



ANÁLISIS DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA RÍO ATÁ SECTOR CAÑOFISTO K16+160 – K16+310 PLANADAS - ATACO

INFORME HIDRÁULICO - VERSIÓN 1

CONTRATO DE OBRA -2096-2022



JUNIO DE 2022

Página 1 de 33

TABLA DE CONTENIDO

1. LOCALIZACIÓN GENERAL	3
2. ESTUDIO HIDROLÓGICO	5
2.1. Información Base.....	5
2.2. Caudales Estación El Condor.....	7
2.3. Caudales Sector Cañofisto	10
2.4. Selección N de Manning	11
3. ESTUDIO HIDRÁULICO	14
3.1. Topografía	16
3.2. Implantación Muro de Protección.....	18
3.3. Modelación Hidráulica.....	20
3.4. Análisis de Socavación	23
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
5. REFERENCIAS.....	27
6. ANEXO: RESULTADOS MODELACIÓN.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros morfométricos cuenca río Atá	5
Tabla 2. Áreas de cuencas hasta los puntos de referencia	6
Tabla 3. Estación limnigráfica El Condor.....	6
Tabla 4. Valores Máximos Anuales de Caudales Estación Limnigráfica El Condor	6
Tabla 5. Caudales obtenidos río Atá Estación El Condor	9
Tabla 6. Caudales obtenidos para el río Atá en el sector Cañofisto K16+160.....	11
Tabla 7. Granulometría - Clasificación según diámetro	13
Tabla 8. Diámetros característicos	13
Tabla 9. Resultado del valor n_0 básico	14
Tabla 10. Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning	14
Tabla 11. Resultados para la sección con mayor nivel de agua	23
Tabla 12. Cálculo de la socavación general Sector Cañofisto	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización general corredor vial Ataco - Planadas	3
Figura 2. Localización sector Cañofisto K16+100.....	4
Figura 3. Resultados gráficos distribuciones de probabilidad	9
Figura 3. Curva granulométrica río Atá D_{50} , D_{75} y D_{90}	13
Figura 4. Topografía sector Cañofisto K16+160 - K16+310.....	16
Figura 5. Secciones transversales K16+160 - K16+260	17
Figura 6. Secciones transversales K16+280 - K16+320	18
Figura 7. Implantación muro de protección K16+160 - K16+310	19
Figura 8. Implantación muro de protección perfil longitudinal	20
Figura 9. Implantación muro de protección sección transversal típica	20
Figura 10. Topología del tramo modelado	21
Figura 11. Perfil del flujo tramo modelado.....	22
Figura 12. Sección típica del tramo modelado	22
Figura 13. Socavación general Lischtván Levediev	24

1. LOCALIZACIÓN GENERAL

El proyecto vial entre Ataco y Planadas se encuentra localizado en el departamento del Tolima. El río Atá es una corriente permanente que nace en la cordillera Central en los límites de los departamentos de Tolima, Cauca y Huila; esta corriente corre paralela a la vía entre Ataco y Planadas. El problema específico que compete a este estudio se remite al sector que se encuentran ubicado entre el K16+160 al K16+310; sector conocido como Cañofisto.

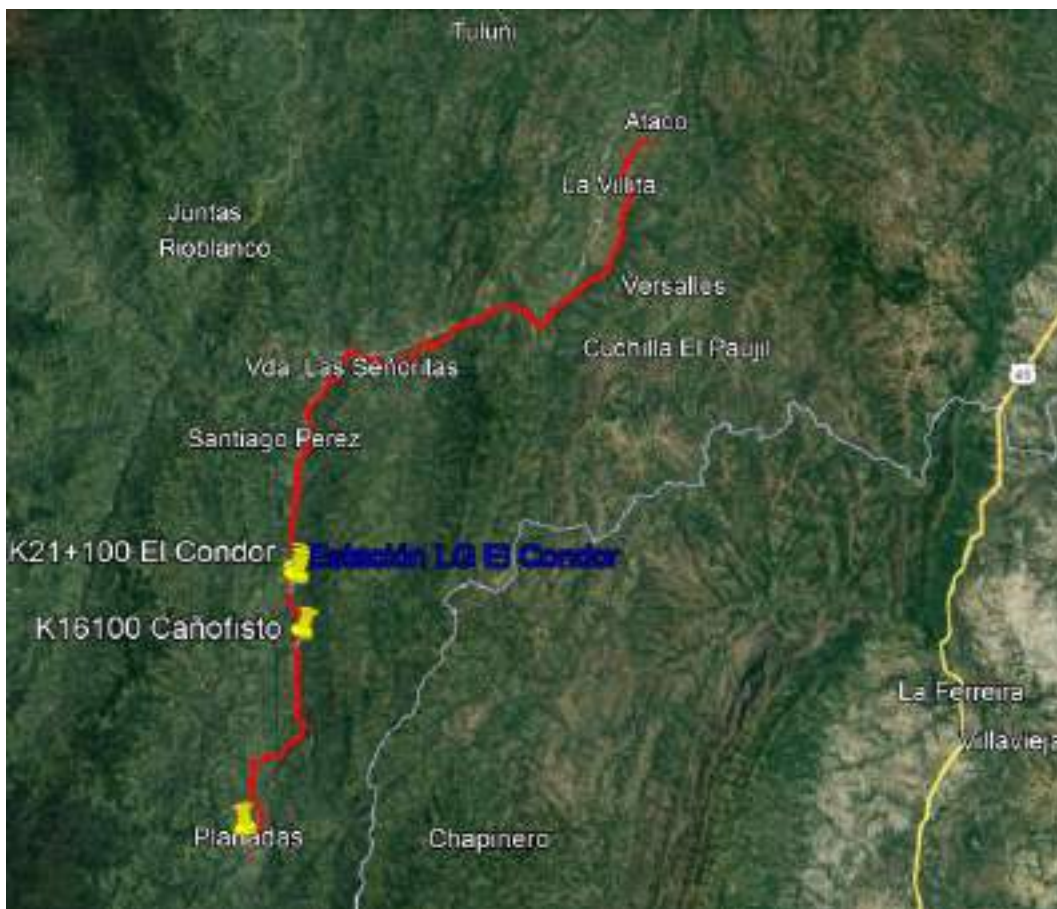


Figura 1. Localización general corredor vial Ataco - Planadas

La estación meteorológica más cercana a la zona del tramo en estudio, es la estación de categoría limnigráfica El Condor [22027010], perteneciente al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, localizada en el municipio de Ataco, sobre la corriente del río Atá, a la altura del K19+700 del corredor vial Planadas – Ataco.

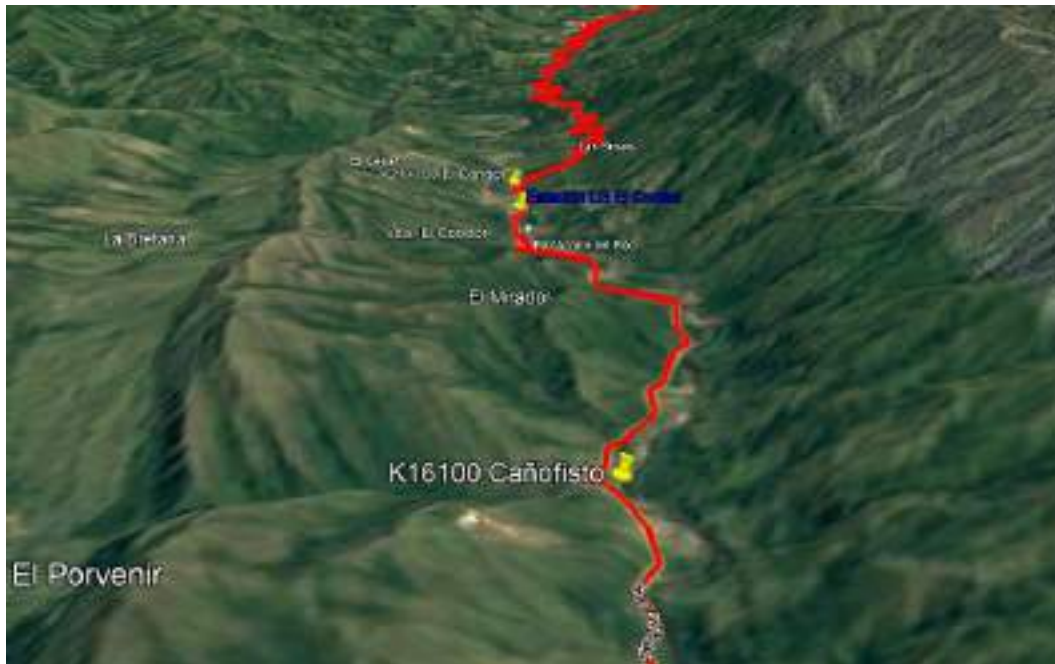


Figura 2. Localización sector Cañofisto K16+100

El problema que se presenta se origina en la erosión del material fino de los taludes de las vertientes; el río se recuesta contra la curva externa por deposición del material grueso contra la curva interna.



Foto 1. Erosión material del talud K16+160

Dado que el problema existente es la remoción del material de cobertura del talud por erosión, la solución propuesta busca endurecer la superficie de contacto del talud protegiéndola con un tipo de cobertura que le brinde resistencia a la superficie.



Foto 2. Ataque del río con erosión del talud en curva externa K16+160

2. ESTUDIO HIDROLÓGICO

El objetivo del estudio es realizar el análisis hidrológico de la cuenca del río Atá, con el fin de determinar los caudales que transitan por el sector en el que se encuentra la Estación Limnigráfica El Condor y a partir de allí estimar los caudales que transitan por el sector de Cañofisto, para diferentes periodos de retorno.

2.1. Información Base

En el año 2009 la empresa AIM LTDA realizó el Volumen VII. Estudio de Hidrología e Hidráulica, dentro de los diseños del corredor vial, el cual sirve como documento de referencia para el análisis a realizar.

