



EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ. E.S.P

**ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, CONEXIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE LA NUEVA CONDUCCIÓN DEL TRAMO 3 DE LA LÍNEA RED MATRIZ TIBITOC – CASABLANCA Y SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS
CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1-02-25400-00923-2015**

**ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA EL CRUCE ELEVADO DEL RÍO TUNJUELO DE LA NUEVA TUBERÍA WSP Di=1800 mm
TIBITOC – CASABLANCA.**



CONSULTOR



INTERVENTOR

MARZO DE 2017



CTL-RG-QA-01

Versión 04

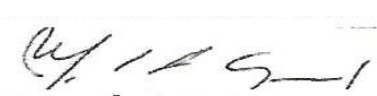


**REVISIÓN, VERIFICACIÓN, MODIFICACIÓN
Y APROBACIÓN DE DOCUMENTOS**

CÓDIGO Y NOMBRE DEL DOCUMENTO: ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, CONEXIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE LA NUEVA CONDUCCIÓN DEL TRAMO 3 DE LA LÍNEA RED MATRIZ TIBITOC – CASABLANCA Y SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS.
INFORME MODELACIÓN HIDRÁULICA Y ESTIMACIÓN DE NIVELES MÁXIMOS Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN EN EL SITIO DE CRUCE ELEVADO DE LA TUBERÍA TIBITOC – CASABLANCA.

CONTROL DE REVISIÓN

VERSIÓN No.	No. PAGINAS	FECHA	ELABORO	APROBÓ	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN
0	25	16 febrero de 2017	SILVINO MARQUEZ	GERMÁN TORRES	Versión inicial del Documento
1	24	15 marzo de 2017	SILVINO MARQUEZ	GERMÁN TORRES	Atención observaciones Interventoría

CONTROL DE COPIAS

COPIA No. ORIGINAL 1	AUTORIZADA POR: Gerencia	EMITIDA PARA: CONTROL DIFUSIÓN	RESPONSABLE: Coordinador S.G.C. Representante Legal
 PREPARÓ: MERCEDES GARZÓN PROFESIONAL SISTEMAS GESTIÓN DE CALIDAD	 ELABORÓ: SILVINO MARQUEZ ESPECIALISTA HIDRAULICO	 APROBÓ: GERMÁN TORRES DIRECTOR PROYECTO	

RECIBIDO PARA REVISIÓN Y APROBACIÓN POR PARTE DEL CLIENTE

<p>CLIENTE: EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ. E.S.P.</p> <p>OBJETO: ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, CONEXIÓN Y PUESTA DE OPERACIÓN DE LA NUEVA CONDUCCIÓN DEL TRAMO 3 DE LA LÍNEA DE RED MATRIZ TIBITOC – CASABLANCA Y SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1-02-25400-00923-2015</p>	<p>INTERVENTORÍA – HMV LTDA.</p> <p>FIRMA: _____</p> <p>FECHA: _____</p>
--	---

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	6
2. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE IMPLANTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CRUCE.	7
2.1. GENERALIDADES	7
2.2. OBJETO	8
2.3. ANTECEDENTES DE PROYECTO	8
2.4. INFORMACIÓN DISPONIBLE	9
2.5. SIMULACIÓN HIDRÁULICA	10
2.6. CONSIDERACIONES GENERALES DEL MODELO HIDRÁULICO.....	12
2.7. RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS HIDRÁULICOS.....	15
2.8. ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN.	19
2.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	21
2.9.1. Alternativa 1 (Viga en I)	21
2.9.2. Alternativa 2 (viga en U).....	23
2.10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES HIDROLÓGICAS.	31
3. REFERENCIAS	34

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA No. 1	
RESUMEN DE RESULTADOS SIMULACIÓN HIDRÁULICA SECCIÓN K14+600 PARA AMBOS ESCENARIOS.	17
TABLA No. 2	
RESUMEN DE RESULTADOS SIMULACIÓN HIDRÁULICA SECCIÓN K14+600 PARA AMBOS ESCENARIOS.	20

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA No. 1 HIDROGRAMA DE ENTRADA AL MODELO ESCENARIO 1 Y ESCENARIO 2	11
FIGURA No. 2 HIDROGRAMAS AFLUENTES AL CAUCE ESCENARIO 1	11
FIGURA No. 3 HIDROGRAMAS AFLUENTES AL CAUCE ESCENARIO 2	12
FIGURA No. 4 VISTA EN PLANTA DEL MODELO HIDRÁULICO DEL RÍO TUNJUELO.	13
FIGURA No. 5 SECCIÓN TRANSVERSAL EN EL PUNTO DEL PASO ELEVADO ESCENARIO 1 (diseño).....	18
FIGURA No. 6 SECCIÓN TRANSVERSAL EN EL PUNTO DEL PASO ELEVADO. ESCENARIO 2 (validación).....	18
FIGURA No. 7 PROFUNDIDAD DE FLUJO Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN SECCIÓN K14+600- ESCENARIO 1 – VIGA TIPO I	22
FIGURA No. 8 PROFUNDIDAD DE FLUJO Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN SECCIÓN K14+600- ESCENARIO 2 – VIGA TIPO I.	23
FIGURA No. 9 PROFUNDIDAD DE FLUJO Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN SECCIÓN K14+600- ESCENARIO 1 – VIGA TIPO U.....	24
FIGURA No. 10 PROFUNDIDAD DE FLUJO Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN SECCIÓN K14+600- ESCENARIO 2 – VIGA TIPO U.....	25

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el análisis hidráulico para estimar la profundidad de socavación y los niveles de lámina de agua para determinar la implantación altimétrica de la estructura de cruce de la tubería Di 1800, obra que forma parte de la Rehabilitación del Tramo 3 de la Línea Tibitoc, Casablanca. Adicionalmente se presentan los análisis estructurales para dos posibles alternativas de cruce elevado.

En el Anexo 1 se presentan la información relacionada con el modelo hidráulico utilizado para los análisis en mención suministrados por la EAB.

2. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE IMPLANTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CRUCE.

2.1. GENERALIDADES

Para el diseño del paso elevado de la Tubería Tibitoc – Casablanca tramo 3, sobre el río Tunjuelo, a la altura de la Calle 57B sur, se requiere estimar el nivel máximo y profundidad de socavación que se produciría en la sección de interés del río para una creciente de 100 años de período de retorno. La determinación del nivel máximo se calculó empleando el modelo hidráulico en HEC-RAS existente del río Tunjuelo, entregado por la EAB; mientras que la profundidad de socavación máxima para dicha creciente se determinó a partir de la aplicación del método de Lacey.

En el presente apartado se muestran los resultados del cálculo de la altura de la lámina de agua en la sección donde se localizará el paso elevado para un caudal de 100 años de período de retorno y la estimación de la socavación general producida en el sitio de cruce por el paso de la creciente. A partir de los resultados de niveles obtenidos de las simulaciones hidráulicas, se definió la elevación que se recomienda debe tener el paso elevado a ser implementado, teniendo como criterio conservador de la consultoría el garantizar una separación mínima entre niveles de agua y gálibo de la estructura de soporte, para evitar así que el agua transportada por la corriente en un evento de caudal máximo para un período de retorno de 100 años pueda llegar a impactar con el paso elevado propuesto y poner en riesgo su estabilidad.

El proceso de simulación se realizó empleando un escenario de creciente máxima de 100 años de recurrencia para la determinación del nivel de diseño de la estructura de soporte de la tubería, y un segundo escenario de validación del diseño propuesto con el objeto de revisar la no interferencia de la lámina de agua del río con la tubería para una creciente extrema de igual período de retorno pero menor probabilidad, determinando así dos profundidades de flujo; de manera que el nivel de lámina de agua obtenido del escenario 1 ($Q = 40.75 \text{ m}^3/\text{s}$) es utilizado para definir la elevación de la estructura propuesta, garantizando una diferencia de nivel mínima entre el gálibo de la viga de soporte y el nivel de flujo (para fines prácticos la consultoría ha adoptado un criterio conservados de dejar como mínimo 1 m de diferencia entre estructura y lamina del agua para este escenario 1 de simulación); mientras que el escenario 2 ($Q = 59.75 \text{ m}^3/\text{s}$), que cumple con la función de validación de la elevación de la tubería proyectada, evalúa si la cota mínima del paso a nivel definida a partir de los resultados del escenario 1, es suficiente para permitir el flujo libre del agua por el canal para un evento extremo de baja probabilidad de ocurrencia, garantizando que el flujo no pueda afectar a la estructura propuesta.

La necesidad de emplear dos escenarios de simulación se relaciona con la probabilidad de ocurrencia de los eventos extremos, ya que, mientras el primer escenario tiene una

probabilidad que depende únicamente del período de retorno y de la localización de la tormenta en la parte baja de la cuenca aportante; el segundo está condicionado a la ocurrencia simultánea de la lluvia extrema en varios lugares de la superficie de drenaje, siendo esta última menos probable que la primera, y constituyéndola, por ende, en un escenario de validación más no de diseño.

Finalmente, para los escenarios planteados, se cuantificó la profundidad de socavación que puede llegar a presentarse en la sección, profundidad estimada mediante la aplicación de un método de socavación general, Se estimó el posible cambio de la sección producto del paso de la creciente, elaborando la sección transversal correspondiente.

En el presente informe se analizan dos alternativas de estructuras de soporte del paso elevado, una corresponde a una viga tipo I, y la otra a una viga tipo U, y se determina para cada estructura el cumplimiento de la separación mínima requerida.

2.2. OBJETO

Estimar el nivel de flujo que produce una creciente de 100 años de período de retorno en la sección de cruce del paso elevado de la tubería Tibitoc – Casablanca, tramo 3, a la altura de la calle 57 B sur, con el río Tunjuelo.

Cuantificar la profundidad de socavación que produce una creciente de 100 años de período de retorno al cruzar a través de la sección transversal de análisis.

Determinar, con base en el nivel máximo de agua estimado, la elevación mínima requerida para las dos alternativas de vigas de soporte de la tubería, garantizando el cumplimiento del requisito mínimo recomendado por la consultoría de no interferencia entre la estructura y el agua transportada por la corriente.

2.3. ANTECEDENTES DE PROYECTO

Son diversos los estudios realizados sobre el río Tunjuelo, o sobre su cuenca aportante. En cuanto a los aspectos hidrológicos del cauce, se identifican proyectos realizados desde el año 2002, como el elaborado por INGETEC, en el contrato No. 1-02-4100-2000, en donde se obtenía la información necesaria para el desarrollo de un modelo hidrológico de la cuenca aportante del Tunjuelo.

Por otro lado, en cuanto al modelo hidráulico y simulaciones hidráulicas en la cuenca se tienen los productos 1 y 2 realizados por IHT LTDA de la modelación hidráulica de los ríos Tunjuelo y Fucha en las condiciones actuales (2009), ambas modelaciones realizadas como parte del contrato número, 2-02-25500-738-2009 del año 2009, Siendo este

estudio, el que brindo información detallada en cuanto a la modelación del Tunjuelo se refiere.

