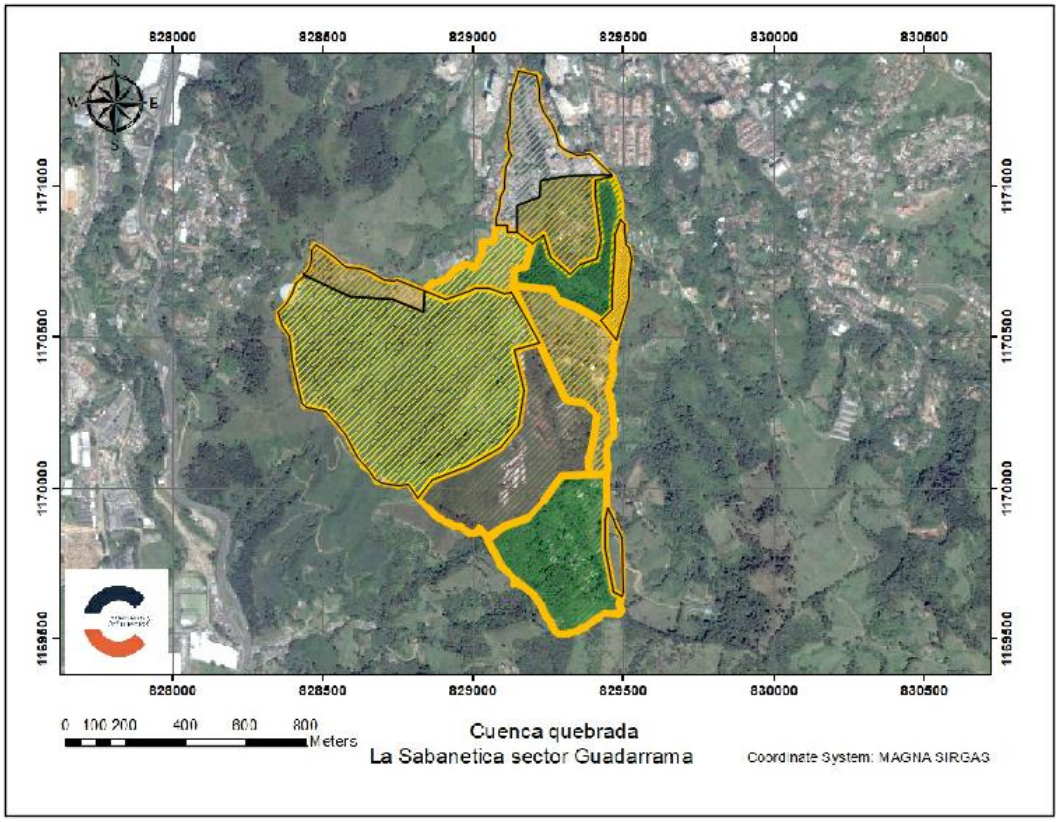


Figura N.º 12. Mapa de Usos del Suelo de la Zona de Estudio

Luego, ponderando de acuerdo con el porcentaje de área que se tiene:

CN= (0.0979x 79) + (0.1833x 55) + (0.1450x 75) + (0.4184 x 61) + (0.1554x 74) = **65.71**

Con lo que se obtiene un CN ponderado de **66** para la condición de humedad antecedente II, que al realizar la corrección por el estado de humedad antecedente III, de acuerdo con la ***Tabla 14***, se obtiene un **CN de 82**.

3.6.1. Capacidad de almacenamiento.

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

S = 2.195 pulg. = 55.75 mm

3.6.2. Infiltración inicial del suelo.

$$I_a = 0.2 \times S$$

Ia = 0.2 x 2.195 pulg. = 0.5439 pulg.
= 11.15 mm.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Con lo que la precipitación efectiva queda:

Donde: Pe(i): Precipitación efectiva acumulada hasta el período i (mm).
P(i): Precipitación total acumulada hasta el período i (mm).

Sí para algún período, Ia es mayor que P(i), entonces en ese período Pe(i) = 0
La precipitación total se obtiene como: P (i) = Pe (i) – Pe (i – 1)

3.7. Coeficiente de escorrentía.

Del agua de lluvia que cae sobre la superficie de un terreno, una parte se evapora, otra discurre por la superficie (escorrentía) y otra penetra en el terreno (infiltración). Se define como coeficiente de escorrentía C, de una superficie S, al cociente del caudal que discurre por dicha superficie, en relación con el caudal total precipitado. El coeficiente de escorrentía varía a lo largo del tiempo y es función de las características del terreno (naturaleza, vegetación, permeabilidad, inclinación, humedad inicial del suelo) y de la zona (temperatura, intensidad y duración de la precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, horas de soleamiento, dimensiones de la cuenca vertiente).

Para períodos de retorno elevados, el valor obtenido del coeficiente de escorrentía se suele incrementar en un 10% o en un 20%, según se trate respectivamente de períodos de retorno iguales a 25 ó 50 años. Este incremento nunca provocará que el coeficiente de escorrentía supere el valor de la unidad.

Se puede considerar el área total o dividir la misma en diferentes subcuencas con diferentes características. En cualquier caso, cuando se trata de una zona uniforme (sea el área total o la de una subcuenca) será necesario determinar un valor del coeficiente de escorrentía medio para la misma. Dado que puede estar formado por terrenos de diferente tipo, diferentes densidades de edificación, etc. Se calcula el coeficiente de escorrentía medio, realizando una media ponderada de los diferentes coeficientes de escorrentía de cada una de las subzonas en las que se puede dividir el área considerada. De esta forma se llega a la expresión del coeficiente de escorrentía medio C para una zona formada por diferentes subáreas Ai con diferentes coeficientes de escorrentía Ci.

Tabla 15: *Coeficientes de escorrentía – Método Racional*

BLA 15.1.1
eficientes de escorrentía para ser usados en el método racional

acterística de la superficie	Periodo de retorno (años) 2	5	10	25	50	100	500
as desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
as no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada autorización.

Se asume que el área de la cuenca está distribuida con los coeficientes de escorrentía de acuerdo con la tabla de Ven te Chow15.1.1, que se anexa de la siguiente manera:

Tabla 16: *Coeficientes de escorrentía ponderados.*

Periodo de retorno		2.33	5	10	25	50	100
Características de la superficie	% A						
Bosques con pendiente superior a 7%	18.33%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52
Pastos, condición buena	41.83%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51
Cultivos	14.50%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
Viviendas campestres	15.50%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53
Área predominante Residencial	9.79%	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95
C Ponderado		0.39	0.43	0.45	0.49	0.52	0.56

Sí bien con la metodología anterior se pueden definir unos coeficientes de escorrentía, una forma de obtener éste basado en el valor obtenido del número de Curva CN es teniendo en cuenta que el coeficiente de escorrentía C es igual a:

$C = \frac{(P-Ia)^2}{P^2-4P.Ia}$, donde

$$Ia = 0.20\ x\ S$$

$$S = (\frac{1000}{CN} - 10)$$

donde: P= tiempo x intensidad ∴ P en mm

Esto se obtiene de:
La fórmula racional que tiene la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

C: Coeficiente de escorrentía.
i: Intensidad mm/h.
A: Área de la cuenca (km2).

La fórmula racional fue desarrollada para pequeñas áreas de drenaje, pero en los últimos años se ha venido empleando en cuencas de mediano tamaño. Se plantea que esto es posible sí se pueden obtener unos adecuados coeficientes de escorrentía.

3.7.1. Formulas del Coeficiente de escorrentía.

La escorrentía superficial provocada por un aguacero (Es) puede compararse con la precipitación caída (P). Al cociente entre ambos se le denomina coeficiente de escorrentía (C).

$$C = \frac{Es}{P}$$

El coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, granizo o nieve), de su cantidad, de su intensidad, de la distribución en el tiempo, de la humedad inicial del suelo, del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, pendiente, microrelieve, rugosidad), del tipo de vegetación existente, etc. El coeficiente de escorrentía se encuentra entre 0 y 1.

Las tablas habituales para estimar el coeficiente de escorrentía hacen depender su valor únicamente del tipo de terreno y de su cobertura. En algunos casos también lo hacen depender de la pendiente y del periodo de retorno, pero casi todas se olvidan de la humedad antecedente del suelo. Una forma de tener en cuenta este factor es estableciendo una relación entre el número de curva y el coeficiente de escorrentía: Por definición el coeficiente de escorrentía es:

$$C = \frac{E_S}{P} \therefore \quad \text{E}_S = Escorrentia \qquad \text{P} = \text{Precipitacion}$$

La escorrentía superficial (Es) que genera cualquier aguacero (P), se puede cuantificar mediante el método del número de curva. Admitiendo la relación habitual Ia = 0.2 x S (Infiltración inicial). Se tiene que:

$$E_S = \frac{(P - I_a)^2}{P + 4 \cdot I_a} \rightarrow C = \frac{E_S}{P} = \frac{(P - I_a)^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot I_a}$$

Así determinando un valor adecuado para el número de curva, podemos obtener valores del coeficiente de escorrentía para cada periodo de retorno y para la precipitación correspondiente al tiempo de concentración.

De donde:

Tabla 17. Valores Capacidad de Almacenamiento e Infiltración inicial del suelo.

CN =	**82**	
Capacidad de Almacenamiento		
S =	2.195	pulg
	55.756	mm
Infiltración Inicial del Suelo		
Ia =	0.439	pulg
	11.151	mm

Realizando los cálculos para los distintos periodos de retorno se tiene.

Tabla 18. *Valores de C para diferentes periodos de retorno considerados*

Tr	tiempo	I(mm/h)	P(mm)	C
2.33	24.5	70.21	28.67	0.15
5	24.5	89.53	36.56	0.22
10	24.5	105.36	43.02	0.27
25	24.5	125.05	51.06	0.33
50	24.5	139.91	57.13	0.36
100	24.5	154.35	63.03	0.40

Es de anotar que la aplicación del método Racional se hará de forma directa, debido a que el coeficiente obtenido viene de un número de curva ponderado.

3.8. Métodos para la determinación de crecientes de diseño.

Los métodos utilizados para determinar las crecientes de diseño fueron los siguientes:

- MÉTODO DE SNYDER – CALIBRACIÓN INTEGRAL
- MÉTODO DE SNYDER – CALIBRACIÓN AEI
- MÉTODO DE SNYDER – CALIBRACIÓN CUHP1
- MÉTODO DE SNYDER – CALIBRACIÓN CUHP2
- METODO RACIONAL C EN FUNCTION DE CN
- METODO RACIONAL AUSTIN TEXAS
- WILLIAM Y HANN

Ver los resultados obtenidos para cada uno de los métodos utilizados en los anexos la final del informe.

3.9. Selección del caudal de diseño.

3.9.1. Resultados de caudales pico.

En la siguiente Tabla se presenta un resumen de los caudales pico obtenidos por las diferentes metodologías empleadas.

Tabla 19: *Caudales picos obtenidos por diferentes metodologías.*

MÉTODO	***CAUDAL (m^3/s)***						
	Tr(años)	**2.33**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
Snyder - integral		0.382	0.73	1.06	1.52	1.89	2.28
Snyder AEI		1.25	2.38	3.46	4.97	6.21	7.47
Snyder CUHP 1		1.79	3.41	4.97	7.13	8.90	10.71
Snyder CUHP 2		1.13	2.15	3.14	4.50	5.62	6.76
Racional en función de CN		3.13	5.94	8.65	12.43	15.52	18.68
Racional Austin Texas		8.40	9.91	12.40	16.04	19.07	22.61
Williams y Han		4.03	6.82	9.44	13.27	16.32	19.41
Se eligió hacer el promedio de los métodos Racional en función de CN y Williams y Hann							
Caudal de Diseño		**3.58**	**6.38**	**9.05**	**12.85**	**15.92**	**19.05**

3.9.2. Selección del caudal para diseño hidráulico.

De acuerdo con las observaciones hechas en el numeral anterior, podemos decir que:

- Los caudales más pequeños para cada período de retorno son los obtenidos con las diferentes calibraciones que se han realizado para el método de Snyder en los diferentes estudios. A pesar de haberse realizado un análisis de sensibilidad con diferentes valores de Cp y Ct calibrados por diferentes entidades regionales o extranjeras, se encontró que los estimativos del caudal pico son sensibles a la variación de estos parámetros.
- Los caudales obtenidos para cada período de retorno por los métodos Racional Austin Texas, Racional en función de C y Williams y Hann para la cuenca son los más altos.
- En el estudio hidrológico realizados dentro del contrato N.254 de 2006 entre la empresa Ingedelta y el municipio de Sabaneta convenio interadministrativo N.309 de 2005 con el Área Metropolitana del Valle de Aburra cuyo objeto fue "Estudios hidrológicos e hidráulicos de cinco quebradas en diferentes sitios de las mismas y diseño de las obras de protección para la estabilización de taludes en la zona urbana del municipio de Sabaneta, presentado al AREA METROPOLITANA, el estudio se determinó un caudal de diseño de 24.23 m^3/s para la quebrada la Sabanetica correspondiente a un periodo de retorno de 100 años y a un área de 2.03 Km^2, caudal determinado hasta la confluencia con la quebrada La Doctora.
- Con el fin de realizar una comparación de los caudales obtenidos en este estudio y el obtenido de acuerdo con el informe contrato N.254 de 2006 entre la empresa Ingedelta y el municipio de Sabaneta convenio interadministrativo N.309 de 2005 con el Área Metropolitana del Valle de Aburra, se realizará una verificación mediante un escalamiento simple en función del área de drenaje y poder definir nuestro caudal de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 100 años. Para esto se aplica la siguiente teoría:

- El área de la cuenca se relaciona con el caudal así:
- $Q = CA^n$
- Donde C y n, se relacionan con la cuenca de análisis. Según Leopold (1964), "n" varía entre 0.65 y 0.80, con un valor promedio de 0.75; en zonas húmedas "n" tiende a la unidad, pero en zonas secas "n" disminuye. johnston y Croo (En Eagleson, 1970) consideran que si dos cuencas hidráulicamente similares en todos sus aspectos, se cumple la relación:
- $\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\frac{1}{2}}$
- En el capítulo 2 hidrología de drenaje del Manual de Drenaje para Carreteras del Instituto Nacional de Vías en el numeral 2.5.2 se habla también de la relación de áreas para poder transferir el valor de un caudal dentro de la misma hoya hidrográfica a otra ubicación, mediante la fórmula:
- $Q_{sp} = Q_{EH}\ x\ \left({}^{A_{SP}}/_{A_{EH}}\right)^x$
- Donde
- Q_{SP} caudal en el sitio de proyecto, m3/s
- A_{SP} Área hoya hidrográfica hasta el sitio de proyecto, Km2
- A_{EH} Área hoya hidrográfica hasta la estación hidrométrica, Km2
- Q_{EH} caudal en la estación hidrométrica, m3/s
- El exponente x es un valor que fluctúa usualmente entre 0.5 y 0.75. Nosotros tomaremos el valor promedio del análisis anterior, es decir 0.75.
- La misma metodología se puede aplicar para hoyas hidrográficas que sean hidrológica y climatológicamente homogéneas.
- Para un Q1, es un caudal conocido para un A1 conocido, y A2, el área de drenaje de la cuenca a la cual se requiere estimar el caudal Q2.
- Para nuestro caso tomaremos el área de la cuenca de la quebrada La Sabanetica hasta antes de la confluencia con la quebrada la Doctora que es de A1=2.03 Km2 y el caudal para el periodo de retorno de 100 años que es Q1=24.23 m3/s obtenido dentro del estudio del contrato N.254 de 2006 entre la empresa Ingedelta y el municipio de Sabaneta convenio interadministrativo N.309 de 2005 con el Área Metropolitana del Valle de Aburra cuyo objeto fue “Estudios hidrológicos e hidráulicos de cinco quebradas en diferentes sitios de las mismas y diseño de las obras de protección para la estabilización de taludes en la zona urbana del municipio de Sabaneta, presentado al AREA METROPOLITANA, y hallaremos el caudal Q2 para la otra área y para el periodos de retorno de 100 años, así:
- Calcularemos el caudal para el área A2= 1.098452 Km2 en el punto de estudio para el nuevo puente de Ciudad de Este, correspondiente al área de la figura achurada de color amarillo, de donde se obtendrá el caudal Q2.
- $\frac{24.23}{Q_2} = \left(\frac{2.03}{1.098452}\right)^{0.75} \rightarrow$ Q2 = 15.29 m^3/s.

- En el estudio hidrológico realizado en este mismo sitio en el año 2017, en el Sector Cañaveralejo-Quintas de Guadarrama de la quebrada La Sabanetica donde se proyectó la construcción de un box culvert que sirva de cruce la quebrada de quebrada, se ha obtenido un caudal del 17.52 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años.

- El caudal determinado por ambos estudios es menor al calculado en este estudio, esto puede obedecer que el estudio es del año 2006 y 2017 las características morfológicas de la quebrada han variado., el nivel de construcción de edificaciones ha aumentado considerablemente. Una vez analizada la información consultada y los cálculos realizados por los distintos métodos, se determinó que para la modelación hidráulica en el Sector de Guadarrama de la quebrada La Sabanetica donde se proyecta la construcción de un box culvert en el cruce de la calle 77 D sur, y el muro de gaviones aguas arriba del sitio de cruce para proteger las edificaciones a, se tomara los caudales estimados dentro de este informe en el sitio localizado en el Sector de Guadarrama zona urbana del municipio de Sabaneta, en donde se ha obtenido un caudal del 19.05 m^3/s para un periodo de retorno de 100 años, este valor presenta un caudal más conservador, lo que servirá para la proyección de obra más segura

El caudal determinado es menor al calculado en este estudio, esto puede obedecer que el estudio es del año 2006 y las características morfológicas de la quebrada han variado. Una vez analizada la información consultada y los cálculos realizados por los distintos métodos, se determinó que para la modelación hidráulica en el punto de cruce en el tramo de estudio se eligió hacer el promedio de los métodos Racional en función de CN y Williams y Hann, en donde se ha obtenido los siguientes caudales.

Periodo de retorno	**2.33**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
Caudal de Diseño	**3.58**	**6.38**	**9.05**	**12.85**	**15.92**	**19.05**

Estos valores presentan unos caudales más conservadores, lo que servirá para la proyección de obras más seguras.

4. MODELACION HIDRÁULICA.

4.1. Modelación Hidráulica Condiciones Actuales.

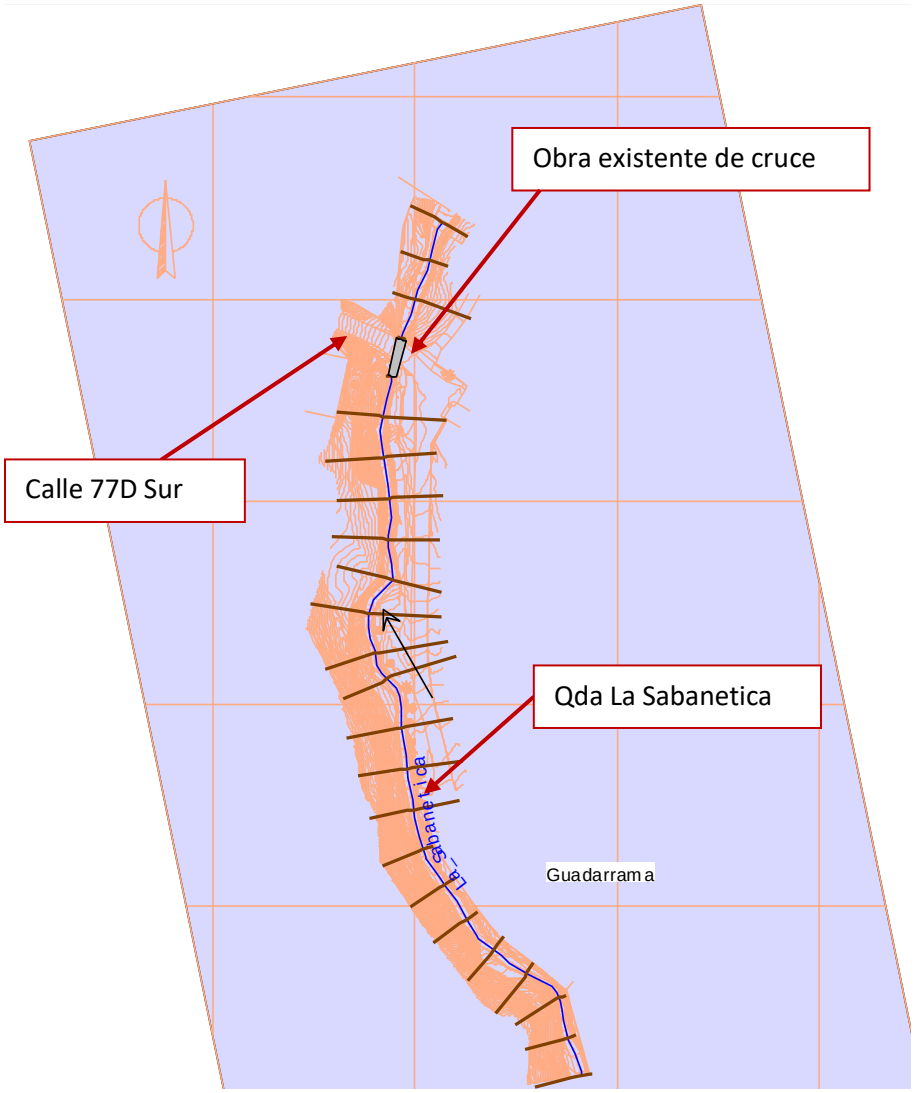


Figura N.º 13. *Planta del tramo de estudio de la quebrada la Sabanetica sector Guadarrama*
(Imagen extraída de la Modelación hidráulica mediante el software HEC-RAS)

Este estudio es realizado básicamente para solicitar el inicio de los trámites de ocupación de cauce de unas obras en la quebrada La Sabanetica sector Guadarrama del municipio de Sabaneta.

Se realizará una modelación para el tramo de la quebrada considerando unas crecientes con un periodo de retorno de 2.33, 5, 10, 25 50, de 100 años y 100 años mayorado. Con la modelación se pretende determinar los niveles máximos del agua en el canal natural y en la estructura existente, verificando el comportamiento hidráulico de la quebrada.

Se modelará el cauce con la topografía real (actual) del cauce aguas arriba y abajo del sitio de estudio sobre la quebrada. Para la modelación hidráulica se empleará el programa HEC RAS, programa sencillo y de fácil manejo que permite visualizar el comportamiento del flujo para el evento y condiciones de flujo considerado.

4.1.1. Condiciones de Frontera para Modelación Hidráulica.

Los cálculos hidráulicos se realizarán con el programa conocido en el medio denominado el HEC–RAS, éste es un software del centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, que urge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC 2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que se destaca la interfase gráfica de usuario que facilita las labores del proceso y postproceso.

El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre. El procedimiento de cómputo básico está basado en la solución de la ecuación de energía unidimensional, las pérdidas de energía son valoradas por la fricción, la contracción y la expansión. La ecuación de velocidad es usada en situaciones donde los perfiles de agua superficiales varían rápidamente.