El río Atá es una corriente permanente afluente del río Saldaña; las cabeceras se localizan en los límites de los departamentos del Tolima, El Cauca y el Huila, la estación de caudales El Condor [22027010] suministra la información de caudales para el presente estudio.

En la siguiente Tabla se listan los parámetros morfométricos de la cuenca del río Atá hasta el sitio de salida del tramo que corresponde a la abscisa K38+500. Se calculó el área hasta el sitio en el que existen problemas erosivos.

Tabla 1. Parámetros morfométricos cuenca río Atá

Parámetros Morfométricos	
Área (Km ²)	1525.26
Perímetro (Km)	256.31
Ancho (Km)	13.54
L corriente ppal (Km)	112.62
L cuenca (Km)	57.96
L axial (Km)	57.50
Número de orden	5.00
Sinuosidad total	1.96
Sinuosidad hidrológica ($1/S_{total}$)	0.51
Coeficiente de compacidad (Kc)	1.84

Parámetros Morfométricos	
Índice de cuadratura	2.89
Índice de Horton	0.46
Relación de elongación	0.76
Relación de circularidad	0.29
Cota mínima (m.s.n.m)	600.00
Cota máxima (m.s.n.m)	4000.00
Pendiente de la corriente principal (%)	3.02
Altura máxima (m)	3400.00

Fuente: Vol. VII Hidrología e Hidráulica AIM LTDA. 2009

Tabla 2. Áreas de cuencas hasta los puntos de referencia

Abscisa punto de cierre cuenca	Área de drenaje (Km ²)
K38+500	1525.26
K19+700	1375.88
K16+160	1339.93

Fuente: Vol. VII Hidrología e Hidráulica AIM LTDA. 2009

Se dispuso de información de caudales máximos instantáneos en la estación limnigráfica El Condor [22027010] localizada en el tramo de estudio y perteneciente al IDEAM.

Tabla 3. Estación limnigráfica El Condor

Código	Categoría	Nombre	Entidad	Municipio	Coordenadas		Altitud	Fecha de instalación	Descripción serie
					Latitud	Longitud			
22027010	Limnigráfica	EL CONDOR	IDEAM	Ataco	3.3282777	-75.613111	757	15/01/1971	Caudal máximo anual

Fuente: IDEAM

El objeto del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad. Esta metodología es de óptima aplicación cuando se cuenta con datos históricos de caudales máximos. Para el cálculo de caudales del Río Ata se aplicó una distribución de frecuencias a partir de los caudales máximos anual obtenidos por medio de la Estación Limnigráfica El Condor, los cuales se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla 4. Valores Máximos Anuales de Caudales Estación Limnigráfica El Condor

Año	Caudal Máximo Anual (m ³ /s)	Año	Caudal Máximo Anual (m ³ /s)
1971	226.00	1997	158.30
1972	182.00	1998	247.10
1973	345.50	1999	242.80
1974	253.00	2000	249.30
1975	238.00	2001	205.50
1976	165.10	2002	209.60
1977	253.00	2003	189.20

Año	Caudal Máximo Anual (m³/s)	Año	Caudal Máximo Anual (m³/s)
1978	143.70	2004	234.30
1979	167.10	2005	401.20
1980	215.00	2006	330.60
1981	142.70	2007	289.90
1982	215.90	2008	349.80
1983	160.50	2009	414.00
1984	187.30	2010	401.20
1985	162.10	2011	401.20
1986	171.30	2012	209.60
1987	120.30	2013	145.70
1988	135.90	2014	145.70
1989	166.90	2015	127.60
1990	231.00	2016	151.84
1991	177.50	2017	234.50
1992	123.40	2018	255.97
1993	167.30	2019	215.13
1994	199.80	2020	215.13
1995	189.60	2021	215.13
1996	153.00	---	---

Fuente: IDEAM

2.2. Caudales Estación El Condor

Según Chow la magnitud de un evento extremo puede representarse como:

$$X_T = \mu + K_T \sigma$$

Donde:

μ : Media de la variable

σ : Desviación Estándar de la variable

K_T : Factor de Frecuencia

Las distribuciones que se aplicaron a dicha estación son las siguientes:

Distribución Normal

Para la distribución normal el factor de frecuencia puede expresarse utilizando la siguiente ecuación:

$$K_T = z = \frac{x_T - \mu}{\sigma}$$

El valor de z corresponde a una probabilidad de excedencia de p ($p = 1/T$) puede calcularse encontrando el valor de una variable intermedia w

$$w = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}$$

Y luego calculando z utilizando la aproximación:

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3}$$

El factor de frecuencia K_T para la distribución normal es igual a z.

Distribución Log Normal II

Para la distribución Log Normal II el factor de frecuencia puede expresarse utilizando la ecuación:

$$K_T = (\text{EXP} [K^*(\ln (1+ (\sigma/\mu)^2)^{1/2} - 0.5* \ln (1+ (\sigma/\mu)^2) - 1) / (\sigma/\mu)$$

Donde:

K: función de (1-1/T), de tabla distribución normal.

Distribución Log Pearson Tipo III

Para esta distribución, el primer paso es tomar los logaritmos de la información hidrológica y se calculan la media, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría (C_s) para los logaritmos de los datos.

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + 1/3(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + (1/3)k^5$$

Donde $k = C_s/6$

El valor de z se calcula de la misma forma que en la distribución normal.

Distribución Gumbel

Para la distribución Gumbel el factor de frecuencia se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K_T = (-\sqrt{6}/\pi) [0.5772 + \ln (\ln (T/(T-1)))]$$

Donde:

T: Periodo de Retorno en años.

Los caudales obtenidos por medio del análisis de frecuencias para el Río Atá en el punto ubicado sobre la estación limnigráfica El Cóndor (punto de referencia K19+700) son los que se presentan a continuación:

Tabla 5. Caudales obtenidos río Atá Estación El Condor

Tr (Años)	Q Normal (m³/s)	Q Log Normal (m³/s)	Q Log Pearson Tipo III (m³/s)	Q Gumbel (m³/s)
2.33	231.88	219.07	213.20	218.38
5	282.45	273.12	267.94	273.15
10	316.02	316.01	316.36	317.76
25	351.81	373.17	382.69	374.13
50	374.92	414.55	436.01	415.95
100	395.70	454.32	492.82	457.45

Fuente: Propia

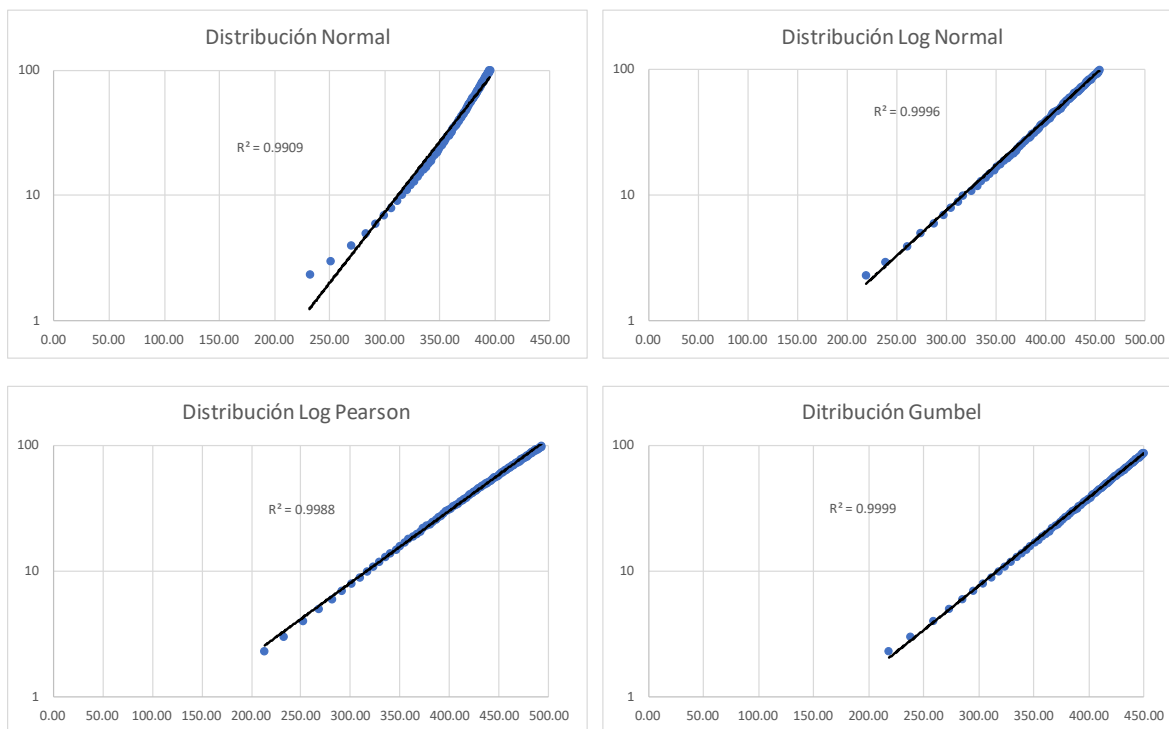


Figura 3. Resultados gráficos distribuciones de probabilidad

De acuerdo al análisis realizado a la estación El Condor, para la información de caudales máximos anuales, la función que mejor se ajusta según el valor de R2, es la distribución Gumbel, por lo tanto, con los caudales obtenidos mediante dicha función se calculan los caudales en el sector estudiado.

2.3. Caudales Sector Cañofisto

Para elaborar un análisis de caudales en el tramo del río Atá se determinaron varios puntos de control sobre el cauce del río, éstos corresponden a las abscisas K16+160, K19+700 y K38+500 sobre el eje de la vía proyectada.

Los caudales para cada uno de estos puntos se encontraron a partir de los caudales de la Tabla 5 por medio de la aplicación de las fórmulas empíricas de Kresnik, Creager, y del método de los exponentes anómalos, a continuación, se da una descripción de cada una de estas metodologías:

Exponentes Anómalos

$$\begin{aligned}Q_{2.33} &= C A^{0.845} \\Q_5 &= C A^{0.822} \\Q_{10} &= C A^{0.794} \\Q_{25} &= C A^{0.759} \\Q_{50} &= C A^{0.790} \\Q_{100} &= C A^{0.690}\end{aligned}$$

Donde:

Q: Caudal pico de la creciente para cada periodo de retorno en m³/s.

