acueducto
AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

MEMORANDO INTERNO

2620001-2019-DIE-523

Bogotá D.C., 13 de septiembre de 2019

PARA: EDGAR ALBERTO ROJAS
Director Gestión Ambiental del Sistema Hídrico

DE: Dirección de Ingeniería Especializada

ASUNTO: Modelación hidrológica e hidráulica de la quebrada Zanjón de la Estrella.
En respuesta al Aviso SAP No. 400067895.

En atención al aviso de servicio del asunto, donde la Dirección Gestión Ambiental del Sistema Hídrico (DGASH) le solicita a la Dirección de Ingeniería Especializada (DIE) realizar la modelación hidrológica e hidráulica de la quebrada Zanjón de la Estrella para el caudal correspondiente al período de retorno de cien (100) años, se realizaron varias visitas técnicas en conjunto con la Dirección Gestión Ambiental del Sistema Hídrico (DGASH) y la Dirección de Información Técnica y Geográfica (DITG) realizó el levantamiento topográfico y el Modelo Digital de Terreno (MDT) que se utilizaron como base para realizar los trabajos solicitados; a continuación se presentan los resultados del análisis realizado.

1. Introducción

La quebrada Zanjón de la Estrella hace parte del sistema hídrico de la localidad de Ciudad Bolívar, nace en el sur occidente de Bogotá, aproximadamente a los 2903 msnm, y fluye en dirección occidente-oriente en sección abierta en una longitud de 2500 metros, para posteriormente ingresar al sistema de alcantarillado pluvial al costado oriental de la Calle 71ª BIS Sur con Carrera 17L, en una tubería circular de 1.80 metros de diámetro, hasta la Avenida Boyacá donde entrega al canal La Estrella que fluye hacia el norte paralelo a la Avenida Boyacá, para luego entregar al rio Tunjuelo.

A continuación en la Figura 1 y en la Figura 2 se presenta el lugar del nacimiento de la quebrada y el cauce típico encontrado.

JM.

YGVP
19 SET. 2019
10:16 AM

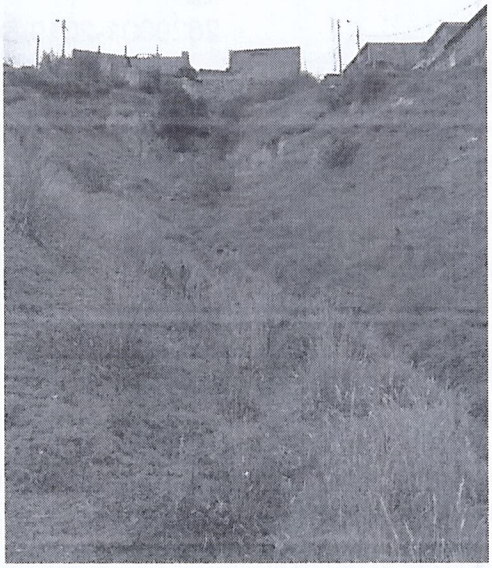


Figura 1. Nacimiento quebrada Zanjón de la Estrella.



Figura 2. Cauce natural de la quebrada Zanjón de la Estrella.

2. Modelación hidrológica

2.1. Modelo hidrológico

La modelación hidrológica para la determinación de os hidrogramas de evaluación de la quebrada Zanjón de la Estrella se desarrolló en el software HEC-HMS de acuerdo con los requerimientos de la normatividad vigente. El modelo HEC –HMS es un modelo lluvia – escorrentía que calcula el hidrograma producido por una cuenca a partir de los datos físicos de la cuenca y la precipitación considerada, utilizando diferentes métodos para el cálculo de la infiltración y la transformación de la precipitación en escorrentía. A continuación, se describen los métodos utilizados para la estimación de los caudales realizada para la zona de estudio.

2.1.1. Método Soil Conservation Service (SCS) para el cálculo de las abstracciones y la precipitación efectiva.

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Soil Conservation Service - SCS), desarrolló un método para el cálculo de las abstracciones iniciales de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración cuantificada a partir de un parámetro conocido como el número de curva de escorrentía.

Si se conoce el volumen total de lluvia precipitada en una tormenta (P), y la distribución temporal de un aguacero (hietograma de lluvia, ver Figura 3) en éste, una parte del volumen en el inicio de la lluvia es retenido o interceptado en la vegetación o en depresiones topográficas, de forma que en un aguacero existe una pérdida de volumen inicial o abstracción inicial (I_a). De igual forma, parte de dicho volumen se infiltra en el suelo (F_a), es decir sólo una parte de la lluvia total es la que contribuye a la escorrentía directa (precipitación efectiva, Pe).

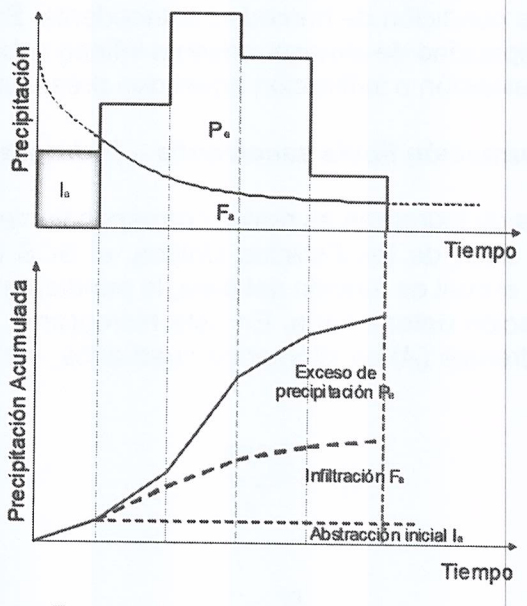


Figura 3. Método de abstracciones del SCS.

El método del SCS parte de la relación entre las siguientes cantidades:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$ Ecuación 1

Donde S es la retención potencial máxima, o el almacenamiento. Siguiendo con la deducción de la precipitación efectiva, por el principio de continuidad se tiene que,

$$P = P_e + I_a + F_a$$ Ecuación 2

Combinando las dos ecuaciones anteriores se obtiene,

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$ Ecuación 3

Siendo esta última la ecuación con la que se calcula la precipitación de exceso, donde las abstracciones iniciales pueden ser expresadas en términos del almacenamiento, a partir de la expresión $I_a = C_a S$, donde C_a es un coeficiente que varía entre 0.15 y 0.20 para cuencas colombianas.

El almacenamiento en la cuenca se puede expresar en términos de un parámetro adimensional que tiene en cuenta las características geomorfológicas del suelo, su uso y cobertura vegetal. Este parámetro es conocido, de acuerdo con la metodología propuesta por el SCS, como el número de curva (CN).

El número de curva depende de la clasificación hidrológica del suelo, realizada a partir de la geomorfología de la zona de estudio, el uso del suelo, la condición del suelo, es decir, si es pobre, aceptable o buena, y la condición de humedad antecedente. Este parámetro varía entre 0 y 100, siendo un suelo con capacidad de almacenamiento infinito aquel que presenta un CN igual a 0, y un suelo sin ninguna retención o infiltración aquel que presenta un CN igual a 100.

2.1.2. Transformación lluvia escorrentía – Hidrograma unitario del SCS.

A partir de varias series de hidrogramas reales correspondientes a cuencas de diversos tamaños, ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos, el SCS desarrolló un hidrograma unitario sintético adimensional el cual es función del área, la pendiente de la cuenca y que es válido para una lluvia de una duración determinada. En este hidrograma, el caudal máximo se expresa en términos del área de drenaje (A) en kilómetros cuadrados, y el tiempo al pico (Tp), a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_p = \frac{2.08A}{T_p}$$ Ecuación 4

Donde

$$T_p = \frac{tr}{2} + tp$$ Ecuación 5

Donde tr es el tiempo de duración de la lluvia y tp el tiempo de rezago o de retardo de la cuenca que se define como el tiempo comprendido entre el centroide del hidrograma de precipitación de exceso y el pico del caudal en el hidrograma. Cuando se conoce el tiempo de concentración (T_c), es posible determinar el tiempo de retardo asumiendo que $tp = 0.6T_c$.