Los caudales para la modelación del tramo serán los que se presentan en la tabla siguiente:

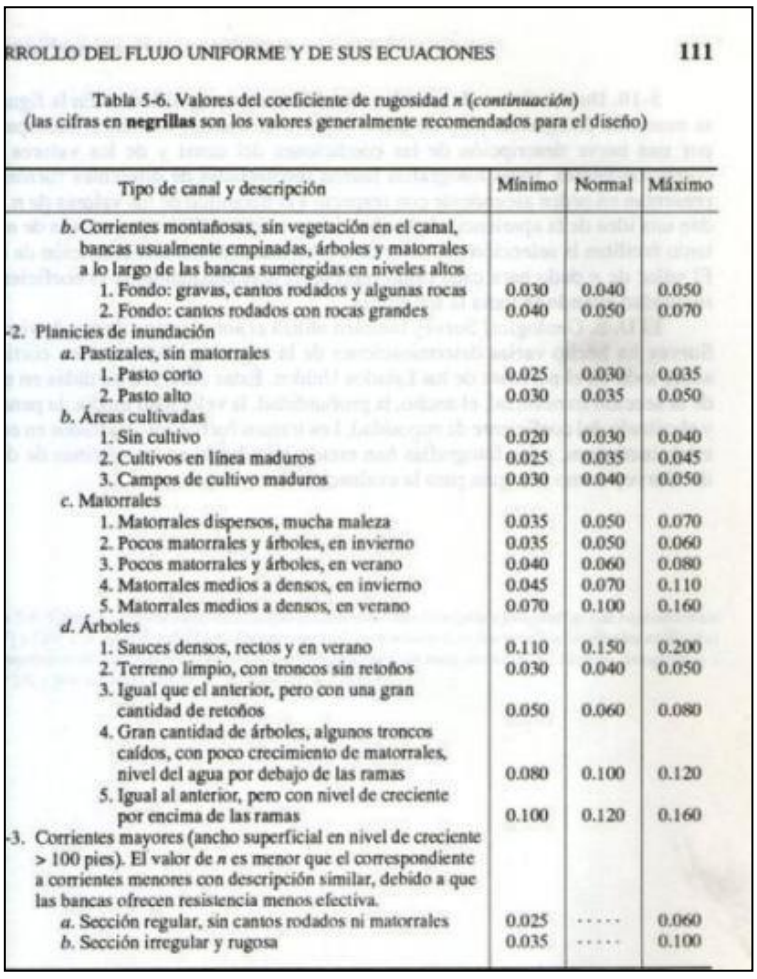
Tabla 20: *Caudales seleccionados para la Modelación – Condiciones Actuales.*

Periodo de Retorno (años)	***Caudal (m^3/s)***
2.33	3.58
5	6.38
10	9.05
25	12.85
50	15.92
100 años mayorado por 1.4	26.67

4.1.2. Rugosidad de Manning (n).

Para determinar el coeficiente de Manning, es usado el método de Comparación con cauces similares a los que ya se les definió el coeficiente de Manning. En la literatura o algunos textos como el de "Hidrología de Antioquia" del Departamento de Antioquia y el de "Hidráulica de Canales Abiertos" de Ven Te Chow, se encuentran los valores de coeficientes de Manning. Sin embargo, de acuerdo con esta metodología de comparación para el tramo del cauce que se tiene correspondiente a corrientes montañosas con cantos rodados y con rocas en el fondo, se puede considerar un coeficiente de Manning entre 0.030 y 0.050 (ver tabla 5.6 del Libro de Ven Te Chow).

Tabla 21: *Valores del Coeficiente de Rugosidad* ***(tomado de la tabla 5.6 del Libro de Hidráulica de Canales Abiertos de Ven Te Chow).***



RROLLO DEL FLUJO UNIFORME Y DE SUS ECUACIONES 111

Tabla 5-6. Valores del coeficiente de rugosidad *n* (*continuación*)
(las cifras en **negrillas** son los valores generalmente recomendados para el diseño)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
-2. Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d. Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de *n* es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	.....	0.060
b. Sección irregular y rugosa	0.035	.....	0.100

Una vez analizada la información de ambos textos, el de "Hidrología de Antioquia" del Departamento de Antioquia y el de "Hidráulica de Canales Abiertos" de Ven Te Chow, se encuentran que el *Manning a utilizar para el fondo de la quebrada será de 0.033* y para las *llanuras de inundación constituida con pastos será de 0.028*, valores tomados del libro de "Hidráulica de Canales Abiertos" de Ven Te Chow.

4.1.3. Coeficientes de expansión y contracción.

Para efectos del presente estudio se considera coeficientes de expansión y contracción de 0.10 y 0.30 respectivamente para el canal natural, coeficientes sugeridos por el programa.

4.1.4. Condiciones de frontera del modelamiento.

El modelamiento se realizó considerando las siguientes condiciones:

- Se considerará la condición de borde correspondiente a la profundidad normal en el tramo analizado, realizando simulación con régimen Mixto.
- Rugosidades 0.028 en las márgenes, 0.033 en el fondo del lecho, estructuras de concreto 0.015
- Coeficientes de expansión y contracción 0.10 y 0.30, respectivamente en el canal natural.
- Perfiles de flujo estimados para la condición existente. El análisis se contó con 40 secciones aguas arriba y aguas abajo del sitio cruce existente con la vía, lo cual represento las condiciones topográficas en una longitud de la quebrada analizada.

Ver los resultados de la modelación en las páginas siguientes.

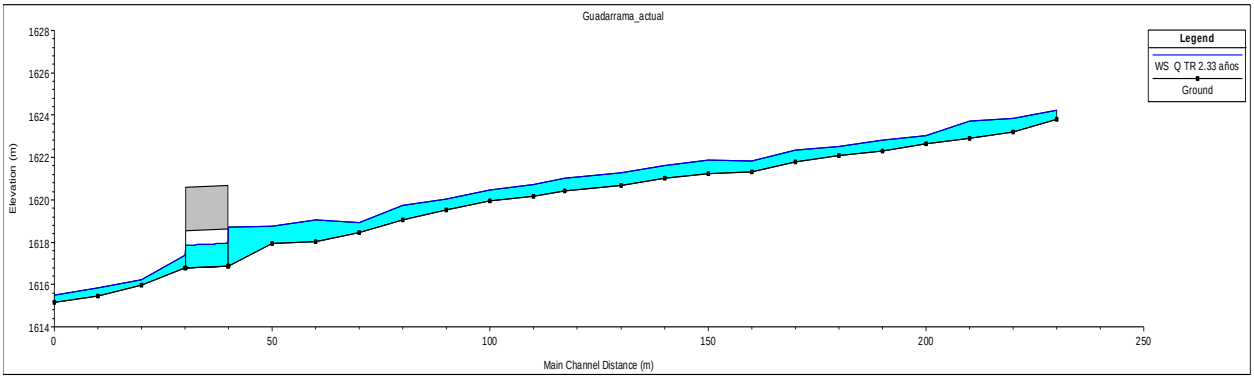


Figura N.º 14. *Perfil Condiciones actuales, Tr 2.33 años.*

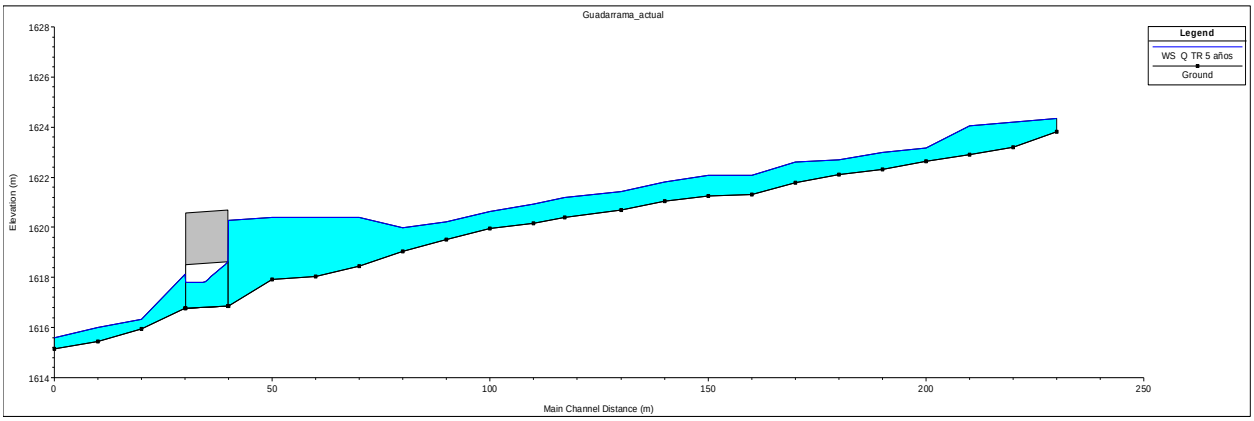


Figura N.º 15. *Perfil Condiciones actuales, Tr 5 años.*

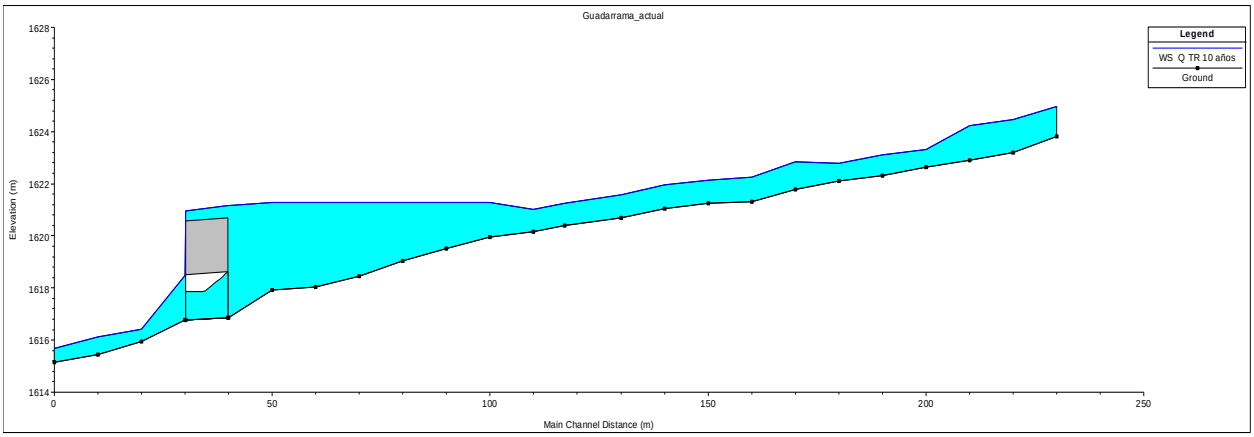


Figura N.º 16. *Perfil Condiciones actuales, 10 años.*

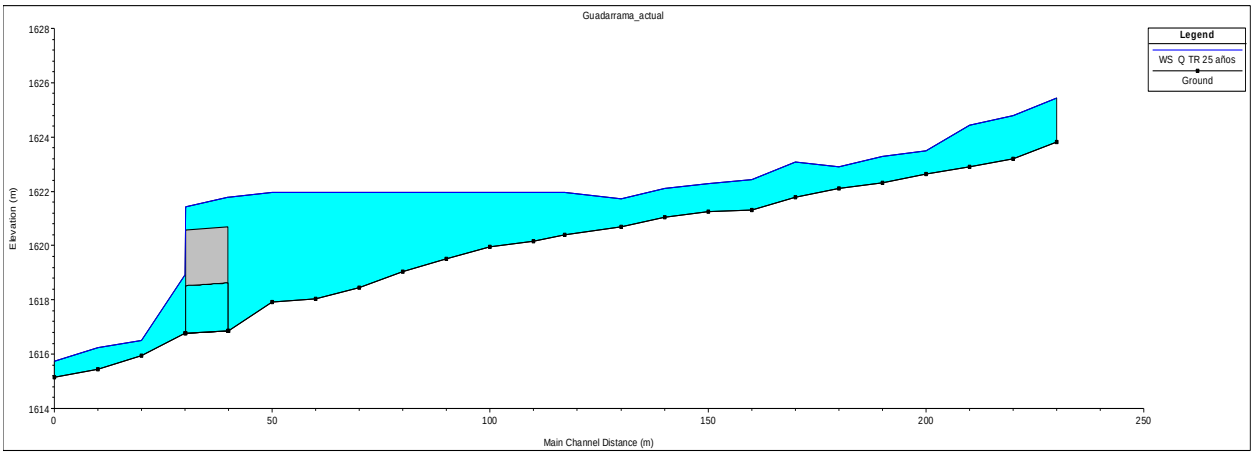


Figura N.º 17. *Perfil Condiciones actuales, Tr 25 años.*

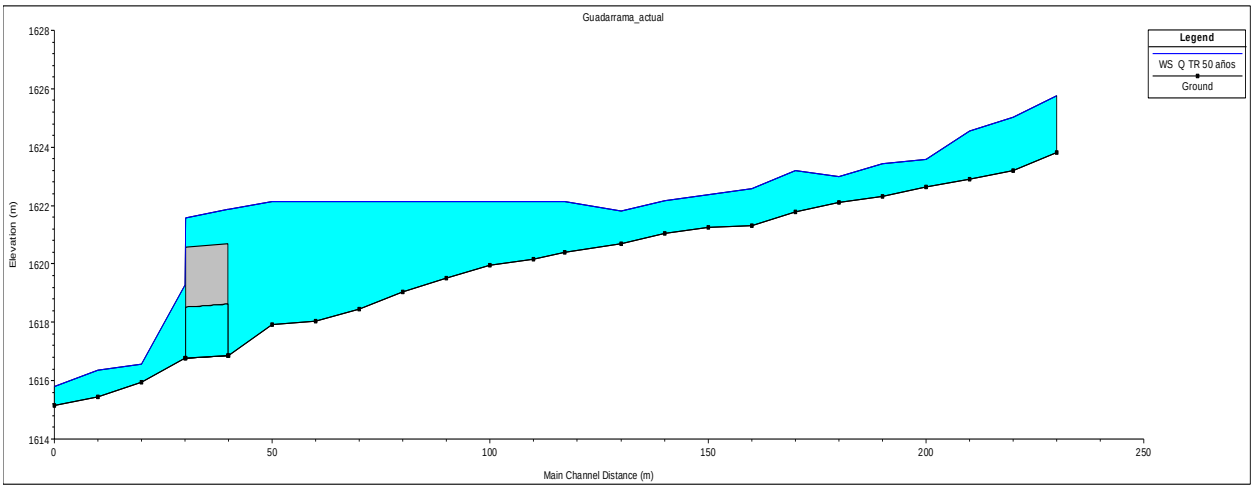


Figura N.º 18. *Perfil Condiciones actuales, Tr 50 años.*

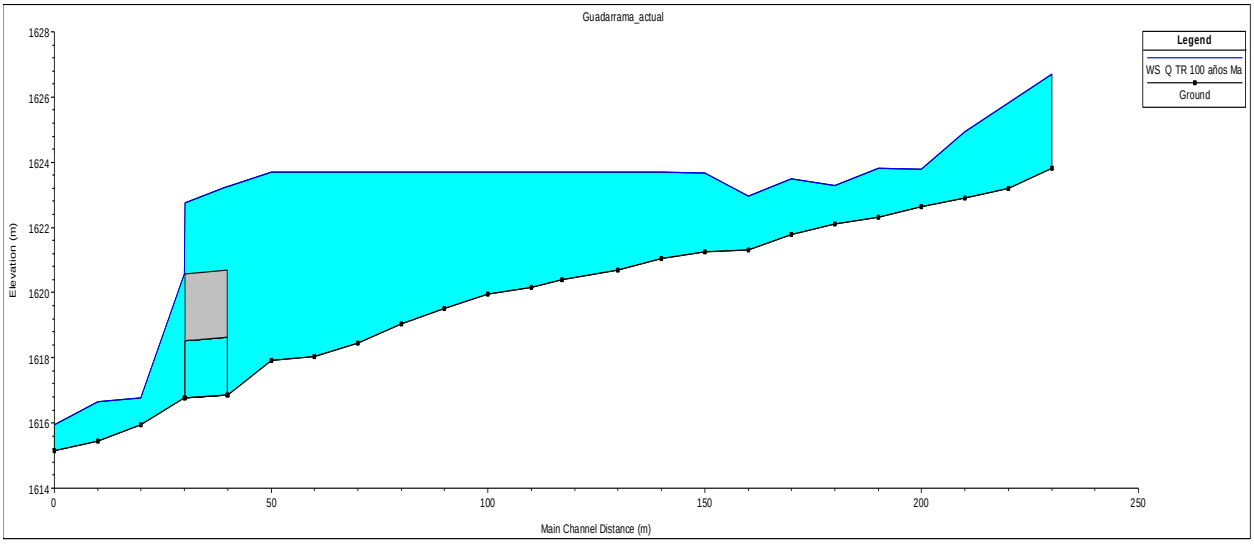


Figura N.º 19. *Perfil Condiciones actuales, Tr 100 años mayorado.*

Tabla 22. *Resultados Condiciones Actuales.*

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Guadarrama	23	Q TR 2.33 años	3.5800	1623.82	1624.22	1624.30	1624.54	0.029987	2.50	1.45	4.42	1.38
Guadarrama	23	Q TR 5 años	6.3800	1623.82	1624.36	1624.49	1624.86	0.030057	3.15	2.06	4.59	1.47
Guadarrama	23	Q TR 10 años	9.0500	1623.82	1624.97	1624.65	1625.15	0.003497	1.88	5.09	5.15	0.58
Guadarrama	23	Q TR 25 años	12.8500	1623.82	1625.43	1624.85	1625.59	0.002102	1.84	7.61	5.96	0.47
Guadarrama	23	Q TR 50 años	15.9200	1623.82	1625.76	1624.99	1625.92	0.001609	1.83	9.68	6.49	0.43
Guadarrama	23	Q TR 100 años Ma	26.6700	1623.82	1626.71	1625.45	1626.87	0.000995	1.90	16.41	7.50	0.36
Guadarrama	22	Q TR 2.33 años	3.5800	1623.19	1623.83	1623.93	1624.27	0.021337	2.95	1.24	2.34	1.26
Guadarrama	22	Q TR 5 años	6.3800	1623.19	1624.21	1624.23	1624.69	0.011825	3.10	2.16	2.52	1.02
Guadarrama	22	Q TR 10 años	9.0500	1623.19	1624.48	1624.48	1625.05	0.010185	3.40	2.85	2.65	0.99
Guadarrama	22	Q TR 25 años	12.8500	1623.19	1624.78	1624.78	1625.50	0.009399	3.81	3.69	2.79	0.99
Guadarrama	22	Q TR 50 años	15.9200	1623.19	1625.01	1625.01	1625.82	0.008962	4.08	4.33	2.90	0.99
Guadarrama	22	Q TR 100 años Ma	26.6700	1623.19	1625.82	1625.82	1626.77	0.006481	4.48	7.09	4.48	0.90
Guadarrama	21	Q TR 2.33 años	3.5800	1622.90	1623.72	1623.73	1624.10	0.013814	2.77	1.36	2.07	1.02
Guadarrama	21	Q TR 5 años	6.3800	1622.90	1624.04	1624.12	1624.57	0.012341	3.31	2.16	2.82	1.02
Guadarrama	21	Q TR 10 años	9.0500	1622.90	1624.22	1624.38	1624.92	0.013655	3.87	2.71	3.17	1.10
Guadarrama	21	Q TR 25 años	12.8500	1622.90	1624.42	1624.68	1625.36	0.015399	4.54	3.39	3.56	1.20
Guadarrama	21	Q TR 50 años	15.9200	1622.90	1624.55	1624.91	1625.67	0.016805	5.03	3.87	3.81	1.27
Guadarrama	21	Q TR 100 años Ma	26.6700	1622.90	1624.92	1625.44	1626.59	0.020130	6.32	5.41	4.49	1.44
Guadarrama	20	Q TR 2.33 años	3.5800	1622.65	1623.02	1623.24	1623.79	0.076970	3.91	0.93	3.04	2.20
Guadarrama	20	Q TR 5 años	6.3800	1622.65	1623.17	1623.57	1624.27	0.065524	4.68	1.41	3.17	2.17
Guadarrama	20	Q TR 10 años	9.0500	1622.65	1623.31	1623.73	1624.62	0.056444	5.13	1.84	3.28	2.10
Guadarrama	20	Q TR 25 años	12.8500	1622.65	1623.48	1623.92	1625.04	0.048375	5.62	2.49	5.39	2.03
Guadarrama	20	Q TR 50 años	15.9200	1622.65	1623.56	1624.06	1625.34	0.049491	6.08	2.96	5.74	2.09
Guadarrama	20	Q TR 100 años Ma	26.6700	1622.65	1623.78	1624.43	1626.21	0.053581	7.36	4.28	6.27	2.25
Guadarrama	19	Q TR 2.33 años	3.5800	1622.32	1622.83	1622.93	1623.24	0.028379	2.87	1.27	2.93	1.35
Guadarrama	19	Q TR 5 años	6.3800	1622.32	1622.99	1623.19	1623.70	0.033213	3.77	1.74	3.06	1.54
Guadarrama	19	Q TR 10 años	9.0500	1622.32	1623.12	1623.40	1624.07	0.034488	4.38	2.15	3.17	1.62
Guadarrama	19	Q TR 25 años	12.8500	1622.32	1623.28	1623.71	1624.54	0.035117	5.04	2.69	3.32	1.69
Guadarrama	19	Q TR 50 años	15.9200	1622.32	1623.43	1623.91	1624.84	0.032413	5.35	3.18	3.59	1.66
Guadarrama	19	Q TR 100 años Ma	26.6700	1622.32	1623.82	1624.41	1625.65	0.028815	6.22	4.85	4.96	1.65
Guadarrama	18	Q TR 2.33 años	3.5800	1622.09	1622.53	1622.65	1622.94	0.031965	2.84	1.29	3.42	1.43
Guadarrama	18	Q TR 5 años	6.3800	1622.09	1622.68	1622.88	1623.33	0.036902	3.63	1.81	3.69	1.59
Guadarrama	18	Q TR 10 años	9.0500	1622.09	1622.78	1623.06	1623.67	0.041923	4.26	2.20	3.89	1.72
Guadarrama	18	Q TR 25 años	12.8500	1622.09	1622.90	1623.29	1624.13	0.047888	5.02	2.67	4.10	1.87
Guadarrama	18	Q TR 50 años	15.9200	1622.09	1622.99	1623.49	1624.44	0.048599	5.47	3.05	4.32	1.92
Guadarrama	18	Q TR 100 años Ma	26.6700	1622.09	1623.29	1623.89	1625.27	0.045559	6.49	4.44	5.09	1.96
Guadarrama	17	Q TR 2.33 años	3.5800	1621.78	1622.33	1622.39	1622.68	0.018801	2.64	1.39	2.88	1.18
Guadarrama	17	Q TR 5 años	6.3800	1621.78	1622.61	1622.66	1623.06	0.013595	3.01	2.23	3.07	1.08
Guadarrama	17	Q TR 10 años	9.0500	1621.78	1622.86	1622.87	1623.37	0.010874	3.22	3.00	3.25	1.01
Guadarrama	17	Q TR 25 años	12.8500	1621.78	1623.07	1623.21	1623.76	0.011420	3.74	3.73	3.71	1.07
Guadarrama	17	Q TR 50 años	15.9200	1621.78	1623.18	1623.43	1624.04	0.012796	4.20	4.23	4.86	1.15
Guadarrama	17	Q TR 100 años Ma	26.6700	1621.78	1623.49	1623.87	1624.83	0.016119	5.39	5.89	5.62	1.33
Guadarrama	16	Q TR 2.33 años	3.5800	1621.31	1621.85	1622.01	1622.41	0.034925	3.36	1.11	2.58	1.56
Guadarrama	16	Q TR 5 años	6.3800	1621.31	1622.08	1622.36	1622.84	0.028601	3.95	1.72	2.84	1.51
Guadarrama	16	Q TR 10 años	9.0500	1621.31	1622.26	1622.54	1623.17	0.025415	4.35	2.28	3.36	1.48
Guadarrama	16	Q TR 25 años	12.8500	1621.31	1622.44	1622.76	1623.55	0.024788	4.88	3.01	4.03	1.51
Guadarrama	16	Q TR 50 años	15.9200	1621.31	1622.57	1622.94	1623.82	0.024875	5.25	3.50	4.07	1.54
Guadarrama	16	Q TR 100 años Ma	26.6700	1621.31	1622.97	1623.48	1624.61	0.022926	6.11	5.18	4.56	1.55