C: Coeficiente dependiente de la naturaleza de la superficie drenada.

A: Área de drenaje en Km².

Fórmula de Kresnik

$$Q = \alpha (32/(0.5 + \sqrt{A})) A$$

Donde:

Q: Caudal pico de la creciente en m³/s.

A: Área de drenaje en Km².

α : Coeficiente variable entre 0.03 y 1.61.

Fórmula de Creager

$$Q = 46 C A^{0.894} A^{-0.048}$$

Donde:

Q: Caudal pico de la creciente en pies³/s.

A: Área de drenaje en millas².

C: Coeficiente dependiente de la naturaleza de la superficie drenada.

En la tabla que se presenta a continuación se muestran los caudales obtenidos para el punto de control referenciado sobre el abscisado de la vía. Para este estudio en particular correspondiente únicamente al tramo erosionado que está ubicado en el sector conocido como Cañofisto.

Tabla 6. Caudales obtenidos para el río Atá en el sector Cañofisto K16+160

Tr (años)	Exponentes Anómalos	Kresnik	Creager	Promedio
2.33	213.55	215.47	213.54	214.19
5	267.27	269.51	267.10	267.96
10	311.15	313.53	310.73	311.80
25	366.69	369.14	365.84	367.22
50	407.34	410.40	406.73	408.16
100	449.17	451.36	447.32	449.28

Fuente: Propia

2.4. Selección N de Manning

La metodología de Cowan es utilizada para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning y con él determinar las pérdidas de energía por fricción generadas por el flujo, el método propone estimar dicho coeficiente reconociendo varios factores primarios que afectan su valor, la ecuación propuesta es la siguiente: Ecuación de Cowan:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

Donde:

- n0: Valor básico del coeficiente de rugosidad de Manning para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales comprendidos.
- n1: Factor que corrige el efecto de irregularidades de superficie.
- n2: Factor que corrige las variaciones de la forma y el tamaño de la sección transversal del canal.
- n3: Factor de corrección por obstrucciones en el canal.
- n4: Factor de corrección por presencia de vegetación y las condiciones de flujo.
- m5: Factor de corrección por meandros del cauce o el canal.



Foto 3. Conteo de piedras para definir granulometría río Atá

Para determinar el valor de n_0 (valor básico del coeficiente de rugosidad de Manning) se tuvo en cuenta la granulometría del lecho. Por medio de un conteo de piedras con una muestra de 150 unidades se determinó la curva granulométrica de la cual se extrajo el valor del D50, D75 y D90. Con estos datos se calculó el valor del n base no por medio de un promedio de los resultados del valor del n de Manning encontrado por medio de las ecuaciones de Lane y Carlson (1953), Meyer-Peter-Muller (1948), Garde & Raju (1978), Subramanya (1982), y de Regionalización para Antioquia.

Tabla 7. Granulometría - Clasificación según diámetro

CONTEO DE PIEDRAS					
Rango de Abertura	Abertura Promedio	Número de Piedras	% Retenido	% Acumulado	% Que Pasa
mm	mm				
< 2	0.01	0	0.00	0.00	100.00
2-4	3	0	0.00	0.00	100.00
4-8	6	0	0.00	0.00	100.00
8-16	12	0	0.00	0.00	100.00
16-32	24	0	0.00	0.00	100.00
32-64	48	42	28.00	28.00	72.00
64-128	96	90	60.00	88.00	12.00
128-256	192	15	10.00	98.00	2.00
256-512	384	3	2.00	100.00	0.00
512-1024	768	0	0.00	100.00	0.00
SUMA		150	100		

Fuente: Vol. VII Hidrología e Hidráulica AIM LTDA.

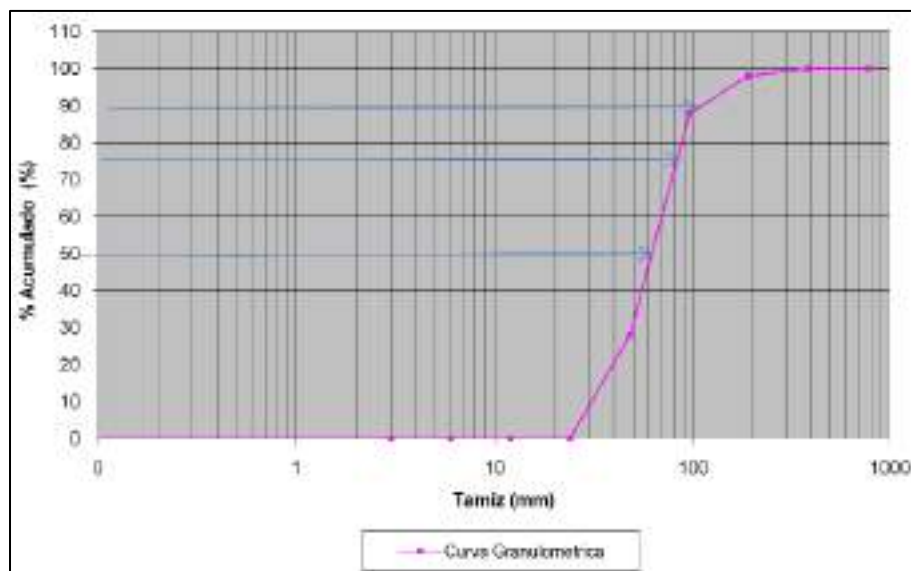


Figura 4. Curva granulométrica río Atá D_{50} , D_{75} y D_{90}

Tabla 8. Diámetros característicos

DIÁMETROS CARACTERÍSTICOS		
D50 =	63	mm
D75 =	87	mm
D90 =	100	mm

Fuente: Vol. VII Hidrología e Hidráulica AIM LTDA.

Tabla 9. Resultado del valor n_0 básico

CALCULO DEL COEFICIENTE DE MANNING	
Ecuación	Coefficiente de Rugosidad de Manning
	n
Lane y Carlson (1953)	0.031
Meyer - Peter - Muller (1948)	0.026
Garde & Raju (1978), Subramanya (1982)	0.029
Regionalización para Antioquia	0.030
Promedio	0.028

Fuente: Vol. VII Hidrología e Hidráulica AIM LTDA.

En la siguiente Tabla se muestra el valor asignado a los factores con los que se aplicó la ecuación de Cowan para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning utilizado en los cálculos hidráulicos presentados en el presente estudio.

Tabla 10. Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning

Factor	Descripción	Valor
n_0	Grava gruesa	0.0280
n_1	Grado de irregularidad en la superficie severo	0.0200
n_2	Variaciones ocasionalmente alternantes de las secciones transversales del canal	0.0050
n_3	Efecto apreciable de obstrucciones en el cauce	0.0300
n_4	Efectos altos de la vegetación y condiciones de flujo de grado medio	0.0500
m_5	Efectos severos de meandrosidad del canal	1.3000
$n =$		0.1729

Fuente: Vol. VII Hidrología e Hidráulica AIM LTDA.

El n de Manning obtenido a partir de la ecuación de Cowan, se adopta como valor para la ejecución de los cálculos hidráulicos, el valor de $n = 0.1729$ corresponde a ríos con islas de grava que arrastran gran cantidad de sedimento grueso en creciente.

De acuerdo a la curva granulométrica extraída del conteo de piedras realizado para encontrar el n de Manning; de los diámetros característicos se infiere que el material sólido sobre el lecho del río Atá puede clasificarse como grava gruesa, que en este caso se encuentra sobre una matriz de arenas que a su vez conforma zonas en las que al acumularse en grandes extensiones genera la formación de islas o barras cuya formación es propiciada por las bajas pendientes del tramo. Adicionalmente se encuentran también sobre el lecho, materiales finos que son transportados por el río como sólidos en suspensión.

3. ESTUDIO HIDRÁULICO

Para el tramo sector Cañofisto K16+160 a K16+310 se propone la construcción de un muro de protección en concreto con protección en bolsacretos en la base del muro, localizado paralelo al corredor vial en una longitud de 150.0 m. El muro se proyecta en módulos de concreto continuos de 9.0 m de longitud, 2.5 m de ancho y 7.0 m de altura, un total de 17

módulos, sobre zapata de 3.0 m de ancho y 1.0 m de espesor sobre pilotes tipo Caisson de 6.0 m de altura y 1.2 m de diámetro, un total de 51 pilotes.



Foto 4. Foto aérea sector Cañofisto K16+160 - K16+310

A continuación, se presentan las consideraciones de diseño tomadas en cuenta para el diseño del muro de protección:

1. El diseño que se presenta se realizó con la topografía levantada en el mes de mayo del año 2022.
2. Las obras planteadas buscan proteger la pata del talud de posibles efectos de socavación lateral en la base del lecho.
3. La obra planteada consiste en una protección anti-socavación, con muro en concreto con protección en bolsacretos en la base del muro, localizado paralelo al corredor vial entre abscisas K16+160 – K16+310, para una longitud total de muro de 150.0 m. El muro se proyecta en módulos de concreto continuos de 9.0 m de longitud, 2.5 m de ancho y 7.0 m de altura, un total de 17 módulos, sobre zapata de 3.0 m de ancho y 1.0 m de espesor sobre pilotes tipo Caisson de 6.0 m de altura y 1.2 m de diámetro, un total de 51 pilotes.
4. Se buscó en lo posible proteger hasta la creciente de 100 años de período de retorno.
5. La elevación inferior del muro, está sobre pilotes tipo caisson de 6.0 m de altura siguiendo siempre la pendiente del tramo.
6. El muro de protección se diseñó para proteger el suelo contra arrastre de finos.
7. Los bolsacretos tienen dimensiones 1.2 m x 2.4 m, su disposición se hará sobre geotextil NT-3000 o similar y con amarre en varilla de 3/4" longitud 0.40 m.
8. Los detalles de implantación del muro y pilotes, disposición de bolsacretos, cámara de caída con losa de amortiguamiento, alcantarilla existente con tubería proyectada, alzado de muro con pase de tubería, juntas de dilatación y recomendaciones de construcción,

se presentan en planos anexos: Planta perfil muro y bolsacretos, secciones muro y bolsacretos, y detalles muro y bolsacretos, Cañofisto sobre río Atá.

