



# AMENAZA RÍO FRÍO

Barrio Lagos II entre carreras 5 y 6

## Descripción breve

Amenaza Río Frío a la altura del barrio Lagos II entre carreras 5 y 6

## 1. INTRODUCCIÓN



**Foto 1** *Socavación del Río Frío de los muros de contención– Fuente: Estudio CDMB*

El Río Frío es un cauce que ha presentado durante las últimas décadas, un incremento en su capacidad de arrastre de material a raíz de intensas lluvias, que generan crecientes súbitas, avalanchas, desbordamientos y demás desastres; esto puede observarse en la socavación de las obras de control de cauce existentes, tales como muros en gavión, concreto reforzado, así como en los estribos de los puentes.

Los muros de contención del cauce, diseñados y construidos hace más de 20 años, localizados sobre el margen derecho del Río Frío, han sido socavados por el cauce, a tal punto que actualmente han presentado colapsos parciales y varios tramos están en riesgo inminente de caer al cauce, como se muestra en la Foto 1 y la Foto 2.



**Foto 2** *Socavación del Río Frío en la base de los muros de contención– Fuente: Estudio CDMB*

Por lo anterior, es imperativa la conformación de nuevos muros de control de cauce, que protejan los taludes aledaños al Río Frío, frenando el avance de la línea de erosión y evitando la caída de material al lecho, para impedir un incremento en las afectaciones a los habitantes del barrio Lagos II localizados sobre el margen del cauce. Así mismo, la comunidad se ha visto mayormente alarmada con la inundación que tomó lugar a principios del año 2020, a causa de las afectaciones a varias viviendas y conjuntos localizados aguas arriba de la zona; también, se presentó un gran arrastre de material, incrementando la socavación de las obras de control, entre las cuales se ven envueltos los muros localizados sobre el margen izquierdo de Río Frío.

En cuanto a lo mencionado, conscientes del riesgo inminente, la solicitud de la comunidad y bajo el principio de acción, la CDMB reunió los recursos necesarios para el diseño de obras de control de cauce, que acorde a los criterios técnicos y la normatividad vigente, garanticen la protección de los márgenes del cauce, mitigando cualquier amenaza identificada por erosión lateral de cauce e inundación, con base en los resultados del Estudio de Amenaza por Inundación en la cuenca media y baja del Río Frío.

El análisis hidrológico del estudio de la CDMB, establece los caudales de diseño para el modelamiento hidráulico del cauce, que con base en las Normas de la CDMB corresponden a eventos de creciente con periodos de retorno de 100 y 500 años, definidas como las crecientes básica y máxima respectivamente. Así mismo, los modelamientos hidráulicos se generan con metodologías y herramientas informáticas comúnmente empleadas en el medio de la ingeniería local, que por lo tanto han sido probadas en múltiples análisis y estudios de este tipo.

En el presente informe se puede observar la metodología utilizada, el cálculo de los parámetros de diseño, los resultados, las conclusiones y las recomendaciones, enfocándose en verificar que los muros proyectados sobre el margen del Río Frío, garanticen que la lámina de agua durante las crecientes máximas y no generen amenaza por inundación a la comunidad.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

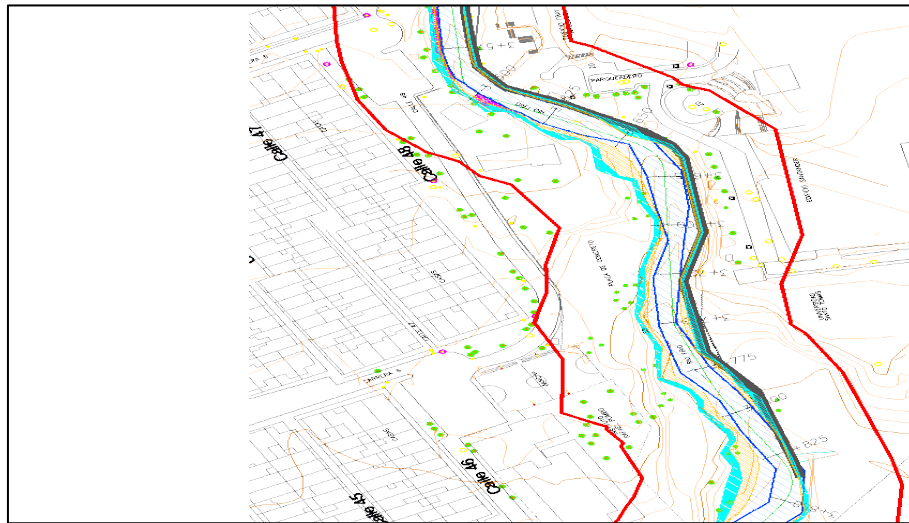
Estudiar el comportamiento hidráulico del Río Frío, con base en la información disponible del estudio de amenaza, analizando los muros de contención proyectados sobre la margen del Río Frío, proponiendo un diseño que mitigue la amenaza por procesos de inundación y erosión lateral de cauce.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer los caudales de diseño del Río Frío, con base en los datos hidrológicos actualizados.
- Estimar los parámetros técnicos requeridos para el modelamiento hidráulico.
- Realizar la modelación numérica del Río Frío para los caudales establecidos por las Normas.