Tabla 23.*Continuación Resultados Condiciones Actuales.*

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Guadarrama	15	Q TR 2.33 años	3.5800	1621.25	1621.90	1621.90	1622.15	0.015156	2.25	1.61	3.27	0.98
Guadarrama	15	Q TR 5 años	6.3800	1621.25	1622.07	1622.15	1622.51	0.019689	2.96	2.22	3.73	1.15
Guadarrama	15	Q TR 10 años	9.0500	1621.25	1622.14	1622.34	1622.84	0.027696	3.74	2.50	3.89	1.38
Guadarrama	15	Q TR 25 años	12.8500	1621.25	1622.28	1622.69	1623.23	0.030629	4.40	3.05	4.16	1.49
Guadarrama	15	Q TR 50 años	15.9200	1621.25	1622.39	1622.77	1623.50	0.031386	4.80	3.50	4.90	1.54
Guadarrama	15	Q TR 100 años Ma	26.6700	1621.25	1623.67	1622.97	1623.75	0.000931	1.44	22.17	16.14	0.30
Guadarrama	14.5	Q TR 2.33 años	3.5800	1621.04	1621.60	1621.68	1621.96	0.024124	2.64	1.37	3.14	1.22
Guadarrama	14.5	Q TR 5 años	6.3800	1621.04	1621.82	1621.95	1622.30	0.020475	3.13	2.14	3.95	1.20
Guadarrama	14.5	Q TR 10 años	9.0500	1621.04	1621.96	1622.28	1622.58	0.021202	3.59	2.70	4.24	1.26
Guadarrama	14.5	Q TR 25 años	12.8500	1621.04	1622.10	1622.37	1622.93	0.023455	4.20	3.48	7.42	1.36
Guadarrama	14.5	Q TR 50 años	15.9200	1621.04	1622.16	1622.51	1623.18	0.027415	4.72	3.96	9.59	1.48
Guadarrama	14.5	Q TR 100 años Ma	26.6700	1621.04	1623.69		1623.73	0.000410	1.06	29.86	18.68	0.21
Guadarrama	14	Q TR 2.33 años	3.5800	1620.69	1621.28	1621.41	1621.70	0.025112	2.97	1.31	3.56	1.31
Guadarrama	14	Q TR 5 años	6.3800	1620.69	1621.44	1621.63	1622.06	0.026325	3.66	1.96	4.14	1.41
Guadarrama	14	Q TR 10 años	9.0500	1620.69	1621.57	1621.91	1622.33	0.026769	4.12	2.49	4.40	1.46
Guadarrama	14	Q TR 25 años	12.8500	1620.69	1621.71	1622.06	1622.66	0.027612	4.67	3.20	5.45	1.52
Guadarrama	14	Q TR 50 años	15.9200	1620.69	1621.81	1622.12	1622.90	0.028026	5.03	3.88	9.35	1.56
Guadarrama	14	Q TR 100 años Ma	26.6700	1620.69	1623.69		1623.72	0.000239	0.92	35.38	18.88	0.17
Guadarrama	13	Q TR 2.33 años	3.5800	1620.41	1621.02	1621.21	1621.38	0.022551	2.66	1.37	3.09	1.21
Guadarrama	13	Q TR 5 años	6.3800	1620.41	1621.19	1621.37	1621.70	0.023820	3.31	2.26	9.32	1.31
Guadarrama	13	Q TR 10 años	9.0500	1620.41	1621.25	1621.45	1621.94	0.030334	3.96	2.89	11.96	1.50
Guadarrama	13	Q TR 25 años	12.8500	1620.41	1621.95	1621.54	1621.99	0.000784	1.01	16.18	21.54	0.27
Guadarrama	13	Q TR 50 años	15.9200	1620.41	1622.14	1621.63	1622.17	0.000606	0.96	20.20	22.09	0.24
Guadarrama	13	Q TR 100 años Ma	26.6700	1620.41	1623.70		1623.71	0.000071	0.52	56.04	24.02	0.09
Guadarrama	12	Q TR 2.33 años	3.5800	1620.17	1620.73	1620.86	1621.18	0.032275	2.97	1.22	3.05	1.42
Guadarrama	12	Q TR 5 años	6.3800	1620.17	1620.93	1621.16	1621.52	0.026933	3.47	2.05	8.83	1.38
Guadarrama	12	Q TR 10 años	9.0500	1620.17	1621.01	1621.24	1621.72	0.030121	3.97	2.84	10.59	1.49
Guadarrama	12	Q TR 25 años	12.8500	1620.17	1621.96		1621.98	0.000351	0.75	20.92	21.75	0.18
Guadarrama	12	Q TR 50 años	15.9200	1620.17	1622.14		1622.17	0.000311	0.76	24.92	22.00	0.18
Guadarrama	12	Q TR 100 años Ma	26.6700	1620.17	1623.70		1623.71	0.000054	0.47	60.84	23.99	0.08
Guadarrama	11	Q TR 2.33 años	3.5800	1619.96	1620.48	1620.63	1620.87	0.026610	2.84	1.34	3.64	1.35
Guadarrama	11	Q TR 5 años	6.3800	1619.96	1620.62	1620.77	1621.23	0.030134	3.63	2.04	6.38	1.50
Guadarrama	11	Q TR 10 años	9.0500	1619.96	1621.28	1620.96	1621.31	0.000938	1.05	11.77	19.89	0.30
Guadarrama	11	Q TR 25 años	12.8500	1619.96	1621.96		1621.98	0.000165	0.59	25.56	20.26	0.14
Guadarrama	11	Q TR 50 años	15.9200	1619.96	1622.15		1622.16	0.000165	0.63	29.26	20.38	0.14
Guadarrama	11	Q TR 100 años Ma	26.6700	1619.96	1623.70		1623.71	0.000045	0.47	62.33	22.38	0.08
Guadarrama	10	Q TR 2.33 años	3.5800	1619.52	1620.02	1620.17	1620.54	0.038696	3.27	1.15	3.09	1.63
Guadarrama	10	Q TR 5 años	6.3800	1619.52	1620.21	1620.49	1620.91	0.031436	3.83	1.78	3.37	1.57
Guadarrama	10	Q TR 10 años	9.0500	1619.52	1621.28		1621.30	0.000295	0.73	15.51	14.51	0.18
Guadarrama	10	Q TR 25 años	12.8500	1619.52	1621.96		1621.98	0.000127	0.60	25.38	14.59	0.13
Guadarrama	10	Q TR 50 años	15.9200	1619.52	1622.14		1622.16	0.000143	0.67	28.02	14.62	0.13
Guadarrama	10	Q TR 100 años Ma	26.6700	1619.52	1623.70		1623.71	0.000063	0.61	52.25	19.17	0.10
Guadarrama	9	Q TR 2.33 años	3.5800	1619.03	1619.73	1619.86	1620.18	0.028788	3.01	1.22	2.40	1.24
Guadarrama	9	Q TR 5 años	6.3800	1619.03	1619.97	1620.22	1620.59	0.028480	3.58	1.87	3.00	1.27
Guadarrama	9	Q TR 10 años	9.0500	1619.03	1621.29		1621.30	0.000168	0.52	18.62	14.08	0.11
Guadarrama	9	Q TR 25 años	12.8500	1619.03	1621.96		1621.97	0.000091	0.46	28.18	14.16	0.09
Guadarrama	9	Q TR 50 años	15.9200	1619.03	1622.14		1622.16	0.000106	0.52	30.74	14.18	0.10
Guadarrama	9	Q TR 100 años Ma	26.6700	1619.03	1623.70		1623.71	0.000055	0.50	53.88	17.31	0.07

Tabla 24.*Continuación Resultados Condiciones Actuales.*

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Guadarrama	8	Q TR 2.33 años	3.5800	1618.44	1618.94	1619.18	1619.74	0.064528	3.97	0.91	2.10	1.88
Guadarrama	8	Q TR 5 años	6.3800	1618.44	1620.39	1619.49	1620.41	0.000355	0.76	11.70	14.54	0.18
Guadarrama	8	Q TR 10 años	9.0500	1618.44	1621.29		1621.30	0.000071	0.44	24.87	14.74	0.08
Guadarrama	8	Q TR 25 años	12.8500	1618.44	1621.96		1621.97	0.000050	0.43	34.90	14.90	0.07
Guadarrama	8	Q TR 50 años	15.9200	1618.44	1622.15		1622.16	0.000061	0.49	37.60	14.94	0.08
Guadarrama	8	Q TR 100 años Ma	26.6700	1618.44	1623.70		1623.71	0.000039	0.49	63.18	19.84	0.07
Guadarrama	7	Q TR 2.33 años	3.5800	1618.03	1619.03	1618.76	1619.18	0.005240	1.70	2.15	2.70	0.57
Guadarrama	7	Q TR 5 años	6.3800	1618.03	1620.39		1620.40	0.000133	0.50	16.49	16.09	0.11
Guadarrama	7	Q TR 10 años	9.0500	1618.03	1621.29		1621.29	0.000038	0.34	31.48	17.30	0.06
Guadarrama	7	Q TR 25 años	12.8500	1618.03	1621.97		1621.97	0.000029	0.34	43.44	18.04	0.05
Guadarrama	7	Q TR 50 años	15.9200	1618.03	1622.15		1622.15	0.000036	0.38	46.74	18.24	0.06
Guadarrama	7	Q TR 100 años Ma	26.6700	1618.03	1623.70		1623.71	0.000024	0.39	76.19	19.63	0.05
Guadarrama	6	Q TR 2.33 años	3.5800	1617.92	1618.74	1618.74	1619.08	0.011379	2.73	1.49	2.30	0.99
Guadarrama	6	Q TR 5 años	6.3800	1617.92	1620.39		1620.40	0.000094	0.53	19.07	18.86	0.11
Guadarrama	6	Q TR 10 años	9.0500	1617.92	1621.29		1621.29	0.000026	0.35	36.76	20.51	0.06
Guadarrama	6	Q TR 25 años	12.8500	1617.92	1621.97		1621.97	0.000020	0.34	50.97	21.49	0.05
Guadarrama	6	Q TR 50 años	15.9200	1617.92	1622.15		1622.15	0.000025	0.39	54.91	21.76	0.06
Guadarrama	6	Q TR 100 años Ma	26.6700	1617.92	1623.70		1623.71	0.000016	0.39	90.69	24.26	0.05
Guadarrama	5	Q TR 2.33 años	3.5800	1616.87	1618.70	1617.79	1618.82	0.001387	1.52	2.36	1.29	0.36
Guadarrama	5	Q TR 5 años	6.3800	1616.87	1620.28	1618.22	1620.39	0.001070	1.45	4.40	1.29	0.25
Guadarrama	5	Q TR 10 años	9.0500	1616.87	1621.16	1618.58	1621.28	0.000969	1.58	6.18	2.19	0.24
Guadarrama	5	Q TR 25 años	12.8500	1616.87	1621.77	1619.02	1621.95	0.001191	1.91	7.53	2.19	0.28
Guadarrama	5	Q TR 50 años	15.9200	1616.87	1621.87	1619.36	1622.13	0.001709	2.32	7.73	2.19	0.33
Guadarrama	5	Q TR 100 años Ma	26.6700	1616.87	1623.25	1620.67	1623.67	0.002025	2.97	10.76	2.19	0.38
Guadarrama	4.5		Culvert									
Guadarrama	4	Q TR 2.33 años	3.5800	1616.77	1617.39	1617.69	1618.41	0.020882	4.47	0.80	1.29	1.81
Guadarrama	4	Q TR 5 años	6.3800	1616.77	1618.12	1618.12	1618.80	0.009130	3.66	1.74	1.29	1.01
Guadarrama	4	Q TR 10 años	9.0500	1616.77	1618.48	1618.48	1619.34	0.010457	4.11	2.20	1.29	1.00
Guadarrama	4	Q TR 25 años	12.8500	1616.77	1618.93	1618.93	1620.01	0.012188	4.62	2.78	1.29	1.00
Guadarrama	4	Q TR 50 años	15.9200	1616.77	1619.26	1619.26	1620.51	0.013442	4.95	3.22	1.29	1.00
Guadarrama	4	Q TR 100 años Ma	26.6700	1616.77	1620.57	1620.57	1622.03	0.013145	5.38	5.13	2.19	0.88
Guadarrama	3	Q TR 2.33 años	3.5800	1615.96	1616.23	1616.51	1617.83	0.308541	5.63	0.64	3.39	4.07
Guadarrama	3	Q TR 5 años	6.3800	1615.96	1616.33	1616.72	1618.41	0.257893	6.44	1.01	3.81	3.93
Guadarrama	3	Q TR 10 años	9.0500	1615.96	1616.40	1616.84	1618.89	0.232206	7.05	1.31	4.03	3.86
Guadarrama	3	Q TR 25 años	12.8500	1615.96	1616.50	1617.13	1619.51	0.203828	7.78	1.69	4.16	3.77
Guadarrama	3	Q TR 50 años	15.9200	1615.96	1616.57	1617.28	1619.96	0.190069	8.28	1.98	4.25	3.73
Guadarrama	3	Q TR 100 años Ma	26.6700	1615.96	1616.77	1617.73	1621.40	0.166445	9.71	2.86	4.40	3.69
Guadarrama	2	Q TR 2.33 años	3.5800	1615.45	1615.86	1616.05	1616.50	0.051524	3.62	1.03	2.84	1.87
Guadarrama	2	Q TR 5 años	6.3800	1615.45	1616.00	1616.31	1617.06	0.055921	4.66	1.44	2.93	2.05
Guadarrama	2	Q TR 10 años	9.0500	1615.45	1616.11	1616.53	1617.54	0.058320	5.42	1.77	3.00	2.17
Guadarrama	2	Q TR 25 años	12.8500	1615.45	1616.25	1616.80	1618.16	0.060820	6.30	2.19	3.08	2.28
Guadarrama	2	Q TR 50 años	15.9200	1615.45	1616.35	1617.00	1618.62	0.061770	6.88	2.50	3.15	2.35
Guadarrama	2	Q TR 100 años Ma	26.6700	1615.45	1616.65	1617.75	1620.06	0.063577	8.49	3.48	3.42	2.50
Guadarrama	1	Q TR 2.33 años	3.5800	1615.16	1615.52	1615.65	1615.95	0.047115	2.94	1.24	4.42	1.69
Guadarrama	1	Q TR 5 años	6.3800	1615.16	1615.61	1615.84	1616.39	0.061644	3.99	1.66	4.87	2.01
Guadarrama	1	Q TR 10 años	9.0500	1615.16	1615.67	1615.99	1616.80	0.073448	4.80	1.98	5.04	2.25
Guadarrama	1	Q TR 25 años	12.8500	1615.16	1615.74	1616.16	1617.35	0.087076	5.77	2.36	5.27	2.51
Guadarrama	1	Q TR 50 años	15.9200	1615.16	1615.79	1616.29	1617.78	0.095500	6.42	2.63	5.43	2.67
Guadarrama	1	Q TR 100 años Ma	26.6700	1615.16	1615.94	1616.68	1619.16	0.116808	8.26	3.48	5.89	3.07

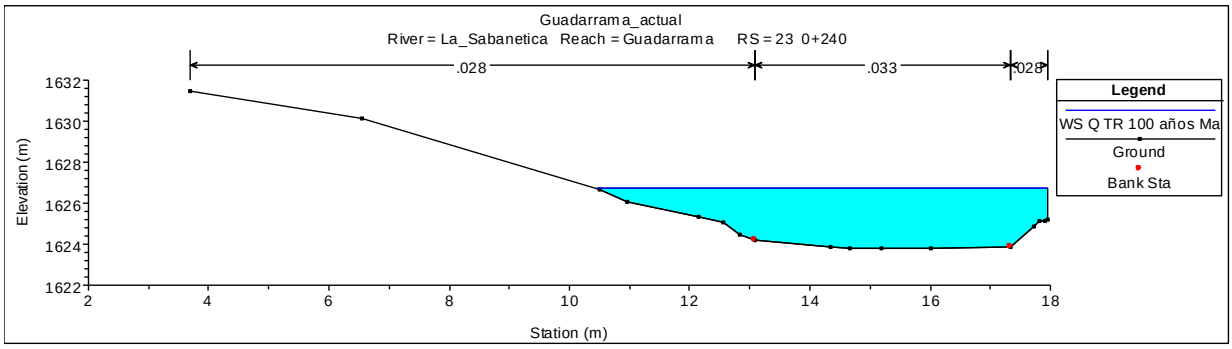
Las tablas anteriores muestran que en casi todo el tramo analizado aguas arriba y abajo del sitio de estudio, el *flujo de la corriente se caracteriza por ser supercrítico en la mayoría de las secciones y subcrítico en las secciones donde las guaduas estrechan el cauce y produce derrames del flujo y en las secciones de entrada y salida de la cobertura debido a su incapacidad hidráulica para evacuar los caudales en las crecientes.*

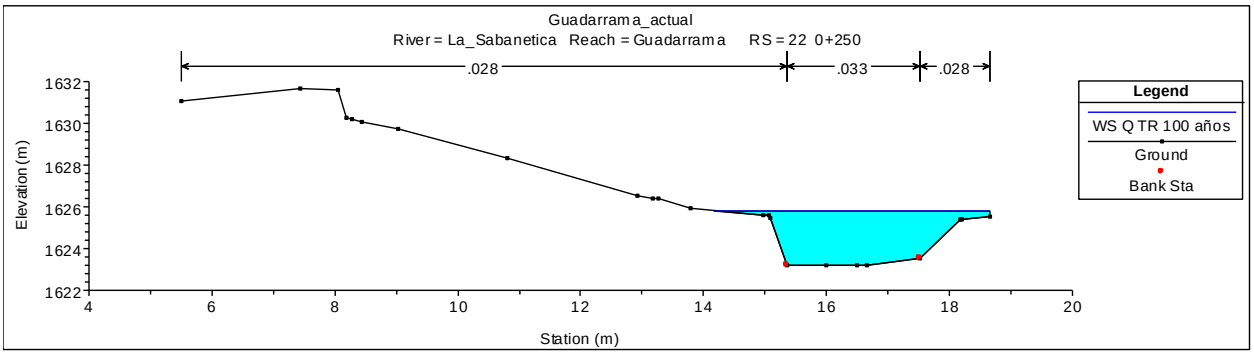
4.1.5. Análisis de resultados.

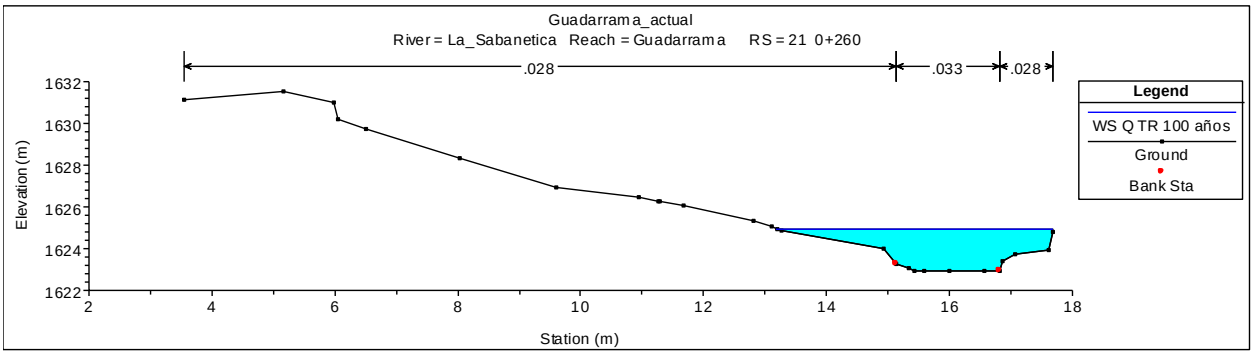
En los resultados arrojados en la modelación utilizando el programa HEC- RAS, se puede apreciar:

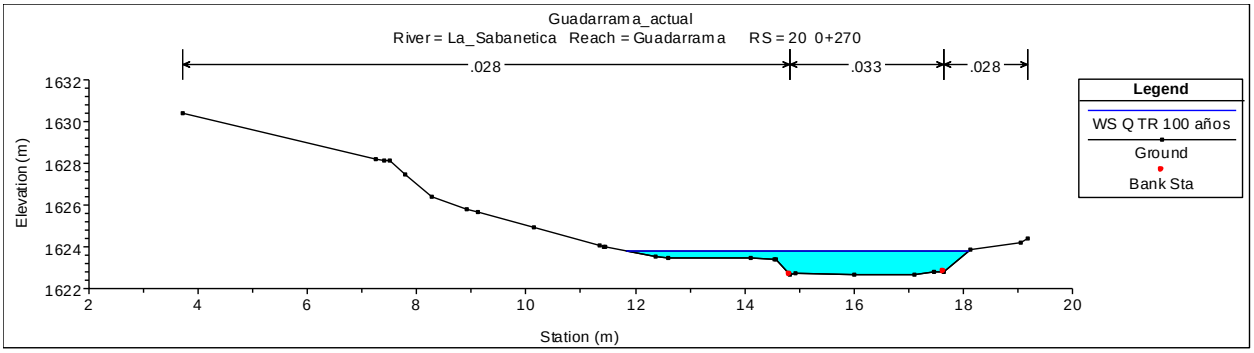
4.1.5.1. Comportamiento hidráulico Tramo aguas arriba del sitio donde existe el cruce con la vía existente.