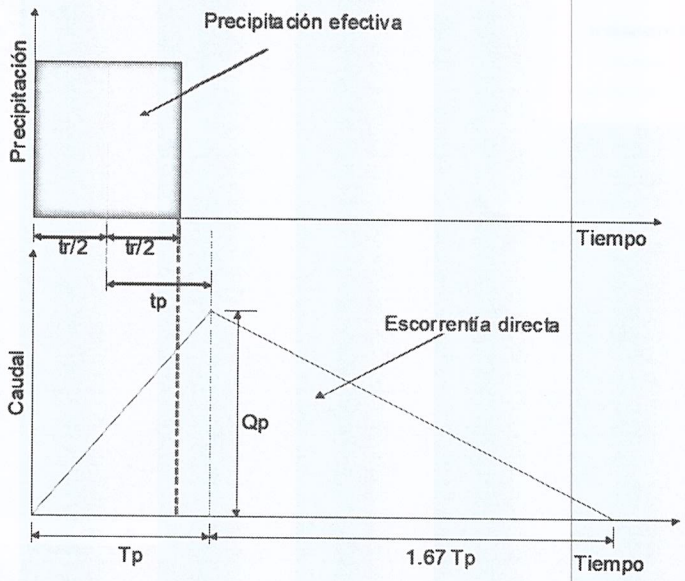


Figura 4. Esquema del Hidrograma unitario del SCS.

El tiempo de retardo o rezago (T_{lag}) puede ser calculado a través de la siguiente ecuación:

$$T_{lag} = L^{0.8}\frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}} \qquad \text{Ecuación 6}$$

Donde T_{lag} es el tiempo de retardo en horas, L es la longitud hidráulica en pies, CN es el número de Curva, y Y es la pendiente en porcentaje.

2.2. Propiedades de la cuenca

Para la construcción del modelo hidrológico se deben introducir características y parámetros representativos de la cuenca, los cuales se describen a continuación:

2.2.1. Delimitación de la cuenca

La delimitación de la cuenca se realizó utilizando un modelo digital de elevaciones, a partir de los puntos de elevación de terreno procesados (LiDAR) de propiedad de la Empresa, información suministrada por la Dirección de Información Técnica y Geográfica (DITG), y la información existente de las redes de alcantarillado del sector registradas en el Sistema de Información Geográfico Unificado Empresarial (SIGUE). Como resultado del análisis se determinó que la cuenca de la quebrada Zanjón tiene un área de drenaje de 72.07 hectáreas, cuya extensión se muestra en la Figura 5. Para efectos del análisis hidrológico y definir los caudales de análisis, el área de la cuenca fue desagregada en once (11) sub-cuencas, teniendo en cuenta el cambio de pendientes y los diferentes afluentes de la quebrada.

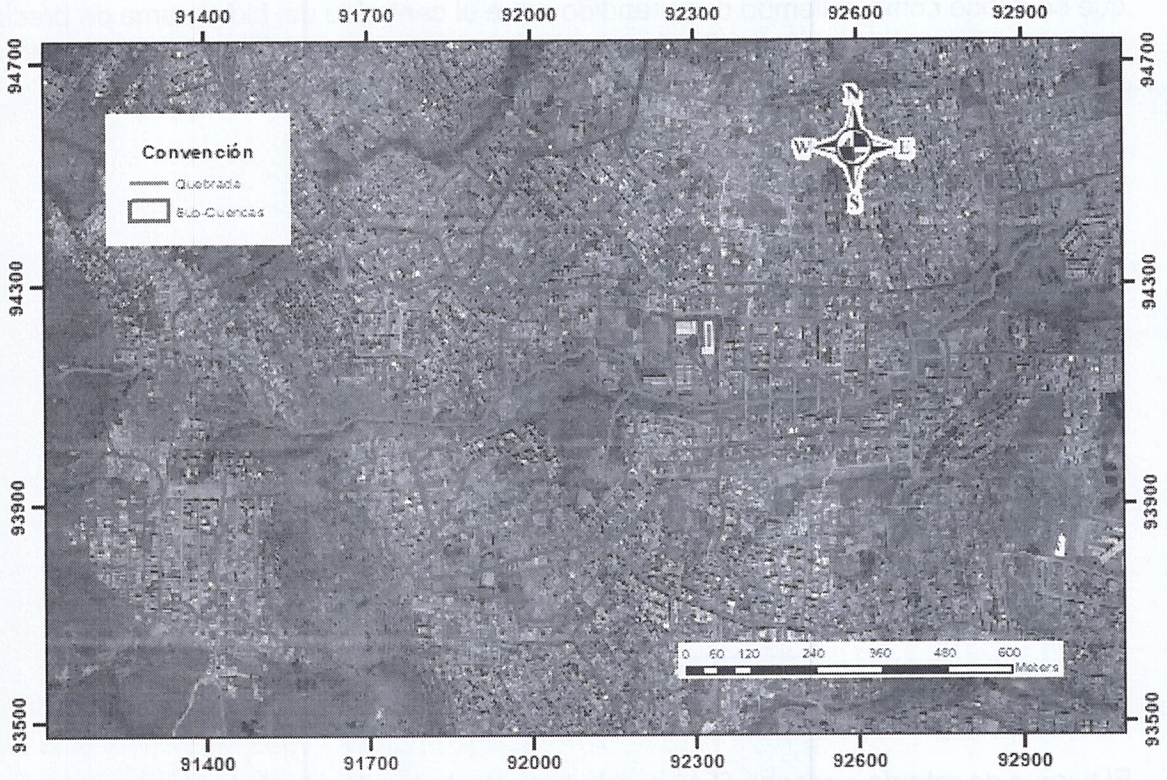


Figura 5. Cuenca de la quebrada Zanjón y drenaje afluente.

2.2.2. *Porcentaje de área impermeable*

Para la determinación del porcentaje de área impermeable se realizó una clasificación Ráster supervisada en el programa ArcGIS utilizando una imagen satelital reciente de la cuenca. Los porcentajes estimados de área permeable e impermeable para las once (11) sub-cuencas se muestran en la Tabla 1, el resultado gráfico de la clasificación realizada para la estimación de estos porcentajes se muestra en la Figura 6.

Tabla 1. Porcentaje de área impermeable cuenca de drenaje.

Sub-cuenca	% Impermeable	% Permeable
1	40.13%	59.87%
2	19.60%	80.40%
3	71.65%	28.35%
4	19.58%	80.42%
5	37.84%	62.16%
6	77.73%	22.27%
7	58.36%	41.64%
8	70.20%	29.80%
9	70.97%	29.03%
10	85.56%	14.44%
11	28.19%	71.81%

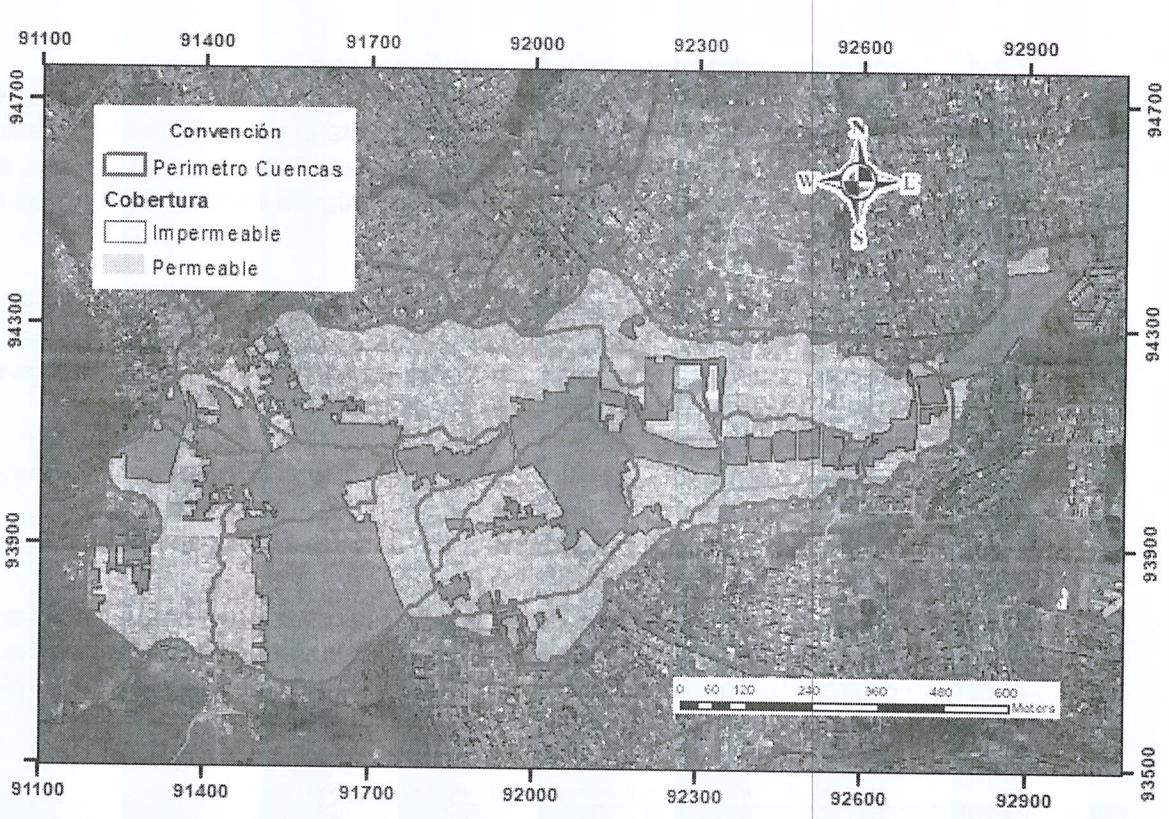


Figura 6. Distribución espacial de áreas permeables e impermeables en la cuenca.