- Determinar las franjas bajo amenaza de inundación y los niveles del Río Frío en el sector de interés.
- Verificar la altura de los muros, garantizando una mitigación de la amenaza por inundación.
- Proponer un diseño de rehabilitación para las zonas afectadas.
- Realizar un análisis de resultados y emitir las conclusiones correspondientes.

### 3. LOCALIZACIÓN



**Figura 1 Amenaza Río Frío con obras y aislamiento sector de interés – Fuente: Estudio CDMB 2011**

El sector comprendido entre la Calle 48 las carreras 5 y 6 del barrio Lagos II de Floridablanca, se caracteriza por su carácter residencial e institucional, rodeado de tres (3) instituciones educativas, entre ellas dos (2) de educación media y una de educación superior.

Como se observa en la Figura 1, al existir un riesgo de inundación, se verían principalmente afectadas las viviendas localizadas sobre el predio, así como el Colegio Integrado Rafael Pombo con estudiantes de educación preescolar, básica y media; el Colegio técnico Vicente Azuero Sede B, con estudiantes de educación preescolar y básica; además de la Universidad Santo Tomás sede Floridablanca, enfocada en la educación superior.

Se proyectan obras de control de cauce en una longitud aproximada de 220 m de longitud sobre ambas márgenes del Río Frío a la altura del barrio Lagos II del municipio de Floridablanca entre carreras 5 y 6. Las obras proyectadas consisten muros en gavión que alcancen las alturas de las crecientes máximas, cimentados sobre un dentellón en concreto ciclópeo con profundidad que alcance la socavación máxima. Lo anterior teniendo en cuenta que los muros existentes se encuentran muy socavados en su base y presentan riesgo de colapso en gran parte de longitud, con un alto grado de deterioro que no permite algún tipo de rehabilitación o mantenimiento.



**Figura 2** Localización del muro proyectado – Fuente: Estudio Geotécnico CDMB

## 4. HIDROLOGÍA RÍO FRÍO

La cuenca de Río Frío tiene un área total de 118 Km<sup>2</sup>, con cerca del 40% de su área en zona con topografía montañosa de altas pendientes y aproximadamente el 60% de su área en zona con topografía ondulada a suave. La longitud total del cauce principal es de 34.5 Km, presenta alturas entre cerca de 700 msnm en su confluencia con el Río de Oro y 2600 msnm en su parte más alta.

El Río Frío desemboca en el Río de Oro en el casco urbano del municipio de Girón, constituyéndose como su principal afluente. Así mismo, los afluentes al Río Frío son las quebradas Zapamanga, La Judía, La Cuellar y Aranzoque (Mensulí), por constituirse en corrientes importantes en la zona de topografía ondulada a suave, sobre la que se encuentran localizados centros urbanos importantes.

El “*Estudio de Zonificación Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Media del Río Frío*” de la CDMB, calculó los hidrogramas de caudal de creciente asociados a diferentes períodos de retorno con la información disponible en el año 2011. Para evaluar el comportamiento de la cuenca frente a eventos extremos de lluvia, se analizaron las características de forma de la cuenca y se estimaron parámetros como tiempos de concentración, área, perímetro de la cuenca, entre otros, para posteriormente implementar el modelo hidrológico HEC-HMS y así estimar los hidrogramas de creciente en la cuenca.

Para la estimación de las precipitaciones en la cuenca, se analizaron los datos de precipitación máxima en 24 horas, de estaciones operadas por el IDEAM, las cuales cuentan con registros continuos desde el año 2010 hasta el 2022, actualizando los datos del estudio de la CDMB del año 2011.