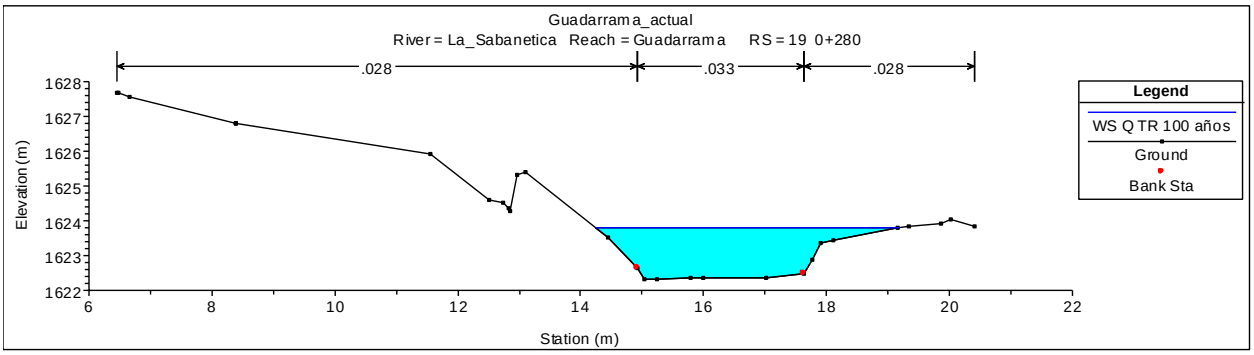
- Para las condiciones extremas, es decir cuando se presenta la avenida de los 100 años con un caudal de 26.67 m^3/s, la mayoría de las secciones del tramo están en capacidad hidráulica para evacuar el caudal de diseño. Solo se presenta unos derrames del flujo en algunas secciones donde están los guaduales debido al estrechamiento que le hacen al cauce y las secciones donde esta paralela a la vía que por la baja diferencia de cotas entre la quebrada y vía se producen derrames sobre esta margen y en las secciones antes de la cobertura se presenta una sobrelevación debido a la incapacidad de la estructura para evacuar este caudal. Estos resultados se pueden apreciar en las siguientes secciones:

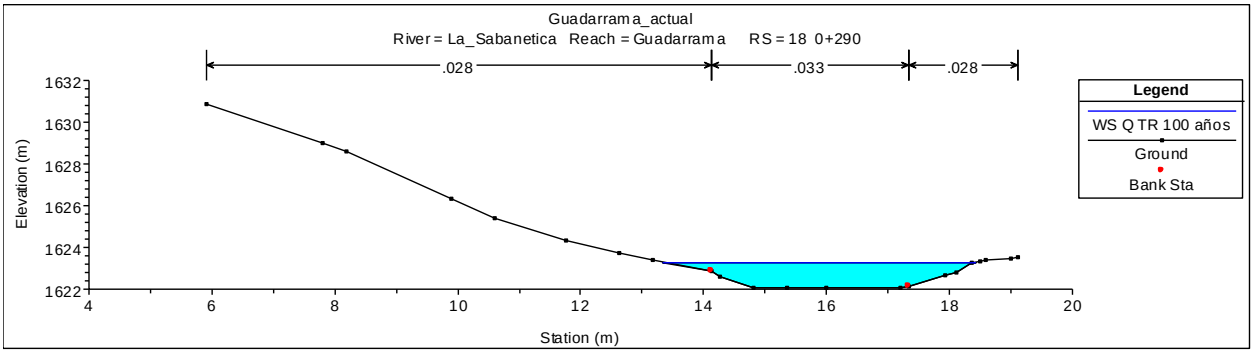


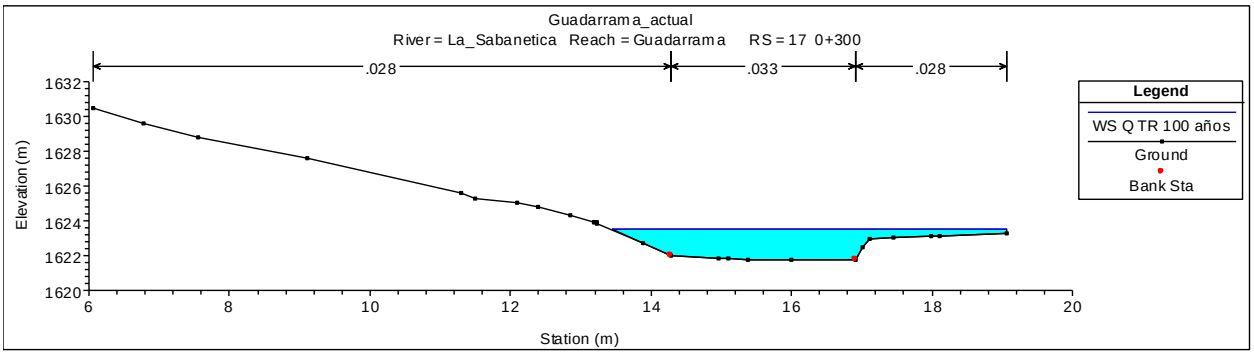


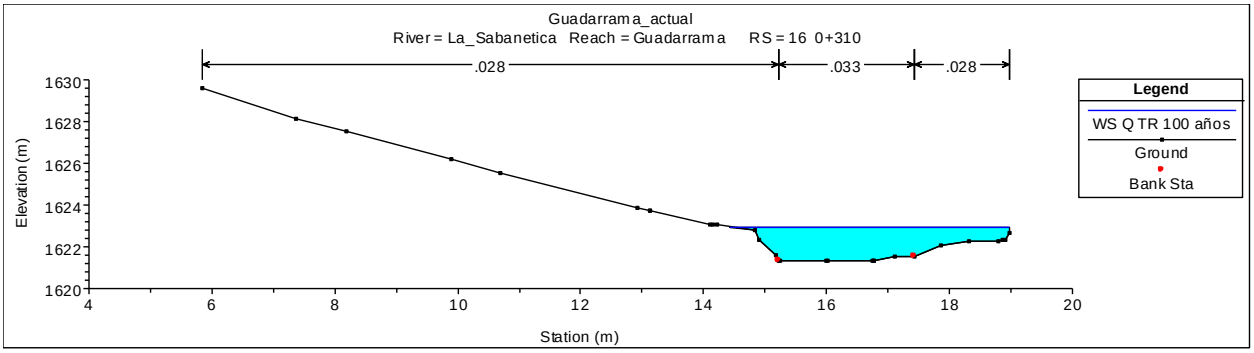

Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 21 0+260
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta

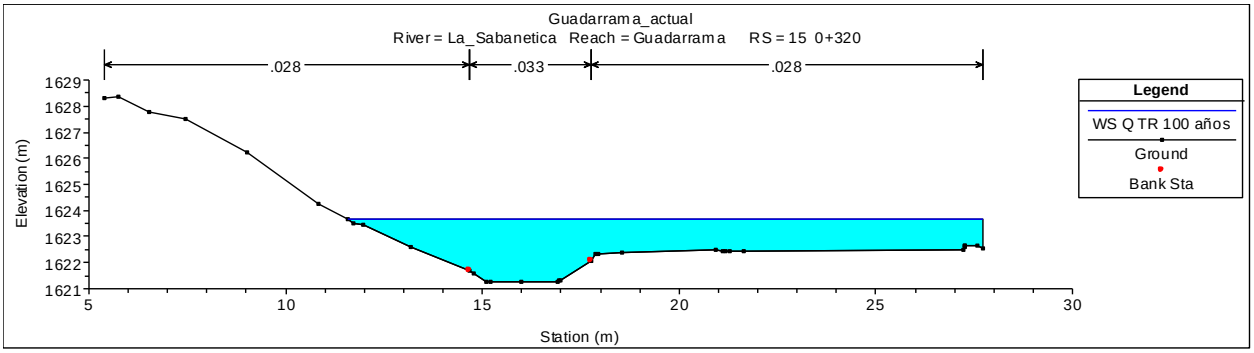

Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 20 0+270
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta

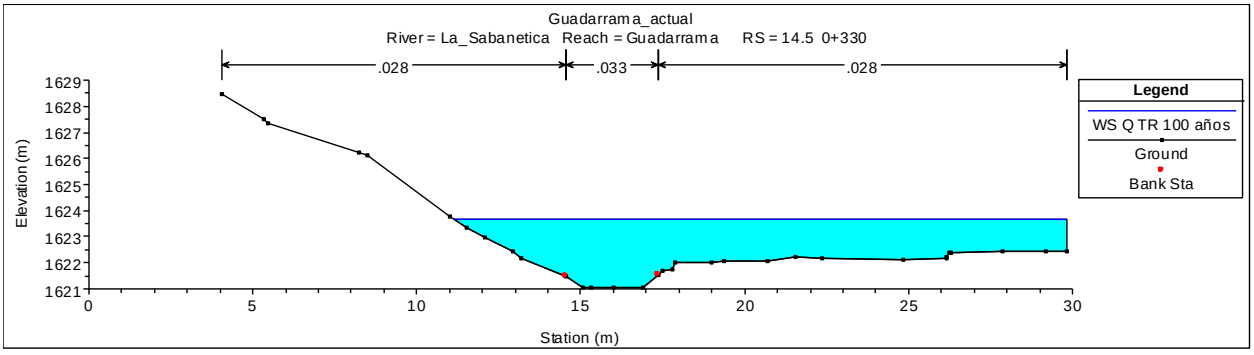

Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 19 0+280
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta

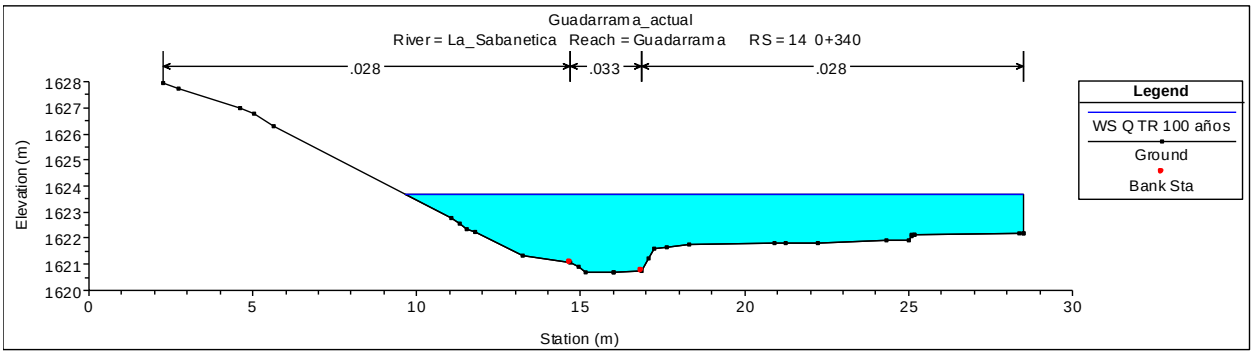

Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 18 0+290
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta

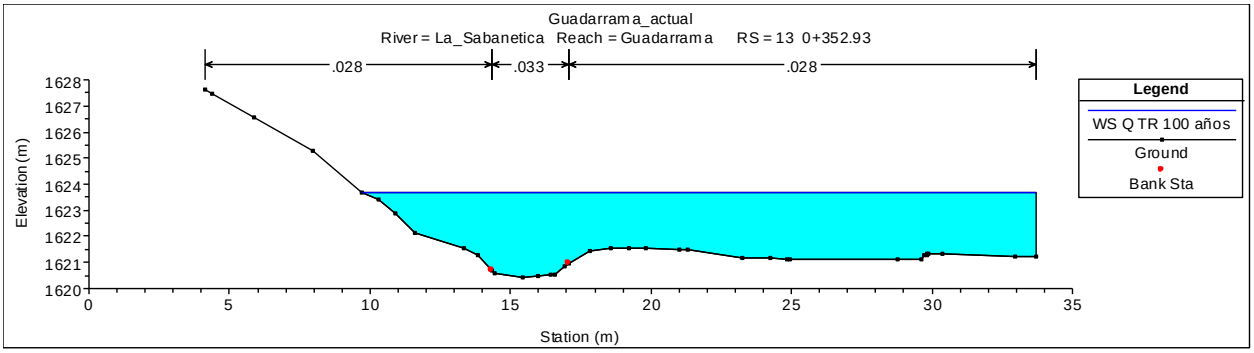

Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 17 0+300
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta

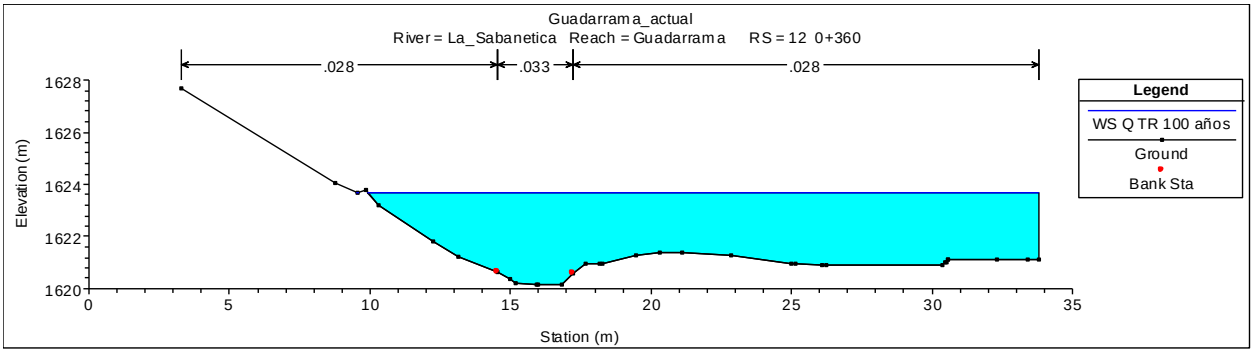

Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 16 0+310
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta

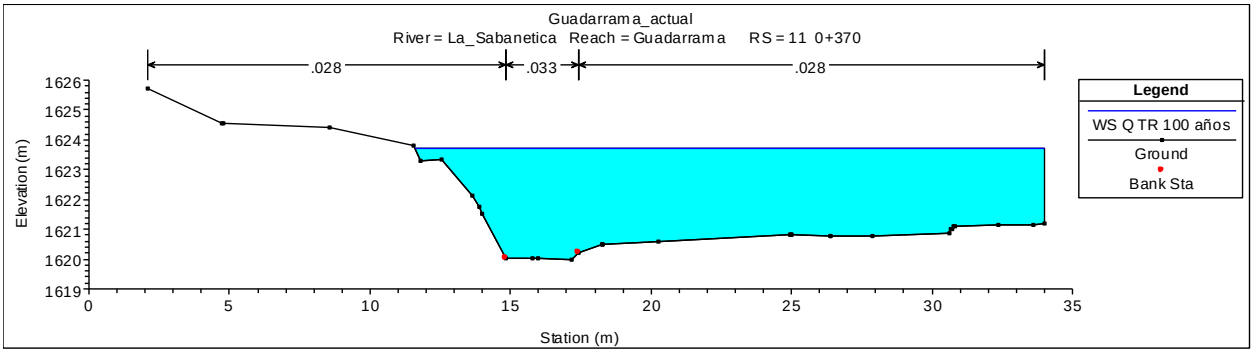

Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 15 0+320
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta

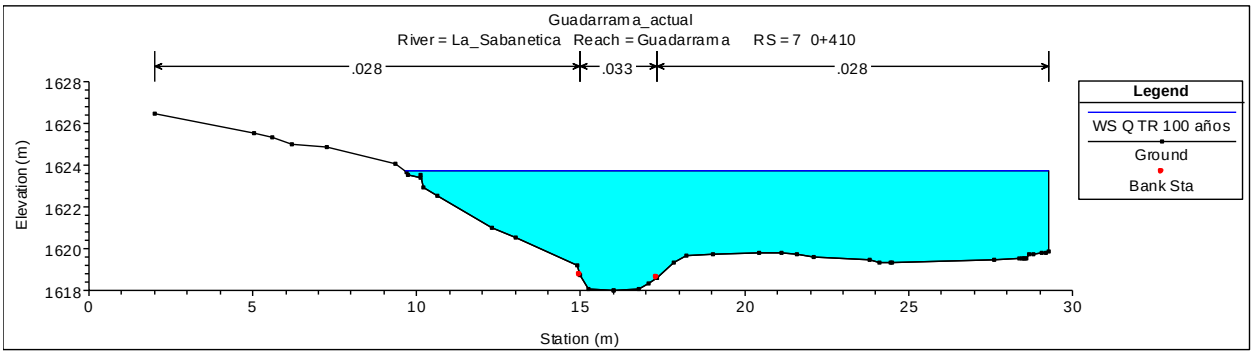

Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 14.5 0+330
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta


Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 14 0+340
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta


Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 13 0+352.93
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta


Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 12 0+360
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta


Guadarrama_actual
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 11 0+370
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años
Ground
Bank Sta

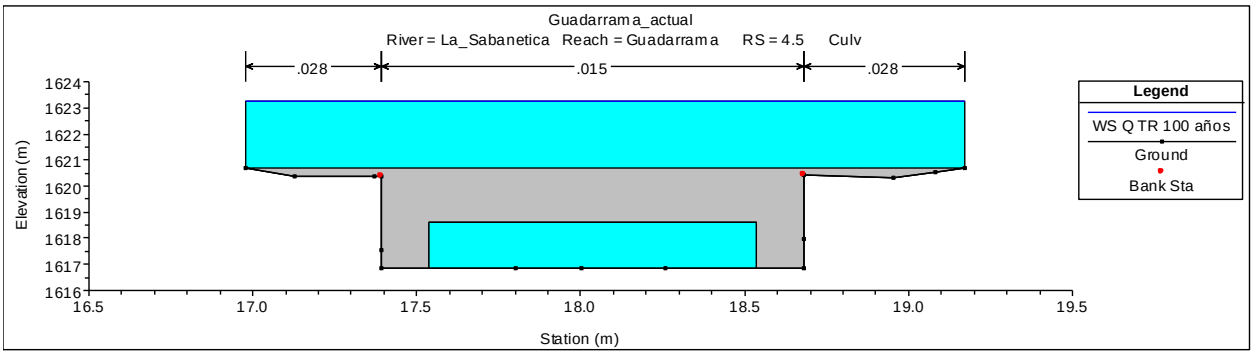


Desde la abscisa 320 se presenta un derrame sobre la vía debido a la poca diferencia de cotas entre el fondo de la quebrada y la rasante de la vía, esta inundación se extiende hasta la obra de cruce sobre la calle 77 D sur.

En las secciones antes de la entrada a la cobertura sobre la calle 77 D sur, se presenta una sobrelevación que sumada a la poca altura de la vía con respecto al quebrada hace que se presente una mayor inundación sobre esta margen.

4.1.5.2. Comportamiento hidráulico del cruce con la via existente.

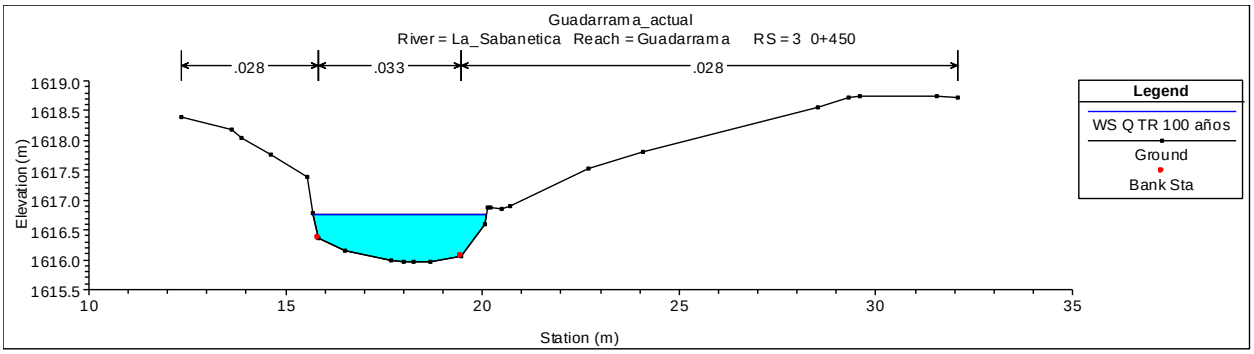
- Que para las condiciones extremas, es decir cuando se presenta la avenida, la estructura conformada por una cobertura de sección 1.0 m de ancho por 1.75 m de alto y que permite conducir el caudal correspondiente a un periodo de retorno de 100 años mayorado, no está en capacidad hidráulica para evacuar el caudal de diseño de 26.67 m³/s. Estos resultados se pueden apreciar en la siguiente sección:

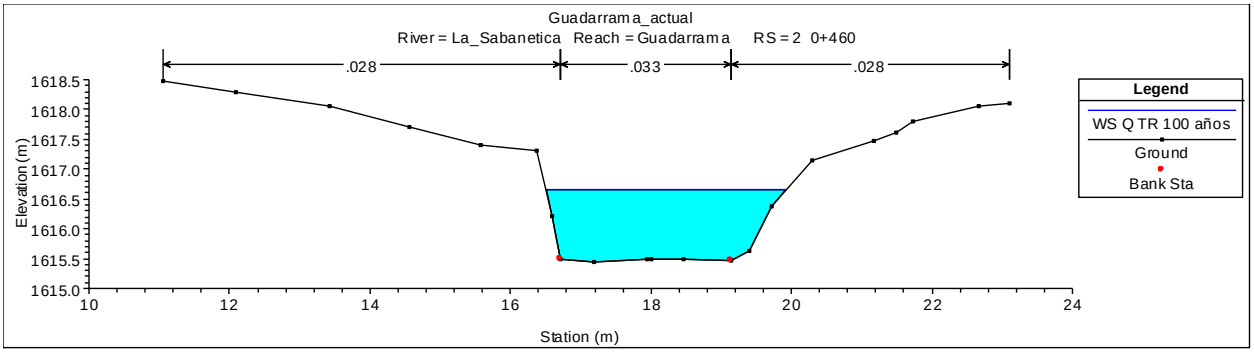


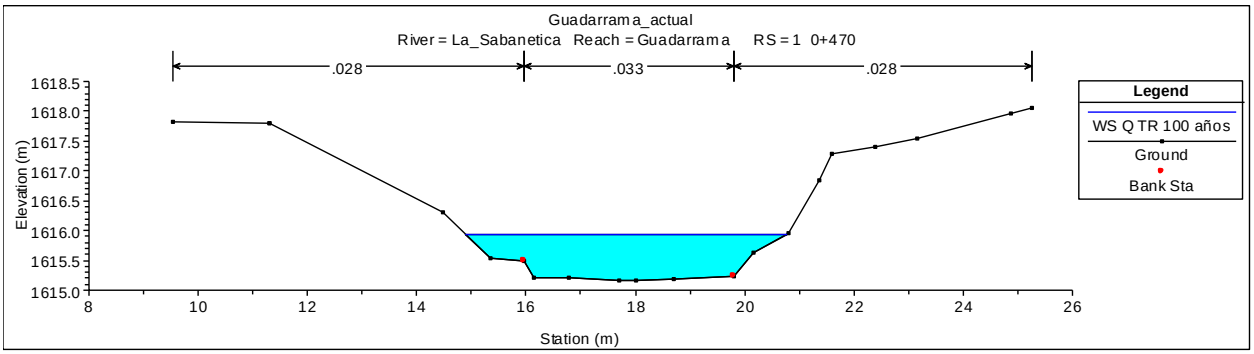
El agua de la creciente para por encima de la cobertura ocasionando que el paso por la vía quede restringido tanto para peatones como para los vehículos, a su vez produce represamiento que ocasiona inundaciones hacia la vía y depositación del material en suspensión que transporta la quebrada.

4.1.5.3. *<u>Comportamiento hidráulico Tramo aguas abajo del sitio donde existe el cruce con la via existente.</u>*

- Para las condiciones extremas, es decir cuando se presenta la avenida de los 100 años con un caudal de 26.67 m^3/s, las secciones del tramo están en capacidad hidráulica para evacuar el caudal de diseño. Estos resultados se pueden apreciar en las siguientes secciones:







4.1.5.4. Conclusiones Etapa de Diagnóstico y obra proyectada.

- La intervención antrópica de la microcuenca debido al desarrollo urbanístico por parte de los pobladores de las zonas cercanas, han afectado considerablemente el comportamiento dinámico de la quebrada en estudio. La construcción inadecuada de obras hidráulicas aumenta el riesgo cada vez más de las personas que habitan en la parte baja y sobre los retiros de la quebrada.
- El registro fotográfico presentado antes muestra claramente como el patrón de alteración de los procesos de urbanismo sobre las corrientes superficiales. La construcción de obras hidráulicas para posibilitar la construcción de senderos y acceso a viviendas, construcciones aceleradas de proyectos urbanísticos han posibilitado la alteración de los cauces de las quebradas, ocupando las zonas de retiro que en algunos trayectos hacen parte de las llanuras de inundación o en otros, alterando terrenos de alta pendiente que son bastante inestables.
- En el sitio de estudio, se observó indicios de inestabilidad de los taludes que conforman el cauce de la quebrada que pueden ocasionar derrumbes, debido la acción continua de un caño sobre la base del talud y la saturación de los suelos debido a las prolongadas lluvias durante los últimos meses y la presencia de sembrados de guadua que estrechan el cauce de la quebrada disminuyendo la sección hidráulica y aumentado los fenómenos de socavación lateral y del fondo de la quebrada.
- En este sitio de estudio, la quebrada cruza en una cobertura tipo box culvert de sección 1.0 m de ancho x 1.75 m de alto, que no posee capacidad hidráulica para evacuar el caudal de diseño, además de no contar con una obra adecuada de entrada y salida, presentándose fenómenos de socavación que pueden conllevan a unos deslizamientos hacia la parte de aguas abajo y arriba de la quebrada. Adicionalmente hacia aguas arriba la vía presenta un poco diferencia de cotas con respecto a la cota de la quebrada que ocasiona que cuando se presente una creciente esta se derrame sobre la margen derecha.
- Se recomienda el diseño y construcción de una obra hidráulica adecuada de cruce, que permitan la captación, y conducción del caudal de diseño a través de ella, así como la proyección de un canal rectangular aguas arriba de esta estructura, de tal forma que los efectos erosivos del agua sean controlados y mitigados y no generen posteriores inestabilidades em inundaciones sobre la vía. Estas obras en el sitio de cruce en la vía vehicular y aguas arriba debe estar en capacidad de evacuar el caudal de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 100 años mayorado, de tal manera que no se sigan generando los problemas de socavación, inundaciones y derrumbe de los taludes que conforman el cauce.
- El reemplazo de la estructura existente que sirve para dar cruce a la quebrada sobre la vía requiere de la determinación de la dimensión de una estructura que sea capaz de evacuar el caudal máximo de diseño considerado. Para este tramo se propone un box culvert de 2.50 m de ancho por x 2.0 m de alto, la cual favorece y mejorará las condiciones en el sitio de estudio. Esta estructura de cruce deberá ir acompañada de un canal en concreto a la entrada de la misma sección de la estructura, que permita la protección de los taludes que conforman el cauce de la quebrada ante posibles inestabilidades y evite que la quebrada siga inundando la vía.