El estudio más reciente denominado “CONSULTORÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ABASTECIMIENTO Y LA ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO PARA BOGOTÁ Y SUS MUNICIPIOS VECINOS”, realizado por INGETEC, en el contrato 1-02-25500-1318-2013, en el año 2015, en el que se realiza una caracterización de tormentas y actualizaciones de las curvas IDF de Bogotá, así como la MODELACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DEL SISTEMA HÍDRICO PRINCIPAL, para la simulación del sistema pluvial de la ciudad. Ambos estudios emplearon como información de soporte para su elaboración los productos 1 y 2 del contrato de IHT antes mencionado.

En síntesis, la información hidrológica para la simulación del río Tunjuelo, correspondiente a caudales con períodos de retorno de 100 años (hidrógrafas de caudal), se obtuvo a partir del producto de Modelación hidrológica de la cuenca aportante del Tunjuelo elaborado por IHT LTDA en el año 2009, la cual fue empleada posteriormente en el proyecto de INGETEC 2013. Mientras que el modelo hidráulico de Hec- Ras empleado fue el suministrado por la EAB a la consultoría, el cual a su vez corresponde al producto 6 del contrato 1-02-25500-1318-2013 desarrollado por INGETEC (subproducto 6.1.2. “MODELACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DEL SISTEMA HÍDRICO PRINCIPAL). Todas las fuentes de información de los proyectos elaborados sobre la cuenca aportante o sobre el cauce del río Tunjuelo mencionadas anteriormente (INGETEC 2002 e IHT 2009) fueron relacionadas en el informe del producto 6 del contrato desarrollado en el año 2013 por INGETEC, razón por la cual, la información hidrológica y modelo Hidráulico de Hec-Ras contenido en dicho producto 6 se constituyen en la base para el análisis efectuado por esta consultoría para el paso elevado de tubería sobre el río Tunjuelo.

2.4. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Con el objetivo de determinar las profundidades de flujo y de socavación se emplea el modelo hidráulico del río Tunjuelo suministrado por EAB (producto 6 del contrato 1-02-25500-1318-2013 desarrollado por INGETEC). Este modelo permite determinar el nivel de la lámina de agua en la sección de interés para diferentes escenarios de períodos de retorno.

La cuantificación del nivel de flujo en el punto de cruce del paso elevado se realiza empleando dos escenarios de descarga con 100 años de período de retorno, obtenidos a partir de la información contenida en el informe de producto 6 de INGETEC (2013), que a su vez se soporta en el informe de modelación hidrológica del Tunjuelo, hecho por I.H.T LTDA en el 2009. Como componente adicional de análisis se dispone de la sección transversal del cauce, levantada en campo por esta consultoría, en la zona del cruce, la

cual se comparó con la información de secciones transversales disponible en el modelo hidráulico del río; superponiendo la nueva sección en el modelo ya existente corroborando la similitud entre las mismas, y por lo tanto validando la pertinencia del modelo hidráulico para el proyecto.

Para el análisis de socavación es necesario contar con información de granulometrías del lecho, dado que no se dispone de esta información, se determinó, a partir del registro de exploración de suelos efectuada por la consultoría en las bancas del río, los tipos de materiales que componen el cauce, con base a los registros se ha considerado como diámetro característico de la partícula un rango entre 0.05 y 0.5 mm correspondiente a arenas finas (materiales predominantes encontrados en la exploración de suelos en las márgenes del río); la adopción del diámetro antes mencionado permite la posibilidad de determinar el descenso del lecho por socavación. Por lo anterior, se discriminó el rango mencionado en 7 diámetros, con lo cual se abarca el rango de diámetros permitiendo realizar una sensibilización en el comportamiento de la socavación en función del diámetro de la partícula utilizada.

Se cuenta con 2 alternativas de vigas de soporte para la tubería proyectada, con la información de niveles del agua estimada se definió la posición altimétrica de las estructuras, garantizando contar para el escenario 1 de simulación (escenario de diseño) con un borde libre mínimo de al menos 1 m (criterio conservador recomendado por la consultoría) para la condición del caudal de diseño con mayor probabilidad de ocurrencia.

2.5. SIMULACIÓN HIDRÁULICA

Empleando el programa Hec-Ras para la modelación hidráulica del río Tunjuelo se obtuvieron los niveles de flujo en la sección del cruce de paso elevado de la Tubería Tibitoc – Casablanca.

Del modelo hidrológico lluvia-escorrentía disponible en la cuenca del Río (Informe INGETEC 2013 basado en informe IHT 2009) se obtuvieron hidrógrafas de caudal de 100 años de períodos de retorno para el cauce principal y sus afluentes; dada la cantidad de posibilidades presentadas por los resultados del modelo hidrológico, se utilizaron dos escenarios de descarga para el presente análisis, diferenciados entre sí, por la localización del centro de la tormenta que genera la escorrentía empleada en el modelo; Cada escenario genera diferentes resultados de niveles de lámina de agua en la sección de interés.

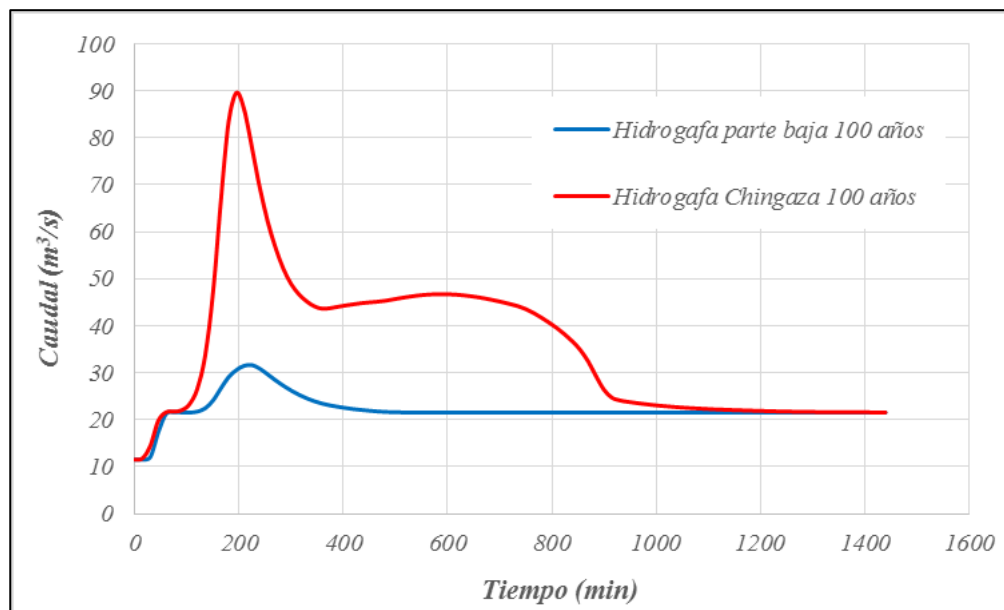
La selección de los escenarios a analizar se basó en aquellas condiciones de tormenta, consideradas más probables, que generasen los máximos valores de caudal pico del conjunto de hidrógrafas resultantes del modelo lluvia-escorrentía ya mencionado, Por ende, las descargas a simular son las generadas por:

- una tormenta que se distribuye a lo largo de la cuenca con centro en su parte baja (escenario 5 del modelo lluvia-escorrentía). Esta tormenta corresponde a la seleccionada para diseño del proyecto por ser la de mayor probabilidad de ocurrencia.
- Una tormenta distribuida a lo largo del área de drenaje con centro en la subcuenca el Chingaza (escenario 3 del modelo). Esta tormenta corresponde a la seleccionada para verificación del diseño del proyecto por ser la de menor probabilidad de ocurrencia.

La escorrentía producida por una tormenta en la zona baja de la cuenca (escenario 5 del modelo lluvia-escorrentía), para los propósitos del presente informe, ha sido denominada por la consultoría como escenario 1 ($40.75 \text{ m}^3/\text{s}$); mientras aquella con origen en la subcuenca Chingaza (escenario 3 del modelo lluvia-escorrentía) fue denominada como escenario 2 ($59.75 \text{ m}^3/\text{s}$).

El cauce del Tunjuelo, antes de llegar a la sección del paso elevado, recibe los aportes de tres quebradas: La Quebrada Chingaza, la Quebrada Trompeta y la Quebrada Limas; a su vez, recibe las aguas del Canal San Vicente. En la siguiente figura se muestra el hidrograma de entrada al modelo de ambos escenarios de análisis.

FIGURA No. 1 HIDROGRAMA DE ENTRADA AL MODELO ESCENARIO 1 Y ESCENARIO 2.



En las siguientes figuras se muestran los hidrogramas de caudal, de cada escenario, para los afluentes del Tunjuelo.