3.1. Topografía

En las siguientes figuras se presenta la vista en planta y las secciones transversales de la topografía realizada para el presente estudio en el sector de Cañofisto.

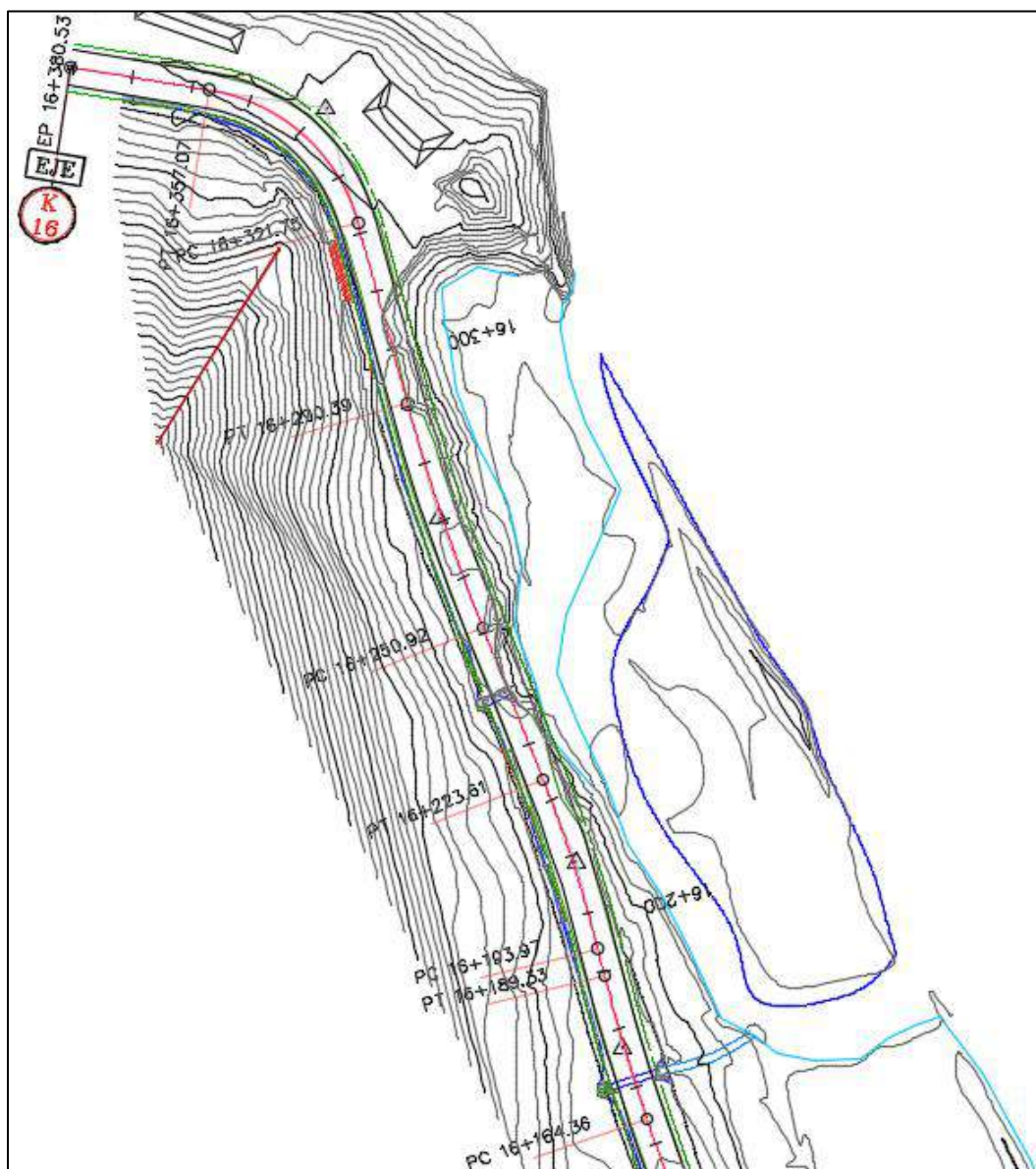


Figura 5. Topografía sector Cañofisto K16+160 - K16+310

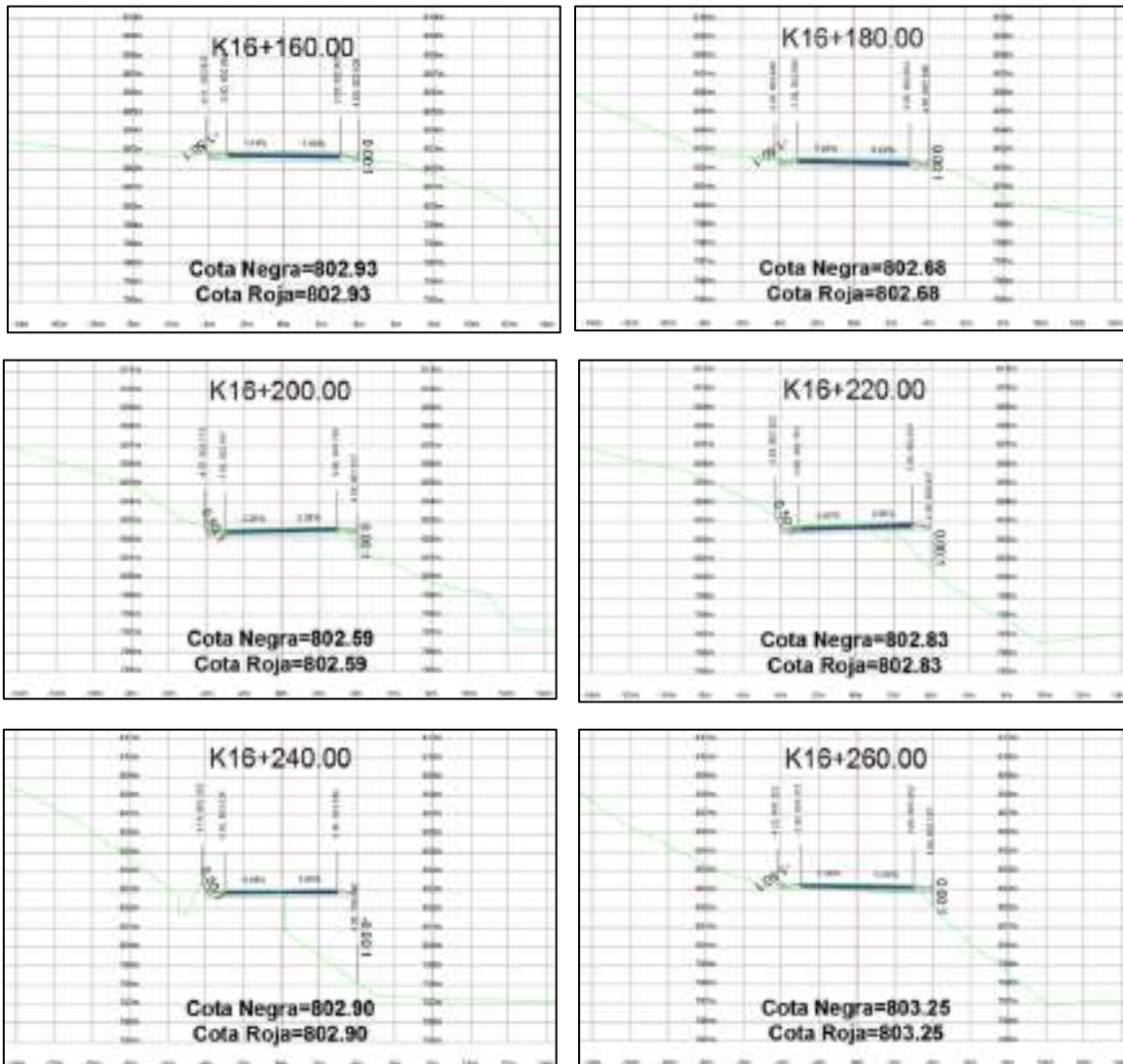


Figura 6. Secciones transversales K16+160 - K16+260



Figura 7. Secciones transversales K16+280 - K16+320

3.2. Implantación Muro de Protección

El muro de protección propuesto se localiza paralelo al corredor vial Planadas – Ataco, entre las abscisas K16+160 – K16+310, para una longitud total de muro de 150.0 m, su implantación vista en planta se puede observar en la siguiente figura.