4.1.5.5. Alternativas de solución.

Como se determinó en la modelación hidráulica de las condiciones actuales del canal, este no presenta capacidad hidráulica para la creciente con periodo de retorno de los 100 años, por lo que se deben realizar unas obras civiles en el canal para garantizar el transito libre y seguro a lo largo del tramo de canal en estudio.
La poca profundidad del canal respecto a la vía pública y la invasión de este por las plantas de guadua que le han venido reduciendo el ancho al cauce y estableciendo zonas densas de tallos y raíces de guadua, hacen que la corriente de agua se desplace hacia el otro lado del cauce afectando los taludes y generando socavación lateral y derrumbes de la masa de suelo que conforma el talud.

Como primera medida, es necesario recuperar la sección hidráulica del canal con el retiro de las plantas o tallos de guadua que limitan el paso de la creciente, o se recupera la sección hidráulica del canal con el retiro de los tallos de guadua o se conservan estas. Si bien la alternativa respecto a este punto es casi obvia, y que conlleva a la tala de los talos de guadua que interfieren con el canal, el beneficio adicional que lleva consigo esa decisión evita que los tallos de guadua cuando estos mueren naturalmente se depositen en el cauce entrelazándose y formando barreras para el paso libre de la corriente de agua, lo que disminuye de manera importante el represamiento y desbordamiento de la quebrada.

En las alternativas de solución debe tenerse en cuenta esencialmente dar solución a dos problemas, el de incapacidad hidráulica del cauce y el de garantizar la estabilidad del talud de la margen izquierda, de acuerdo con esto se tienen las siguientes alternativas de solución, teniendo en cuenta que el box culvert existente debe ser reconstruido con una sección mayor:

- **Alternativa 1:** profundizar el fondo de la quebrada o cauce en más de 150 m y aumentar el ancho del cauce conservando las condiciones naturales del mismo. Si bien esta alternativa desde el punto de vista económico es de las más viables, profundizar el lecho de la quebrada y ampliar el cauce conllevaría a generar una mayor inestabilidad de los taludes, en especial el de la margen izquierda que hoy presenta desgarres y movimientos de masa importantes. Por otro lado, la profundización conlleva a la reconstrucción o protección de estructuras existentes aguas arriba del tramo de estudio y que hacen parte de otras obras hidráulicas de descarga y protección existentes de las márgenes, en especial la margen derecha donde se ubica el cerramiento de la urbanización Vegas de Guadarrama.

  Debe considerarse, además, que en los últimos 20 años el desarrollo de proyectos urbanísticos en la cuenca de la quebrada La Sabanetica ha sido intenso. Estos cambios drásticos de los usos del suelo en las partes altas de la microcuenca con la construcción de vías, edificaciones y parcelaciones han generado el aumento excesivo de los caudales en la quebrada aumentando la capacidad de arrastre y erosión en los cauces naturales, conllevando a que, con la sola profundización del lecho y ampliación del cauce en el tramo de estudio, se generen continuas afectaciones en los taludes y la destrucción del canal en un corto tiempo

- **Alternativa 2:** Profundización del lecho y ampliación del cauce con la construcción de una obra de protección y contención sobre la margen izquierda para la protección del talud. Si bien esta alternativa permite **garantizar la estabilidad del talud de la margen izquierda, la margen** derecha adyacente a la vía quedaría desprotegida y vulnerable a la acción continua de la corriente de agua. Una estructura de contención en la base del talud de la margen izquierda requeriría que esta no obligue a grandes movimientos de tierra en el talud, ya que se podría generar durante el proceso constructivo mayores afectaciones del talud y riesgos para las edificaciones existentes. Este punto conllevaría a la construcción de un muro sobre cimentaciones profundas como pilas que sobrepasen no solo la profundidad de socavación de la quebrada, sino además que garantice el anclaje del muro y su estabilidad a largo plazo. De acuerdo con lo anterior esta alternativa obliga a la construcción de un muro sobre pilas a más de 5.0 m de profundidad unidad por una viga cabezal y sobre la misma el muro de contención o vástago para la protección del talud y su estabilidad. Por otro lado, el talud de la margen derecha quedaría desprotegido y vulnerable a la acción continua de la corriente de agua poniendo en riesgo la estabilidad de las obras de infraestructura.

- **Alternativa 3:** Esta alternativa implica proyectar y construir obras de protección y contención en ambas márgenes de la quebrada, como puede ser muro de contención sobre pilas o zapata continua. Si bien la construcción más económica de estas dos corresponde al muro sobre zapatas, esta implicaría grandes movimientos de tierra en el costado trasero del muro o hacia la pata trasera del mismo, situación que no es recomendable para el talud de la margen izquierda, el que se recomienda intervenir lo menos posible. Por otro lado, los talones delanteros que se construirían hacia el interior del canal si bien no se unirían, quedarían muy juntos dejando la zona central del canal en suelo natural y sometido a la acción del agua generando a mediano plazo problemas de socavación e inestabilidad de las obras. Esta alternativa conlleva a una solución más practica y económica que se ha convertido en una práctica generalizada de solución para la canalización de quebrada en suelos urbanos como es el canal rectangular construido en concreto reforzado.

- **Alternativa 4:** Canal rectangular en concreto. Esta alternativa es una combinación de todas las alternativas anteriores, por un lado, si bien hay que profundizar un poco el lecho de la quebrada, esta profundización no alcanzaría 1.0 m ya que los muros del canal en especial el de la margen derecha podría sobresalir respecto a la rasante de la vía garantizándose la sección mínima hidráulica requerida. Se evita además con esta estructura al ser confinada por ambos lados de los muros por los empujes del suelo, realizar mayores movimientos de tierra ya que solo se contaría con un pequeño talón hacia el talud de longitud máxima de 0.30 m. El problema de socavación estaría resuelto ya que las losas de concreto tienen suficiente resistencia al desgaste por la acción del agua.

En las páginas siguientes se presenta la modelación teniendo en cuenta la obra proyectada.

4.2. Modelación Condiciones con Obras Proyectadas.

Se realizará una modelación para el tramo de estudio de la quebrada con la estructura hidráulica proyectada, localizada en el sector Los Correa del municipio de Sabaneta.
Se construirá un canal escalonado en concreto como estructura de entrada, acompañadas de un box culvert de 2.50 m de ancho por 2.0 m de alto, en un tramo de aproximadamente 137 m quebrada La Sabanetica sector Guadarrama que permitirá la estabilidad de los taludes y protección de las edificaciones adyacentes al cauce y se construirá un muro en gaviones que permitirá protección de la pate del talud aguas arriba del tramo de estudio que conforman el cauce de la quebrada; por tal motivo se requiere de la determinación del nivel máximo de la lámina de agua y la determinación de la incidencia de estas obras en el régimen de flujo en la quebrada.

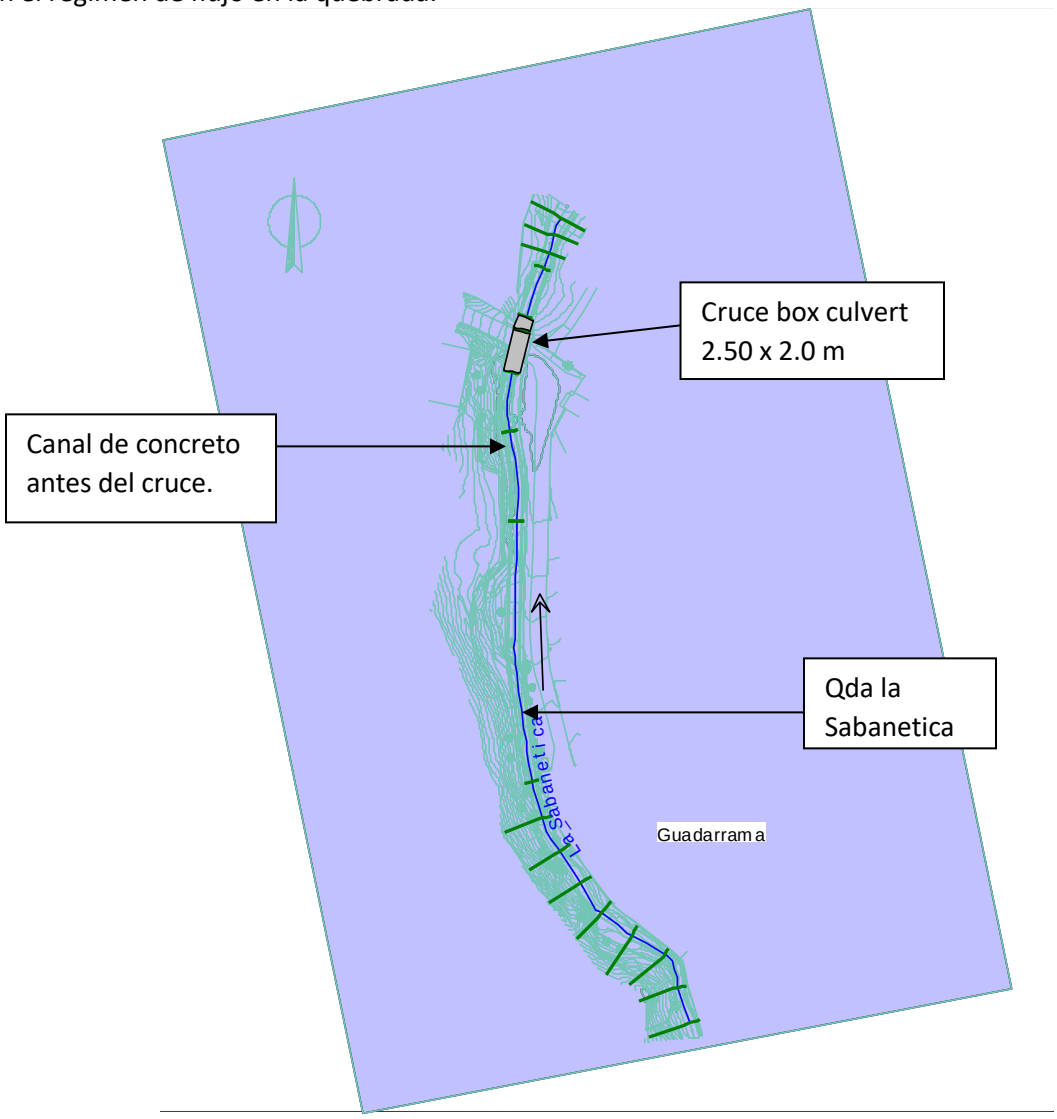


Figura N. 20. *Planta obra proyectada quebrada La Sabanetica sector Guadarrama* ***(Imagen tomada de la modelación con HEC-RAS).***

4.2.1. Coeficientes de expasión y contracción.

Para efectos del presente estudio se considera un coeficiente de expansión y contracción de 0.10 y 0.30, valores sugeridos por el programa.

4.2.2. Condiciones de frontera del modelamiento.

El modelamiento se realizó considerando las siguientes condiciones:

- Régimen de flujo mixto.
- Para el modelo se supusieron como condiciones de contorno la pendiente media de la quebrada tanto aguas arriba como abajo, con el fin que el modelo escoja numéricamente la mejor condición de flujo (supercrítico o subcrítico).
- Se considerará la condición de borde correspondiente a la profundidad normal en el tramo analizado, realizando simulación con régimen supercrítico.
- Rugosidades 0.028 en las márgenes, 0.033 en el fondo del lecho y 0.015 en las estructuras de concreto.
- Coeficientes de expansión y contracción 0.10 y 0.30, respectivamente en el canal natural.
- Perfiles de flujo estimados para la condición existente. El análisis se contó con 54 secciones aguas arriba y aguas abajo del sitio de cruce proyectado.

4.2.3. Consideraciones para el diseño.

Se presenta a continuación la modelación hidráulica del canal natural de la quebrada con las nuevas estructuras proyectadas.
Este estudio contempla la modelación del cauce natural y las nuevas estructuras un box culvert y un canal escalonado de 2.5 m de ancho y 2.0 m de alto. Para este trabajo se usará el caudal de diseño máximo, el cual corresponde a 26.67 m^3/s, correspondiente al caudal obtenido por los diferentes métodos para un periodo de retorno de 100 años mayorado por 1.4. La modelación de las nuevas estructuras sobre el cauce de la quebrada considera la geometría de acuerdo con el levantamiento planimétrico y altimétrico realizado dentro de los diseños del proyecto. Para la modelación hidráulica se empleará el programa HEC RAS, programa sencillo y de fácil manejo que permite visualizar el comportamiento del flujo para el evento y condiciones de flujo considerado.

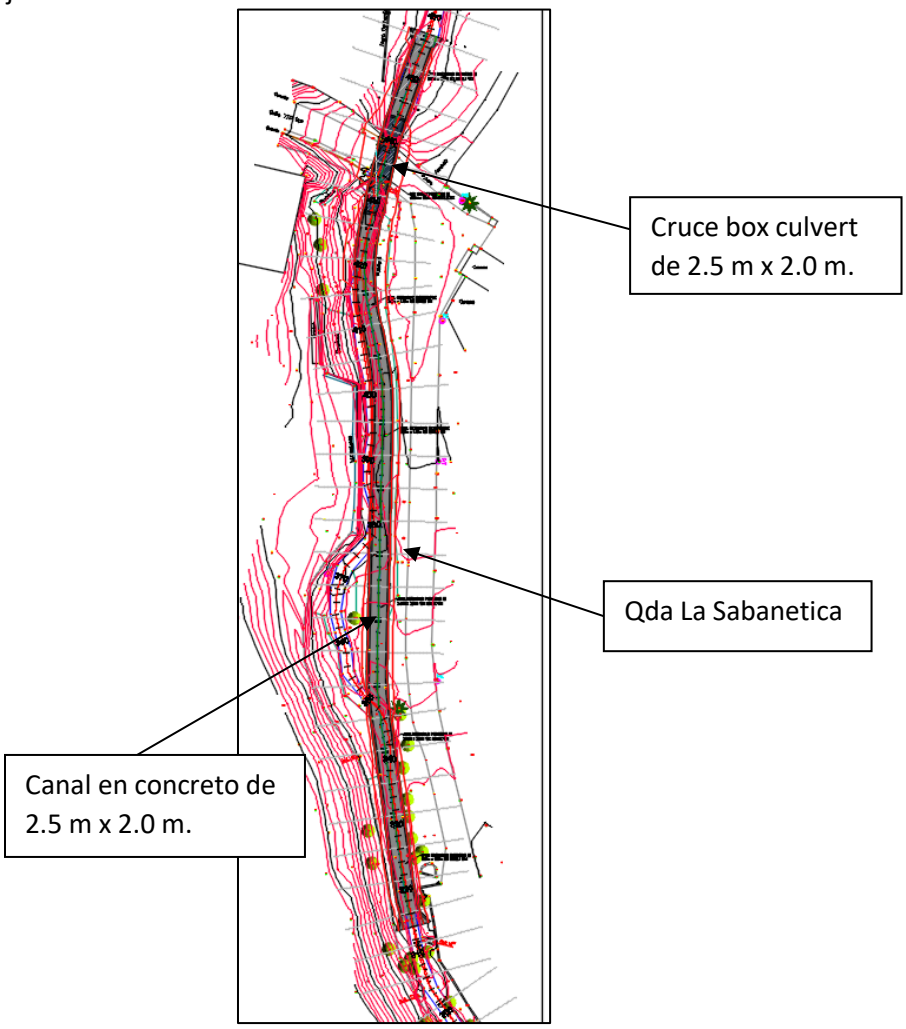


Figura N.º 21. *Planta canal en concreto y cruce en box culvert* ***(Ver mayor detalle en plano de diseño).***

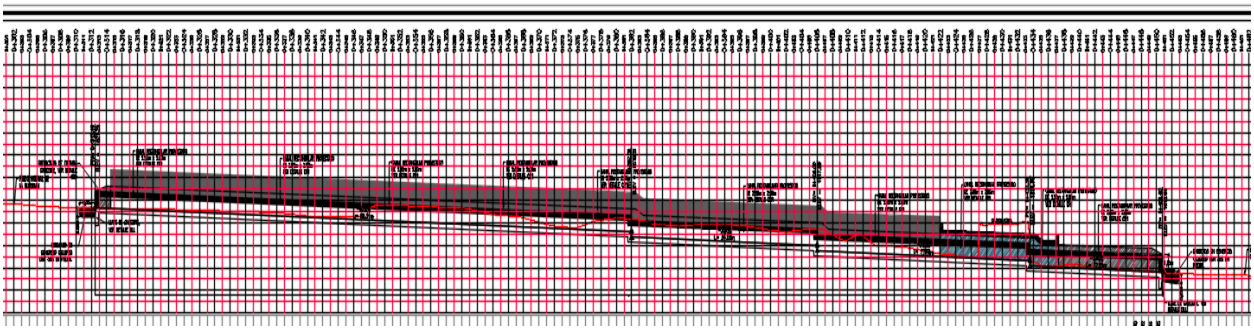


Figura N.º 22. *Perfil canal escalonado y box culvert* ***(Imagen tomado de Plano de diseño).***

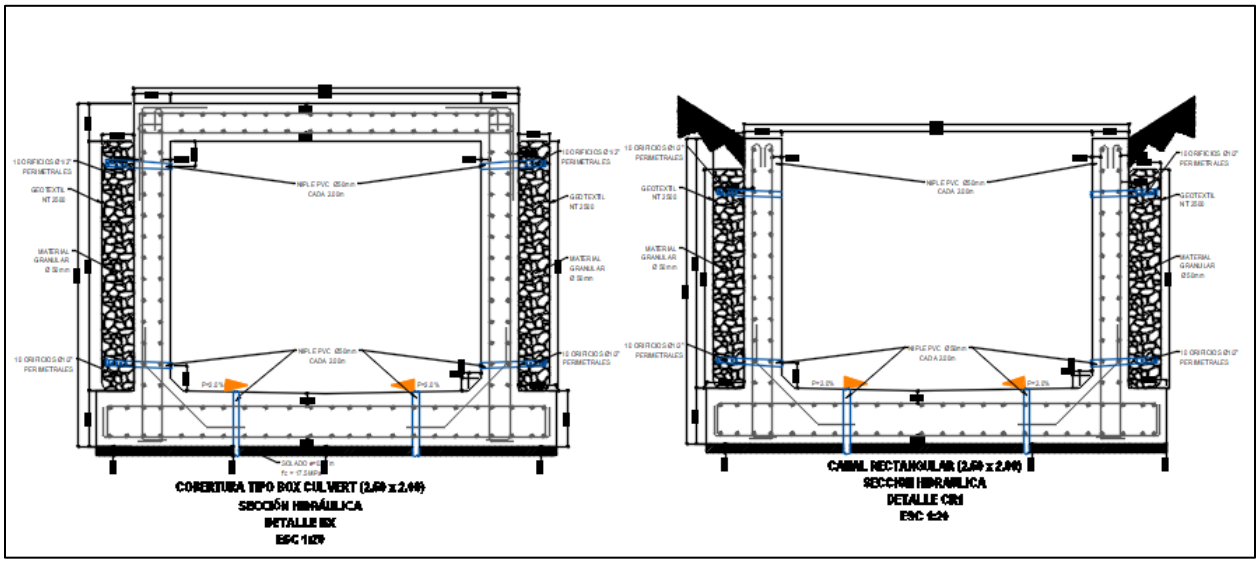


Figura N.º 23. *Sección canal escalonado y box culvert* ***(Imagen tomado de Plano de diseño).***

Sobre el cauce del afluente a la quebrada La Sabanetica en el sector Guadarrama, se realizará un canal en concreto y un box culvert de sección hidráulica 2.5 m de ancho y 2.0 m de alto en una longitud aproximada de 138 m que permitirá el cruce en la vía y la protección de los taludes que conforman el cauce de la quebrada

A continuación, se presenta una descripción de la obra proyectada, a la cual se le está solicitando la ocupación de cauce.