FIGURA No. 2 HIDROGRAMAS AFLUENTES AL CAUCE ESCENARIO 1

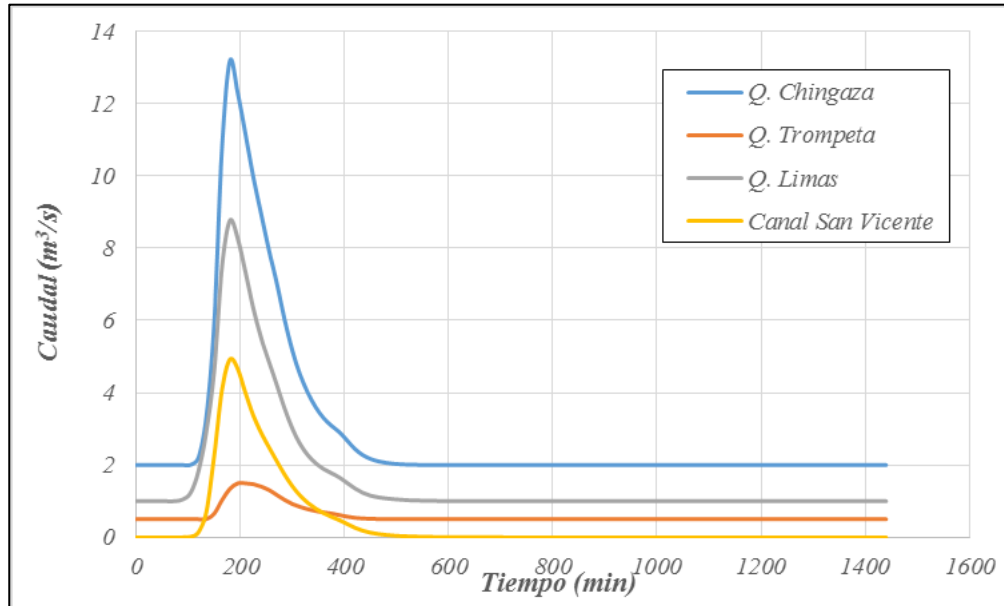
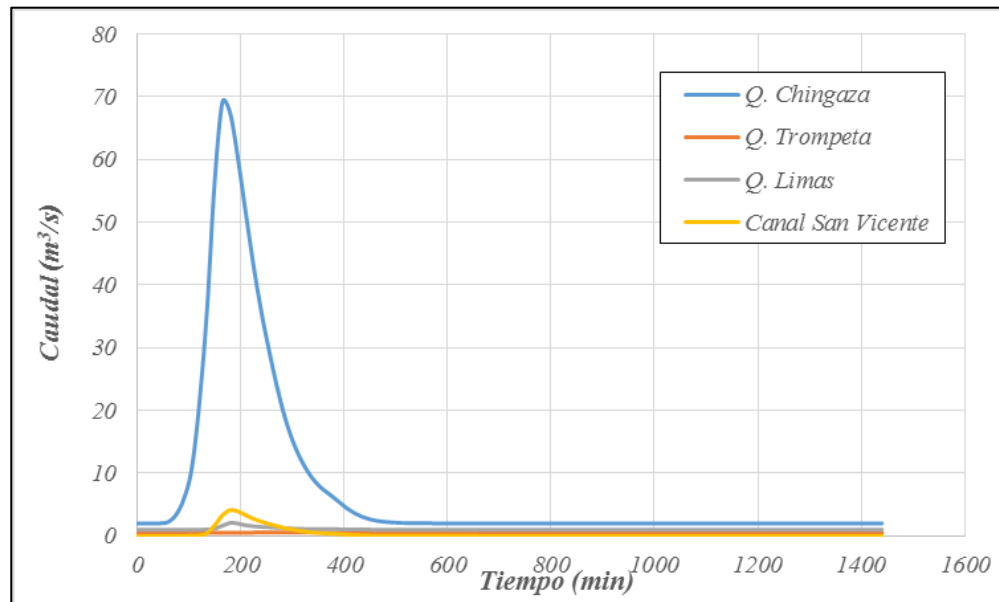


FIGURA No. 3 HIDROGRAMAS AFLUENTES AL CAUCE ESCENARIO 2



2.6. CONSIDERACIONES GENERALES DEL MODELO HIDRÁULICO.

La condición hidráulica empleada en la simulación es de flujo no permanente gradualmente variado, a partir de esta suposición se obtienen los niveles de la superficie del agua para cada sección transversal y cada uno de los escenarios analizados.

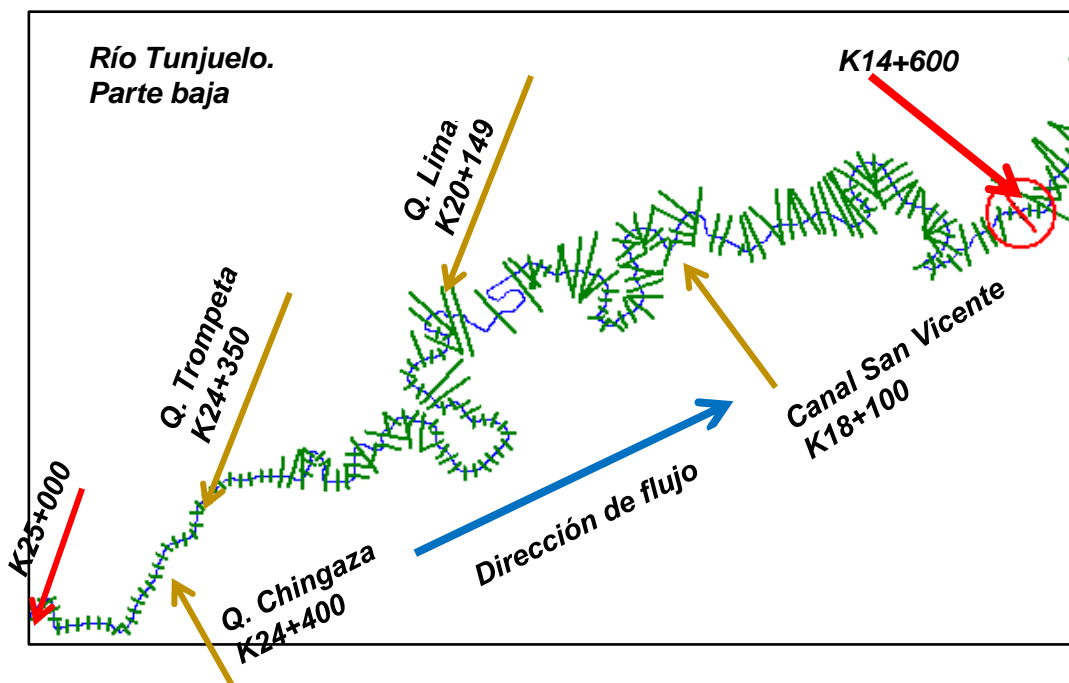
Los coeficientes de rugosidad adoptados corresponden a los ya establecidos por el modelo hidráulico suministrado por la EAB (proyecto INGETEC 2013). Para el cauce principal se adopta un valor de n de Manning igual a 0.035, mientras que para las bancas se emplea igual a 0.040.

La condición de frontera aguas arriba corresponde a la hidrógrafa de caudal mostrado en la figura 1. La condición de frontera aguas abajo corresponde al nivel del río Bogotá para una creciente de 100 años de período de retorno, correspondiente a la cota de 2543.34 m.s.n.m.

En la siguiente figura se presenta la vista en planta del modelo Hec Ras empleado para el análisis. El círculo representa la sección de interés en donde se localiza el paso elevado, para este modelo, la sección corresponde a la K14+600.

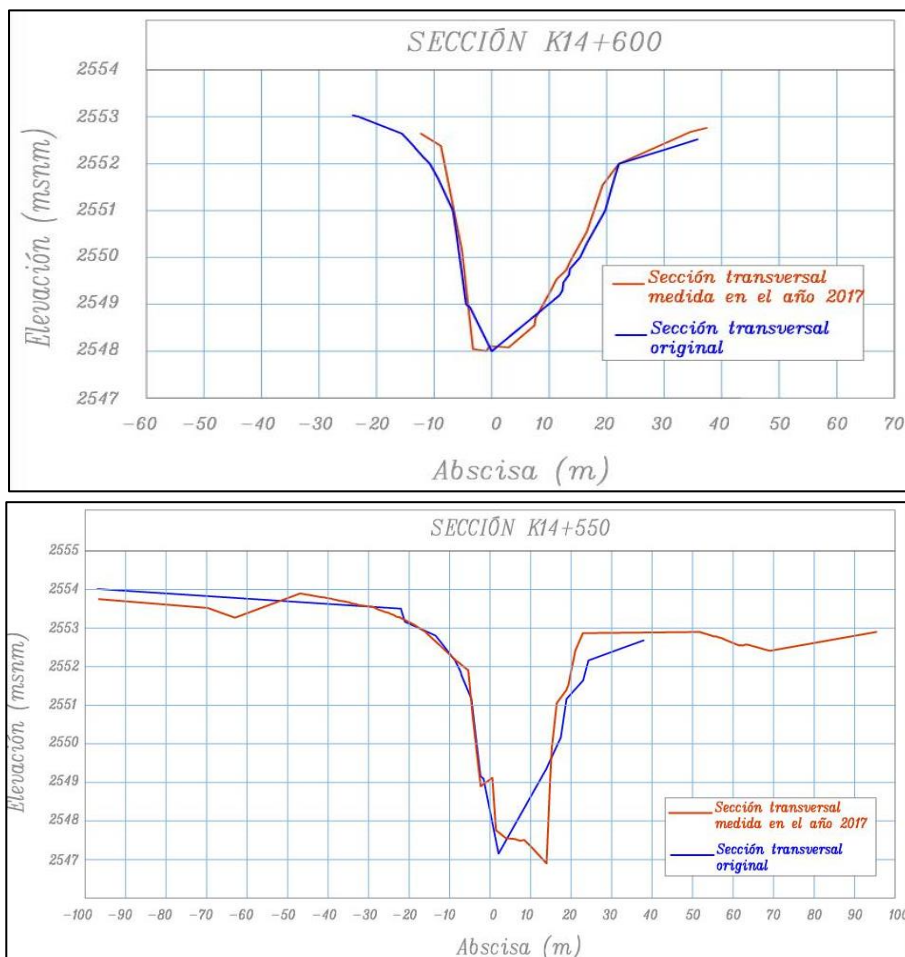
Es importante aclarar que el modelo hidráulico, al ser un modelo de cálculo de flujo gradualmente variado, considera los distintos puntos de control que produzcan cambios en el régimen de flujo en el cauce, y a partir de estos puntos, determina los niveles de lámina de agua alcanzado por el flujo para las distintas secciones que componen el cauce. De modo que los resultados aquí presentados consideran el efecto de remanso del flujo, producido por un incremento en el nivel de lámina de agua ocurrido en una sección aguas abajo, en el cálculo de los niveles de lámina de agua alcanzados en la sección de interés para el caudal simulado.

FIGURA No. 4 VISTA EN PLANTA DEL MODELO HIDRÁULICO DEL RÍO TUNJUELO.



Se realizó el levantamiento batimétrico de dos secciones transversales del río Tunjuelo, una para la sección de interés (K14+600) y otra para la sección inmediatamente aguas abajo (K14+550), con el fin de establecer el cambio en las secciones transversales del cauce por procesos erosivos, o de sedimentación, que pudieron ocurrir en el río. En la siguiente imagen se muestran las secciones originales del modelo hidráulica (suministradas por EAB) y las nuevas secciones transversales medidas en la visita de campo.

FIGURA No. 5 CAMBIO EN LA GEOMETRÍA DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DEL RÍO TUNJUELO.



Como se aprecia en la figura anterior, para la sección K14+600 se observa que la conformación geométrica de la sección es casi la misma a la que tenía en el año 2009 (fecha en que se realizó el modelo hidráulico), donde no se evidencia la ocurrencia de procesos erosivos ni de sedimentación de partículas producto del transporte de sedimentos. Por otra parte, para la sección K14+550, se observa una modificación en la

sección de flujo, donde el punto de menor elevación de la sección se trasladó de la margen izquierda hacia la margen derecha, producto, posiblemente, de mayores velocidades de flujo en dicha margen; sin embargo, no se evidencia ni la profundización ni el ascenso del lecho del cauce.

Las secciones levantadas en campo se ingresan al modelo hidráulico, generando una nueva geometría para el modelo en Hec- Ras denominada “Geometría 2017”. Esta nueva configuración contiene la modificación de las secciones originales ya mencionadas por las medidas en campo. Así, anexo a este informe, se encuentra el modelo hidráulico con dos (2) datos geométricos (Geomtric Data en el software), el primero corresponde a la original suministrada por EAB, y la segunda corresponde a la modificada con base a las mediciones de las nuevas secciones.