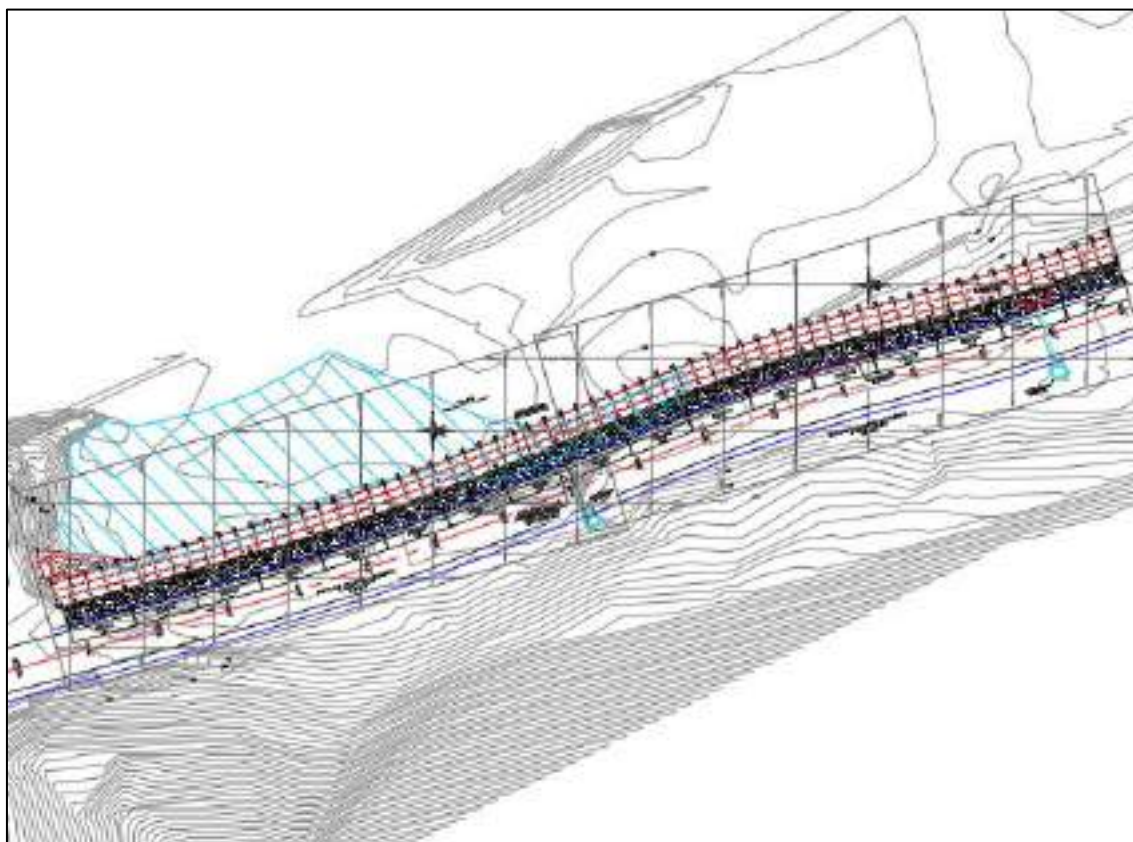


Figura 8. Implantación muro de protección K16+160 - K16+310

El muro se proyecta en módulos de concreto continuos de 9.0 m de longitud, 2.5 m de ancho y 7.0 m de altura, con protección en bolsacretos en la base del muro, un total de 17 módulos de muro que se ubican paralelos al eje vial, sobre zapata de 3.0 m de ancho y 1.0 m de espesor sobre pilotes tipo Caisson (3 pilotes por módulo) de 6.0 m de altura y 1.2 m de diámetro, un total de 51 pilotes. En las siguientes figuras se presenta su implantación en el perfil longitudinal y su sección transversal típica.

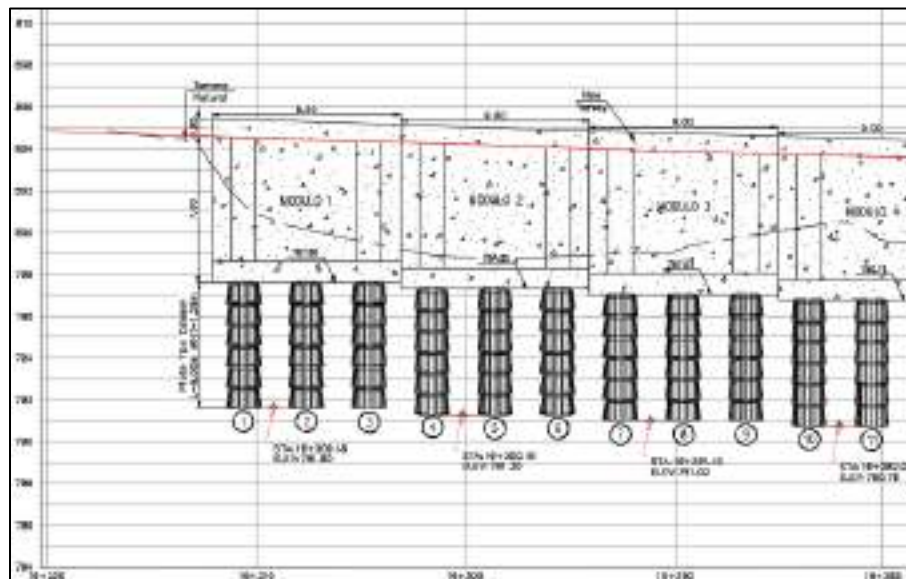


Figura 9. Implantación muro de protección perfil longitudinal

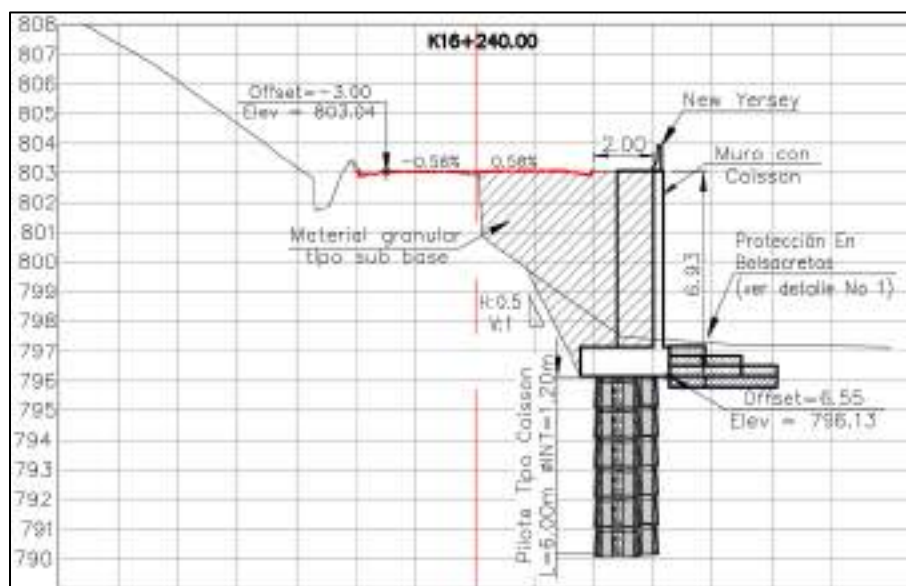


Figura 10. Implantación muro de protección sección transversal típica

3.3. Modelación Hidráulica

El HEC-RAS es un modelo hidráulico que permite calcular los niveles de la superficie del agua bajo condiciones de flujo permanente o no permanente y gradualmente variado, en un canal natural o artificial. Este programa tiene la capacidad de calcular las condiciones de flujo para regímenes de flujo subcrítico y supercrítico o cuando se presente una mezcla de ambos.

El procedimiento básico de cálculo se fundamenta en la solución de la ecuación de energía, en la cual las pérdidas de energía por fricción se calculan por la ecuación de Manning y las

pérdidas locales por contracción y expansión del flujo, se calculan como una fracción del cambio en la cabeza de velocidad entre dos secciones. El programa requiere como datos básicos de entrada la geometría del canal, el caudal, los valores de los coeficientes de pérdidas y las condiciones de frontera para el cálculo de acuerdo con el régimen de flujo y los controles existentes en el tramo.

Para el tramo del presente estudio se modelaron las condiciones existentes del río Atá; sin embargo, no se modelaron condiciones proyectadas ya que la obra diseñada no invade directamente el cauce pues consiste en la construcción de módulos del muro de protección paralelos al cauce del río en la margen sobre la que se encuentra la vía proyectada.

Por medio de la modelación en condiciones existentes se obtuvieron datos de velocidad, profundidad del agua, ancho superficial, etc, (los resultados se presentan en el anexo de este informe) para los períodos de retorno de 100, 50, 25, 10, 5 y 2.33 años; que se utilizaron para determinar las condiciones de las obras proyectadas.

En la siguiente Figura se muestra la topología del tramo modelado en condiciones existentes, en el cual se muestran las secciones utilizadas por el modelo y para cada una de las cuales se muestran los resultados de la modelación hidráulica en el anexo. Las variables que se muestran en los resultados para cada uno de los periodos de retorno utilizados son: Caudal total, elevación del canal, elevación del agua, elevación de la línea de energía, velocidad media del flujo, área mojada, ancho superficial, radio hidráulico, numero de Froude, profundidad del flujo, y esfuerzo cortante unitario.

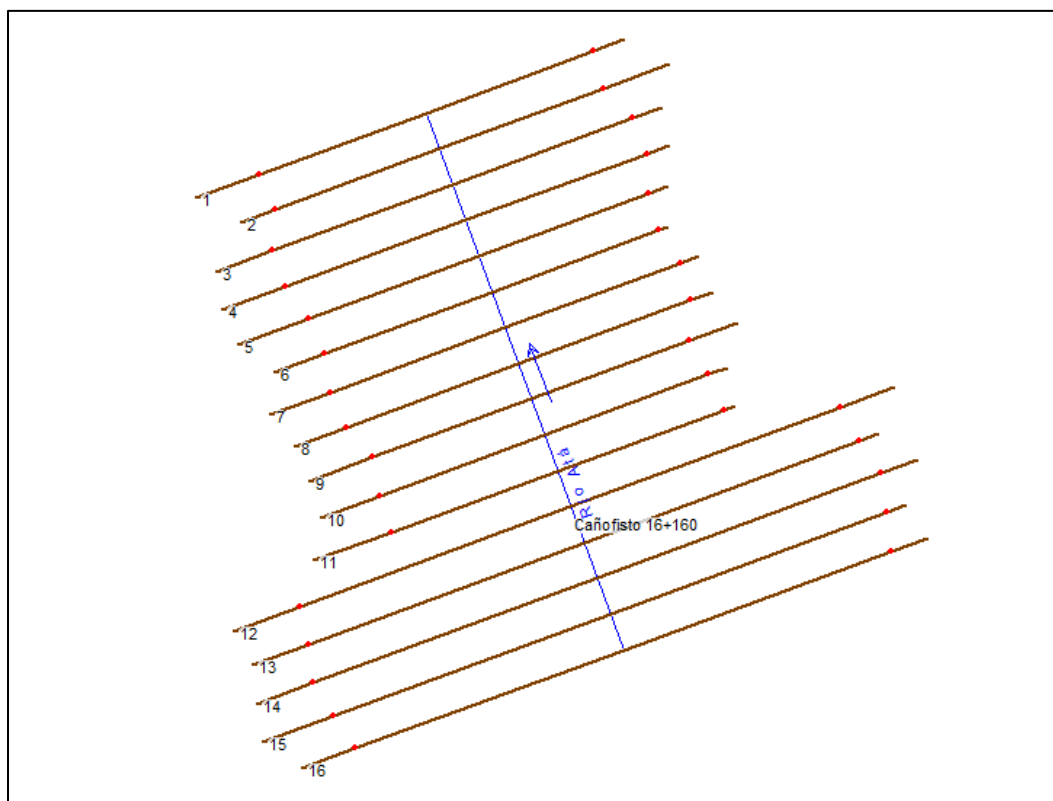


Figura 11. Topología del tramo modelado

En la Figura 11 se muestra el perfil de flujo que resulta de la modelación, y en la Figura 12 se muestra una sección típica del tramo.