4.2.4. Resultados Arrojados por la Modelación Utilizando el Programa HEC-RAS.

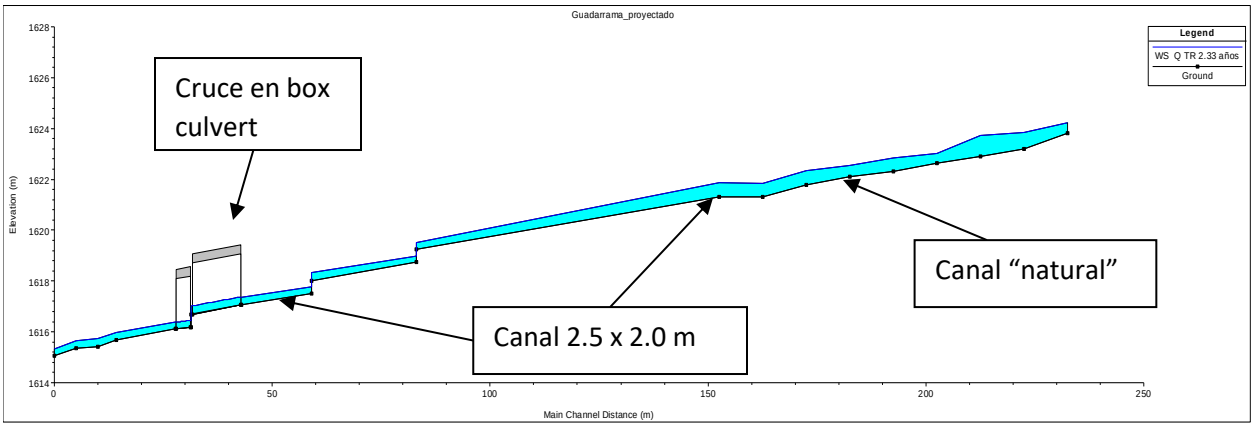


Figura N.º 24. *Perfil Condiciones Proyectadas TR 2.33 años.*

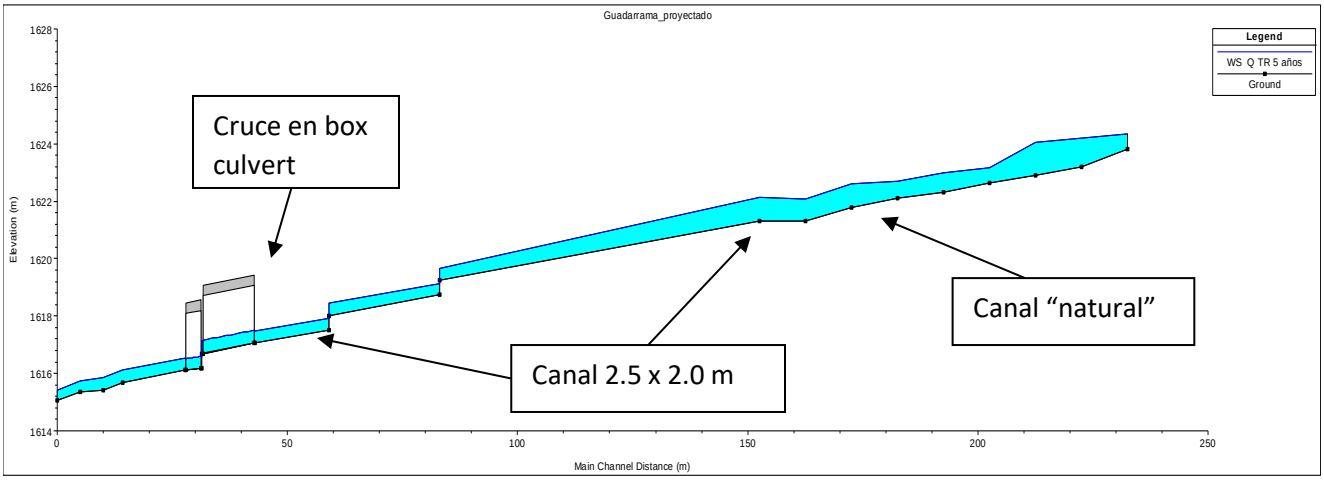


Figura N.º 25. *Perfil Condiciones Proyectadas TR 5 años.*

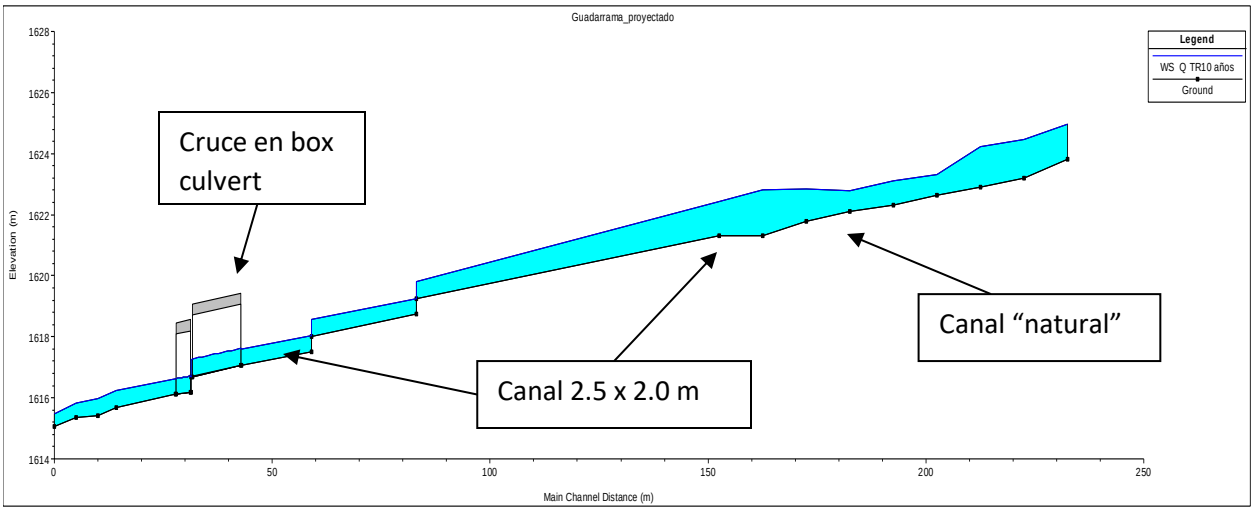


Figura N.º 26. *Perfil Condiciones Proyectadas TR 10 años.*

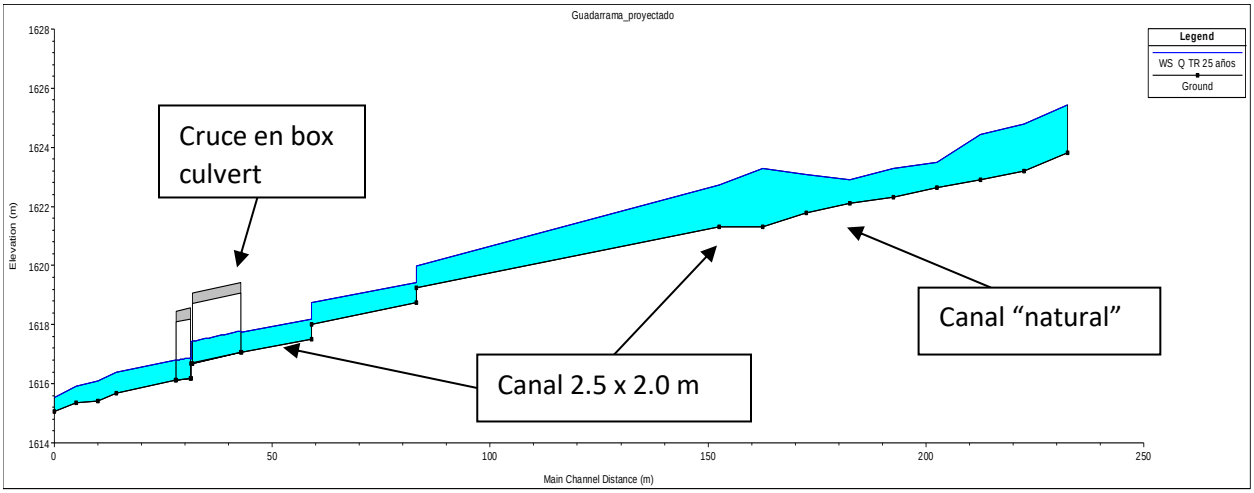


Figura N.º 27. *Perfil Condiciones Proyectadas TR 25 años.*

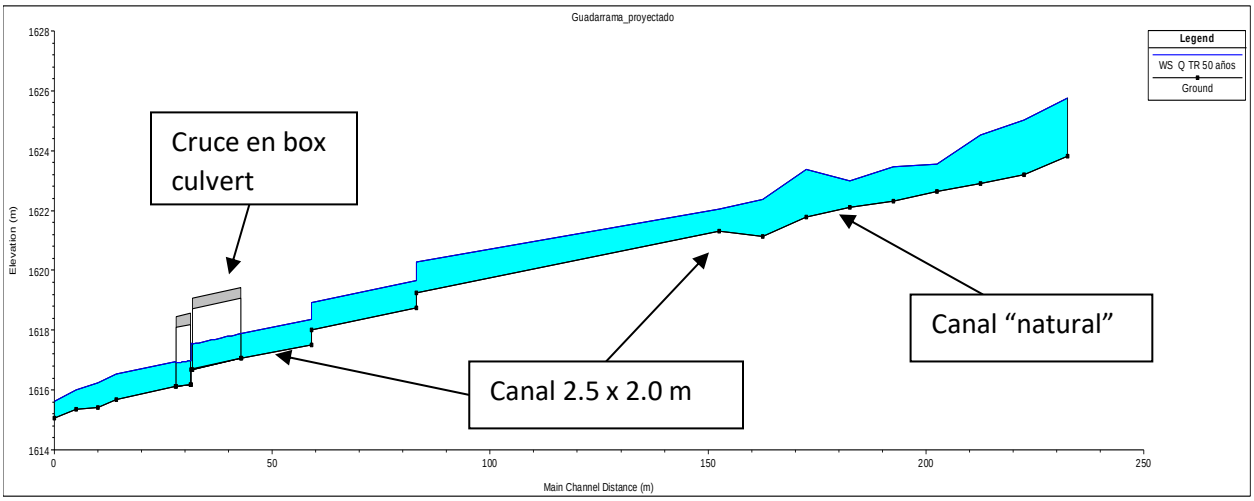


Figura N.º 28. *Perfil Condiciones Proyectadas TR 50 años.*

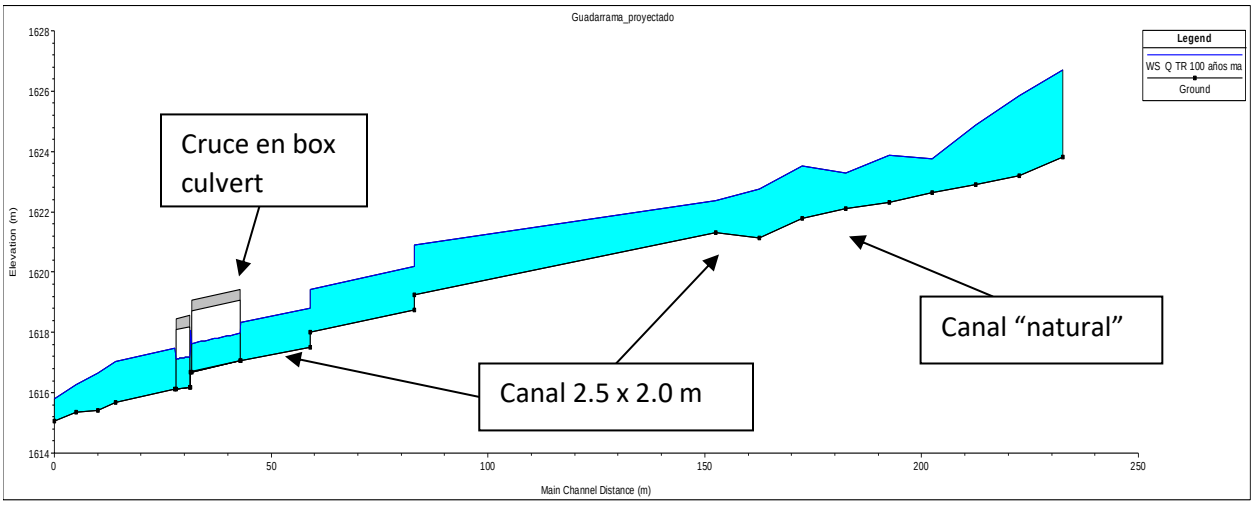


Figura N.º 29. *Perfil Condiciones Proyectadas TR 100 años mayorado por 1.4.*

Obsérvese como se mejora el comportamiento hidráulico de la quebrada. Además, podemos ver la capacidad de evacuar el caudal de diseño de 26.67 m³/s de la estructura de paso, y del canal escalonado

En el Perfil del tramo con la estructura en box culvert que reemplaza la estructura existente y que servirá de cobertura en la nueva vía, como el canal de 2.5 m x 2.0 m poseen capacidad para evacuar el caudal para un periodo de retorno de 100 años mayorado, como se observa en el perfil.

Tabla 25. *Resultados Condiciones Proyectadas – quebrada La Sabanetica sector Guadarrama.*

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Guadarrama	23	Q TR 2.33 años	3.5800	1623.82	1624.22	1624.30	1624.54	0.029987	2.50	1.45	4.42	1.38
Guadarrama	23	Q TR 5 años	6.3800	1623.82	1624.36	1624.49	1624.86	0.030057	3.15	2.06	4.59	1.47
Guadarrama	23	Q TR10 años	9.0500	1623.82	1624.97	1624.65	1625.15	0.003497	1.88	5.09	5.15	0.58
Guadarrama	23	Q TR 25 años	12.8500	1623.82	1625.43	1624.85	1625.59	0.002102	1.84	7.61	5.96	0.47
Guadarrama	23	Q TR 50 años	15.9200	1623.82	1625.76	1624.99	1625.92	0.001609	1.83	9.68	6.49	0.43
Guadarrama	23	Q TR 100 años ma	26.6700	1623.82	1626.71	1625.45	1626.87	0.000995	1.90	16.41	7.50	0.36
Guadarrama	22	Q TR 2.33 años	3.5800	1623.19	1623.83	1623.93	1624.27	0.021337	2.95	1.24	2.34	1.26
Guadarrama	22	Q TR 5 años	6.3800	1623.19	1624.21	1624.23	1624.69	0.011825	3.10	2.16	2.52	1.02
Guadarrama	22	Q TR10 años	9.0500	1623.19	1624.48	1624.48	1625.05	0.010185	3.40	2.85	2.65	0.99
Guadarrama	22	Q TR 25 años	12.8500	1623.19	1624.78	1624.78	1625.50	0.009399	3.81	3.69	2.79	0.99
Guadarrama	22	Q TR 50 años	15.9200	1623.19	1625.01	1625.01	1625.82	0.008962	4.08	4.33	2.90	0.99
Guadarrama	22	Q TR 100 años ma	26.6700	1623.19	1625.82	1625.82	1626.77	0.006481	4.48	7.09	4.48	0.90
Guadarrama	21	Q TR 2.33 años	3.5800	1622.90	1623.72	1623.73	1624.10	0.013814	2.77	1.36	2.07	1.02
Guadarrama	21	Q TR 5 años	6.3800	1622.90	1624.04	1624.12	1624.57	0.012341	3.31	2.16	2.82	1.02
Guadarrama	21	Q TR10 años	9.0500	1622.90	1624.22	1624.38	1624.92	0.013655	3.87	2.71	3.17	1.10
Guadarrama	21	Q TR 25 años	12.8500	1622.90	1624.42	1624.68	1625.36	0.015399	4.54	3.39	3.56	1.20
Guadarrama	21	Q TR 50 años	15.9200	1622.90	1624.55	1624.91	1625.67	0.016805	5.03	3.87	3.81	1.27
Guadarrama	21	Q TR 100 años ma	26.6700	1622.90	1624.92	1625.44	1626.59	0.020130	6.32	5.41	4.49	1.44
Guadarrama	20	Q TR 2.33 años	3.5800	1622.65	1623.02	1623.24	1623.79	0.076970	3.91	0.93	3.04	2.20
Guadarrama	20	Q TR 5 años	6.3800	1622.65	1623.17	1623.57	1624.27	0.065524	4.68	1.41	3.17	2.17
Guadarrama	20	Q TR10 años	9.0500	1622.65	1623.31	1623.73	1624.62	0.056444	5.13	1.84	3.28	2.10
Guadarrama	20	Q TR 25 años	12.8500	1622.65	1623.48	1623.92	1625.04	0.048375	5.62	2.49	5.39	2.03
Guadarrama	20	Q TR 50 años	15.9200	1622.65	1623.56	1624.06	1625.34	0.049491	6.08	2.96	5.74	2.09
Guadarrama	20	Q TR 100 años ma	26.6700	1622.65	1623.78	1624.43	1626.21	0.053581	7.36	4.28	6.27	2.25
Guadarrama	19	Q TR 2.33 años	3.5800	1622.32	1622.83	1622.93	1623.24	0.028379	2.87	1.27	2.93	1.35
Guadarrama	19	Q TR 5 años	6.3800	1622.32	1622.99	1623.19	1623.70	0.033213	3.77	1.74	3.06	1.54
Guadarrama	19	Q TR10 años	9.0500	1622.32	1623.12	1623.40	1624.07	0.034488	4.38	2.15	3.17	1.62
Guadarrama	19	Q TR 25 años	12.8500	1622.32	1623.28	1623.71	1624.54	0.035117	5.04	2.69	3.32	1.69
Guadarrama	19	Q TR 50 años	15.9200	1622.32	1623.43	1623.91	1624.84	0.032413	5.35	3.18	3.59	1.66
Guadarrama	19	Q TR 100 años ma	26.6700	1622.32	1623.82	1624.41	1625.65	0.028815	6.22	4.85	4.96	1.65
Guadarrama	18	Q TR 2.33 años	3.5800	1622.09	1622.53	1622.65	1622.94	0.031965	2.84	1.29	3.42	1.43
Guadarrama	18	Q TR 5 años	6.3800	1622.09	1622.68	1622.88	1623.33	0.036902	3.63	1.81	3.69	1.59
Guadarrama	18	Q TR10 años	9.0500	1622.09	1622.78	1623.06	1623.67	0.041923	4.26	2.20	3.89	1.72
Guadarrama	18	Q TR 25 años	12.8500	1622.09	1622.90	1623.29	1624.13	0.047888	5.02	2.67	4.10	1.87
Guadarrama	18	Q TR 50 años	15.9200	1622.09	1622.99	1623.49	1624.44	0.048599	5.47	3.05	4.32	1.92
Guadarrama	18	Q TR 100 años ma	26.6700	1622.09	1624.59	1623.89	1624.84	0.002235	2.41	13.15	7.61	0.49
Guadarrama	17	Q TR 2.33 años	3.5800	1621.78	1622.33	1622.39	1622.68	0.018801	2.64	1.39	2.88	1.18
Guadarrama	17	Q TR 5 años	6.3800	1621.78	1622.61	1622.66	1623.06	0.013595	3.01	2.23	3.07	1.08
Guadarrama	17	Q TR10 años	9.0500	1621.78	1622.86	1622.87	1623.37	0.010874	3.22	3.00	3.25	1.01
Guadarrama	17	Q TR 25 años	12.8500	1621.78	1623.07	1623.21	1623.76	0.011420	3.74	3.73	3.71	1.07
Guadarrama	17	Q TR 50 años	15.9200	1621.78	1623.18	1623.43	1624.04	0.012796	4.20	4.23	4.86	1.15
Guadarrama	17	Q TR 100 años ma	26.6700	1621.78	1624.43		1624.80	0.002682	2.96	11.49	6.31	0.59
Guadarrama	16	Q TR 2.33 años	3.5800	1621.31	1621.85	1622.01	1622.41	0.034925	3.36	1.11	2.58	1.56
Guadarrama	16	Q TR 5 años	6.3800	1621.31	1622.08	1622.36	1622.84	0.028601	3.95	1.72	2.84	1.51
Guadarrama	16	Q TR10 años	9.0500	1621.31	1622.83	1622.54	1623.07	0.003726	2.32	4.58	4.19	0.61
Guadarrama	16	Q TR 25 años	12.8500	1621.31	1623.28	1622.76	1623.51	0.002669	2.35	6.70	5.13	0.54
Guadarrama	16	Q TR 50 años	15.9200	1621.31	1623.61	1622.94	1623.84	0.002186	2.37	8.49	5.62	0.51
Guadarrama	16	Q TR 100 años ma	26.6700	1621.31	1624.50		1624.74	0.001624	2.55	14.06	6.89	0.46

Tabla 26.*Continuación Resultados Condiciones Proyectadas – quebrada La Sabanetica sector Guadarrama.*

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Guadarrama	15	Q TR 2.33 años	3.5800	1621.32	1621.88	1621.93	1622.24	0.005515	2.65	1.35	2.50	1.15
Guadarrama	15	Q TR 5 años	6.3800	1621.32	1622.14	1622.21	1622.66	0.005706	3.19	2.00	2.50	1.14
Guadarrama	15	Q TR10 años	9.0500	1621.32	1622.44	1622.44	1622.99	0.004819	3.30	2.74	2.50	1.01
Guadarrama	15	Q TR 25 años	12.8500	1621.32	1622.73	1622.73	1623.43	0.005226	3.71	3.47	2.50	1.01
Guadarrama	15	Q TR 50 años	15.9200	1621.32	1622.94	1622.94	1623.75	0.005552	3.98	4.00	2.50	1.01
Guadarrama	15	Q TR 100 años ma	26.6700	1621.32	1623.76	1623.76	1624.65	0.004549	4.20	6.58	4.24	0.94
Guadarrama	14	Q TR 2.33 años	3.5800	1619.24	1619.51	1619.85	1621.21	0.057801	5.78	0.62	2.50	3.71
Guadarrama	14	Q TR 5 años	6.3800	1619.24	1619.67	1620.13	1621.67	0.040439	6.27	1.02	2.50	3.14
Guadarrama	14	Q TR10 años	9.0500	1619.24	1619.80	1620.36	1622.10	0.035554	6.72	1.35	2.50	2.93
Guadarrama	14	Q TR 25 años	12.8500	1619.24	1619.99	1620.65	1622.52	0.029986	7.05	1.82	2.50	2.63
Guadarrama	14	Q TR 50 años	15.9200	1619.24	1620.14	1620.86	1622.83	0.027531	7.27	2.19	2.50	2.48
Guadarrama	14	Q TR 100 años ma	26.6700	1619.24	1620.61	1621.68	1623.80	0.024277	7.92	3.37	2.50	2.18
Guadarrama	13	Q TR 2.33 años	3.5800	1618.74	1618.98	1619.35	1621.16	0.085103	6.54	0.55	2.50	4.47
Guadarrama	13	Q TR 5 años	6.3800	1618.74	1619.13	1619.63	1621.62	0.056268	7.00	0.91	2.50	3.70
Guadarrama	13	Q TR10 años	9.0500	1618.74	1619.25	1619.86	1622.05	0.047416	7.42	1.22	2.50	3.39
Guadarrama	13	Q TR 25 años	12.8500	1618.74	1619.43	1620.15	1622.47	0.038957	7.73	1.66	2.50	3.02
Guadarrama	13	Q TR 50 años	15.9200	1618.74	1619.56	1620.36	1622.77	0.035225	7.94	2.01	2.50	2.83
Guadarrama	13	Q TR 100 años ma	26.6700	1618.74	1620.01	1621.19	1623.75	0.029910	8.57	3.11	2.50	2.45
Guadarrama	12	Q TR 2.33 años	3.5800	1618.02	1618.33	1618.63	1619.60	0.036922	5.00	0.72	2.50	2.98
Guadarrama	12	Q TR 5 años	6.3800	1618.02	1618.46	1618.91	1620.36	0.037258	6.10	1.05	2.50	3.01
Guadarrama	12	Q TR10 años	9.0500	1618.02	1618.57	1619.14	1620.92	0.036519	6.79	1.33	2.50	2.97
Guadarrama	12	Q TR 25 años	12.8500	1618.02	1618.74	1619.43	1621.51	0.034152	7.38	1.74	2.50	2.82
Guadarrama	12	Q TR 50 años	15.9200	1618.02	1618.86	1619.64	1621.91	0.032702	7.73	2.06	2.50	2.72
Guadarrama	12	Q TR 100 años ma	26.6700	1618.02	1619.29	1620.45	1623.03	0.029914	8.57	3.11	2.50	2.45
Guadarrama	11	Q TR 2.33 años	3.5800	1617.52	1617.78	1618.13	1619.55	0.061215	5.89	0.61	2.50	3.81
Guadarrama	11	Q TR 5 años	6.3800	1617.52	1617.91	1618.41	1620.31	0.052876	6.86	0.93	2.50	3.59
Guadarrama	11	Q TR10 años	9.0500	1617.52	1618.03	1618.64	1620.87	0.048408	7.47	1.21	2.50	3.43
Guadarrama	11	Q TR 25 años	12.8500	1617.52	1618.18	1618.93	1621.46	0.043350	8.02	1.60	2.50	3.20
Guadarrama	11	Q TR 50 años	15.9200	1617.52	1618.30	1619.14	1621.86	0.040613	8.35	1.91	2.50	3.05
Guadarrama	11	Q TR 100 años ma	26.6700	1617.52	1618.71	1619.96	1622.98	0.035637	9.16	2.91	2.50	2.71
Guadarrama	10	Q TR 2.33 años	3.5800	1617.07	1617.36	1617.66	1618.63	0.039191	5.00	0.72	2.50	2.98
Guadarrama	10	Q TR 5 años	6.3800	1617.07	1617.48	1617.94	1619.43	0.041006	6.19	1.03	2.50	3.07
Guadarrama	10	Q TR10 años	9.0500	1617.07	1617.59	1618.17	1620.04	0.040876	6.93	1.31	2.50	3.06
Guadarrama	10	Q TR 25 años	12.8500	1617.07	1617.75	1618.46	1620.70	0.039296	7.62	1.69	2.50	2.96
Guadarrama	10	Q TR 50 años	15.9200	1617.07	1617.86	1618.67	1621.14	0.037983	8.02	1.98	2.50	2.88
Guadarrama	10	Q TR 100 años ma	26.6700	1617.07	1618.26	1619.49	1622.36	0.035062	8.97	2.97	2.50	2.63
Guadarrama	8.5		Culvert									
Guadarrama	8	Q TR 2.33 años	3.5800	1616.69	1617.00	1617.29	1618.13	0.032507	4.71	0.76	2.50	2.73
Guadarrama	8	Q TR 5 años	6.3800	1616.69	1617.13	1617.57	1618.88	0.034594	5.85	1.09	2.50	2.83
Guadarrama	8	Q TR10 años	9.0500	1616.69	1617.25	1617.80	1619.44	0.034610	6.56	1.38	2.50	2.82
Guadarrama	8	Q TR 25 años	12.8500	1616.69	1617.41	1618.09	1620.07	0.033597	7.23	1.78	2.50	2.74
Guadarrama	8	Q TR 50 años	15.9200	1616.69	1617.54	1618.30	1620.46	0.032198	7.58	2.10	2.50	2.64
Guadarrama	8	Q TR 100 años ma	26.6700	1616.69	1618.00	1619.12	1621.43	0.027569	8.21	3.25	2.50	2.30
Guadarrama	7	Q TR 2.33 años	3.5800	1616.19	1616.44	1616.78	1618.08	0.058016	5.67	0.63	2.50	3.60
Guadarrama	7	Q TR 5 años	6.3800	1616.19	1616.57	1617.06	1618.83	0.051139	6.66	0.96	2.50	3.43
Guadarrama	7	Q TR10 años	9.0500	1616.19	1616.69	1617.29	1619.39	0.047356	7.28	1.24	2.50	3.30
Guadarrama	7	Q TR 25 años	12.8500	1616.19	1616.84	1617.58	1620.02	0.043513	7.90	1.63	2.50	3.12
Guadarrama	7	Q TR 50 años	15.9200	1616.19	1616.96	1617.79	1620.41	0.040698	8.22	1.94	2.50	2.98
Guadarrama	7	Q TR 100 años ma	26.6700	1616.19	1617.40	1618.61	1621.38	0.033677	8.84	3.02	2.50	2.57