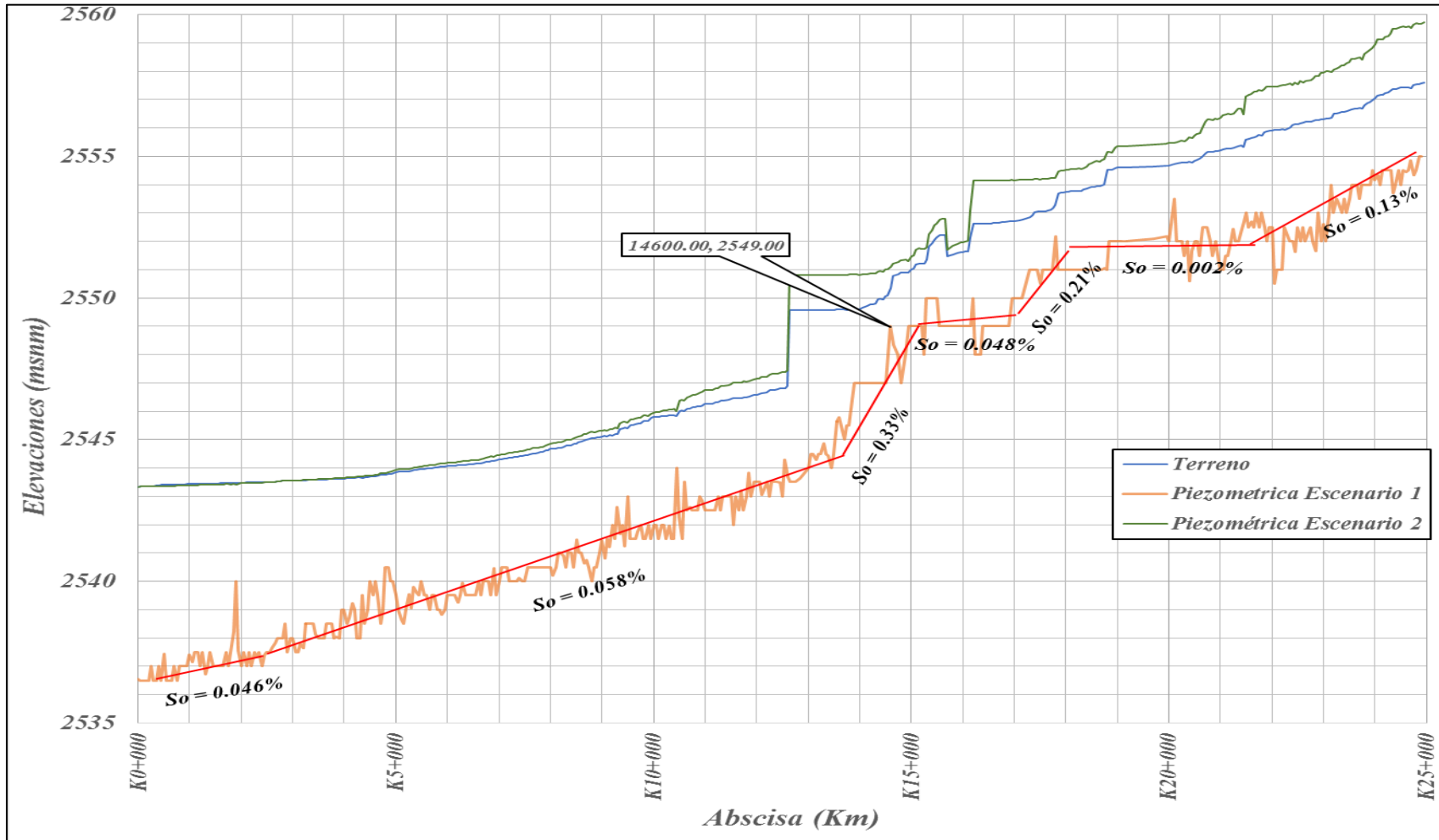
2.7. RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS HIDRÁULICOS.

Es necesario realizar un análisis general de los resultados ofrecidos por el modelo a lo largo del cauce, para describir el comportamiento hidráulico del mismo ante la ocurrencia de los eventos extremos aquí analizados. Para tal fin, se analiza la variación de la profundidad a lo largo del cauce principal.

En la imagen de la página siguiente se exhibe el perfil longitudinal del río Tunjuelo con las líneas piezométricas de flujo para los escenarios aquí simulados, adicionalmente se muestra el valor de la pendiente media local del lecho donde la línea de color rojo representa la línea de aproximación de su pendiente media. Como se identifica en la imagen, hay una constante variación en la pendiente longitudinal del Tunjuelo, variación que se aproxima a una forma escalonada, con pendientes alternadas entre 0.002% a 0.33%. Con base en la configuración longitudinal del cauce, se aprecia la existencia de formas de lecho tipo rápidas y pozos que ocasionan la oscilación de profundidades de flujo producto del aumento y descenso de la velocidad del mismo causado, a su vez, por la variación de la pendiente longitudinal.

Considerando la influencia de esta configuración topográfica del cauce en las profundidades de flujo en la sección del cruce elevado (K14+600, indicado en la figura), se tiene que hacia la abscisa K15+000 ocurre un cambio de pendiente longitudinal, la cual incide directamente en los niveles de flujo de la sección de interés, convirtiéndose en un punto de control; en esta zona de cambio de pendiente (de 0.048% a 0.33%) el flujo adquiere una mayor velocidad de circulación produciendo un descenso en los niveles de lámina, condición que prevalece para ambos escenarios. Sin embargo, y a pesar del cambio de inclinación del terreno, no se registra una variación en el régimen de flujo (subcrítico), esto debido a que el valor de la nueva pendiente no supera el umbral para cambio de régimen de flujo dado por la configuración geométrica de la sección de interés (pendiente crítica de 1.8% aproximadamente).

FIGURA No. 6 PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO TUNJUELO.



Por otro lado, aguas abajo del punto de cruce del paso elevado se presentan dos condiciones de control, una originada por un nuevo cambio en la pendiente longitudinal del lecho, próxima a la abscisa K14+000 (pasa de 0.33% a 0.058%); y la otra dada por la condición de frontera aguas abajo del río (nivel del agua en el río Bogotá). Para la primera, la reducción en la inclinación del lecho genera el efecto contrario a la que ocasiona la condición de control aguas arriba ya mencionada, produciendo aumento en la profundidad de flujo en el punto del cruce y secciones aguas abajo de él. Para la segunda condición de control, la elevación de la lámina de agua del río Bogotá genera un efecto de aquietamiento del flujo que influye, precisamente, hasta la abscisa K12+500 aproximadamente, y por tanto no tiene influencia en la sección del cruce elevado.

Resumiendo, los niveles de lámina de agua alcanzados por el flujo a lo largo del cauce, para los escenarios aquí analizados, están influenciadas por tres (3) condiciones de control: i) una aguas arriba, dada por el cambio de una pendiente suave a una pendiente más empinada, ocasionando la reducción en la profundidad de flujo; ii) Una aguas abajo, ocasionado por un nuevo cambio en la inclinación longitudinal del lecho, generando un ascenso en los niveles de flujo, y finalmente iii) la definida como condición de control aguas abajo para la simulación del cauce. A partir de los resultados hidráulicos, se determina que la condición de frontera aguas abajo relacionada con el cambio de pendiente es el punto de control que condiciona e influye directamente en la profundidad de flujo de la abscisa de interés (K14+600), mientras que los demás puntos de control no tienen mayor influencia en sus niveles de lámina de agua.

En la tabla siguiente se presentan los niveles de flujo de agua en la sección K14+600, correspondiente al punto de cruce del paso elevado de la tubería Tibitoc – Casablanca con el río Tunjuelo, las profundidades de flujo son estimadas a partir de las consideraciones generales del modelo hidráulico. A partir de la determinación de estos niveles, se establece la elevación del gálibo de la estructura de soporte del paso.

TABLA No. 1 RESUMEN DE RESULTADOS SIMULACIÓN HIDRÁULICA SECCIÓN K14+600 PARA AMBOS ESCENARIOS.

	Q (m ³ /s)	v (m/s)	Nivel de la lámina de agua (m.s.n.m.)	Nivel mínimo del lecho (m.s.n.m.)	Profundidad de flujo (m)	Froude
Escenario 1 (Diseño)	40.75	1.52	2550.1	2548	2.1	0.43
Escenario 2 (Validación)	59.77	1.21	2551.04	2548	3.04	0.22

La tabla anterior resume los resultados obtenidos de la simulación hidráulica para los dos escenarios analizados en la estación K14+600. La primera columna (Q) corresponde al caudal de flujo en la sección de interés, la segunda columna (v) es la velocidad de flujo, la tercera y cuarta columna es la elevación de la lámina de agua y de la cota mínima de la

sección respectivamente, la quinta columna es la profundidad de flujo estimada como la diferencia entre la elevación de la lámina de agua respecto a la elevación mínima de fondo del lecho del cauce en la sección. Finalmente, la última columna corresponde al número de Froude del flujo, el cual, para ambos escenarios corresponde a un flujo subcrítico.

En función de los resultados obtenidos de velocidades y números de Froude se observa que el río presenta las características típicas esperadas para la zona de valle por la que discurre.

En las figuras siguientes se esquematiza el nivel que alcanza el flujo en la sección transversal del punto de interés. El paso elevado se representó en el modelo Hec Ras como una estructura tipo puente, de una altura equivalente a 2 metros, correspondiente a la altura de la tubería en mención.

FIGURA No. 7 SECCIÓN TRANSVERSAL EN EL PUNTO DEL PASO ELEVADO ESCENARIO 1 (diseño).