2.2.3. Parámetro Número de Curva (CN)

La determinación del valor del parámetro Número de Curva (CN) se realizó de manera ponderada según las áreas de cada uso, tomando como referencia la clasificación ráster descrita en la sección 2.2.2. El valor adoptado de acuerdo con el área de cada uno de los usos se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Número de Curva de las cuencas.

Número	CN Ponderado
1	87.22
2	83.53
3	92.90
4	83.53
5	86.81
6	93.99
7	90.50
8	92.64
9	92.78
10	95.40
11	85.07

2.2.4. *Tiempo de concentración y tiempo de rezago*

El tiempo de concentración es el tiempo que le toma a una gota de escorrentía pluvial recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano de la cuenca hasta el punto de análisis, definido como el tiempo de entrada, el cual debe ser de mínimo 8 minutos, más el tiempo de tránsito, así mismo, el tiempo de concentración inicial debe ser como mínimo de 15 minutos. El tiempo de rezago corresponde al 60% del tiempo de concentración.

El tiempo de entrada se calculó considerando la distancia desde el punto más alejado en cada cuenca hasta el punto de ingreso a la quebrada, para este fin se utilizaron las fórmulas indicadas en la Tabla 2 de la norma NS-085 (Ecuación 7 y Ecuación 8), teniendo en cuenta en cada caso la pendiente del terreno y las características de la superficie.

En áreas pavimentadas $$V = 6.1960 \cdot S^{0.5}$$ Ecuación 7

En áreas no pavimentadas $$V = 4.9178 \cdot S^{0.5}$$ Ecuación 8

Con base en las pendientes longitudinales de cada sub-cuenca, se estimaron las velocidades de entrada y con las longitudes a recorrer se calculó el tiempo de entrada para cada caso. Luego se calculó el tiempo de tránsito por medio de la velocidad de flujo estimada y las longitudes de flujo a recorrer. Los resultados se presentan a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Tiempo de concentración y Tiempo de rezago de las sub-cuencas.

Sub - Cuenca	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	T Entrada (min)		T Transito (min)	T Concentración (min)		T Lag (min)
				Calculado	Adoptado		Calculado	Adoptado	
1	0.259	2.50	164.1	1.09	8.0	0.41	1.5	15.0	9.0
2	0.363	2.96	78.7	0.44	8.0	0.24	0.7	15.0	9.0
3	0.293	2.66	121.7	0.76	8.0	0.26	1.0	15.0	9.0
4	0.384	3.05	236.4	1.29	8.0	0.30	1.6	15.0	9.0
5	0.201	2.20	224.1	1.69	8.0	0.72	2.4	15.0	9.0
6	0.188	2.13	165.3	1.29	8.0	0.37	1.7	15.0	9.0
7	0.277	2.59	149.1	0.96	8.0	0.27	1.2	15.0	9.0
8	0.091	1.48	260.4	2.93	8.0	0.83	3.8	15.0	9.0
9	0.105	1.60	219.5	2.29	8.0	0.74	3.0	15.0	9.0
10	0.149	1.90	99.3	0.87	8.0	0.18	1.1	15.0	9.0
11	0.095	1.51	308.0	3.39	8.0	1.85	5.2	15.0	9.0

2.3. *Tormenta de diseño*

Una vez definida el área de drenaje, se determinó la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en el centroide de esta. Mediante las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) es posible estimar la intensidad de tormentas de distintas duraciones y para diferentes periodos de retorno.

La curva IDF correspondiente al período de retorno de cien años se encuentra descrita por la siguiente expresión.

$$Intensidad = C_1(Duración + X_0)^{C_2} \qquad \text{Ecuación 9}$$

Donde, los parámetros de la ecuación para el centroide de la cuenca de drenaje (coordenadas Norte: 93936.995 – Este: 91995.009) son los mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Curva IDF.

C_1	X_0	C_2
3914.39	21.2	-1.01628

Con el valor de la intensidad extraído de las curvas IDF, se calculó el volumen de lluvia total a distribuir como:

$$P(mm) = I\left(\frac{mm}{h}\right) * Duración\ (6\ horas) \qquad \text{Ecuación 10}$$

$$P(mm) = 9.32\frac{mm}{h} * 6\ horas = 61.6\ mm \qquad \text{Ecuación 11}$$

El hietograma de diseño presentado en la Figura 8, se realizó a partir de la distribución temporal mostrada en la Figura 7, la cual fue obtenida del análisis de eventos históricos de precipitación registrados en la ciudad de Bogotá. Debido a las condiciones hidrológicas del sector y la alta pendiente del terreno, se distribuyó la lluvia en tres (3) horas.

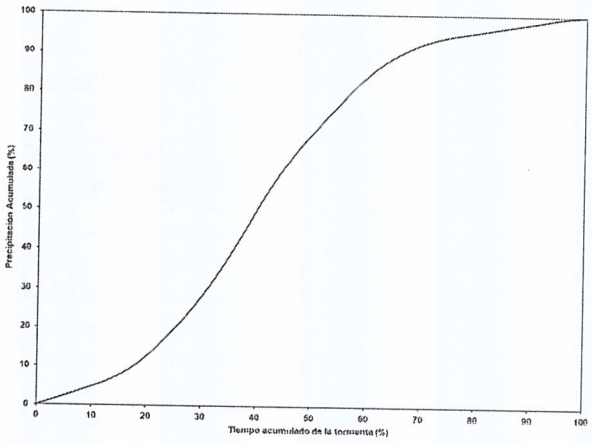


Figura 7. Distribución temporal tormentas. Duración 3 horas.

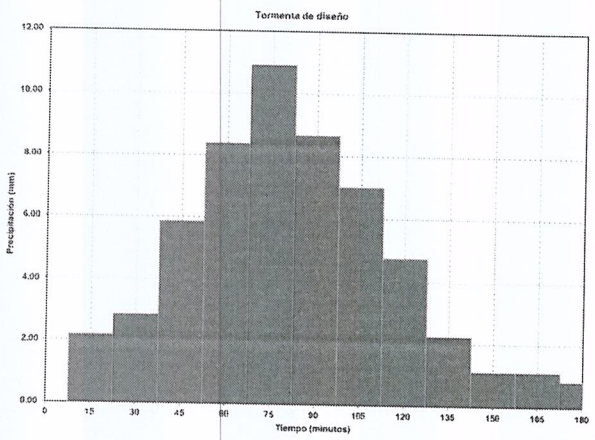


Figura 8. Hietograma de diseño. Duración 3 horas. Tr = 100 años.

2.4. Caudales de análisis

De acuerdo con la información relacionada, se realizó el montaje del modelo hidrológico en el programa HEC-HMS de acuerdo con lo exigido en la normatividad vigente, el cual se presenta en la Figura 9.