Tabla 27.*Continuación Resultados Condiciones Proyectadas – quebrada La Sabanetica sector Guadarrama.*

Guadarrama	6.5		Culvert									
Guadarrama	5	Q TR 2.33 años	3.5800	1616.11	1616.38	1616.70	1617.79	0.045902	5.26	0.68	2.50	3.22
Guadarrama	5	Q TR 5 años	6.3800	1616.11	1616.52	1616.98	1618.47	0.040962	6.18	1.03	2.50	3.07
Guadarrama	5	Q TR10 años	9.0500	1616.11	1616.64	1617.21	1619.04	0.039867	6.87	1.32	2.50	3.02
Guadarrama	5	Q TR 25 años	12.8500	1616.11	1616.80	1617.50	1619.63	0.036825	7.45	1.72	2.50	2.86
Guadarrama	5	Q TR 50 años	15.9200	1616.11	1616.93	1617.71	1619.97	0.034128	7.72	2.06	2.50	2.72
Guadarrama	5	Q TR 100 años ma	26.6700	1616.11	1617.41	1618.53	1620.85	0.027739	8.22	3.25	2.50	2.30
Guadarrama	4	Q TR 2.33 años	3.5800	1615.67	1615.98	1616.28	1617.20	0.034392	4.89	0.73	2.50	2.88
Guadarrama	4	Q TR 5 años	6.3800	1615.67	1616.12	1616.56	1617.92	0.034408	5.94	1.07	2.50	2.89
Guadarrama	4	Q TR10 años	9.0500	1615.67	1616.23	1616.79	1618.50	0.034627	6.66	1.36	2.50	2.89
Guadarrama	4	Q TR 25 años	12.8500	1615.67	1616.39	1617.08	1619.13	0.033438	7.32	1.75	2.50	2.79
Guadarrama	4	Q TR 50 años	15.9200	1615.67	1616.52	1617.29	1619.51	0.031925	7.66	2.08	2.50	2.68
Guadarrama	4	Q TR 100 años ma	26.6700	1615.67	1616.98	1618.11	1620.47	0.027286	8.28	3.22	2.50	2.33
Guadarrama	3	Q TR 2.33 años	3.5800	1615.42	1615.73	1616.03	1617.06	0.028046	5.11	0.71	2.70	3.17
Guadarrama	3	Q TR 5 años	6.3800	1615.42	1615.86	1616.30	1617.79	0.024259	6.16	1.05	2.78	3.14
Guadarrama	3	Q TR10 años	9.0500	1615.42	1615.96	1616.52	1618.37	0.022051	6.88	1.35	2.84	3.12
Guadarrama	3	Q TR 25 años	12.8500	1615.42	1616.10	1616.80	1619.01	0.018980	7.56	1.76	2.93	3.02
Guadarrama	3	Q TR 50 años	15.9200	1615.42	1616.22	1617.00	1619.40	0.016699	7.93	2.11	3.00	2.91
Guadarrama	3	Q TR 100 años ma	26.6700	1615.42	1616.62	1617.73	1620.38	0.011268	8.64	3.35	3.24	2.57
Guadarrama	2	Q TR 2.33 años	3.5800	1615.36	1615.65	1615.91	1616.70	0.145350	4.58	0.80	3.41	2.91
Guadarrama	2	Q TR 5 años	6.3800	1615.36	1615.74	1616.12	1617.47	0.161129	5.91	1.11	3.61	3.23
Guadarrama	2	Q TR10 años	9.0500	1615.36	1615.81	1616.30	1618.09	0.164795	6.80	1.38	3.76	3.37
Guadarrama	2	Q TR 25 años	12.8500	1615.36	1615.91	1616.52	1618.79	0.159620	7.69	1.75	3.92	3.44
Guadarrama	2	Q TR 50 años	15.9200	1615.36	1615.99	1616.68	1619.21	0.149063	8.16	2.05	3.97	3.40
Guadarrama	2	Q TR 100 años ma	26.6700	1615.36	1616.25	1617.19	1620.22	0.114578	9.14	3.12	4.26	3.17
Guadarrama	1	Q TR 2.33 años	3.5800	1615.05	1615.33	1615.51	1616.01	0.095347	3.68	0.99	4.22	2.36
Guadarrama	1	Q TR 5 años	6.3800	1615.05	1615.41	1615.73	1616.63	0.120185	4.95	1.32	4.34	2.78
Guadarrama	1	Q TR10 años	9.0500	1615.05	1615.47	1615.87	1617.18	0.134322	5.87	1.59	4.43	3.02
Guadarrama	1	Q TR 25 años	12.8500	1615.05	1615.55	1616.05	1617.87	0.142161	6.86	1.96	4.98	3.21
Guadarrama	1	Q TR 50 años	15.9200	1615.05	1615.61	1616.17	1618.32	0.143527	7.46	2.27	5.55	3.29
Guadarrama	1	Q TR 100 años ma	26.6700	1615.05	1615.78	1616.55	1619.52	0.140009	8.90	3.26	5.90	3.41

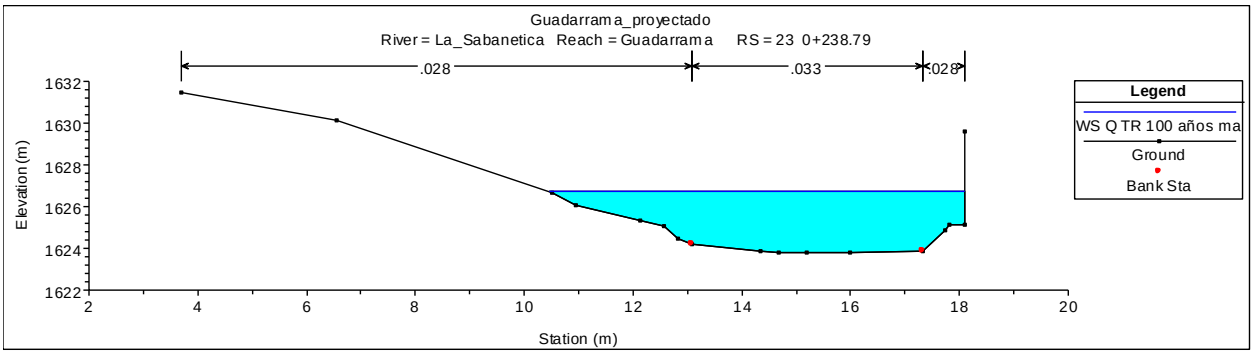
- Los valores del número de Froude son superiores a la unidad (1) indicando esto, que el régimen de flujo de estudio es supercrítico.
- Las velocidades calculadas en el análisis hidráulico varían desde 2.5 m/s hasta 6.54 m/s para los caudales con periodo de retorno de 2.33 años y de 1.9 m/s hasta 9.16 m/s para los caudales con periodo de retorno de 100 años mayorado, en los canales naturales, canal escalonado y box culvert; magnitudes normales para estas altas pendientes, además debemos recordar que la mayoría corresponde a un canal en concreto donde las velocidades siguen siendo inferior a las que se permiten en este tipo de estructuras con concreto.

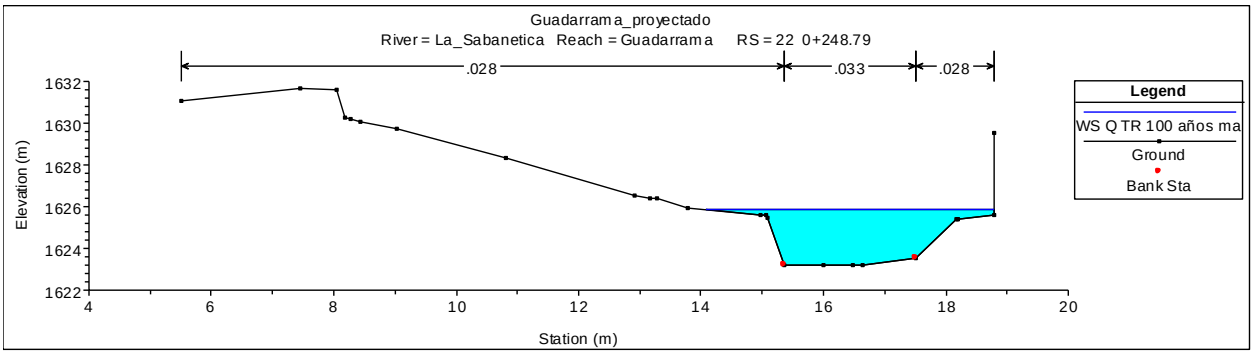
4.2.5. Analisis de resultados.

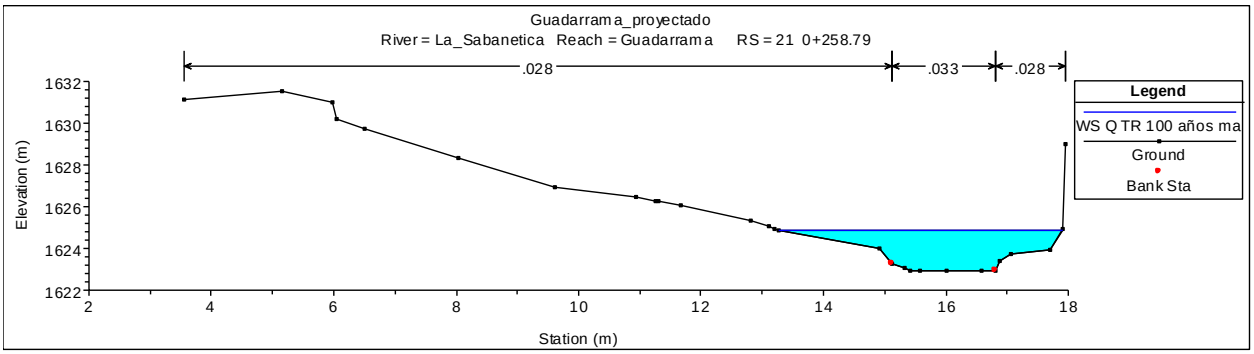
En los resultados arrojados en la modelación utilizando el programa HEC- RAS para la cobertura proyectada, se puede apreciar:

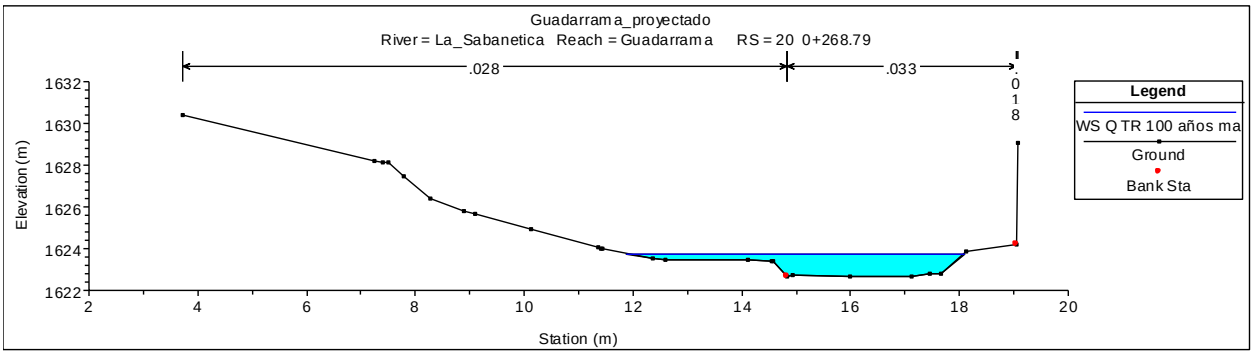
4.2.5.1. Comportamiento hidráulico Tramo aguas arriba del sitio donde se proyecta el cruce con la via existente y canal en concreto.

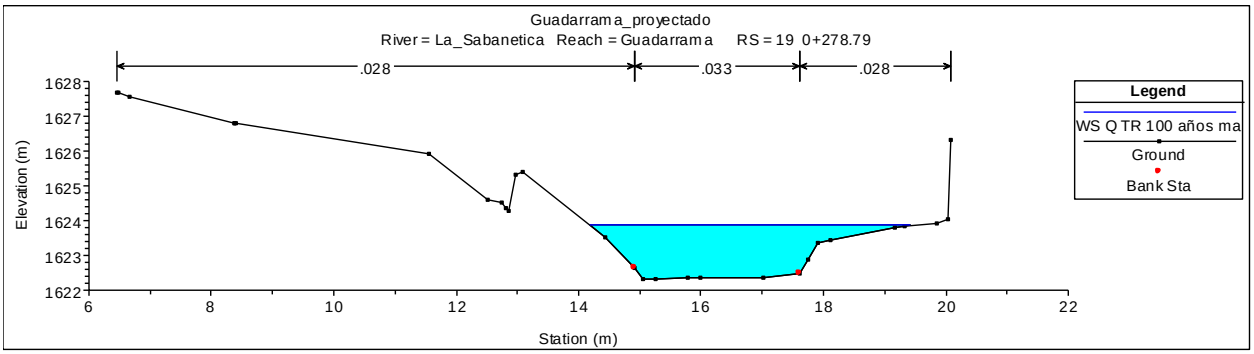
- Para las condiciones extremas, es decir cuando se presenta la avenida de los 100 años con un caudal de 26.67 m^3/s, las secciones del tramo están en capacidad hidráulica para evacuar el caudal de diseño. Con la proyección del canal rectangular en concreto y nuevo box culvert se mejora la dinámica de la quebrada. Estos resultados se pueden apreciar en las siguientes secciones:

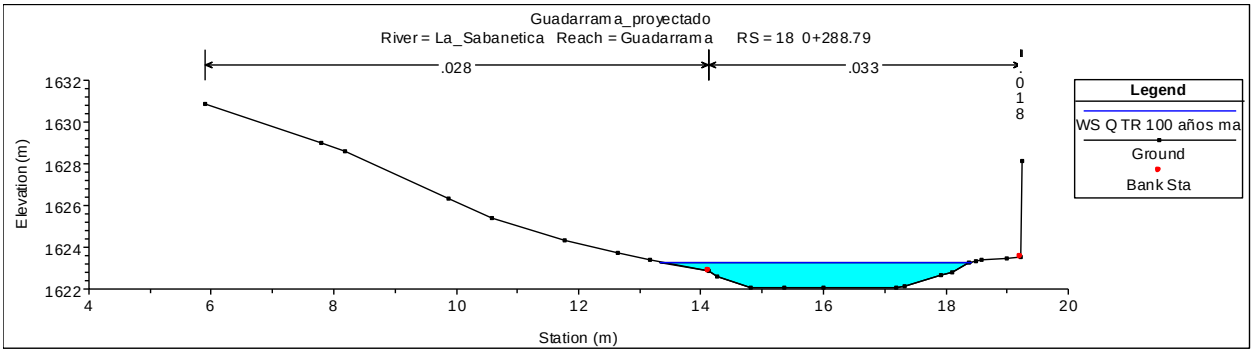


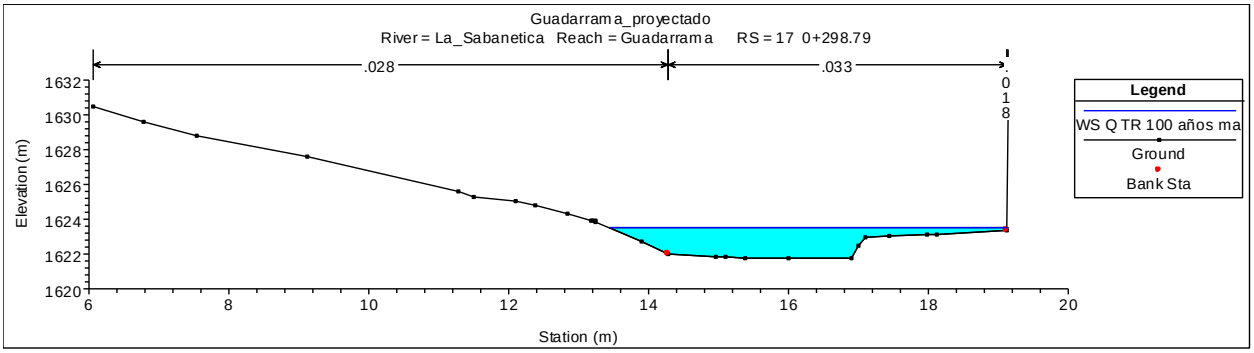


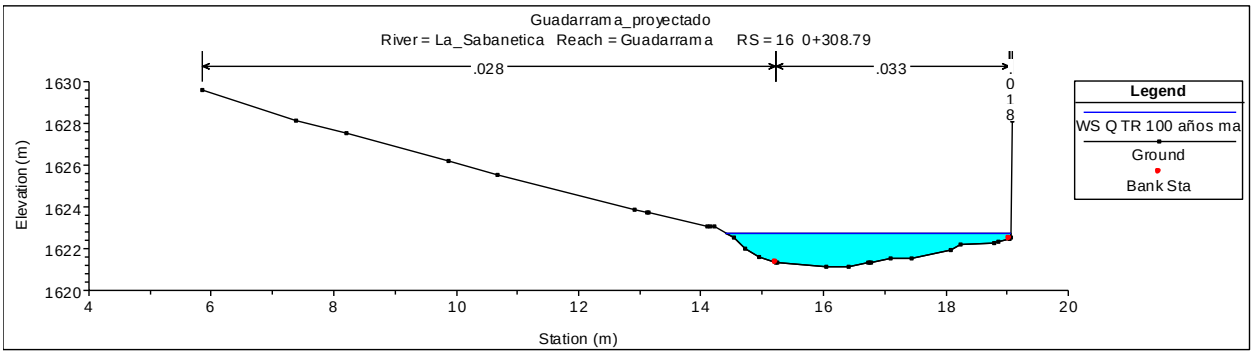



Guadarrama_proyectado
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 20 0+268.79
.028
.033
.018
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años ma
Ground
Bank Sta


Guadarrama_proyectado
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 19 0+278.79
.028
.033
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años ma
Ground
Bank Sta

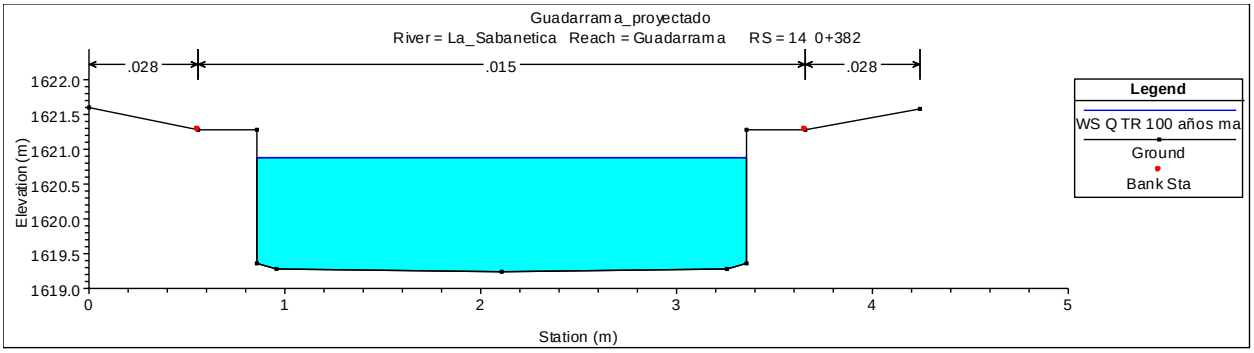

Guadarrama_proyectado
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 18 0+288.79
.028
.033
.018
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años ma
Ground
Bank Sta

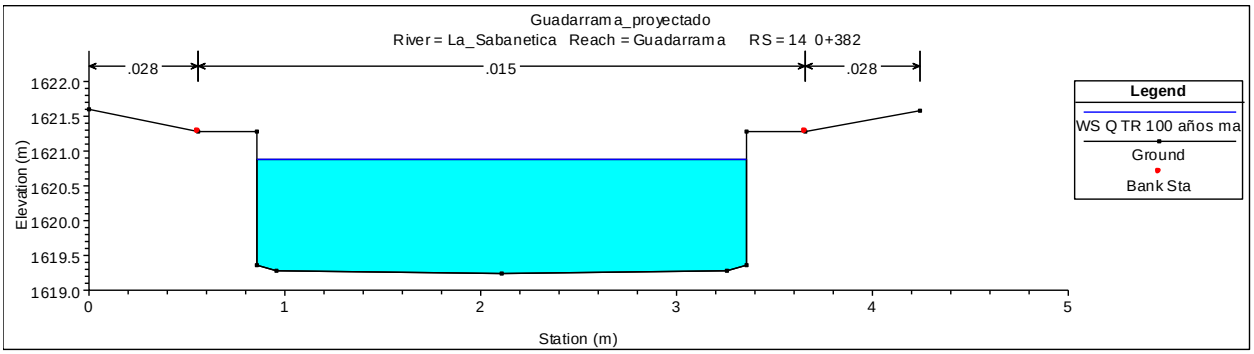

Guadarrama_proyectado
River = La_Sabanetica Reach = Guadarrama RS = 17 0+298.79
.028
.033
.018
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q TR 100 años ma
Ground
Bank Sta