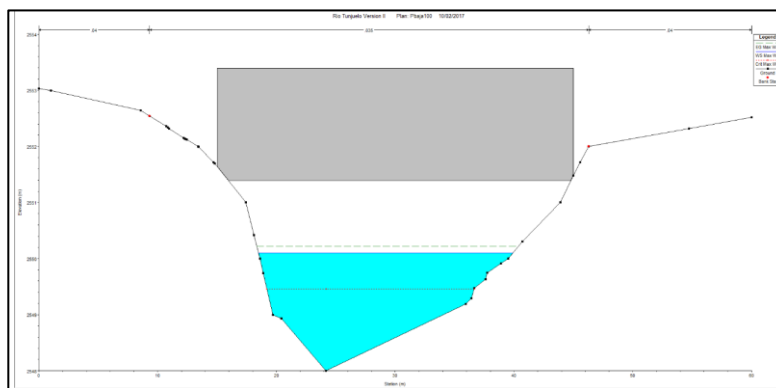
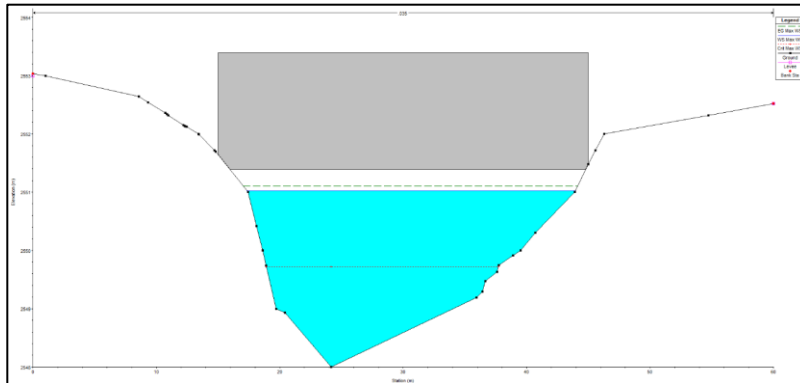


FIGURA No. 8 SECCIÓN TRANSVERSAL EN EL PUNTO DEL PASO ELEVADO. ESCENARIO 2 (validación).



Como se aprecia en las figuras, para ambos escenarios, la elevación de la altura de la lámina de agua es suficiente para garantizar el flujo del agua bajo la estructura. Con el escenario 1 se determinó el nivel del gálibo de la estructura de paso elevado a implementar que garantizará una altura libre con respecto al nivel del agua superior a la mínima sugerida como criterio conservador por parte de la consultoría (1m). Y el escenario 2 se evaluó una condición extrema con el fin de verificar que aun cuando no se cumpla para dicha condición el nivel libre mínimo sugerido como criterio conservador, el nivel del agua no alcanza el gálibo de la estructura, y por ende, la misma no sería vulnerable a la ocurrencia de un evento extremo como al analizado.

Los resultados obtenidos del modelo hidráulico son coherentes con el comportamiento hidráulico esperado para el río. Considerando que el Tunjuelo se trata de un cauce de baja pendiente, se espera un régimen de flujo subcrítico, con velocidades que oscilan entre el 1 m/s a 2.5 m/s y altas profundidades de flujo. Por tanto, se considera que el modelo hidráulico suministrado por la EAB es adecuado para representar las condiciones de flujo del cauce, y apto para ser aplicado en estudios de ingeniería detallados.

2.8. ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN.

Dada la posible ocurrencia de una creciente súbita en el cauce es necesario analizar la afectación que puede producir dicha creciente en la sección del flujo. En este apartado se cuantifica la profundidad de socavación que puede llegar a producir una creciente con 100 años de período de retorno.

Para efectos del presente estudio se empleó como método de cálculo de la socavación general el método de Lacey¹, la cual se describe a continuación:

$$h_{ms} = 0.389 \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{d_m^{\frac{1}{6}}}$$

Donde h_{ms} corresponde a la profundidad media de socavación en metros, Q es el caudal de diseño (m³/s) y d_m es el diámetro medio del material fino (mm).

Para la estimación de la profundidad de socavación por la ocurrencia de una creciente es necesario conocer la composición granulométrica del material del lecho y las bancas del cauce, dado a que se desconoce la distribución de tamaños de las partículas en el cauce es necesario realizar la estimación de la profundidad de socavación a partir de un criterio conservador de selección de rango de diámetros teniendo en cuenta que el material predominante del cauce son arenas.

A partir del registro de exploración del suelo realizado por el consultor para el estudio geotécnico se encontró que el material predominante correspondía a arenas limo arcillosas de tamaño fino, considerando que el tamaño de las partículas de arena de tamaño fino varía de 0.05 a 0.5 mm, se procede a realizar el cálculo de la socavación para diferentes tamaños de partículas.

TABLA No. 2 RESUMEN DE RESULTADOS SIMULACIÓN HIDRÁULICA SECCIÓN K14+600 PARA AMBOS ESCENARIOS.

Escenario 1 Q = 40.75 m ³ /s		Escenario 2 Q = 59.77 m ³ /s	
d_m (mm)	h_{ms} (m)	d_m (mm)	h_{ms} (m)
0.05	2.209	0.05	2.509
0.06	2.143	0.06	2.433
0.08	2.043	0.08	2.319
0.1	1.968	0.1	2.235
0.25	1.690	0.25	1.918
0.3	1.639	0.3	1.861
0.5	1.505	0.5	1.709

¹ Toapax, J. et. al. 2015. **ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN EN CAUCES NATURALES**. Escuela Politécnica Nacional , Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Centro de investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos (CIERHI), Quito Ecuador.

Como lo indican los resultados, las profundidades de socavación obtenidas para los 2 escenarios son similares, con una variación aproximada de 12%; por tal razón se seleccionó el escenario 2 con un diámetro de partícula de 0.05 mm, como el escenario que genera los valores más desfavorables en cuanto a profundidad de socavación se refiere.

Conforme a los resultados. Se espera que la máxima profundidad de socavación de la sección transversal por la ocurrencia de una creciente de 100 años de período de retorno sea 2.5 m; mientras que la mínima sea de 1.70 m.

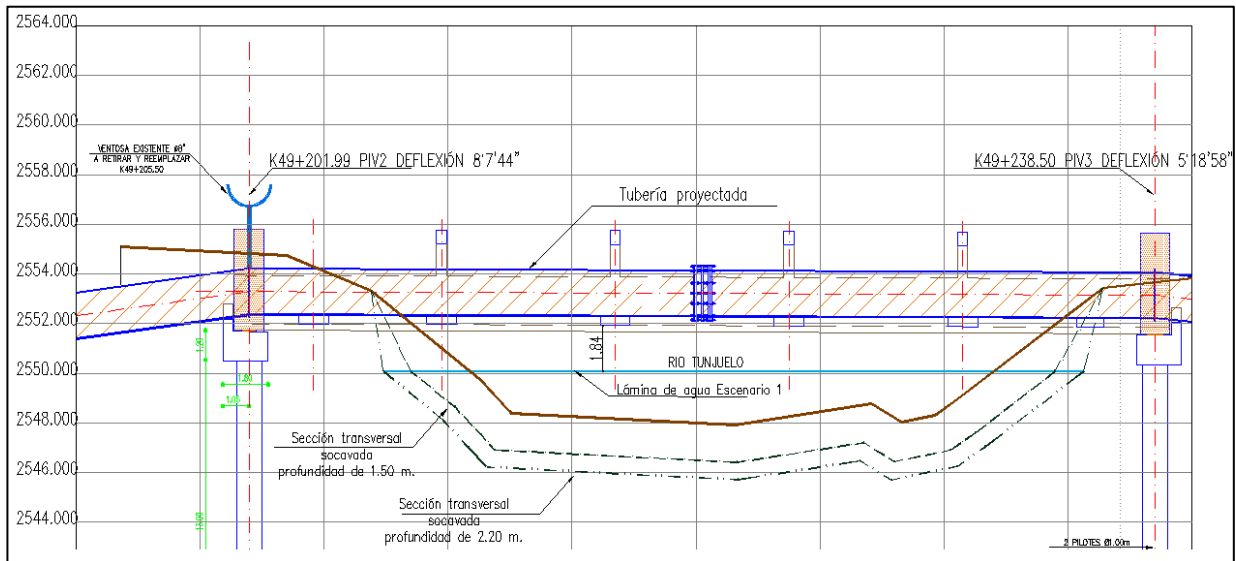
2.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los niveles de flujo obtenidos en los resultados respecto a las 2 alternativas de estructuras de soporte para el paso a nivel de la tubería de Tibitoc – Casablanca tramo 3 en el cruce con el río Tunjuelo. La primera alternativa corresponde a una viga tipo I, mientras que la segunda hace referencia a una viga tipo U.

2.9.1. Alternativa 1 (Viga en I)

La alternativa número 1 corresponde a una viga tipo I, la cual se considera como posible soporte de la tubería de 72”.

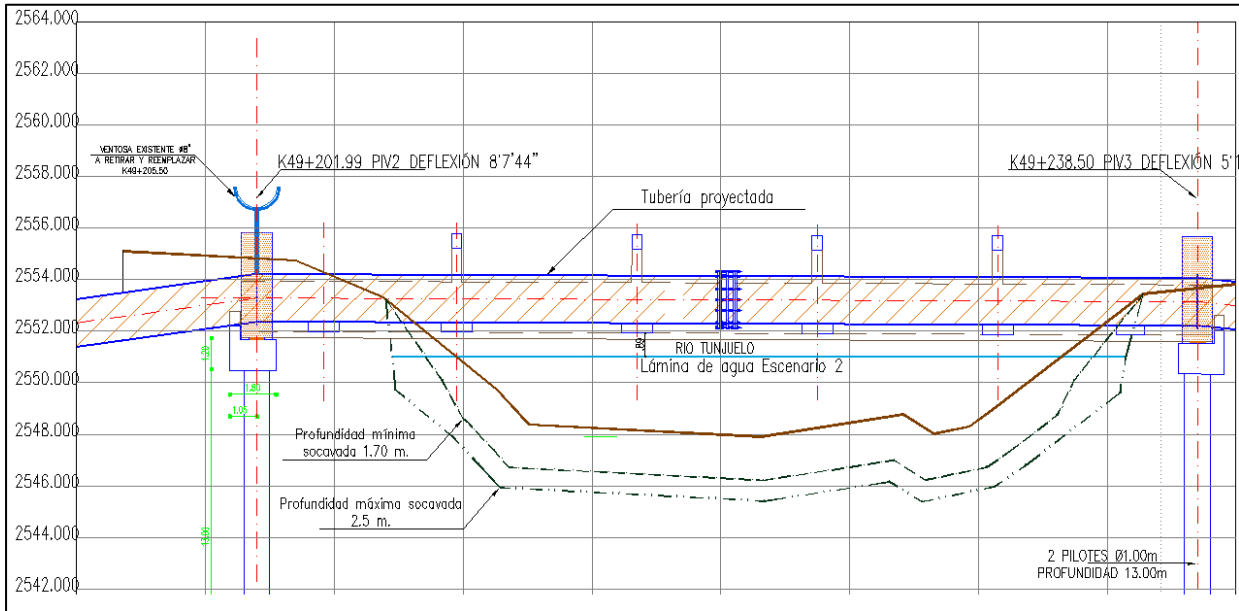
**FIGURA No. 9 PROFUNDIDAD DE FLUJO Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN SECCIÓN
K14+600- ESCENARIO 1 – VIGA TIPO I**



La figura anterior muestra, sobre la sección transversal del cruce, el nivel de flujo de la lámina de agua para el escenario 1 teniendo como viga de soporte una viga tipo I. Según los resultados obtenidos, como se aprecia en la figura, entre la lámina de agua de este escenario y el gálibo de la estructura de soporte propuesta se ha dejado una distancia de 1.84 m. Distancia que se encontraría por encima del valor mínimo conservador sugerido por la Consultoría de 1 metro; lo cual indica que la elevación de 2552.40 m.s.n.m. (elevación cara inferior de la placa de soporte) es suficiente para que la lámina de agua asociada a una creciente con período de retorno de 100 años no afecte a la estructura.