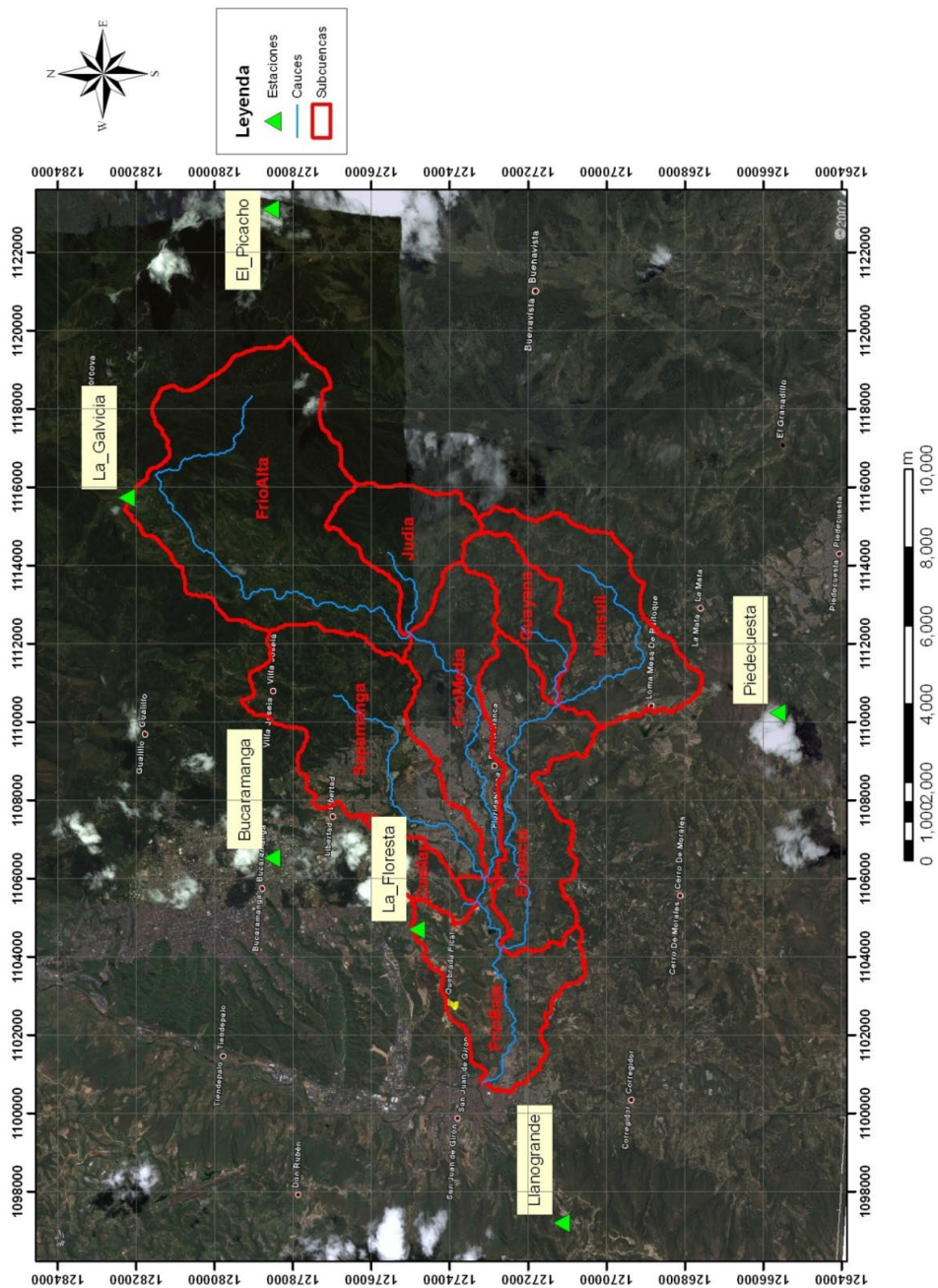
Para la estimación de las precipitaciones asociadas a un periodo de retorno, se construyeron las curvas IDF sintéticas de acuerdo con la metodología propuesta por Vargas y Díaz-Granados (1998), la cual estima dichas curvas a partir de los datos de precipitación máxima en 24 horas, la precipitación media multianual y el promedio de días con lluvia al año. Como parte de la metodología para estimar caudales a partir de precipitaciones, fue necesario emplear la información de suelos y de usos potenciales, la cual fue tomada del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río de Oro.