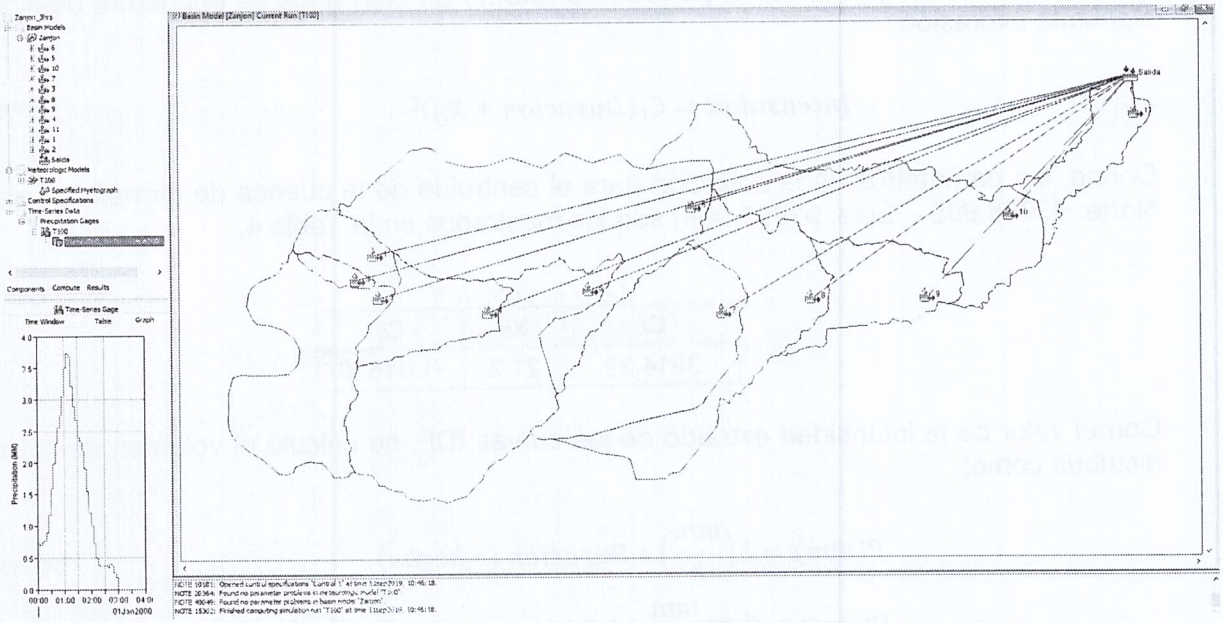


Figura 9. Modelo hidrológico de las subcuencas de la quebrada Zanjón de la Estrella.

Realizada la modelación hidrológica en el programa HEC-HMS de las sub-cuencas aferentes a la quebrada, se obtuvieron los caudales mostrados en la Figura 10 y cuyos valores máximos se muestran en la Tabla 5.

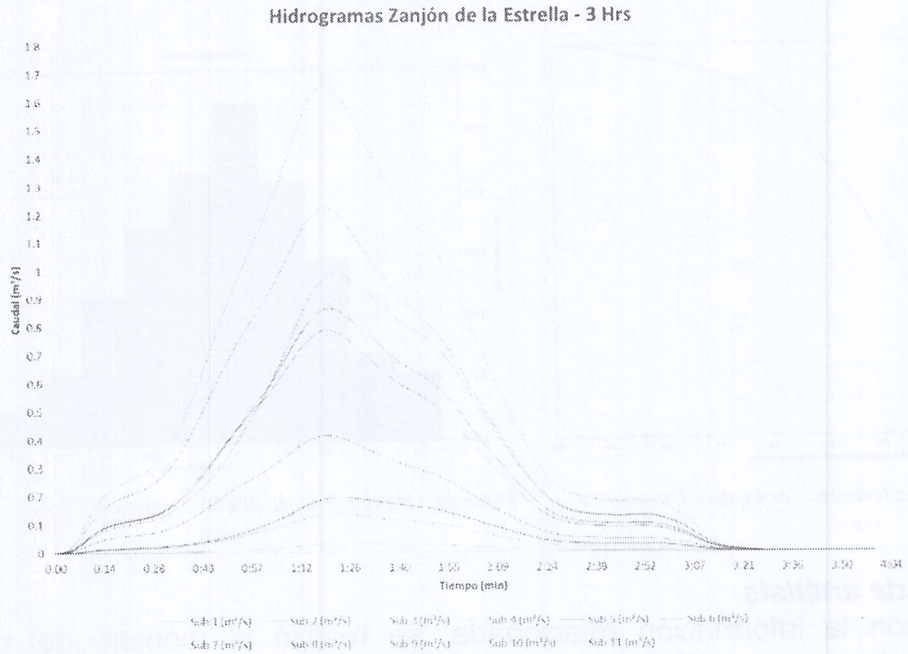


Figura 10. Caudales de las sub-cuencas de la Quebrada Zanjón de la Estrella.

Tabla 5. Caudales máximos por sub-cuenca.

Sub-cuenca	Caudal (m^3/s)
1	0.56
2	0.298
3	0.406
4	0.186
5	0.276
6	0.15
7	1.489
8	0.33

3. Modelación hidráulica

Para realizar la modelación hidráulica de la quebrada Zanjón de la Estrella se construyó un modelo hidráulico bidimensional en el programa HEC-RAS versión 5.0.7. Este programa resuelve tanto las ecuaciones bidimensionales de Saint Venant como las ecuaciones bidimensionales de onda difusiva. Para el análisis de flujo bidimensional bajo condiciones de flujo no permanente, HEC-RAS utiliza un algoritmo implícito de volúmenes finitos. El algoritmo de solución implícito permite pasos computacionales más grandes que los métodos explícitos, a la vez que proporciona una gran estabilidad y robustez.

El dominio computacional de la quebrada fue definido en el programa HEC-RAS mediante una malla de 26,561 celdas con un área promedio de 1.5 m^2 (Figura 11). Se incluyeron breaklines debido a que no se tenía la presencia de jarillones definidos a lo largo del cuerpo de agua, y adicionalmente se generaron celdas que presentan caras orientadas en el perímetro de algunos sectores del cauce, garantizando resultados con un mayor grado de confiabilidad.

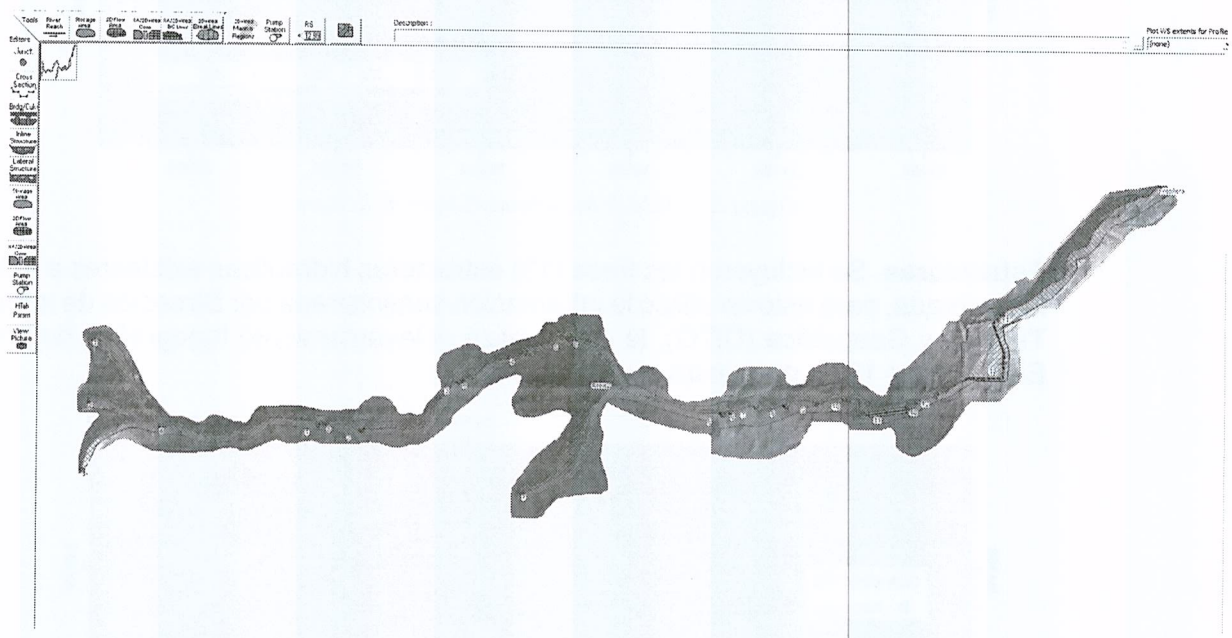


Figura 11. Dominio computacional de la quebrada Zanjón de la Estrella en HEC-RAS.

3.1. Construcción del modelo

3.1.1. Información topográfica

Para realizar la modelación hidráulica bidimensional es absolutamente esencial contar con un modelo de terreno con alto nivel de detalle y precisión. El modelo de terreno puede provenir de distintas fuentes, formatos y nivel de detalle. Para la modelación hidráulica de la quebrada Zanjón de la Estrella, se utilizó un modelo digital de elevaciones construido a partir del levantamiento topográfico de campo adelantado por parte de la Dirección de Información Técnica y Geográfica de la EAAB (DITG), con una resolución espacial de 0.1 metros por 0.1 metros, utilizando distintas fuentes de información, las cuales se describen a continuación.