Por otra parte, la profundidad de socavación esperada producto del paso de la creciente varía entre 1.50 m a 2.20 m, considerando que los cimientos del paso elevado corresponden a pilotes con profundidades superiores a 10 metros, se establece que la socavación producto del paso de la creciente no llega a afectar los cimientos de la estructura. De igual forma, la separación entre pilotes puede reducirse disminuyendo así la luz entre apoyo de la estructura de soporte de la tubería.

**FIGURA No. 10 PROFUNDIDAD DE FLUJO Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN SECCIÓN
K14+600- ESCENARIO 2 – VIGA TIPO I.**



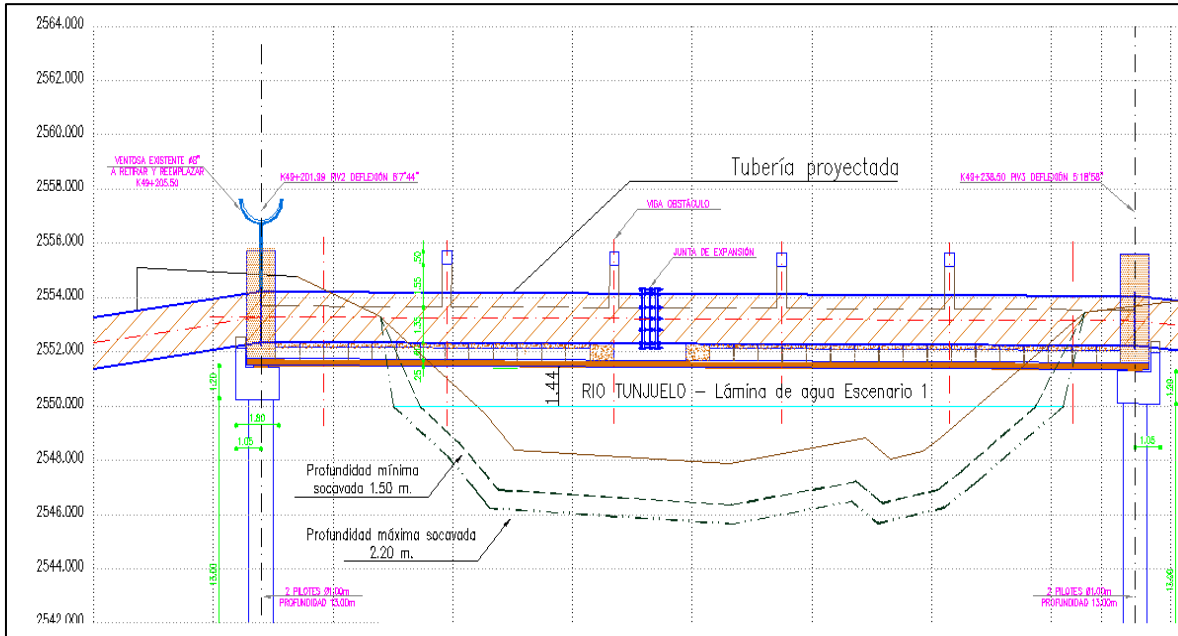
La figura anterior muestra, sobre la sección transversal del cruce, la profundidad de flujo de la lámina de agua para el escenario simulado 2, teniendo como viga de soporte una viga tipo I. Como se aprecia en la figura, entre la lámina de agua de este escenario y el gálibo de la estructura de soporte propuesta existe una distancia de 0.89 m; A pesar de que esta diferencia es menor al borde libre mínimo de 1 m sugerido como criterio conservador por la Consultoría, si permite concluir que la elevación propuesta para el paso elevado es adecuada para valores de caudal extremos superiores a los del escenario 1. Lo cual indica, que la elevación de 2552.40 m.s.n.m. (elevación cara inferior de la placa de soporte) es suficiente para que la lámina de agua asociada a una creciente con período de retorno de 100 años no afecte a la estructura.

Por otra parte, la profundidad de socavación esperada producto del paso de la creciente varía entre 1.70 m a 2.50 m, considerando que los cimientos del paso elevado corresponden a pilotes con profundidades superiores a 10 metros, se establece que la socavación producto del paso de la creciente no llega a afectar los cimientos de la estructura. De igual forma, la separación entre pilotes puede reducirse a aproximadamente 31 m con base en los resultados presentados.

2.9.2. Alternativa 2 (viga en U).

La alternativa número 2 corresponde a una viga tipo U, considerada como posible soporte de la tubería de 72”.

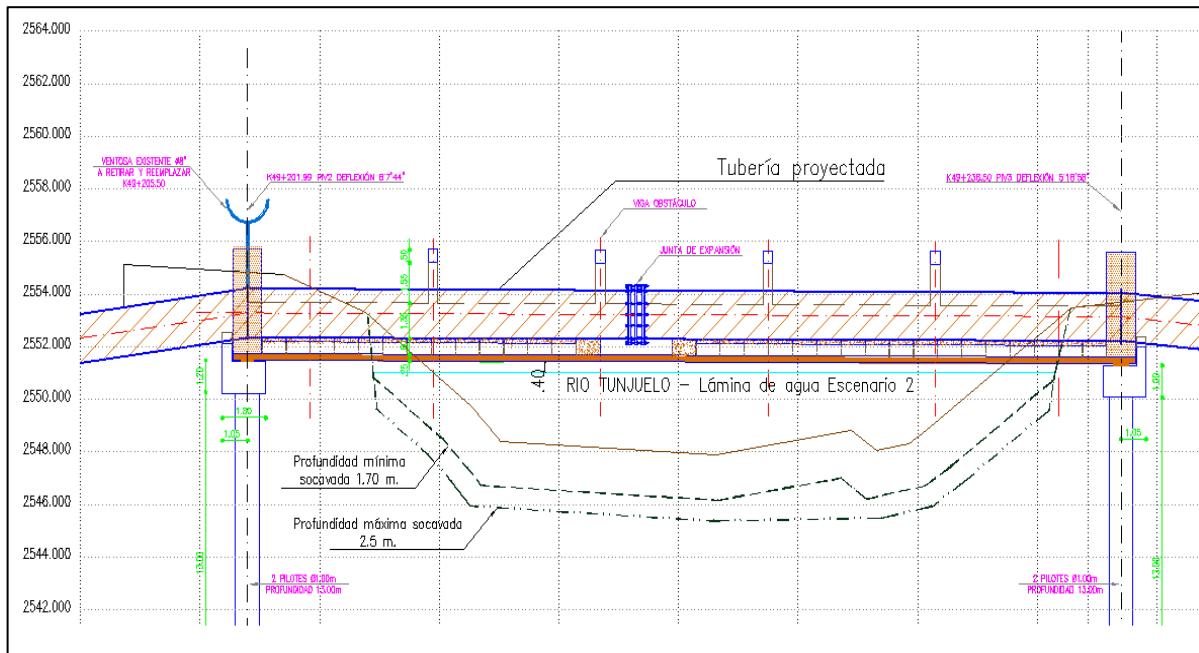
**FIGURA No. 11 PROFUNDIDAD DE FLUJO Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN SECCIÓN
 K14+600- ESCENARIO 1 – VIGA TIPO U.**



La figura anterior muestra, sobre la sección transversal del cruce, la profundidad de flujo de la lámina de agua para el escenario 1 teniendo como viga de soporte una viga tipo U. Según los resultados obtenidos, como se aprecia en la figura, entre la lámina de agua de este escenario y el gálibo de la estructura de soporte propuesta existe una distancia de 1.44 m. Esta distancia se encuentra por encima del valor mínimo conservador sugerido por la Consultoría de 1 metro, lo cual indica que la elevación de 2551.44 m.s.n.m. (elevación cara inferior de la placa de soporte) es suficiente para que la lámina de agua asociada a una creciente con período de retorno de 100 años no afecte a la estructura.

Por otra parte, la profundidad de socavación esperada producto del paso de la creciente varía entre 1.50 m a 2.20 m, considerando que los cimientos del paso elevado corresponden a pilotes con profundidades superiores a 10 metros, se establece que la socavación producto del paso de la creciente no llega a afectar los cimientos de la estructura. De igual forma, la separación entre pilotes puede reducirse a aproximadamente 31 m con base en los resultados presentados.

**FIGURA No. 12 PROFUNDIDAD DE FLUJO Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN SECCIÓN
K14+600- ESCENARIO 2 – VIGA TIPO U.**



La figura anterior muestra, sobre la sección transversal del cruce, el nivel de flujo del escenario simulado 2, teniendo como viga de soporte una viga tipo U. Como se aprecia en la figura, entre la lámina de agua de este escenario y el gálibo de la estructura de soporte propuesta existe una distancia de 0.49 m; A pesar de que esta diferencia no garantiza el cumplimiento de separación mínima sugerida como criterio conservador por parte de la Consultoría, si permite concluir que la elevación propuesta para el paso elevado es el requerido para valores de caudal extremos superiores a los del escenario 1. Lo cual indica, que la elevación de 2551.44 m.s.n.m. (elevación cara inferior de la placa de soporte) es suficiente para que la lámina de agua asociada a una creciente con período de retorno de 100 años no afecte a la estructura.

Por otra parte, la profundidad de socavación esperada producto del paso de la creciente varía entre 1.70 m a 2.50 m, considerando que los cimientos del paso elevado corresponden a pilotes con profundidades superiores a 10 metros, se establece que la socavación producto del paso de la creciente no llega a afectar los cimientos del paso elevado. De igual forma, la separación entre pilotes puede reducirse a aproximadamente 31 m con base en los resultados presentados.

2.10. ASPECTOS GEOTÉCNICOS.

De acuerdo con la información geotécnica obtenida en la exploración del subsuelo y en los ensayos de laboratorio correspondiente con el sondeo CPTU-23 y el sondeo SM-27, se elaboró el perfil geotécnico de cruce sobre el río Tunjuelo (Figura 11), en este perfil se puede prever que la composición de los materiales en cada margen del río tiene diferencias significativas tanto en composición como en resistencia.