### 4.1. INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA

Para estudiar el comportamiento hidrológico de la cuenca del Río Frío, se utilizó la información de eventos de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones La Galvicia, El Picacho, La Floresta, Bucaramanga, Piedecuesta y Llanogrande, cuya información se presenta en la Tabla 1 y su ubicación en la Figura 3.

**Tabla 1 Datos Estaciones – Fuente: Estudio CDMB**

Código	Estación	Corriente	Tipo	Periodo de trabajo	Coordenadas	
					X	Y
23190300	El Picacho	Tona	PM	2010-2022	1123101	1278565
23190590	La Floresta	Q. de la Iglesia	PM	2010-2022	1104694	1274837
23190830	Bucaramanga	Suratá	PM	2010-2022	1106527	1278528
23190700	Granja Piedecuesta	Lato	PG	2010-2022	1110238	1265631
23190400	La Galvicia	Tona	PM	2010-2022	1115726	1282235
23195110	Llanogrande	De Oro	CO	2010-2022	1097196	1271139



**Figura 3 Localización de Estaciones – Fuente: Estudio CDMB**

## **4.2. PRECIPITACIÓN**

La escorrentía superficial es función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía (CN) que tiene en cuenta el proceso de infiltración y de retención inicial en un proceso de lluvia sobre la cuenca.

El análisis de los datos de lluvia básicamente pretende obtener los valores correspondientes de precipitación asociados a un período de retorno de un evento de lluvia. Estos análisis se realizan con los datos medios diarios de precipitación ajustados con una distribución de probabilidad, o empleando curvas que relacionen la intensidad de lluvia, con su duración y su frecuencia (curvas IDF), calculadas a partir de los registros pluviográficos de una estación o a partir de curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).

Adicionalmente, para emplear un modelo lluvia escorrentía se requiere conocer la distribución temporal de la tormenta cuyo volumen de precipitación corresponde al encontrado ya sea empleando valores obtenido de las series de precipitación, o el dato asociado a un periodo de retorno. Para el caso estudio la distribución temporal de las tormentas, se empleó la distribución propuesta por Arguello y Fuentes (2009).

El régimen de lluvias en la parte alta de la cuenca del Río Frío es de tipo bimodal, es decir que se presentan dos temporadas de lluvia, la primera desde mediados de abril hasta mediados de junio, y la segunda desde mediados de agosto hasta mediados de noviembre. Durante el resto del año se presentan dos periodos secos, el primero de diciembre a inicios de marzo, y el segundo menos severo, en junio y julio.

En la parte baja de la cuenca el régimen de lluvias también es de tipo bimodal, con temporadas lluviosas desde mediados de marzo hasta mediados de mayo, y desde julio hasta mediados de noviembre. Durante el resto del año se presentan dos periodos secos, de diciembre a febrero, y entre junio y julio.

### **4.2.1. Análisis de los datos de precipitación**

Para la estimación de las precipitaciones en la Microcuenca Río Frío, se analizaron los datos de precipitación máxima en 24 horas, de estaciones operadas por el IDEAM, las cuales cuentan con registros continuos de más de 10 años.

Para la estimación de las precipitaciones asociadas a un determinado periodo de retorno, se construyeron las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia IDF sintéticas de acuerdo con la metodología propuesta por Vargas y Díaz-Granados (1998), la cual estima dichas curvas a partir de los datos de precipitación máxima en 24 horas, la precipitación media multianual y el promedio de días con lluvia al año.

Como parte de la metodología para estimar caudales a partir de precipitaciones, fue necesario emplear la información de suelos y de usos potenciales, la cual fue tomada del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río de Oro.

Los análisis hidrológicos de la Microcuenca buscan determinar los caudales de creciente a partir de eventos de lluvia empleando un modelo lluvia escorrentía.

La escorrentía superficial es función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía (CN) que tiene

en cuenta el proceso de infiltración y de retención inicial en un proceso de lluvia sobre la cuenca.

El análisis de los datos de precipitación pretende obtener los valores correspondientes de precipitación asociados a un período de retorno de un evento de lluvia.

#### **4.2.2. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia IDF sintéticas**

Con base en los valores promedio de precipitación máxima en 24 horas y del promedio de días con lluvia al año en cada estación, se construyeron las curvas de Intensidad – Duración – Período de Retorno o Frecuencia (IDF), empleando la metodología propuesta por Vargas R. y Díaz-Granados M., en su trabajo titulado “Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad – Duración – Frecuencia para Colombia”, (Universidad de Los Andes, Santafé de Bogotá, 1998).