- Modelo digital de terreno con una resolución espacial de 0.1 metros x 0.1 metros.

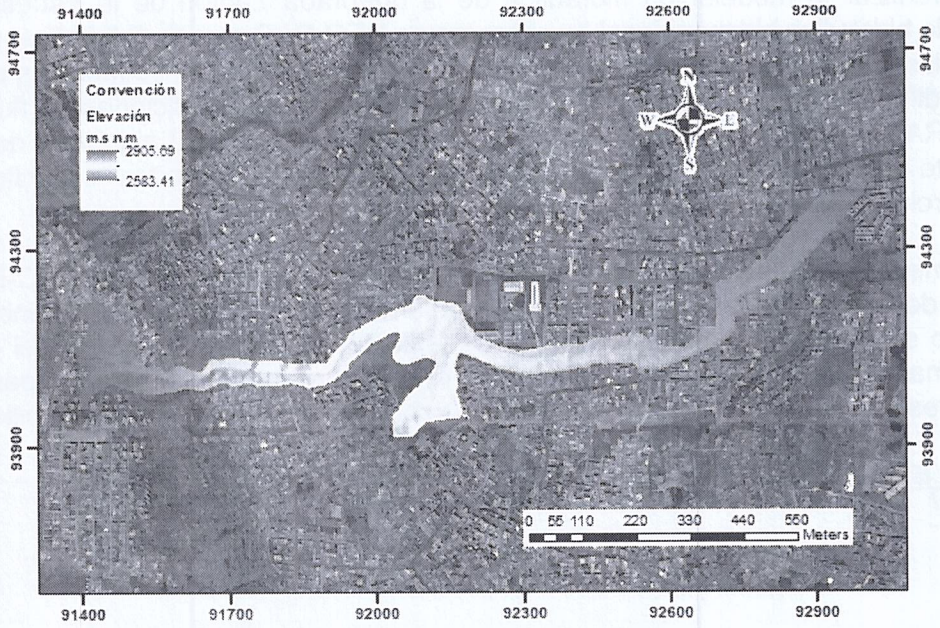


Figura 12. DEM de la quebrada Zanjón de la Estrella.

- **Estructuras.** Se incluyeron las trece (13) estructuras hidráulicas existentes a lo largo de la quebrada, para esto se utilizó la información suministrada por Dirección de Información Técnica y Geográfica (DITG), la cual realizó el levantamiento topográfico de las obras. En la Figura 13 se encuentra su ubicación.

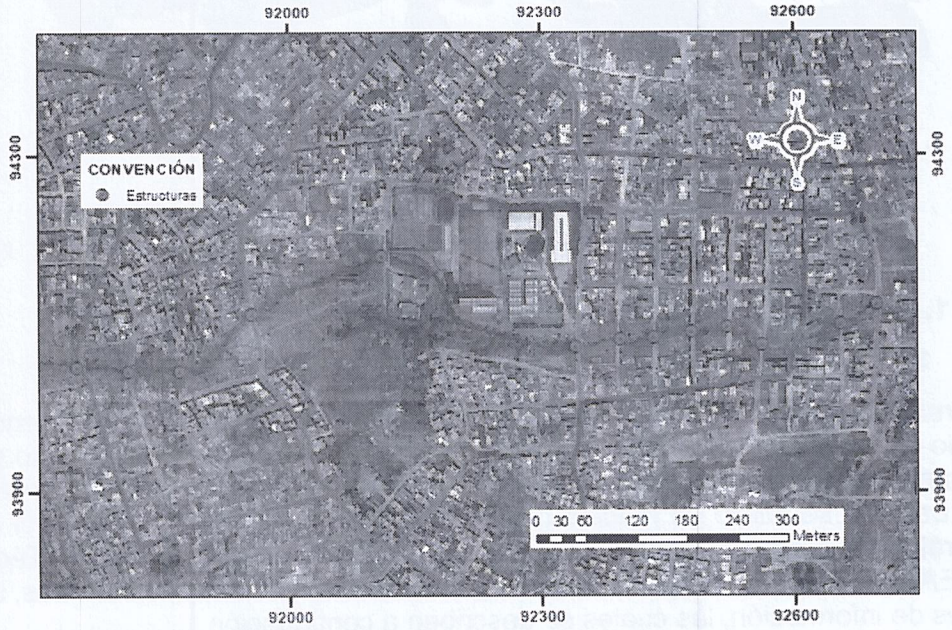


Figura 13. Estructuras incluidas en el Modelo Hidráulico.

A continuación, se presenta un cuadro resumen y una fotografía con una de las estructuras que se encuentran a lo largo del cauce.

Tabla 6. Localización Estructuras Hidráulicas de la quebrada Zanjón de la Estrella.

No.	LOCALIZACIÓN		TIPO	DIMENSIÓN	LONGITUD	MATERIAL
	X	Y				
1	91748.32	94051.43	Box Culvert	1.90 X 1.63 m	15.24	Concreto
2	91809.22	94046.00	Box Culvert	1.0 X 1.0 m	11.03	Concreto
3	91869.97	94045.45	Tuberia Circular	24"	12.14	Concreto
4	91955.23	94112.78	Tubería Circular	0.86 m	5.7	Concreto
5	92110.26	94181.33	Tubería Circular	56"	13.67	Concreto
6	92339.78	94073.46	Tubería Circular	36"	12.33	Novafort
7	92392.88	94082.38	Tubería Circular	32"	7.8	Novafort
8	92432.71	94085.56	Box Culvert	2.10 x 1.50	9.86	Concreto
9	92477.96	94091.65	Tubería Circular	32"	9.32	Gress
10	92521.83	94096.49	Box Culvert	1.90 X 0.96	13	Concreto
11	92562.09	94074.98	Tubería Circular	60"	63.47	Concreto
12	92655.07	94100.50	Tubería Circular	32"	7.89	Gress
13	92697.83	94124.99	Tubería Circular	1.80 m	155.38	Concreto

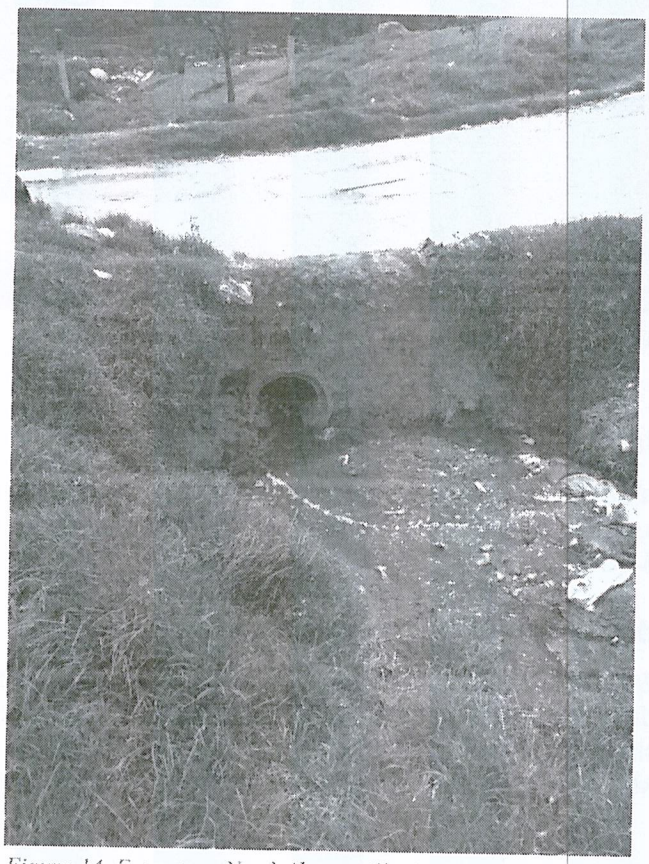


Figura 14. Estructura No. 3 Alcantarilla Circular Diámetro 24"

3.2. Caudales de análisis

Teniendo en cuenta que el propósito de la modelación hidráulica es el de determinar el área de inundación de la quebrada al transitar la creciente correspondiente al período de retorno de cien (100) años, se utilizaron los caudales correspondientes a este período de retorno; cuya determinación se muestra en la sección 2. Los puntos de carga de caudal para cada una de las sub-cuencas se muestran en la Figura 15.