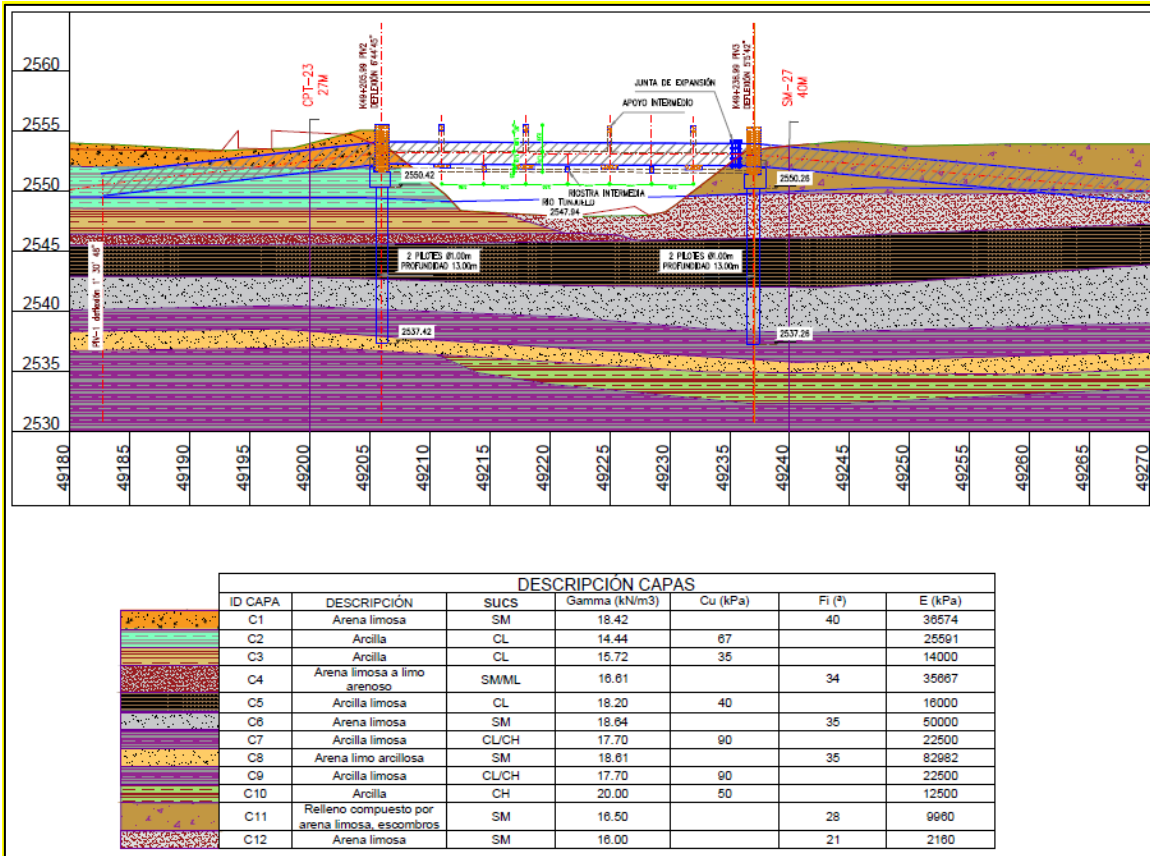
La margen derecha (lado izquierdo en la Figura) se compone superficialmente de relleno antrópico, clasificado como arena limosa con una compacidad densa, más hacia el fondo del cauce se espera encontrar suelo predominantemente arcilloso de consistencia firme de 67 kPa de cohesión, el cual compone la margen derecha del cauce que puede ser afectada por el flujo del río. A mayor profundidad, probablemente formando parte del fondo del río hacia el costado derecho el suelo se compone de arcilla de consistencia media con una cohesión de 35 kPa la cual podría ser afectada por el río, sin embargo dependerá de la fuerza tractiva que este tenga durante las crecientes esperadas para vencer la cohesión de la arcilla.

La margen izquierda (Lado derecho de la Figura) está compuesta superficialmente por relleno antrópico de compacidad suelta hasta los 4 m de profundidad, este material podría estar en contacto con el flujo del río en condición de las crecientes esperadas, el contenido de partículas menores a 0.074 mm varía entre el 24 y el 46%, el contenido de arena (partículas entre 4.76 y 0.074 mm) se encuentra entre el 37 y el 40% y el contenido de gravas (partículas mayores a 4.76 mm) está entre el 17 y 36%. Subyaciendo al relleno y haciendo parte de la margen izquierda y del lado izquierdo del fondo se encuentra una capa de arena fina arcillosa de compacidad muy suelta la cual presenta un contenido de partículas inferior a 0.074 mm variable entre el 21 y el 40% y el contenido de arena esta entre el 60 y 79%, sin presencia de grava.

Para una muestra del sondeo SM-27 correspondiente con el nivel de suelo de arena arcillosa fina tomada a una profundidad de 5.4 a 5.90, la cual puede hacer parte del material del fondo del cauce, se realizó un ensayo de granulometría, la curva granulométrica obtenida se presenta en la Figura 14. De esta curva se puede ver que el contenido de finos 45% y el contenido de arena del 55%, el diámetro medio D50 es de 0.15 mm aproximadamente. De acuerdo con este diámetro medio el nivel de socavación puede ser de 1.80 m para el escenario 1 y 2.10 para el escenario 2.

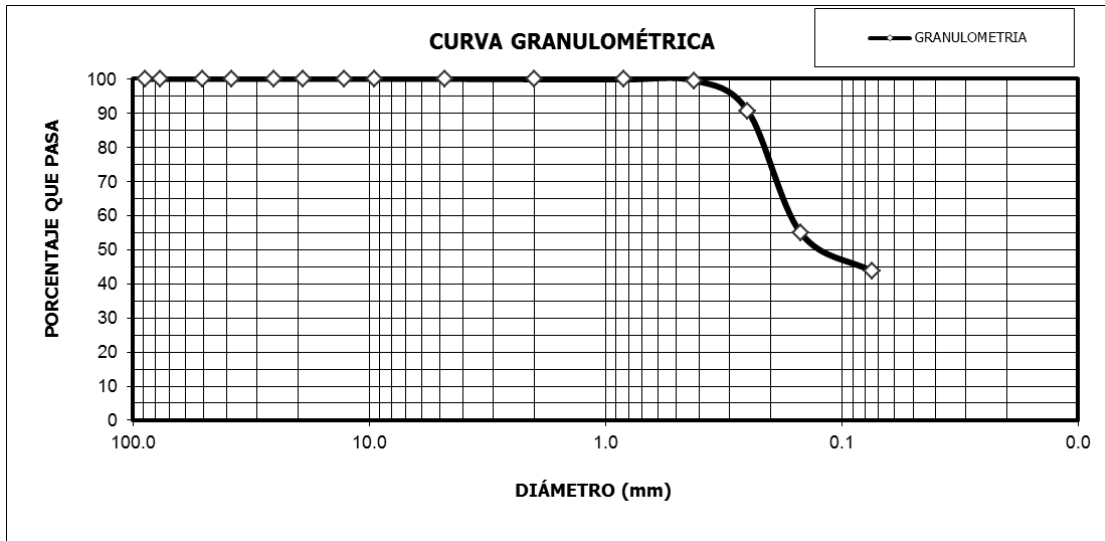
Las características de los suelos nativos encontrados en las dos márgenes del río indican que los sedimentos transportados por el río en el sitio del cruce son tamaño arena, arcilla y limos lo que representa una baja energía de flujo. Es importante destacar además que el la margen derecha del río y el costado derecho del fondo se compone por materiales cohesivos y el costado izquierdo del cauce se compone de suelos no cohesivos. Lo anterior indica que el grado de socavación vertical y lateral en cada costado del río es diferente.

FIGURA No. 13 PERFIL GEOTÉCNICO ESPERADO PARA LA SECCIÓN DEL CRUCE SOBRE EL RÍO TUNJUELO.



Es importante destacar que la presencia del puente del ferrocarril existente aguas arriba del sitio del cruce y la estructura existente para el cruce actual de la tubería de 78", influyen la socavación general del cauce, sin embargo, el tiempo de existencia de estas estructuras ya han llevado al cauce en el área de influencia a una condición de equilibrio por más de 50 años e incluso, por cerca de un siglo para el caso de la línea Férrea, lo cual corresponde prácticamente con el periodo de retorno de evaluación de la socavación indicado al inicio del documento.

FIGURA No. 14 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA EL MATERIAL DEL CAUCE SITIO DE CRUCE RÍO TUNJUELO



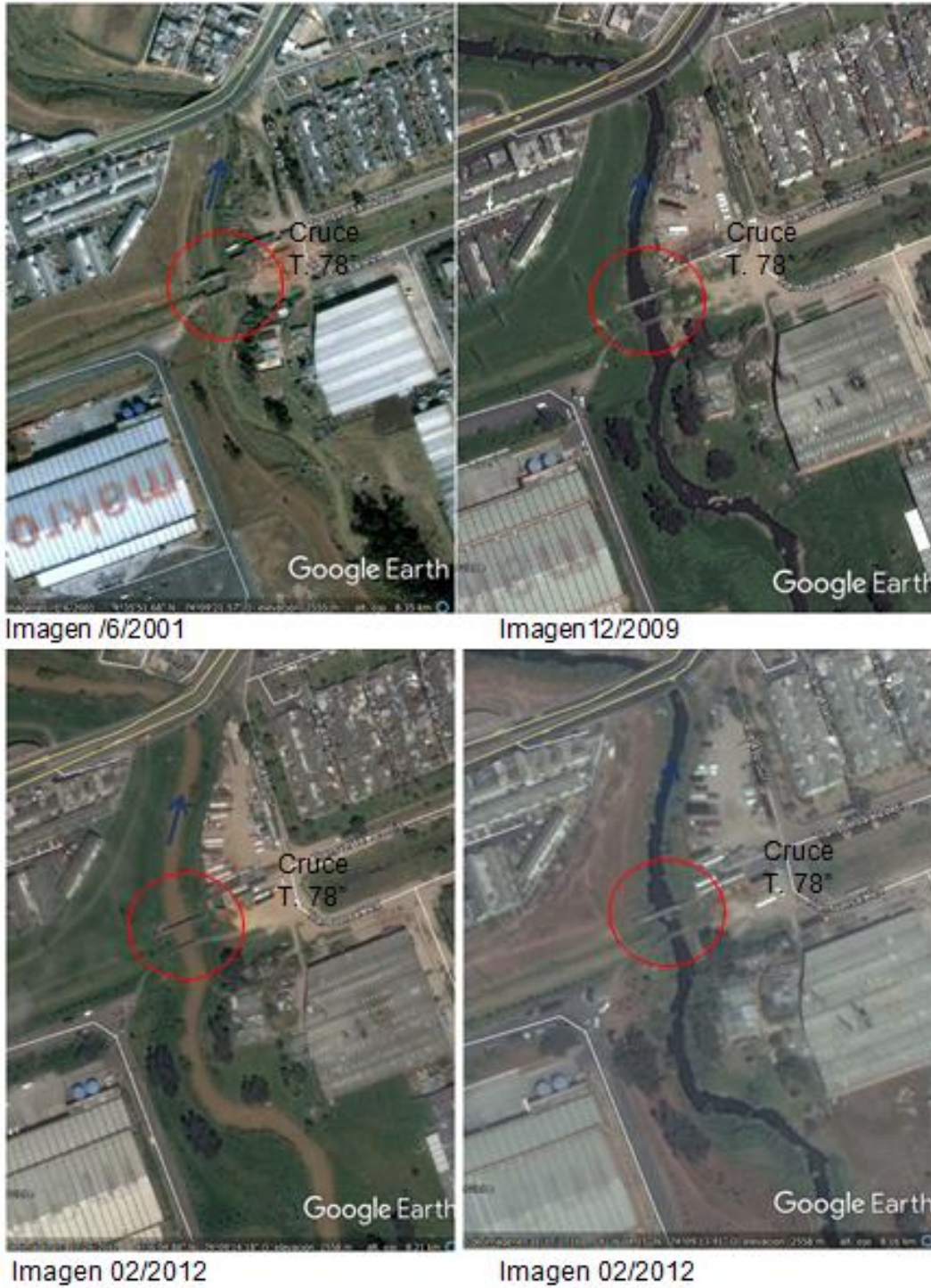
Según lo anterior y teniendo en cuenta que los apoyos proyectados no generan contracción del cauce y por el contrario se pretende eliminar la obstrucción existente con el apoyo intermedio del cruce actual, el efecto de la obstrucción se elimina, por lo tanto, la sección neta del cauce aumenta y la velocidad local del flujo será menor. Por la condición establecida del cauce se prevé que la socavación que se puede presentar en el sitio es debida al aumento del caudal. En este caso al aumentar el caudal aumenta la velocidad y produce la socavación, sin embargo, al disminuir la creciente reduce la velocidad y provoca la sedimentación nuevamente generando la recuperación parcial o total del cauce. Es decir que el proceso de socavación en estos casos se presenta durante el tiempo de la creciente que puede ser de horas o días.