Vargas y Díaz-Granados recopilaron información de 250 curvas IDF de diferentes estaciones dentro del territorio Colombiano y establecieron coeficientes para las ecuaciones propuestas por Kothyari y Garde para cada región; la ecuación es la siguiente:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d N^e PT^f$$

Donde I es la intensidad de lluvia en mm/h, M el promedio de valores máximos anuales de precipitación en mm, N el promedio del número de días con lluvia al año, PT la precipitación media anual en mm, a, b, c, d, e y f son coeficientes cuyos valores fueron hallados mediante correlaciones, que para la región Andina se han establecido como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2 Coeficientes de la Curva IDF Sintética**

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>f</b>
1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08

**Fuente:** Vargas, Díaz-Granados, 1998

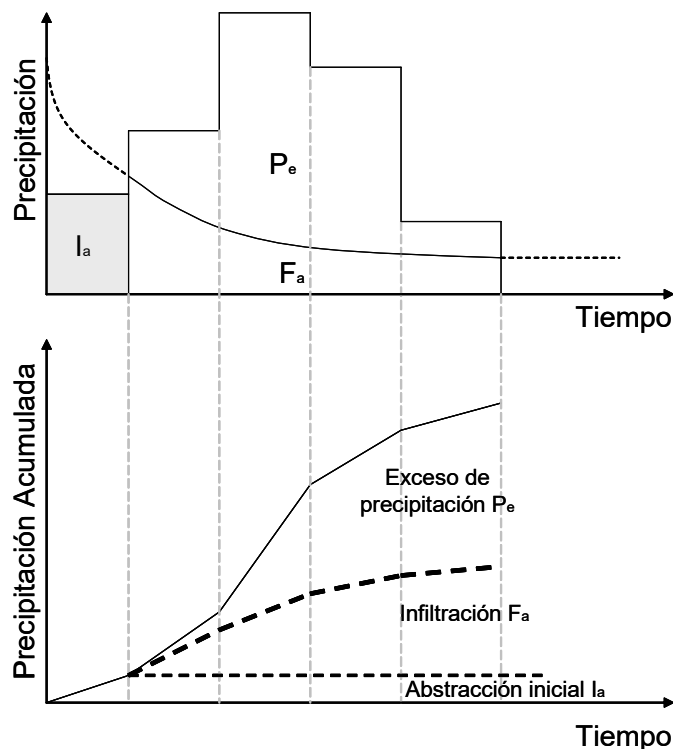
Para la zona de estudio, a partir de los datos de las estaciones empleadas, se establecieron los siguientes parámetros: promedio de días con lluvia (N), promedio de lluvias máximas diarias (M) y precipitación media anual (PT).

### **4.3. ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN**

#### **4.3.1. Método del Soil Conservation Service (SCS) Para el Cálculo de Abstracciones y Precipitación Efectiva**

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

Si se conoce el volumen total de lluvia precipitada en una tormenta ( $P$ ) y la distribución temporal de un aguacero (hietograma de lluvia, ver Figura 2), donde una parte del volumen en el inicio de la lluvia es retenido o interceptado en la vegetación o en depresiones topográficas, de forma que en un aguacero existe una pérdida de volumen inicial o abstracción inicial ( $I_a$ ). De igual forma, parte de dicho volumen se infiltra en el suelo ( $F_a$ ), de forma que una parte de la lluvia total es la que contribuye a la escorrentía directa (precipitación efectiva,  $P_e$ ).



**Figura 4** Método de Abstracciones del SCS – Soil Conservation Service – SCS

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

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

Donde  $S$  es la retención potencial máxima, o el almacenamiento; por el principio de continuidad,

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores:

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

Siendo esta la ecuación con la que se calcula la precipitación de exceso, conocidas las abstracciones iniciales que se pueden expresar en términos del almacenamiento, a

partir de la expresión  $I_a = C_a S$ , siendo  $C_a$  un coeficiente que varía entre 0.15 y 0.20 para cuencas colombianas.

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

$$S = 25.4 * \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) (mm)$$

Este número de curva depende de la clasificación hidrológica del suelo, realizada a partir de la geomorfología de la zona de estudio, el uso del suelo, la condición del suelo, es decir si es pobre, aceptable o buena, y la condición de humedad antecedente.