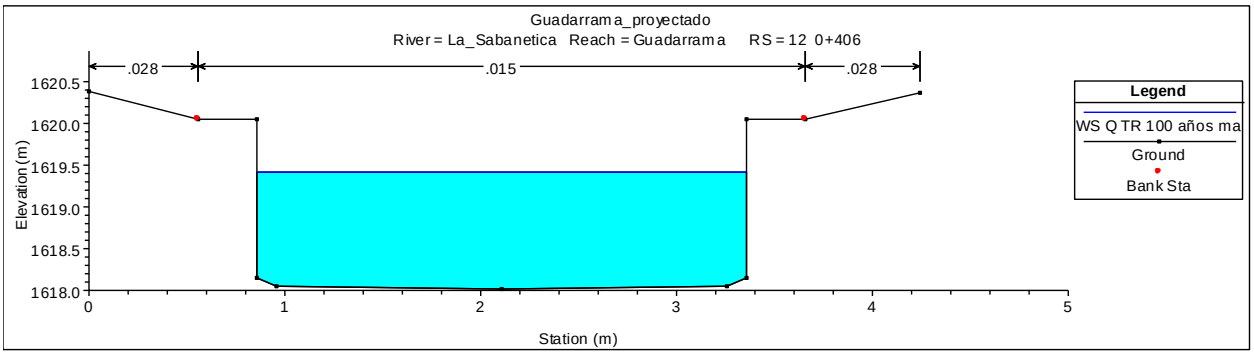


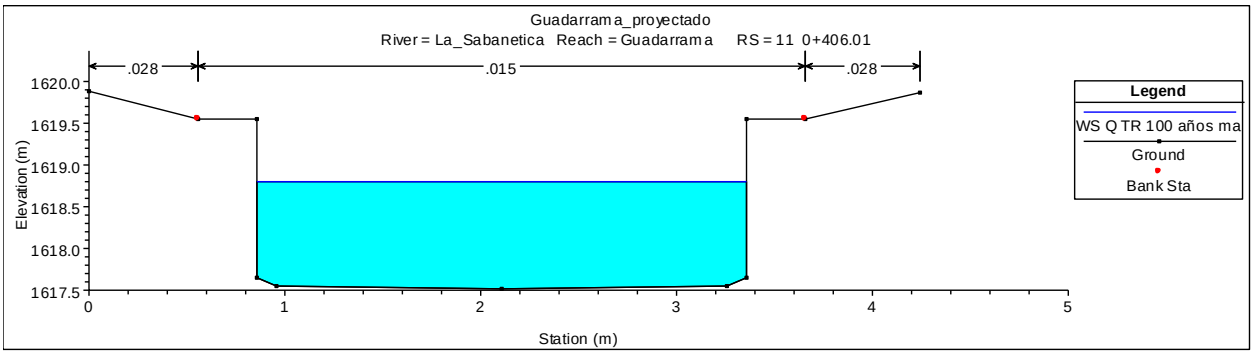
4.2.5.2. <u>Comportamiento hidráulico del sitio donde se proyecta el canal en concreto aguas arriba del box culvert.</u>

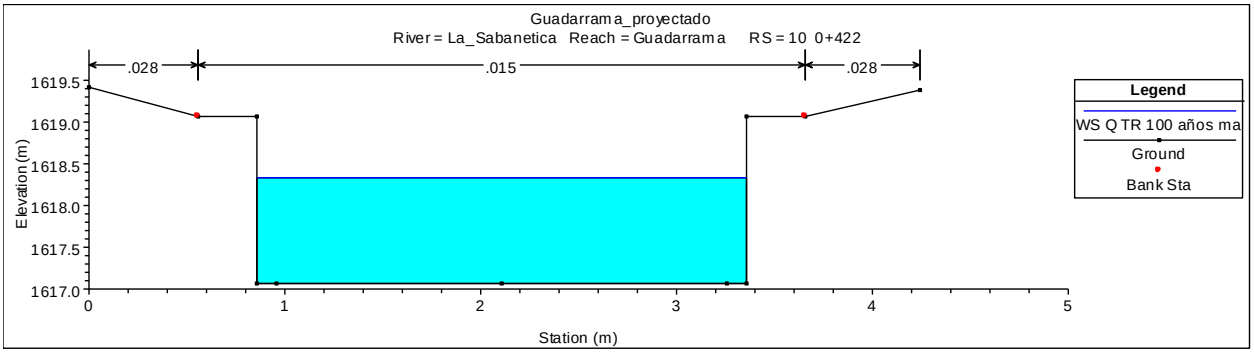
- Para las condiciones extremas, es decir cuando se presenta la avenida de los 100 años con un caudal de 26.67 m^3/s, las secciones del tramo analizado están en capacidad hidráulica para evacuar el caudal de diseño. Con la proyección del canal rectangular en concreto se mejora la dinámica de la quebrada. Estos resultados se pueden apreciar en las siguientes secciones:







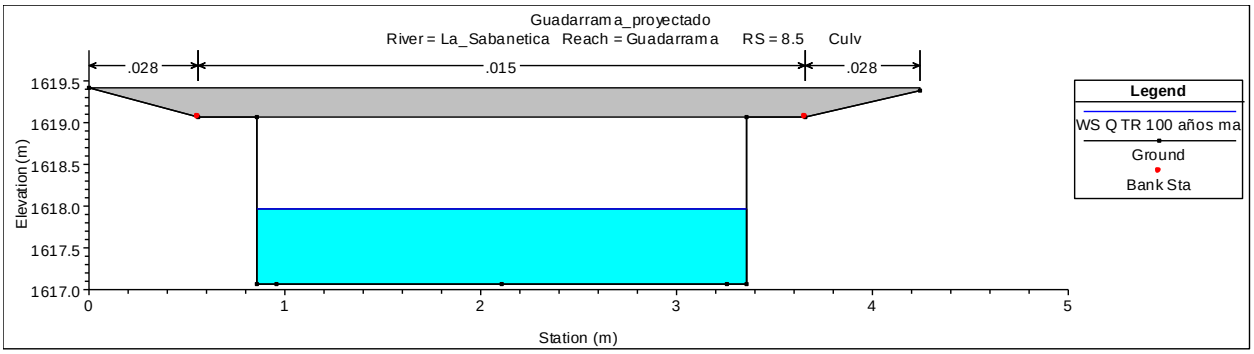


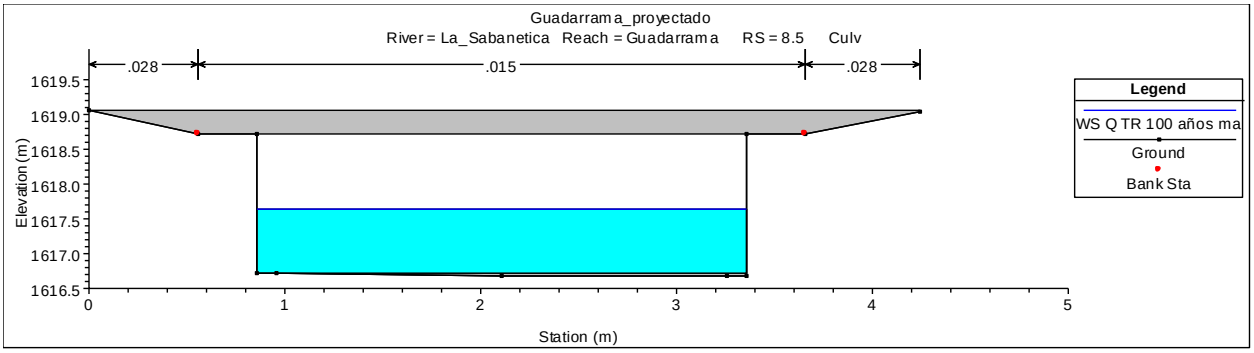


- Que la estructura hidráulica analizada de sección de 2.50 m de ancho x 2.0 m de alto, no presentan problemas para evacuar el caudal de diseño 26.67 m^3/s, como se observa en las siguientes secciones.

4.2.5.3. Comportamiento hidráulico del sitio donde se proyecta la obra de cruce en concreto un aobra tipo box culvert.

- Para las condiciones extremas, es decir cuando se presenta la avenida de los 100 años con un caudal de 26.67 m^3/s, la sección del tramo analizado están en capacidad hidráulica para evacuar el caudal de diseño. Con la proyección del nuevo box culvert se mejora la dinámica de la quebrada. Estos resultados se pueden apreciar en las siguientes secciones:

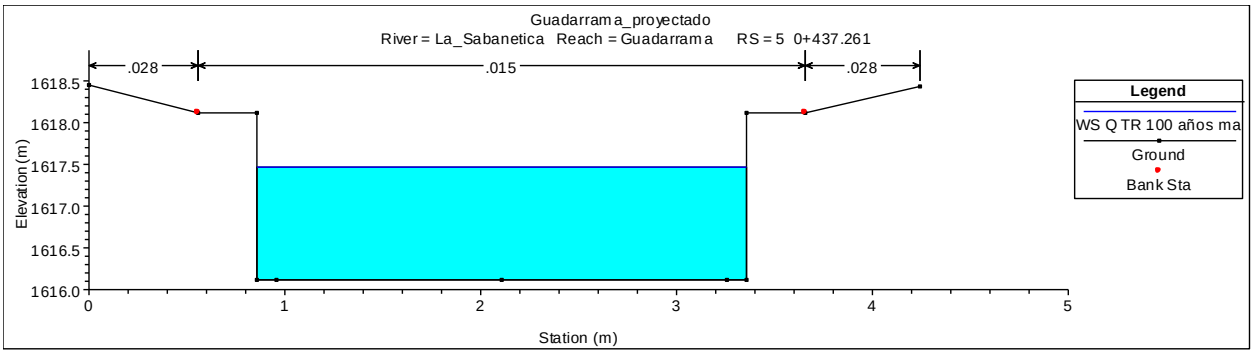


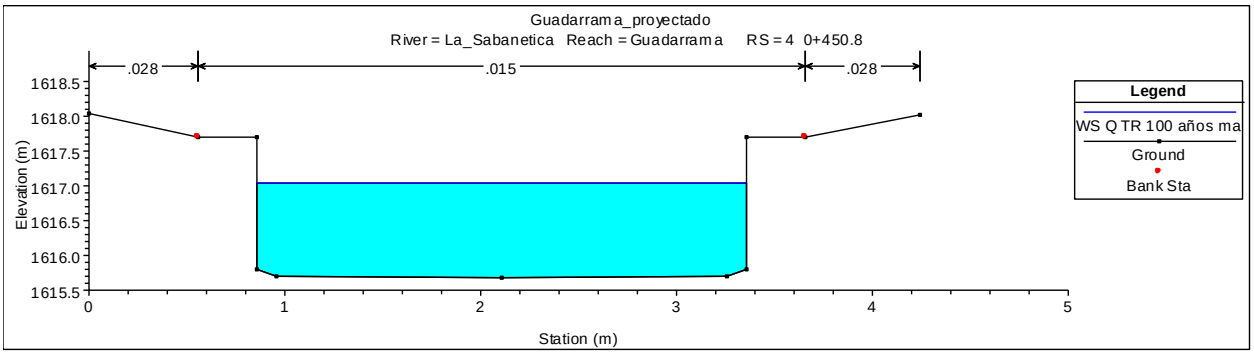


- Que la estructura hidráulica analizada de sección de 2.50 m de ancho x 2.0 m de alto, no presentan problemas para evacuar el caudal de diseño 26.67 m^3/s, como se observa en las siguientes secciones.
- La lámina de agua en la sección de la entrada a la cobertura deja un suficiente borde libre, altura que nos da un buen factor de seguridad en la estructura, además debe recordarse que obedece a un caudal ya mayorado, lo que nos da una mayor capacidad de la estructura ante eventos de crecientes.

4.2.5.4. *Comportamiento hidráulico del sitio donde se proyecta el canal en concreto aguas abajo del box culvert.*

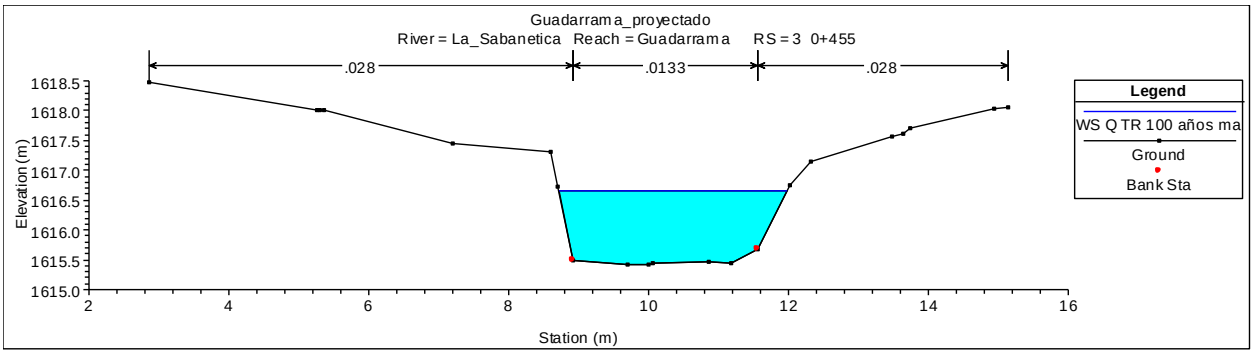
- Para las condiciones extremas, es decir cuando se presenta la avenida de los 100 años con un caudal de 26.67 m^3/s, las secciones del tramo analizado están en capacidad hidráulica para evacuar el caudal de diseño. Con la proyección del canal rectangular en concreto se mejora la dinámica de la quebrada. Estos resultados se pueden apreciar en las siguientes secciones:

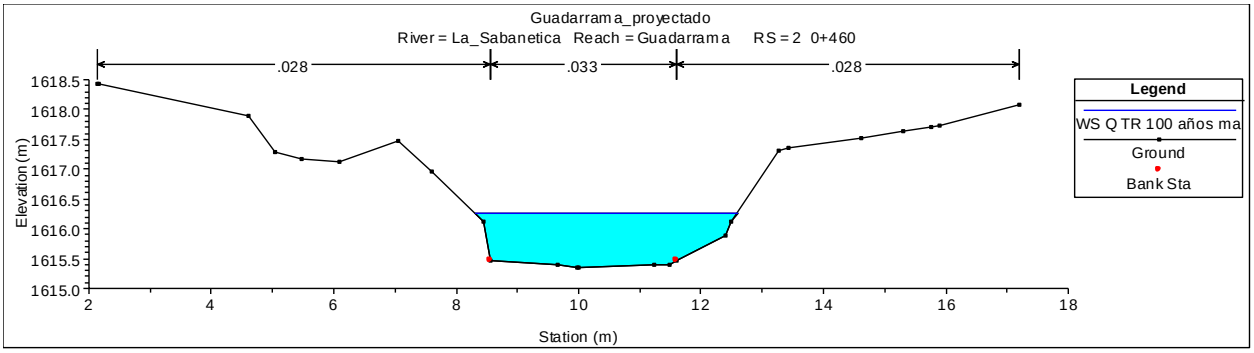


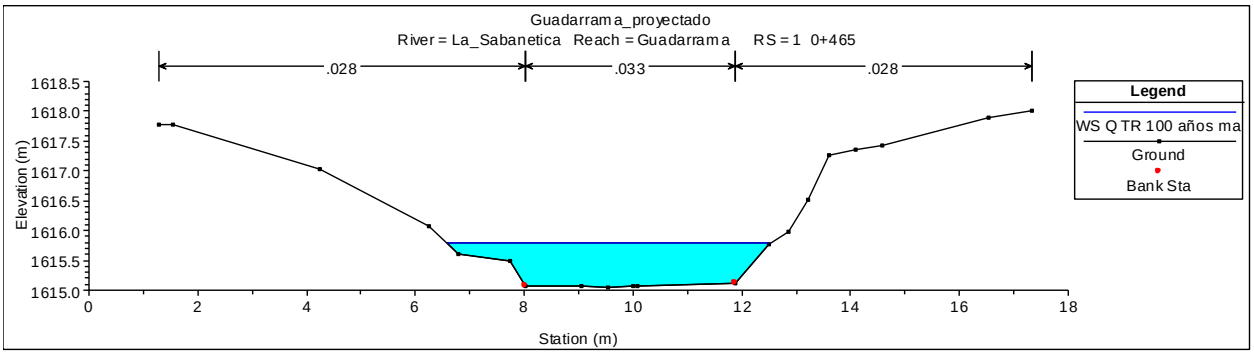


4.2.5.5. *Comportamiento hidráulico Tramo aguas abajo del sitio del cruce con la via existente.*

- Para las condiciones extremas, es decir cuando se presenta la avenida de los 100 años con un caudal de 26.67 m^3/s, las secciones del tramo están en capacidad hidráulica para evacuar el caudal de diseño. Estos resultados se pueden apreciar en las siguientes secciones:







4.2.6. Descripción de Obra Proyectadas

CANAL EN CONCRETO INICIO

Ubicación: Obra de entrada entre abscisas 0+ 312.49 a 0+ 421.92

Descripción obra proyectada: Canal en U en concreto de 2.5 m de ancho x 2.0 m en una longitud de 109.44 m, con un enrocado en la entrada, según detalle en planos.

Coordenadas y cota:

Entrada 829.200,10, 1'171.221,23

Salida 829.193,84, 1'171.329,57

Acabado: Concreto a la vista con n= 0.013 y en el canal, con una pequeña curvatura del 2% al centro del canal. (inver)

BOXCULVERT

Ubicación: Obra entre abscisas 0+ 421.92 a 0+ 437.35

Descripción obra proyectada: Box culvert de 2.5 m de ancho x 2.0 m de alto en una longitud de 15.33 m, según detalle en planos.

Coordenadas y cota:

Entrada 829.193,84, 1'171.329,57

Salida 829.197,62, 1'171.344,43

Acabado: Concreto a la vista con n= 0.013 con una pequeña curvatura del 2% al centro del canal. (inver)

CANAL EN CONCRETO SALIDA

Ubicación: Obra de entrada entre abscisas 0+ 437.35a 0+ 450.80

Descripción obra proyectada: Canal en U en concreto de 2.5 m de ancho x 2.0 m en una longitud de 13.54 m, con un enrocado en la salida, según detalle en planos.

Coordenadas y cota:

Entrada 829.197,62, 1'171.344,43

Salida 830.632,20, 1'170.324,47

Acabado: Concreto a la vista con n= 0.013 y en el canal, con una pequeña curvatura del 2% al centro del canal. (inver)

Caudal de diseño quebrada TR 100 años mayorada: 26.67 m^3/s

4.2.7. Cocclusiones.

Cuando se diseña o se construye una estructura hidráulica, se parte de parámetros que caracterizan la cuenca o el área de influencia, teniendo en cuenta los Planes de Desarrollo respectivos y estado actual de la misma. Son los cambios radicales en los usos del suelo y del clima los que hacen insuficientes no sólo las estructuras hidráulicas que fueron adecuadamente diseñadas y construidas en épocas anteriores, inclusive aun los cauces "naturales" urbanos.

Es por eso por lo que estas condiciones deben conservarse o mejorarse ambientalmente, para así garantizar que las obras proyectadas cumplan adecuadamente con su función. No es suficiente con diseñar una estructura hidráulica que cumpla al menos con las normas mínimas, debe de pensarse siempre en manejos integrales; es decir, se debe proponer no sólo una estructura hidráulicamente capaz de evacuar el caudal de diseño, sino también unos trabajos adicionales en la microcuenca para que los caudales determinados no se presenten en períodos de retorno inferiores a los establecidos.

El canal natural y canal escalonado en concreto se deberá mantener libre de palos, desechos sólidos y piedras, con el objeto de no disminuir la capacidad hidráulica. Por ningún motivo se debe permitir arrojar escombros o cualquier tipo de desechos aguas arriba o aguas abajo del tramo estudiado, debido a que se generan represamientos o desbordamientos de la quebrada en el sector en estudio.

En los resultados arrojados en la modelación utilizando el programa HEC- RAS, se puede apreciar:

- Al observar los resultados arrojados en la modelación utilizando el programa HEC- RAS para el caudal estimado de 26.67 m^3/s, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años mayorado por 1.4, en las secciones para el canal natural, box culvert y el canal en concreto proyectado, poseen capacidad hidráulica para evacuar el caudal de diseño.
- La lámina de agua no sube hasta la cota superior en la sección del canal escalonado ni del box culvert, quedando un suficiente borde libre, altura que nos da un buen factor de seguridad en la estructura, además debe recordarse que obedece a un caudal ya mayorado, lo que nos da una mayor capacidad de la estructura ante eventos de crecientes.
- Los niveles de agua observados no generaran afectaciones con la construcción de la nueva estructura, es decir, en estos tramos aguas arriba y aguas abajo de la zona a intervenir no habrá cambios hidráulicos importantes, no modificaran o variaran la dinámica de la corriente de agua de la quebrada conservando o mejorando los regímenes de flujo.
- Que en el box culvert, canal proyectado, y canal "natural" se conservan y/o mejoraran las características hidráulicas con la construcción de las nuevas estructuras, como se observó en las siguientes secciones y perfiles.
- Al observar los resultados arrojados en la modelación utilizando el programa HEC- RAS, las secciones del canal en concreto y box culvert, tendrán suficiente capacidad hidráulica, debido a que la altura de la lámina de agua es muy inferior a las secciones, garantizándose una sección que no generará problemas hidráulicos de importancia que alteren considerablemente la dinámica fluvial de la quebrada aguas arriba y aguas abajo de dichas estructuras.

- Una vez comprobada la capacidad hidráulica del box culvert y canales propuestos, se procedió a realizar los dibujos de los diseños en planta para el sitio de estudio. (Ver planos anexos)
- Que para las condiciones extremas, es decir cuando se presenta la avenida de los 100 años mayorada, se tienen velocidades en el canal en concreto que oscilan 1.9 m/s hasta 9.16 para los caudales, velocidades que siguen siendo inferior a las que se permiten en este tipo de estructuras con concreto de 28.0 MPa, ver tabla 4.2 anexa extraída del Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS, velocidades que no generan alteraciones fuertes en la superficie del cauce y estructura en concreto de 28 MPa, máxime si se tiene en cuenta que la frecuencia en la presentación del fenómeno es ocasional.

Tabla 4.2. - Velocidades máximas permisibles en canales artificiales (Referencia 4.6)

MATERIAL	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)
Ladrillo común	3.0
Ladrillo vitrificado	5.0
Arcilla vitrificada (gres)	4.0
Concreto 175 kg/cm^2	6.0
Concreto 210 kg/cm^2	10.0
Concreto 280 kg/cm^2	15.0
Concreto 350 kg/cm^2	20.0

- Se debe permitir y conservar la reforestación natural o en su defecto revegetalizar o sembrar pastos y especies arbóreas a todo lo largo del canal a recuperar y en los tramos de canal natural y los retiros para dar una protección a los taludes y al mismo tiempo una mejor apariencia paisajística.
- Es usual que durante este tipo de estudios se encuentren condiciones diferentes en las estructuras hidráulicas cuando se ejecutan las obras civiles. Se recomienda en estos momentos poner en conocimiento a los ingenieros diseñadores para replantear las obras o hacer los ajustes necesarios.
- Se debe tener en cuenta que durante la construcción de la obra, las excavaciones generalmente permanecen expuestas varios días para permitir la figuración y vaciado de losas y muros, posibilitando movimientos verticales y horizontales de la masa de suelo, por lo cual se debe minimizar dicha exposición para evitar la generación de grietas, fisuras y/o desgarres de la masa de suelo o del terreno.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Empresas Públicas de Medellín. Revista Hidrometerológica. Cincuenta años de hidrometerología en Empresas Públicas de Medellín. Vol 1, Número 1. Noviembre de 2.005. ISSN 1900-7248.-

- Google Earth. Google.com. Sistema de fotografías satelitales. 2.011.

- Departamento de Antioquia. Hidrología de Antioquia. Posgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos. Facultad de Minas – Universidad Nacional de Colombia. Secretaría de Obras Públicas.

- Journal of Hydraulic Research, Vol. 32. 1994. No. 2. CHANSON, Hubert. Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes. Lecturer in Hydraulics / Fluid mechanics. Department of Civil Engineering. The University of Queensland.

- CHOW, Ven T. Hidráulica de Canales Abiertos. McGraw Hill. Interamericana S. A. 1994. Santafé de Bogotá, Colombia. 667 pp.

6. ANEXOS

6.1. Anexo 1. Memorias hidrologia.

6.2. Anexo 2. Modelación Hidráulica.

6.3. Anexo 3. Planos.

ANEXO 1

MEMORIAS ESTUDIOS HIDROLOGICOS

Medellín - Colombia
C. 3146411306 – central@concavas.com
IG: @concavas
www.concavas.com

ANEXO 2

MODELACIÓN HIDRÁULICA

Medellín - Colombia
C. 3146411306 – central@concavas.com
IG: @concavas
www.concavas.com

ANEXO 3

PLANOS

Medellín - Colombia
C. 3146411306 – central@concavas.com
IG: @concavas
www.concavas.com