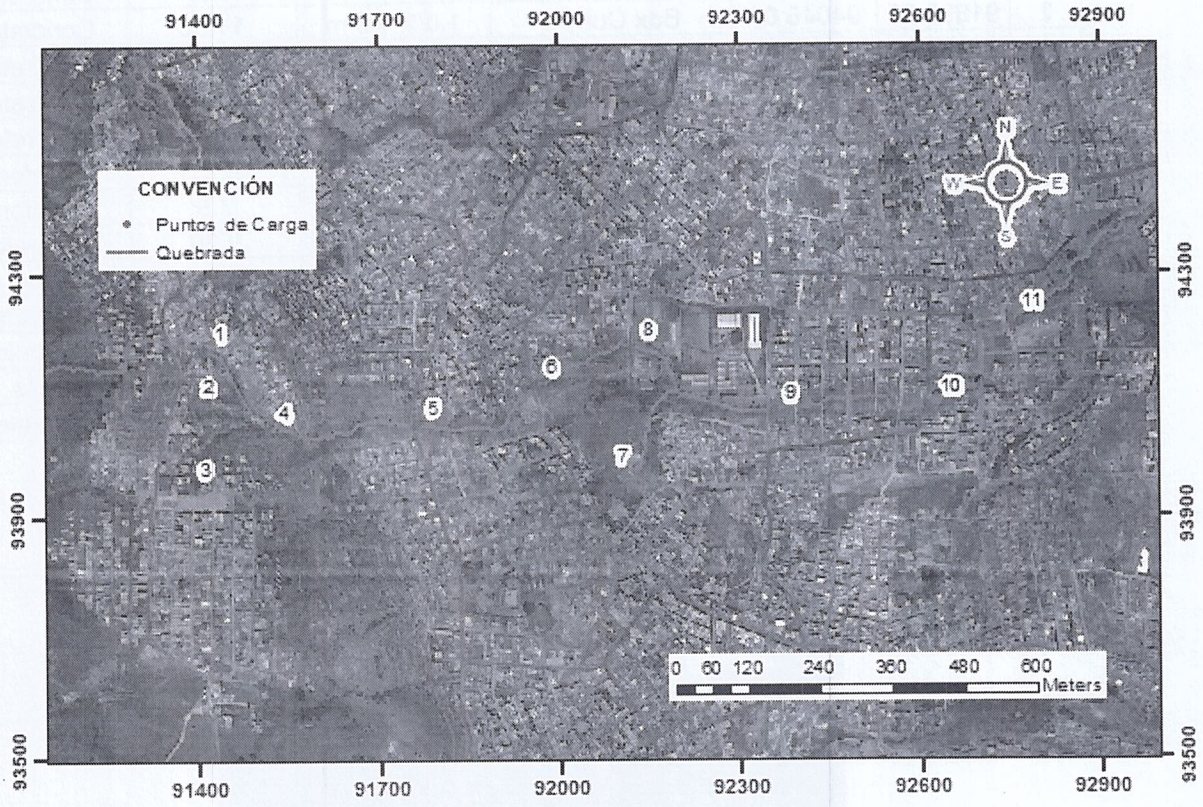


Figura 15. Puntos de carga de caudal en el modelo.

3.3. Rugosidad

En la construcción del modelo se consideró un valor del coeficiente de rugosidad de Manning, de 0.040, valores que se encuentran dentro de lo recomendado en la norma de diseño de alcantarillados NS-085.

3.4. Condición de frontera y condiciones iniciales

La condición de frontera aguas abajo correspondió a la cota 2685.68 m.s.n.m., este valor se generó de la modelación en el programa HY8 de la tubería inicial del sistema pluvial teniendo como condición inicial el caudal de 7.33 m³/s, el cual corresponde al caudal total de la modelación hidrológica en HMS, en la Figura 16 se presenta el resultado de la modelación de la tubería circular.

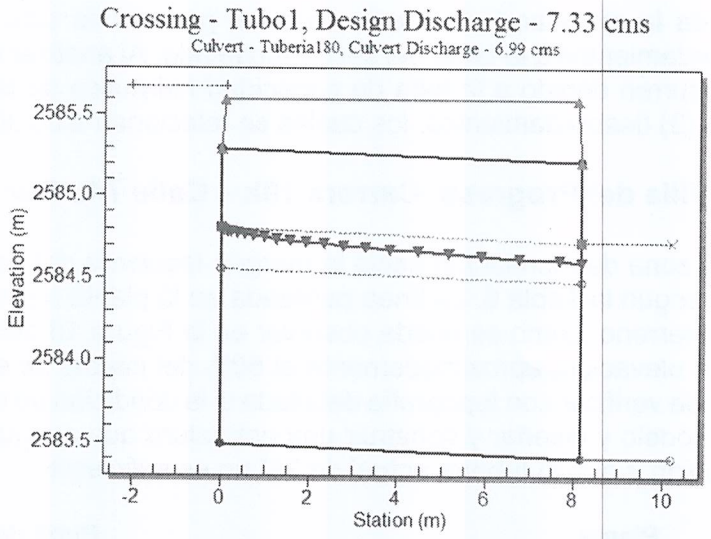


Figura 16. Resultados Modelación – HYS

4. Resultados Obtenidos de la Modelación

Los resultados obtenidos para la modelación para la condición actual fueron los siguientes:

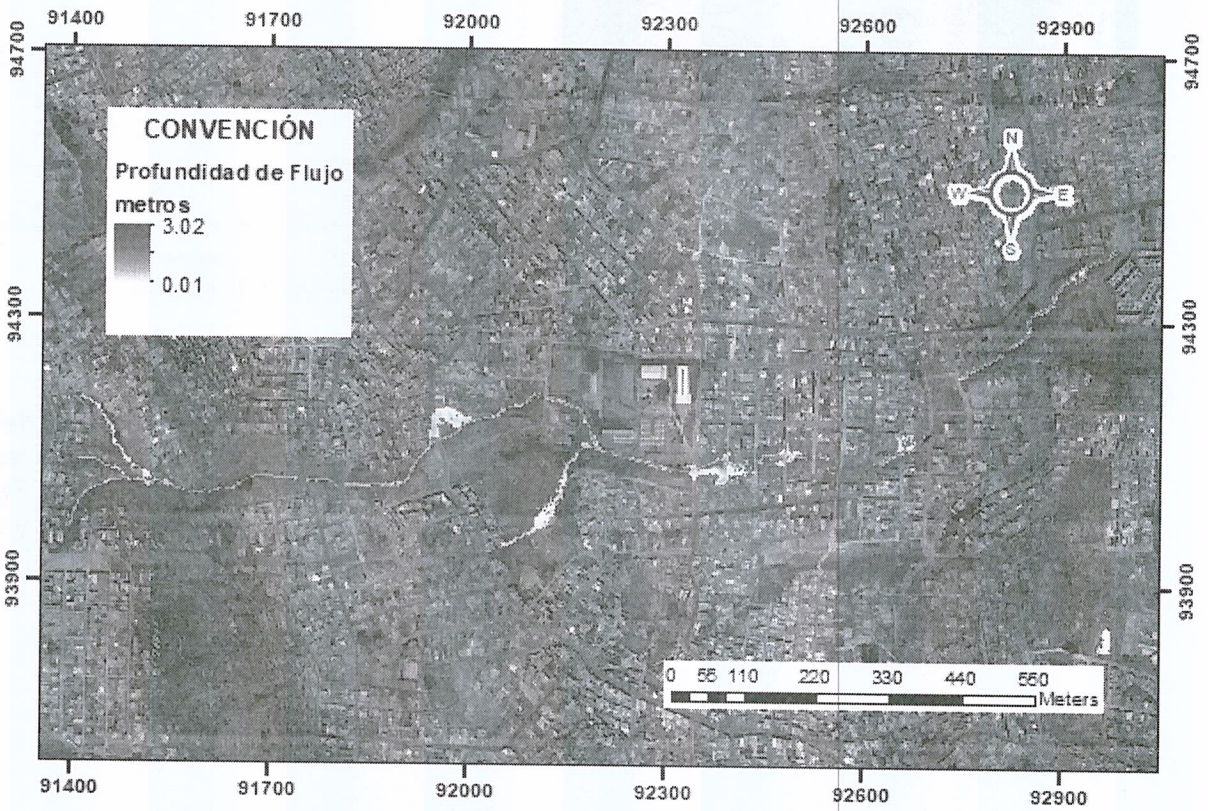


Figura 17. Profundidad de flujo quebrada Zanjón de la Estrella Tr 100 años.