Este parámetro varía entre 0 y 100, siendo un suelo con capacidad de almacenamiento infinito aquel que presenta un CN igual a 0, y un suelo sin ninguna retención o infiltración aquel que presenta un CN igual a 100.

#### **4.3.2. Número de Curva de Escorrentía (CN)**

El número de curva de escorrentía (CN) del Soil Conservation Service – SCS, fue desarrollado como un índice que representa la combinación de los grupos hidrológicos del suelo, el uso y la clase de tratamiento de la tierra. Análisis empíricos condujeron a deducir que el CN es función de tres factores: Clase de suelo, la cobertura y las condiciones de humedad antecedente (5 días).

#### **4.3.3. Clasificación Hidrológica de los Suelos**

El SCS, clasificó hidrológicamente más de 4.000 suelos basándose en su potencial de escurrimiento para lo cual los agrupó en cuatro grupos de suelos hidrológicos, los cuales se identifican con las letras A, B, C y D.

**Suelo tipo A:** Potencial de escurrimiento bajo. Suelos con altas capacidades de infiltración cuando están completamente húmedos, principalmente arenas y gravas muy bien ordenadas. Suelos con alta transmisión de agua.

**Suelo tipo B:** Suelos con capacidades de infiltración moderadas cuando están completamente húmedos, principalmente suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando entre moderada y muy fina. Tiene velocidades medias de transmisión de agua.

**Suelo tipo C:** Suelos con capacidades de infiltración baja cuando están completamente húmedos, principalmente suelos que contiene una capa que impide el movimiento hacia abajo o suelos con textura fina o moderadamente fina. Estos suelos tienen baja transmisión de agua.

**Suelos tipo D:** Suelos con capacidades de infiltración muy bajas cuando están completamente húmedos. Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Suelos con transmisión del agua muy baja.

#### 4.3.4. Uso y Tratamiento del Suelo

La condición superficial en la cuenca hidrográfica se refleja en el uso del suelo y las clases de tratamiento. El uso del suelo está asociado a las coberturas forestales y vegetales de la cuenca como son el tipo de vegetación, los usos agrícolas, tierras en descanso, superficies impermeables y áreas urbanas. El tratamiento del suelo se aplica a las prácticas mecánicas como perfilado de curvas de nivel propias del uso agrícola, y prácticas de manejo como controles de pastoreo y rotación de cultivos.

En suelos cultivados se identifican: tierras en descanso, praderas, cultivos de hilera, cultivos de granos, rotaciones (pobre, aceptable, buena), cultivos en hileras rectas, vegetales sembrados cercanamente, campos sembrados a lo largo de la curva de nivel y cultivos en terrazas.

#### 4.3.5. Condición Hidrológica del Suelo

El tipo de vegetación y la densidad de la cobertura en la cuenca tienen una gran influencia en la capacidad de infiltración del suelo. Se definieron las siguientes categorías de cobertura para pasto natural.

El porcentaje se estima cualitativamente en los planos respectivos:

- Pobre** Menos del 50% de área cubierta por pasto. Alta intensidad de pastoreo.
- Aceptable** 50 al 75% del área cubierta por pasto. Intensidad media de pastoreo.
- Buena** 75% del área cubierta por pasto. Intensidad ligera de pastoreo.

La condición hidrológica para los bosques se determina igualmente cualitativamente como:

- Pobre** Bosques regularmente quemados con pocos arbustos y poco humus vegetal.
- Aceptable** Con algunos arbustos, moderada cantidad de humus vegetal y pasto.
- Buena** Protegido con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y muchos arbustos cubriendo la superficie.

La humedad antecedente tiene en cuenta la precipitación de los cinco días previos a la tormenta. La condición de humedad antecedente seca (AMCI) tiene el menor potencial de escorrentía con los suelos secos satisfactorio para cultivos. La condición de humedad antecedente promedio (AMCII) tiene un potencial de escorrentía medio. La condición de humedad antecedente humedad (AMCIII) tiene el mayor potencial de escorrentía, con la cuenca prácticamente saturada por precipitaciones anteriores, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3 Precipitación Acumulada Para Condición de Humedad Antecedente**