Por la comparación de las secciones presentadas en la Figura 5, las originales con respecto a las tomadas en 2017, se aprecia que prácticamente no se ha presentado pérdida del nivel del fondo del cauce aunque si alguna variación lateral, es importante destacar que en el lapso de comparación se presentó la época invernal de 2010 y 2011 con altos niveles de precipitación y consecuentes altos caudales de los ríos de la región, representados en fuertes inundaciones en la sabana de Bogotá, y aun así no se muestra profundización del cauce. Los desplazamientos laterales mostrados pueden estar relacionados por cambios horizontales de dirección. Sin embargo en el sitio del cruce se aprecia un tramo relativamente recto y uniforme del cauce sin evidencias claras de socavación lateral ni procesos de inestabilidad que den vestigios de este fenómeno.

Los resultados obtenidos de socavación vertical, entre 1.5 y 2.50 m para el rango de gradación contemplado son razonables para la creciente de diseño, haciendo notar de todos modos que este es un efecto debido a incremento del caudal y por tanto estos valores se podrían presentar durante el tiempo de la creciente de diseño y luego por sedimentación posterior el cauce recupera su nivel. En este sentido se puede concluir que los apoyos proyectados por fuera del cauce principal no generan efecto negativo alguno al comportamiento del cauce en el futuro, por otro lado, dado que la socavación calculada se recupera luego de cada creciente, se prevé que no se presentan efectos negativos sobre la cimentación de los apoyos del cruce proyectado ni tampoco sobre la estabilidad de las márgenes del río.

Desde el punto de vista de la dinámica del río aguas arriba y abajo del sitio de cruce, al mirar imágenes de Google Earth de los años 2001, 2009, 2012 y 2016 no se evidencian modificaciones morfodinámicas en planta que indiquen posibles procesos de socavación cercanas al cruce que puedan afectar su estabilidad, es importante notar además que aguas arriba del cauce se aprecian acumulaciones de sedimentos lo cual corrobora su condición de baja energía y de aporte de sedimentos más que efectos de arrastre significativo. Ver figura 15.

**FIGURA No. 15 PERFIL GEOTÉCNICO ESPERADO PARA LA SECCIÓN DEL CRUCE SOBRE
EL RÍO TUNJUELO.**



2.11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES HIDROLÓGICAS.

A partir del proceso de modelación del cauce del río Tunjuelo, y con el propósito de establecer el nivel de flujo que alcanza la lámina de agua asociada a una creciente de 100 años de período de retorno. Se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Del proceso de modelación hidráulica del cauce del Tunjuelo, empleando 2 escenarios de simulación (un caudal de 40.75 m³/s y otro con 59.77 m³/s). Se encontró que la profundidad de flujo en la sección del cruce de la tubería Tibitoc – Casablanca y el río Tunjuelo (sección K14+600) fue de 2.10 m. y 3.01 m, para cada escenario; que en términos de elevaciones corresponden a 2550.10 m.s.n.m y 2551.04 m.s.n.m. Toda estructura de paso elevado que se ejecute en dicha sección deberá ser implementada garantizando niveles superiores a los antes indicados.

Para el primer escenario de modelación (Q = 40.75 m³/s) se tiene:

- Que ambas alternativas de estructuras de soporte de la tubería, una viga tipo I y otra tipo U, en función a la cota de implantación propuesta, permiten garantizar contar con una separación o borde libre entre la cota de fondo de la estructura y la elevación de la lámina de agua de una creciente de 100 años de período de retorno (separación de 1.89 m para la viga tipo I y de 1.40 m. para la viga tipo U) de forma tal que, para ambas alternativas, la elevación de la tubería proyectada permite el flujo normal del agua en el cauce. Este escenario constituye el escenario seleccionado para la determinación de la elevación del gálibo de la estructura.
- Que la profundidad de socavación mínima y máxima que se espera pueda ocurrir en la sección transversal es inferior a la profundidad estimada de los pilotes de soporte de la estructura proyectada. Y que adicionalmente, existe la posibilidad de reducir la luz libre de los apoyos de soporte de la estructura, inicialmente propuesta de 36 m, pudiéndose reducir hasta una luz de 30 m.

Para el segundo escenario de modelación (Q = 59.77 m³/s) se tiene:

- Que al emplear la viga tipo I como estructura de soporte de la tubería proyectada, hay una diferencia de 0.89 m. entre la cota mínima de la estructura y la cota de la lámina de agua, permitiendo el flujo del agua en el cauce, por lo tanto se establece que la elevación propuesta de la estructura es suficiente para que el flujo de agua no afecte a la futura estructura. No siendo este escenario el empleado para la definición de la elevación del paso elevado, sino para verificar que la ocurrencia de crecientes extremas superiores no afecten la integridad estructural de la tubería.

- Que para la viga tipo U como estructura de soporte de la tubería proyectada, se tiene una diferencia de 0.49 m. entre la cota mínima de la estructura y la cota de la lámina de agua. La cuál garantiza que la estructura no se vea afectada por el paso de una creciente de mayor magnitud a la del escenario 1, validando la pertinencia de la cota de implantación seleccionada para esta estructura.

Se considera importante destacar que el nivel de la tubería a clave externa proyectada para el cruce de la tubería Tunjuelo se ha incrementado en 75 cm respecto a la posición actual de la clave externa de la tubería de 78” y según los antecedentes y consultas hechas al IDIGER² y al Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Cambio Climático “SIRE” de Bogotá, no se conoce información histórica en el sentido en que los niveles del río hayan alcanzado los niveles de la tubería actual ni que la zona de interés haya presentado problemas de inundaciones por desbordamientos, crecientes extraordinarias u otras emergencias asociadas a cauces que hayan afectado la zona puntual objeto de estudio ni se encuentre en zona de alto riesgo no mitigable. Lo anterior, aunado al hecho que la conformación topográfica de la zona aledaña al cauce en el sitio de interés presenta un nivel de desbordamiento menor al de implantación actual del paso elevado, permite concluir que el nivel de la nueva estructura propuesta, superior al de la existente, reduce aún más la vulnerabilidad de la tubería a la acción del río.

Desde el punto de vista geotécnico, se destaca que las márgenes del río presentan una condición geotécnica deferente, la margen derecha se compone de suelos predominantemente cohesivos con consistencia media a firme, la margen izquierda se compone de suelos predominantemente granulares de compacidad muy suelta los cuales por su condición son más susceptibles a socavación vertical y lateral. Por la dinámica y pendiente del río y por la condición de equilibrio evidente con la presencia del puente de la línea férrea y del cruce actual de la Tubería de 78”, se prevé que la socavación que se puede presentar es debida al incremento del caudal, la cual normalmente se compensa completamente por sedimentación luego de la reducción del caudal máximo en un lapso de horas o días.

Como lo demuestran las secciones originales con respecto a las levantadas en 2017 el cauce no ha presentado profundización, indicando que existe un equilibrio entre socavación vertical y sedimentación, este aspecto indica que los apoyos proyectados por fuera de las márgenes del río para el nuevo cruce no se verán afectados por la socavación estimada, pues esta es revertida con la sedimentación posterior a la creciente.

² Oficio de respuesta de IDIGER sobre solicitud de Concepto Permiso de ocupación de cauce. 02 de marzo de 2017, radicado No 2017ER2365

Desde el punto de vista de estabilidad de las márgenes en general estas muestran una condición adecuada, sin embargo se destaca que sobre la margen izquierda la estabilidad actual de acuerdo con los análisis geotécnicos realizados es baja y requiere ser mejorada mediante procesos de densificación de la arena muy suelta. Las consideraciones y recomendaciones de mejoramiento de la margen izquierda se presentan en el informe del Producto 5.1, Estudios geotécnicos tramo sur- Cruce río Tunjuelo.

3. REFERENCIAS

- EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ (EAB), 2013, **CONSULTORÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ABASTECIMIENTO Y LA ELABORACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO PARA BOGOTÁ Y SUS MUNICIPIOS VECINOS**. PRODUCTO 6.1.2 - MODELACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DEL SISTEMA HÍDRICO PRINCIPAL, REVISIÓN 3 ENERO DE 2016. INGETEC. Bogotá D.C.
- EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ (EAAB), 2009, **MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LOS RÍOS TUNJUELO Y FUCHA EN LAS CONDICIONES ACTUALES**. PRODUCTO # 1: MODELACIÓN HIDROLÓGICA RÍO TUNJUELO. I.H.T. LTDA. Bogotá D.C.
- EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ (EAAB), 2009, **MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LOS RÍOS TUNJUELO Y FUCHA EN LAS CONDICIONES ACTUALES**. PRODUCTO # 1: MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO TUNJUELO. I.H.T. LTDA. Bogotá D.C. Diciembre 2009.3Socavación.
- Toapax, J. et. al. 2015. **ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN EN CAUCES NATURALES**. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Centro de investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos (CIERHI), Quito Ecuador.