Una vez realizada la modelación hidráulica para el periodo de cien (100) años, se observan diferentes desbordamientos a lo largo del sector modelado. Al analizar estos desbordamientos se encuentra que ocurren debido a la falta de capacidad hidráulica de las estructuras. En total se identificaron tres (3) desbordamientos, los cuales se relacionan a continuación.

4.1. Barrio Villa del Progreso, Carrera 18k – Calle 74c Sur

Se presenta una zona de inundación hacia la margen izquierda del cauce, correspondiente a la estructura No. 3 según la Tabla 6. La línea punteada en la planta representa el eje por donde se trazó el perfil del terreno, como se puede observar en la Figura 18 debido al valle que genera el modelo digital de elevación, aproximadamente el 60% del caudal se está desbordando hacia la vía. Se recomienda verificar con topografía detallada si la condición de terreno actual corresponde a los datos del modelo y diseñar y construir una estructura que asegure el paso del caudal pico de 2.20 m³/s, debido a que la tubería actual de 24" no es suficiente.

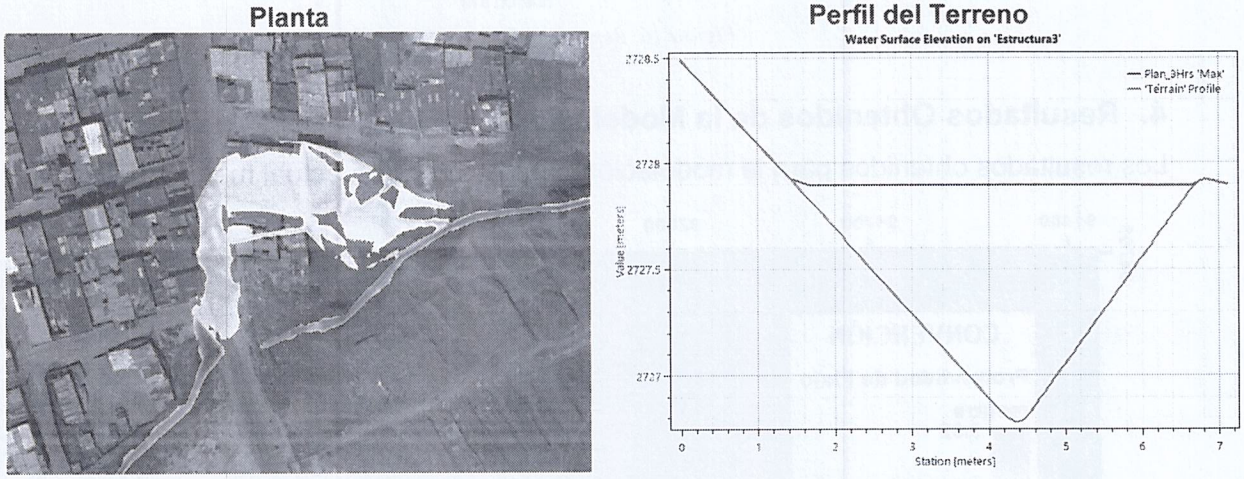


Figura 18. Desbordamiento sobre la vía Barrio Villa del Progreso - Tr 100 años.

4.2. Barrio La Estrella, Carrera 18g – Calle 75 Sur

Se presenta una zona de inundación principalmente hacia la margen derecha del cauce, correspondiente a la estructura No. 6 según la Tabla 6, la línea punteada en la planta representa el eje por donde se trazó la sección transversal, como se puede observar en la Figura 19, aproximadamente el 44% del caudal fluye por la estructura. Se recomienda diseñar y construir una estructura con suficiente capacidad de transportar el caudal pico de 5.48 m³/s, así mismo se deberán diseñar las estructuras de encole y descole.

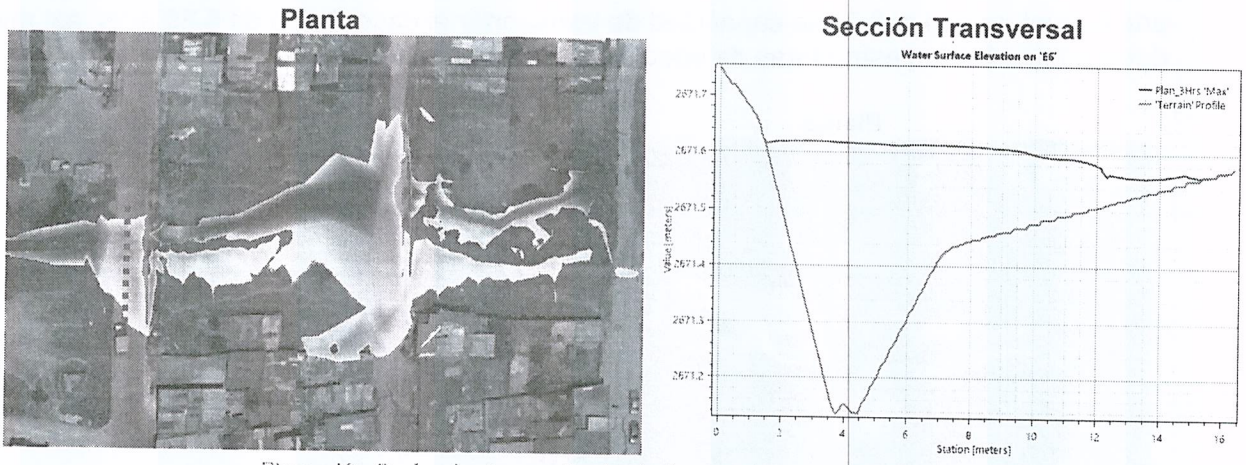


Figura 19. Desbordamiento sobre la vía Barrio La Estrella - Tr 100 años.

4.3. Barrio La Estrella, Carrera 18f – Calle 75 Sur

Se presenta una zona de inundación principalmente hacia la margen derecha del cauce, correspondiente a la estructura No. 7 según la Tabla 6, la línea punteada en la planta representa el eje por donde se trazó la sección transversal, como se puede observar en la Figura 20, aproximadamente el 41% del caudal fluye por la estructura. Se recomienda diseñar y construir una estructura con suficiente capacidad de transportar el caudal pico de 5.89 m³/s, así mismo se deberán diseñar las estructuras de encole y descole.

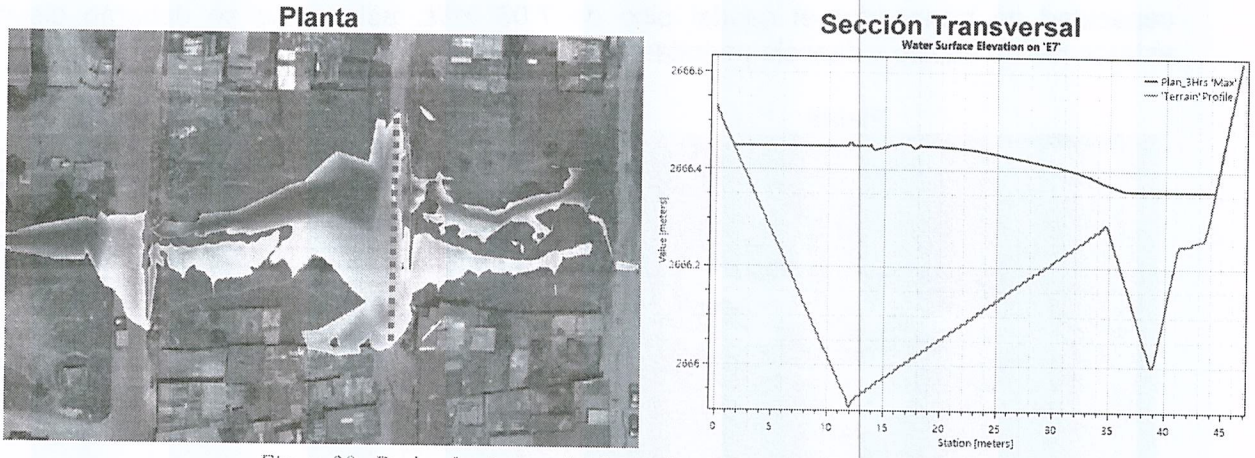


Figura 20. Desbordamiento sobre la vía Barrio La Estrella - Tr 100 años.

4.4. Barrio Las Torres, Carrera 18d – Calle 75 Sur

Se presenta una zona de inundación principalmente hacia la margen izquierda del cauce, correspondiente a la estructura No. 9 según la Tabla 6, la línea punteada en la planta representa el eje por donde se trazó la sección transversal, como se puede observar en la Figura 21, aproximadamente el 33% del caudal fluye por la estructura. Se recomienda diseñar y construir

una estructura con suficiente capacidad de transportar el caudal pico de 5.89 m³/s, así mismo se deberán diseñar las estructuras de encole y descole permitentes.