CONDICIÓN DE HUMEDAD	PRECIPITACIÓN ACUMULADA DE LOS CINCO DÍAS PREVIOS AL EVENTO (cm)
----------------------	--

ANTECEDENTE AMC	TEMPORADA INACTIVA	TEMPORADA DE CRECIMIENTO
I	Menor 0.5	Menor 1.4
II	0.5 -1.1	1.4 -2.1
III	Mayor 1.1	Mayor 2.1

Fuente: Chow V.T., 1994

Existen cuadros de número de curva de escorrentía CN para varias coberturas de suelo hidrológico con condición antecedente AMC II (ver Chow V.T., 1994). Se han encontrado las siguientes relaciones las cuales se pueden usar para calcular los números de curva para condiciones antecedentes AMCI y AMCIII a partir de la condición promedio AMCII.

$$\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{S_{II}}{S_{III}} = 2.3$$

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

#### 4.3.6. Transformación Lluvia Escorrentía – Hidrograma Unitario del SCS

A partir de varias series de hidrogramas reales correspondientes a cuencas de diversos tamaños, ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos, el SCS desarrolló un hidrograma unitario sintético adimensional.

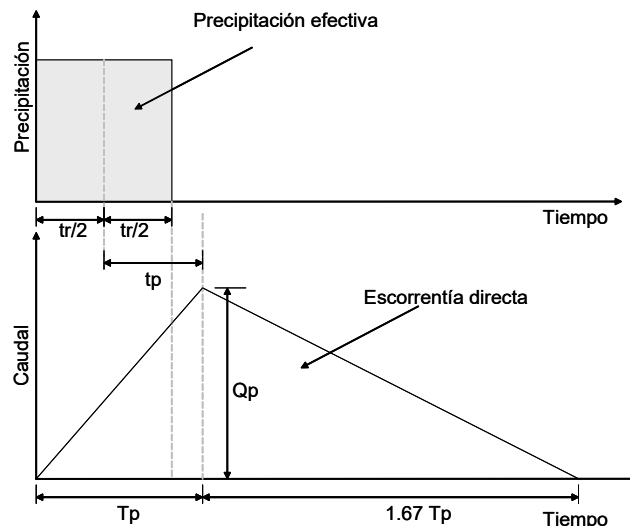


Figura 5 Hidrograma Unitario SCS

En este hidrograma, el caudal pico se expresa en términos del área de drenaje ( $A$ ) en kilómetros cuadrados, y el tiempo al pico ( $T_p$ ), a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

Donde  $tr$  es el tiempo de duración de la lluvia y  $tp$  el tiempo de rezago o de retardo de la cuenca que se define como el tiempo comprendido entre el centroide del hidrograma de precipitación de exceso y el pico del caudal en el hidrograma. Cuando se conoce el tiempo de concentración ( $T_c$ ), es posible determinar el tiempo de retardo asumiendo que  $tr = 0.60 T_c$ .

## 4.4. HIDROGRAMA DE CAUDAL

### 4.4.1. Consideraciones Generales

Los hidrogramas de caudal del estudio de la CDMB se estimaron empleando el modelo hidrológico HEC – HMS (Hydrologic Modeling System) del Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers de los Estados Unidos. El software realiza la simulación hidrológica de un evento lineal y semidistribuido, permitiendo estimar los hidrogramas de caudal en la salida de una cuenca o varias subcuencas, a partir de las condiciones de lluvia en la cuenca. El HEC-HMS fue empleado ya que es un programa aceptado y reconocido mundialmente por la comunidad científica, y a su vez ha sido empleado para tales fines en múltiples proyectos.

Para el cálculo de dichos hidrogramas se empleó la metodología del hidrograma unitario (HU) del Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, sin flujo base.

Las pérdidas o abstracciones se estimaron también empleando la metodología del SCS, que involucra el número de curva (CN). El número de curva se obtuvo a partir de la información existente de suelos, coberturas y usos potenciales.

Las simulaciones hidrológicas en la cuenca se presentan para eventos de lluvia de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, eventos obtenidos a partir de las curvas IDF sintéticas propuestas por Vargas y Díaz-Granados (1998).