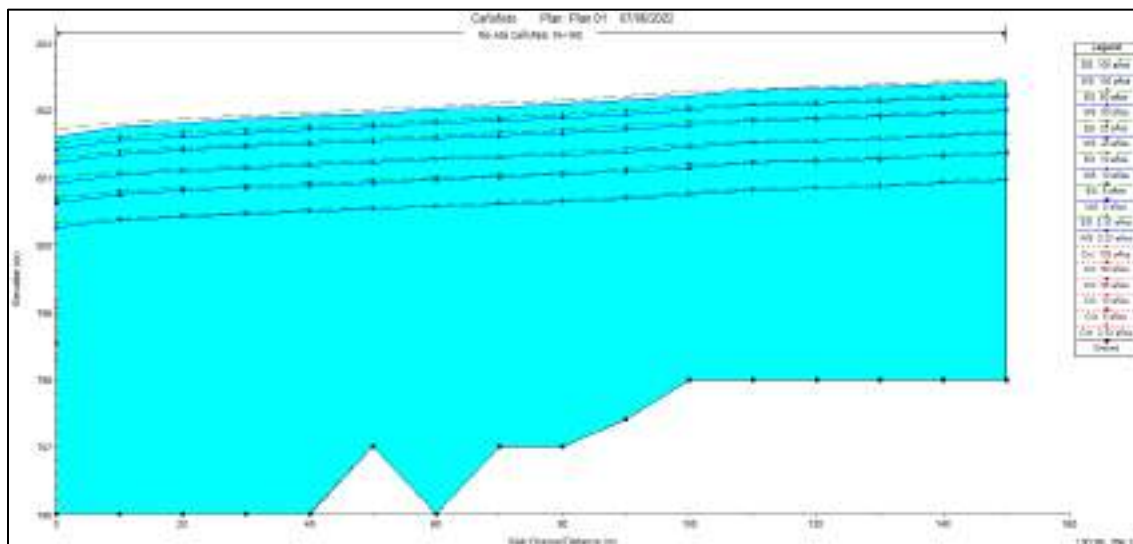


Figura 12. Perfil del flujo tramo modelado

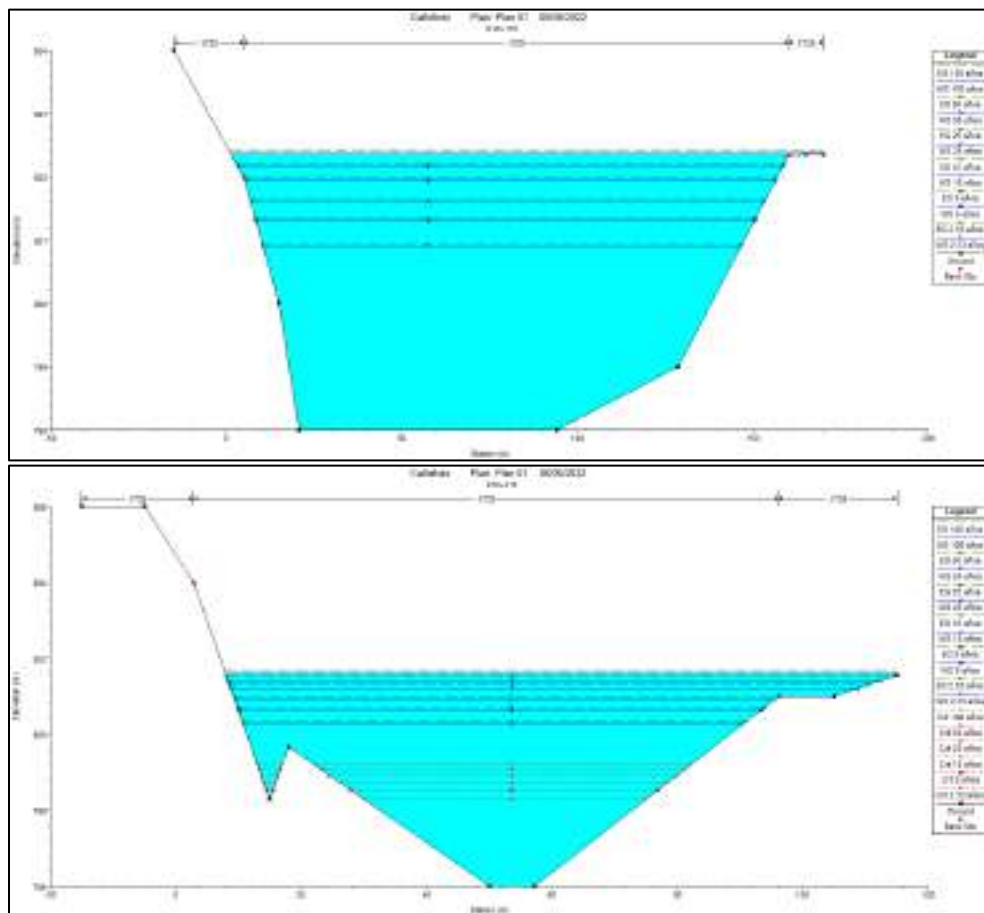


Figura 13. Sección típica del tramo modelado

Tabla 11. Resultados para la sección con mayor nivel de agua

Plan: Plan 01 Río Atá Cañofisto 16+160 RS: 16 Profile: 100 años					
E.G. Elev (m)	802.45	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.04	Wt. n-Val.		0.173	
W.S. Elev (m)	802.41	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		526.71	
E.G. Slope (m/m)	0.003897	Area (m2)		526.71	
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)		449.28	
Top Width (m)	143.95	Top Width (m)		143.95	
Vel Total (m/s)	0.85	Avg. Vel. (m/s)		0.85	
Max Chl Dpth (m)	4.41	Hydr. Depth (m)		3.66	
Conv. Total (m3/s)	7197.3	Conv. (m3/s)		7197.3	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		145.04	
Min Ch El (m)	798.00	Shear (N/m2)		138.77	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		118.37	
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	0.03	67.54	3.59
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.18	16.75	1.99

Fuente: Modelo HEC-RAS.

3.4. Análisis de Socavación

La socavación es el descenso del lecho de un río o quebrada cuando se presenta una creciente debido al aumento de la capacidad de arrastre de material sólido de la corriente, a consecuencia del aumento de la velocidad. También se presenta debido al estrechamiento del cauce, lo cual aumenta la velocidad y siempre busca el equilibrio recuperando su sección.

Para el análisis de la profundidad de socavación general esperada se utilizó el método de Líschtvan-Levediev el cual se basa en determinar la condición de equilibrio entre la velocidad media de la corriente y la velocidad media del flujo que se requiere para erosionar un material de diámetro y densidad conocidos.

Para suelos granulares:

$$Hs = \left(\frac{\alpha H_o^{5/3}}{0,68 D_m^{0.28} \beta \psi} \right)^{1/(1+z)}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{Q_b}{(Hm)^{5/3} B \mu}$$

La valoración de cada parámetro se explica a continuación, teniendo en cuenta que esto se cumple para cada cuenca evaluada.

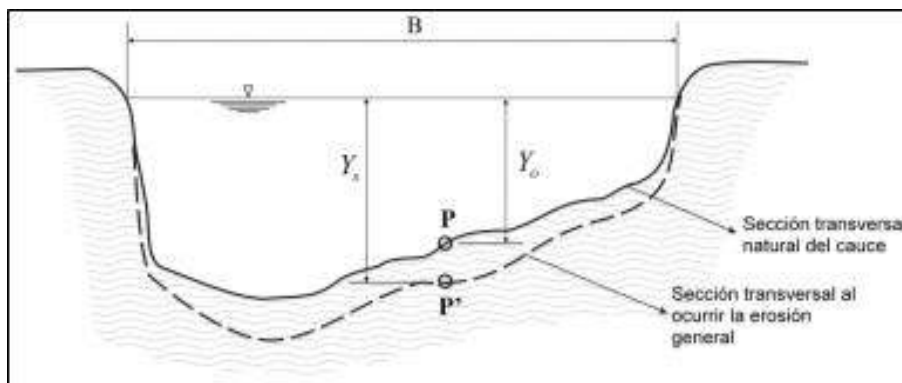


Figura 14. Socavación general Lischvan Levediev

De acuerdo a los resultados de la modelación hidráulica obtenida a partir del programa HEC RAS en el sector de Cañofisto tenemos:

$Q_D =$ Q para un periodo de retorno de 100 años.

$B =$ Ancho superficial libre.

$H_m =$ Tirante medio medido entre la superficie del agua al pasar la avenida y el fondo original.

$\mu =$ Coeficiente de contracción, ($\mu = 1.0$ si no hay obstáculos).

$H_o =$ Profundidad de la corriente (Diferencia entre la cota de fondo y la cota del nivel de agua, m).

$D_m =$ Diámetro medio (de acuerdo a los análisis granulométricos).

$\beta =$ Coeficiente de paso, función de la frecuencia de la creciente ($Tr=100$ años).