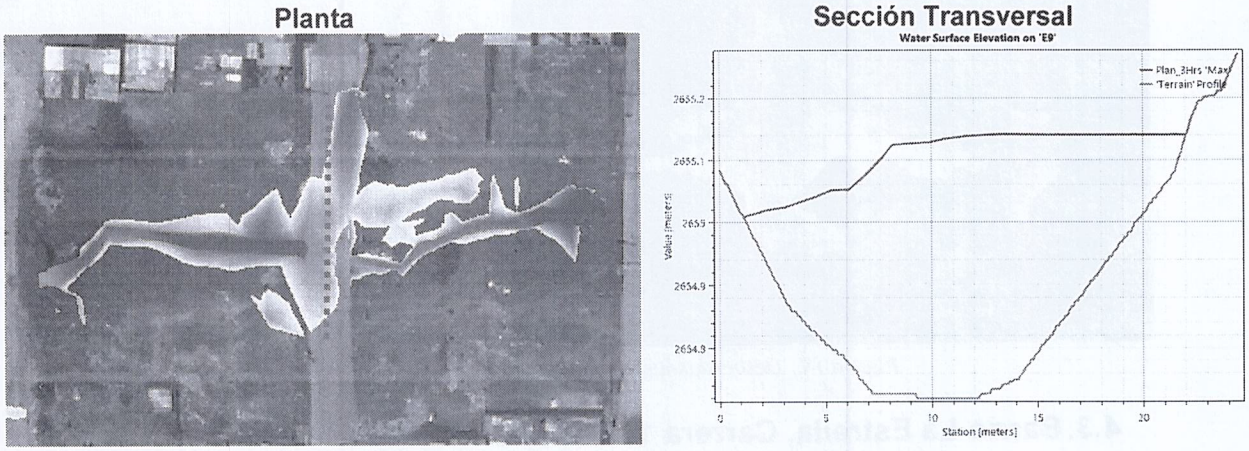


Figura 21. Desbordamiento sobre la vía Barrio Las Torres - Tr 100 años.

4.5. Barrio La Estrella, Carrera 18b – Calle 74b Sur

Se presenta una zona de inundación hacia la margen izquierda del cauce, correspondiente a la estructura No. 12 según la Tabla 6, la línea punteada en la planta representa el eje por donde se trazó la sección transversal, como se puede observar en la Figura 22, aproximadamente el 25% del caudal fluye por la estructura. Se recomienda diseñar y construir una estructura con suficiente capacidad de transportar el caudal pico de 7.06 m³/s, así mismo se deberán diseñar las estructuras de encole y descole permitentes.

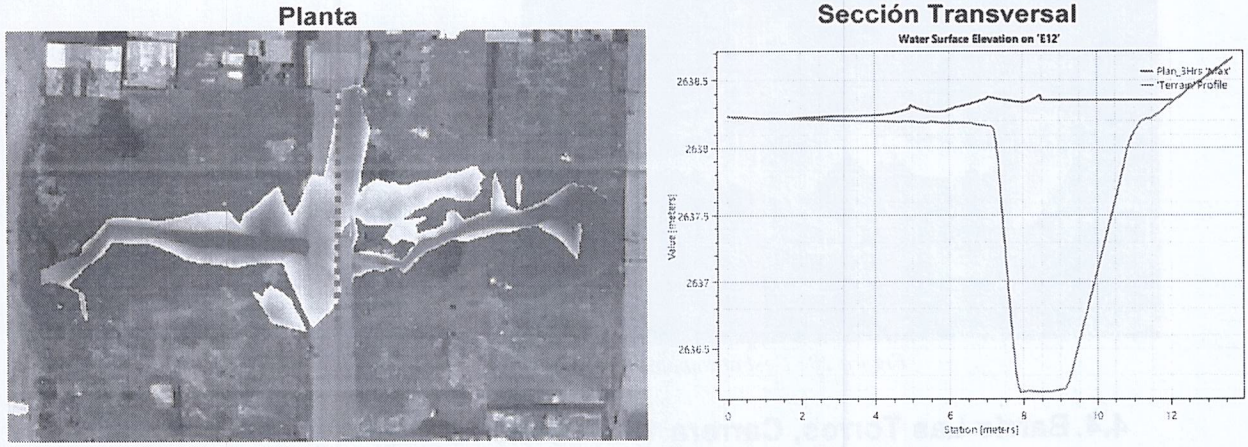


Figura 22. Desbordamiento sobre la vía Barrio La Estrella - Tr 100 años.

Adicionalmente durante el recorrido se identifico un grave problema de conexiones erradas y de vertimientos de aguas residuales a lo largo del cauce, se recomienda que el área encargada realice el saneamiento correspondiente.

5. Conclusiones y recomendaciones

Se realizó la modelación hidrológica de la quebrada Zanjón de la Estrella para la creciente correspondiente al periodo de retorno de 100 años en el programa HEC-HMS, para tal fin se desarrolló un modelo lluvia escorrentía que incluyó la delimitación de las subcuencas de drenaje, la determinación de la tormenta de diseño construida a partir de las curvas IDF y el análisis de las características de impermeabilidad y usos en las distintas subcuencas, lo cual permitió la obtención de los caudales de análisis. Se realizó la distribución de la lluvia en tres (3) horas debido a las condiciones hidrológicas y de alta pendiente del terreno en el sector de estudio.

Se realizó la modelación hidráulica de la quebrada mediante un modelo bidimensional desarrollado en el programa HEC-RAS, en el que se empleó un modelo digital de elevaciones construido a partir del levantamiento topográfico ejecutado por la Dirección de Información Técnica y Geográfica (DITG) de la Empresa en el que se tomaron las secciones transversales de la quebrada y se realizó el levantamiento detallado de las estructuras de cruce.

Se identificaron trece (13) estructuras hidráulicas a lo largo del cauce, los cuales incluye, tuberías de diferentes diámetros y materiales, así como box culverts en concreto. La modelación hidráulica permitió identificar que a lo largo del cauce cinco (5) estructuras no tienen capacidad hidráulica para el evento de asociado a un caudal con periodo de retorno de 100 años, lo que genera desbordamientos e inundaciones. Las cinco (5) estructuras corresponden a alcantarillas circulares con diámetros que varían entre 24" y 36", evidentemente de menor capacidad que las demás estructuras identificadas a lo largo del cauce. Se recomienda ejecutar un diseño detallado y las obras correspondientes con el fin de permitir que estos cruces tengan la capacidad adecuada en donde se presenten desbordamientos, teniendo en cuenta posibles obras de encole y disipación de energía en los descole. En la Tabla 7 se presenta un cuadro resumen.

Tabla 7. Cuadro Resumen estructuras sin capacidad hidráulica

No.	LOCALIZACIÓN		TIPO	DIMENSIÓN	LONGITUD	Q m³/s	MATERIAL
	X	Y					
3	91869.97	94045.45	Tubería Circular	24"	12.14	2.20	Concreto
6	92339.78	94073.46	Tubería Circular	36"	12.33	5.48	Novafort
7	92392.88	94082.38	Tubería Circular	32"	7.8	5.89	Novafort
9	92477.96	94091.65	Tubería Circular	32"	9.32	5.89	Gress
12	92655.07	94100.50	Tubería Circular	32"	7.89	7.06	Gress

Debido a la falta de mediciones directas en la quebrada Zanjón de la Estrella, no fue posible realizar la calibración del modelo hidrológico ni del modelo hidráulico desarrollados. Sin embargo, se recomienda que ante la disponibilidad de este tipo de información, se realice la calibración del modelo y análisis de la incertidumbre.

Finalmente, con base a la visita realizada en campo, se recomienda prestar atención a las descargas de aguas residuales que se están realizando sobre la quebrada, especialmente en la zona media de la cuenca.

Atentamente,

DIEGO GUTIERREZ BOHORQUEZ
Director de Ingeniería Especializada

Anexo: Un DVD que contiene: 1) Modelo Hidrológico HEC-HMS, 2) Modelo Hidráulico HEC-RAS, 3) Ráster área inundación Tr 100 años condición actual, 4) Levantamiento topográfico y DTM y 5) Registro fotográfico en 1.53 GB (268 archivos en 23 carpetas).

Copia: Dirección de Ingeniería Especializada, Consecutivo.

Revisó: Daniel Rodríguez Amaya – Profesional Especializado.

Elaboró: Fabián Luna.