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \log Tr$$

$\Psi =$ Coeficiente de corrección por el efecto de la densidad del agua durante la creciente.
 γ_{as} la densidad del agua con sedimentos para este caso 1.4.

$$\psi = -0.54 + 1.5143 \gamma_{as}$$

$z =$ Exponente variable que depende del diámetro medio de las partículas del material granular o del peso volumétrico seco si el material es cohesivo.

$$z = 0.394557 - 0.0413 \times \log (D_m) - 0.00891 \times \log (D_m)^2$$

$S_g =$ Socavación general = $H_s - H_o$

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Cálculo de la socavación general Sector Cañofisto

Parámetro	Río Atá K16+160	Río Atá K16+200	Río Atá K16+250	Río Atá K16+300
Nivel de agua $Q_{100\text{años}}$ (m)	802.41	802.28	802.00	801.74
Q_D (m^3/s)	449.28	449.28	449.28	449.28
B (m)	143.95	168.56	107.28	116.70
H_o (m)	4.41	4.28	6.00	5.74

Parámetro	Río Atá K16+160	Río Atá K16+200	Río Atá K16+250	Río Atá K16+300
Hm (m)	3.40	3.28	4.00	3.74
Velocidad media (m/s)	0.85	0.68	0.95	1.13
μ	1.00	1.00	1.00	1.00
Dm (mm)	63.0	63.0	63.0	63.0
β	0.99	0.99	0.99	0.99
ψ	1.58	1.58	1.58	1.58
z	0.43	0.43	0.43	0.43
α	0.41	0.37	0.42	0.43
Hs (m)	4.97	4.47	7.24	6.99
Sg máx. (m)	0.56	0.19	1.24	1.25

Fuente: Propia

De acuerdo a los cálculos de socavación general presentados en la tabla anterior, para el sector Cañofisto, K16+160 – K16+310 del corredor vial paralelo al río Atá, se presenta una socavación general máxima para un periodo de retorno de 100 años de 1.25 m, esta profundidad es menor a la del muro de protección propuesto (muro 7.0 m de altura, pilotes 6.0 m de altura).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo al análisis hidrológico, el caudal promedio que transita por el sector de Cañofisto para un periodo de retorno de 100 años es de 449.28 m³/s.
- Para el tramo del presente estudio, se modelaron las condiciones existentes del río Atá; sin embargo, no se modelaron condiciones proyectadas, ya que la obra diseñada no invade directamente el cauce, pues consiste en la construcción de módulos de muro de protección paralelos al cauce del río en la margen sobre la que se encuentra la vía proyectada.
- De acuerdo a la modelación hidráulica realizada en HEC-RAS del cauce del río Atá para el sector de Cañofisto, con el caudal obtenido para un periodo de retorno de 100 años, se obtiene una velocidad máxima de la corriente del río para este sector de 1.45 m/s.
- El nivel máximo que presenta el río Atá, en el sector de Cañofisto, para un periodo de retorno de 100 años, es de 802.40 m.s.n.m y corresponde a una profundidad máxima a partir del lecho del río de 4.40 m.
- Con las condiciones del río en dicho sector mencionadas anteriormente, se calculó una socavación general máxima de 1.25 m, la cual es menor a la profundidad del muro de protección propuesto, el cual tiene una altura de 7.0 m sobre pilotes de 6.0 m, por lo tanto, este fenómeno no afecta la obra propuesta.
- El problema que se presenta se origina en la erosión del material fino de los taludes de las vertientes; el río se recuesta contra la curva externa por depositación del material grueso contra la curva interna.
- Teniendo en cuenta los procesos de sedimentación y contracción que se han presentado en el cauce del río, se recomienda realizar labores de limpieza; mantenimiento periódico del lecho del río retirando sedimentos para mantener su sección transversal y el flujo de velocidades.
- Los detalles de construcción de las obras proyectadas se encuentran en los planos de diseño que acompañan al presente estudio, y a los cuales se hace alusión en el análisis hidrológico e hidráulico realizado.

Cordialmente,



SERGIO ZEA RODRÍGUEZ.
Especialista en Hidrología e Hidráulica.
M.P. 25202204734 CND.
CONSORCIO VIAS Y EQUIPOS TOLIMA SUR.

5. REFERENCIAS

- CHOW, V. T. MAIDMENT, D. R. MAYS, L. Hidrología Aplicada, Mc Graw Hill, 1994.
- SAENZ, Monsalve Germán. Hidrología en la Ingeniería, Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, 1999.
- J.J. Vélez, B.A. Botero, V.M. Aristizábal. Manual de hidrología para obras viales basado en el uso de sistemas de información geográfica. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, 2012.
- SOTELO, Ávila, Gilberto. Hidráulica General Tomo I. Ed. Limusa. México D. F. 1997.
- CHOW, V. T. Hidráulica de canales abiertos, Mc Graw Hill, julio de 2003.
- J.J. Vélez, B.A. Botero, J.C. Parra, V.M. Aristizábal, A. Marulanda. Diseño hidráulico e hidrológico de obras de ingeniería para proyectos de obras viales. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, 2013.
- SUAREZ, Díaz, Jaime. Control de Erosión en zonas Tropicales. Ed. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2001.
- AIM LTDA. Ingenieros Civiles. Volumen VII. Estudio de hidrología y diseños hidráulicos para el mejoramiento de la vía Ataco – Planadas (Dpto. del Tolima). 2009.
- Instituto Nacional de Vías, INVIAS. Manual de drenaje para carreteras. Bogotá, Ministerio de Transporte, 2009.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales, IDEAM. Geoportal institucional, página web: www.ideam.gov.co.

6. ANEXO: RESULTADOS MODELACIÓN

$T_R = 100$ años

K16+160

E.G. Elev (m)	802.45	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.04	Wt. n-Val.		0.173	
W.S. Elev (m)	802.41	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		526.71	
E.G. Slope (m/m)	0.003897	Area (m2)		526.71	
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)		449.28	
Top Width (m)	143.95	Top Width (m)		143.95	
Vel Total (m/s)	0.85	Avg. Vel. (m/s)		0.85	
Max Chl Dpth (m)	4.41	Hydr. Depth (m)		3.66	
Conv. Total (m3/s)	7197.3	Conv. (m3/s)		7197.3	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		145.04	
Min Ch El (m)	798.00	Shear (N/m2)		138.77	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		118.37	
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	0.03	67.54	3.59
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.18	16.75	1.99

K16+170

E.G. Elev (m)	802.41	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.04	Wt. n-Val.	0.173	0.173	0.173
W.S. Elev (m)	802.37	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.69	541.02	0.19
E.G. Slope (m/m)	0.003917	Area (m2)	0.69	541.02	0.19
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)	0.08	449.19	0.00
Top Width (m)	168.71	Top Width (m)	3.71	155.00	10.00
Vel Total (m/s)	0.83	Avg. Vel. (m/s)	0.12	0.83	0.03
Max Chl Dpth (m)	4.37	Hydr. Depth (m)	0.19	3.49	0.02
Conv. Total (m3/s)	7179.0	Conv. (m3/s)	1.3	7177.6	0.1
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	3.73	155.73	10.01
Min Ch El (m)	798.00	Shear (N/m2)	7.10	133.43	0.73
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	0.83	110.79	0.02
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	0.02	62.20	3.59
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.16	15.26	1.94

K16+180

E.G. Elev (m)	802.37	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.04	Wt. n-Val.	0.173	0.173	0.173
W.S. Elev (m)	802.33	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.77	533.75	9.36
E.G. Slope (m/m)	0.004181	Area (m2)	0.77	533.75	9.36
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)	0.09	446.12	3.08
Top Width (m)	173.57	Top Width (m)	4.67	158.90	10.00
Vel Total (m/s)	0.83	Avg. Vel. (m/s)	0.11	0.84	0.33
Max Chl Dpth (m)	4.33	Hydr. Depth (m)	0.17	3.36	0.94
Conv. Total (m3/s)	6948.6	Conv. (m3/s)	1.3	6899.7	47.6
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	4.68	159.74	11.36
Min Ch El (m)	798.00	Shear (N/m2)	6.76	136.99	33.77
Alpha	1.02	Stream Power (N/m s)	0.76	114.50	11.10
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)	0.02	56.82	3.54
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.12	13.69	1.84

K16+190

E.G. Elev (m)	802.33	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.03	Wt. n-Val.	0.173	0.173	0.173
W.S. Elev (m)	802.30	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.71	583.92	26.02
E.G. Slope (m/m)	0.002903	Area (m2)	0.71	583.92	26.02
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)	0.06	440.10	9.12
Top Width (m)	179.03	Top Width (m)	4.73	154.30	20.00
Vel Total (m/s)	0.74	Avg. Vel. (m/s)	0.09	0.75	0.35
Max Chl Dpth (m)	4.30	Hydr. Depth (m)	0.15	3.78	1.30
Conv. Total (m3/s)	8339.0	Conv. (m3/s)	1.2	8168.7	169.2
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	4.74	155.23	21.83
Min Ch El (m)	798.00	Shear (N/m2)	4.28	107.08	33.93
Alpha	1.03	Stream Power (N/m s)	0.38	80.71	11.89
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)	0.01	51.23	3.36
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.07	12.12	1.69

K16+200

E.G. Elev (m)	802.30	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.02	Wt. n-Val.	0.173	0.173	0.173
W.S. Elev (m)	802.28	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.32	617.41	45.44
E.G. Slope (m/m)	0.002207	Area (m2)	0.32	617.41	45.44
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)	0.02	426.19	23.07
Top Width (m)	168.56	Top Width (m)	2.31	151.25	15.00
Vel Total (m/s)	0.68	Avg. Vel. (m/s)	0.07	0.69	0.51
Max Chl Dpth (m)	4.28	Hydr. Depth (m)	0.14	4.08	3.03
Conv. Total (m3/s)	9564.2	Conv. (m3/s)	0.5	9072.5	491.1
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	2.32	152.45	17.79
Min Ch El (m)	798.00	Shear (N/m2)	3.00	87.64	55.28
Alpha	1.01	Stream Power (N/m s)	0.22	60.49	28.07
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	0.00	45.23	3.01
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.03	10.59	1.52

K16+210

E.G. Elev (m)	802.26	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.	0.173	0.173	0.173
W.S. Elev (m)	802.19	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.16	368.70	7.79
E.G. Slope (m/m)	0.007101	Area (m2)	0.16	368.70	7.79
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)	0.02	444.64	4.62
Top Width (m)	97.69	Top Width (m)	1.69	93.00	3.00
Vel Total (m/s)	1.19	Avg. Vel. (m/s)	0.10	1.21	0.59
Max Chl Dpth (m)	4.19	Hydr. Depth (m)	0.09	3.96	2.60
Conv. Total (m3/s)	5331.7	Conv. (m3/s)	0.2	5276.7	54.8
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	1.70	94.72	5.81
Min Ch El (m)	798.00	Shear (N/m2)	6.50	271.05	93.38
Alpha	1.01	Stream Power (N/m s)	0.65	326.88	55.35
Frctn Loss (m)	0.07	Cum Volume (1000 m3)	0.00	40.30	2.74
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.01	9.37	1.43

K16+220

E.G. Elev (m)	802.19	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.	0.173	0.173	0.173
W.S. Elev (m)	802.12	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.03	375.59	10.53
E.G. Slope (m/m)	0.006511	Area (m2)	0.03	375.59	10.53
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)	0.00	442.88	6.40
Top Width (m)	97.25	Top Width (m)	0.43	91.86	4.96
Vel Total (m/s)	1.16	Avg. Vel. (m/s)	0.07	1.18	0.61
Max Chl Dpth (m)	4.72	Hydr. Depth (m)	0.06	4.09	2.12
Conv. Total (m3/s)	5567.8	Conv. (m3/s)	0.0	5488.4	79.3
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	0.44	93.53	7.08
Min Ch El (m)	797.40	Shear (N/m2)	3.75	256.43	94.90
Alpha	1.02	Stream Power (N/m s)	0.26	302.37	57.69
Frctn Loss (m)	0.06	Cum Volume (1000 m3)	0.00	36.58	2.65
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.00	8.45	1.39

K16+230

E.G. Elev (m)	802.13	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.06	Wt. n-Val.	0.173	0.173	0.173
W.S. Elev (m)	802.08	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.01	393.25	40.48
E.G. Slope (m/m)	0.004874	Area (m2)	0.01	393.25	40.48
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)	0.00	419.22	30.06
Top Width (m)	101.99	Top Width (m)	0.23	88.60	13.16
Vel Total (m/s)	1.04	Avg. Vel. (m/s)	0.04	1.07	0.74
Max Chl Dpth (m)	5.08	Hydr. Depth (m)	0.04	4.44	3.08
Conv. Total (m3/s)	6435.4	Conv. (m3/s)	0.0	6004.8	430.5
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	0.24	91.67	16.24
Min Ch El (m)	797.00	Shear (N/m2)	1.72	205.04	119.18
Alpha	1.02	Stream Power (N/m s)	0.08	218.59	88.48
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	0.00	32.73	2.39
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.00	7.54	1.30

K16+240

E.G. Elev (m)	802.09	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.05	Wt. n-Val.		0.173	0.173
W.S. Elev (m)	802.04	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		426.04	43.95
E.G. Slope (m/m)	0.004084	Area (m2)		426.04	43.95
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)		419.12	30.16
Top Width (m)	109.92	Top Width (m)		96.10	13.82
Vel Total (m/s)	0.96	Avg. Vel. (m/s)		0.98	0.69
Max Chl Dpth (m)	5.04	Hydr. Depth (m)		4.43	3.18
Conv. Total (m3/s)	7030.7	Conv. (m3/s)		6558.7	471.9
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		98.11	17.37
Min Ch El (m)	797.00	Shear (N/m2)		173.90	101.31
Alpha	1.02	Stream Power (N/m s)		171.08	69.52
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)		28.64	1.97
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		6.62	1.16

K16+250

E.G. Elev (m)	802.05	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.05	Wt. n-Val.		0.173	0.173
W.S. Elev (m)	802.00	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		444.42	28.56
E.G. Slope (m/m)	0.003871	Area (m2)		444.42	28.56
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)		431.92	17.36
Top Width (m)	107.28	Top Width (m)		97.28	10.00
Vel Total (m/s)	0.95	Avg. Vel. (m/s)		0.97	0.61
Max Chl Dpth (m)	6.00	Hydr. Depth (m)		4.57	2.86
Conv. Total (m3/s)	7221.1	Conv. (m3/s)		6942.0	279.1
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		100.13	13.00
Min Ch El (m)	796.00	Shear (N/m2)		168.49	83.38
Alpha	1.02	Stream Power (N/m s)		163.75	50.70
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)		24.28	1.61
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		5.65	1.04

K16+260

E.G. Elev (m)	802.00	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.06	Wt. n-Val.		0.173	0.173
W.S. Elev (m)	801.94	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		402.64	26.36
E.G. Slope (m/m)	0.004994	Area (m2)		402.64	26.36
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)		433.41	15.87
Top Width (m)	104.54	Top Width (m)		92.26	12.28
Vel Total (m/s)	1.05	Avg. Vel. (m/s)		1.08	0.60
Max Chl Dpth (m)	4.94	Hydr. Depth (m)		4.36	2.15
Conv. Total (m3/s)	6357.5	Conv. (m3/s)		6132.8	224.6
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		94.21	14.74
Min Ch El (m)	797.00	Shear (N/m2)		209.31	87.60
Alpha	1.03	Stream Power (N/m s)		225.30	52.76
Frctn Loss (m)	0.05	Cum Volume (1000 m3)		20.05	1.34
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		4.71	0.93

K16+270

E.G. Elev (m)	801.95	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.05	Wt. n-Val.		0.173	0.173
W.S. Elev (m)	801.90	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		427.51	32.61
E.G. Slope (m/m)	0.004176	Area (m2)		427.51	32.61
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)		430.76	18.52
Top Width (m)	109.23	Top Width (m)		94.23	15.00
Vel Total (m/s)	0.98	Avg. Vel. (m/s)		1.01	0.57
Max Chl Dpth (m)	5.90	Hydr. Depth (m)		4.54	2.17
Conv. Total (m3/s)	6952.7	Conv. (m3/s)		6666.1	286.6
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		96.58	17.41
Min Ch El (m)	796.00	Shear (N/m2)		181.27	76.70
Alpha	1.03	Stream Power (N/m s)		182.65	43.55
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)		15.90	1.04
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		3.77	0.80

K16+280

E.G. Elev (m)	801.91	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.05	Wt. n-Val.		0.173	0.173
W.S. Elev (m)	801.86	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		431.57	32.45
E.G. Slope (m/m)	0.004303	Area (m2)		431.57	32.45
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)		431.35	17.93
Top Width (m)	115.49	Top Width (m)		99.39	16.10
Vel Total (m/s)	0.97	Avg. Vel. (m/s)		1.00	0.55
Max Chl Dpth (m)	5.86	Hydr. Depth (m)		4.34	2.02
Conv. Total (m3/s)	6849.3	Conv. (m3/s)		6576.1	273.3
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		100.92	18.47
Min Ch El (m)	796.00	Shear (N/m2)		180.43	74.12
Alpha	1.04	Stream Power (N/m s)		180.34	40.94
Frctn Loss (m)	0.05	Cum Volume (1000 m3)		11.60	0.71
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		2.81	0.64

K16+290

E.G. Elev (m)	801.86	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.05	Wt. n-Val.		0.173	0.173
W.S. Elev (m)	801.81	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		418.37	28.67
E.G. Slope (m/m)	0.004779	Area (m2)		418.37	28.67
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)		434.87	14.41
Top Width (m)	116.62	Top Width (m)		98.42	18.20
Vel Total (m/s)	1.01	Avg. Vel. (m/s)		1.04	0.50
Max Chl Dpth (m)	5.81	Hydr. Depth (m)		4.25	1.58
Conv. Total (m3/s)	6498.8	Conv. (m3/s)		6290.3	208.5
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		99.81	20.35
Min Ch El (m)	796.00	Shear (N/m2)		196.45	66.05
Alpha	1.04	Stream Power (N/m s)		204.20	33.19
Frctn Loss (m)	0.05	Cum Volume (1000 m3)		7.35	0.41
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		1.82	0.47

K16+300

E.G. Elev (m)	801.81	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.		0.173	0.173
W.S. Elev (m)	801.74	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		375.37	22.27
E.G. Slope (m/m)	0.006166	Area (m2)		375.37	22.27
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)		440.93	8.35
Top Width (m)	116.77	Top Width (m)		88.34	28.43
Vel Total (m/s)	1.13	Avg. Vel. (m/s)		1.17	0.37
Max Chl Dpth (m)	5.74	Hydr. Depth (m)		4.25	0.78
Conv. Total (m3/s)	5721.4	Conv. (m3/s)		5615.1	106.3
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		90.25	29.69
Min Ch El (m)	796.00	Shear (N/m2)		251.52	45.35
Alpha	1.06	Stream Power (N/m s)		295.45	17.00
Frctn Loss (m)	0.09	Cum Volume (1000 m3)		3.38	0.15
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		0.88	0.24

K16+310

E.G. Elev (m)	801.72	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.11	Wt. n-Val.		0.173	0.173
W.S. Elev (m)	801.61	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	799.19	Flow Area (m2)		301.38	8.65
E.G. Slope (m/m)	0.013014	Area (m2)		301.38	8.65
Q Total (m3/s)	449.28	Flow (m3/s)		445.90	3.38
Top Width (m)	107.04	Top Width (m)		88.18	18.86
Vel Total (m/s)	1.45	Avg. Vel. (m/s)		1.48	0.39
Max Chl Dpth (m)	5.61	Hydr. Depth (m)		3.42	0.46
Conv. Total (m3/s)	3938.4	Conv. (m3/s)		3908.7	29.7
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		89.75	18.92
Min Ch El (m)	796.00	Shear (N/m2)		428.54	58.32
Alpha	1.04	Stream Power (N/m s)		634.04	22.83
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			