### 4.4.2. Características de las Subcuencas

Con el fin de estimar los hidrogramas de caudal, se determinaron las características fisiográficas generales de la cuenca y las subcuencas tales como área, longitud del cauce, y pendiente; de aquí, se encontró que la cuenca tiene un área total de 118 Km<sup>2</sup>, con una longitud del cauce principal aproximada de 34.5 Km, hasta el sitio de cierre de la cuenca. Los datos de cada una de las cuencas hasta la desembocadura se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4 Información de las Microcuencas Aferentes**

Nombre	Longitud Cauce Principal (Km)	Elevación Media (m.s.n.m.)	Área (Km <sup>2</sup> )	Pendiente Media (m/m)	Perímetro (Km)
Frío Alta	16.74	2176	32.58	0.082	35.68
Judía	5.94	1701	7.91	0.211	16.64
Cuellar	4.25	897	2.80	0.045	12.34
Zapamanga	10.78	1013	18.64	0.074	30.15
Frío Media	10.44	963	11.55	0.068	26.90
Frío Baja	7.29	726	11.90	0.012	27.51
Guayana	6.52	1292	5.50	0.142	16.09
Estancia	11.07	913	13.34	0.029	31.01
Mensulí	9.88	1278	13.59	0.119	26.10
<b>Total Cuenca Río Frío</b>	<b>34.47</b>		<b>117.81</b>		

#### 4.4.3. Tiempo de Retardo

Para la estimación del tiempo de retardo ( $t_R$ ) se emplea la ecuación propuesta por el SCS:

$$t_R = \frac{100L^{0.80} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.70}}{1900S^{0.50}}$$

Donde L es la longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria del flujo) en pies, CN el número de curva del SCS, y S la pendiente promedio de la cuenca en porcentaje.

La Tabla 5 resume los tiempos de concentración de las microcuencas que componen el Río Frío, calculadas por el Estudio de Zonificación Amenaza por Inundación en la Cuenca baja y media del Río Frío de la CDMB.

**Tabla 5** *Tiempo de Concentración Microcuencas Aferentes*

Nombre	Tiempo de Retardo (min)
Frío Alta	130.62
Judía	50.10
Cuellar	45.12
Zapamanga	82.26
Frío Media	77.52
Frío Baja	66.36
Guayana	58.68
Estancia	82.02
Mensulí	86.46

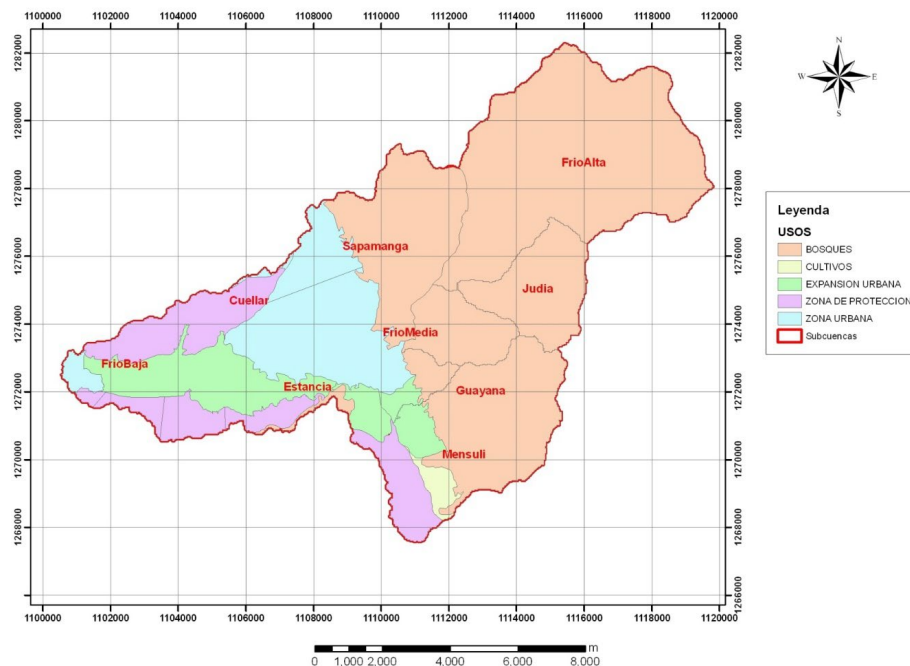
Fuente: Estudio CDMB

#### 4.4.4. Número de Curva (CN)

La información de cobertura y usos del suelo determinan y caracterizan los diferentes tipos de cobertura vegetal existentes en la microcuenca, así como el uso actual y potencial, factores determinantes para la estimación de los caudales de creciente en la cuenca.

Los diferentes tipos de cobertura y usos del suelo se identificaron a partir del POMCA del Río de Oro (2004), en el cual se elaboró un mapa a escala 1:25.000 del uso potencial del suelo.

A partir de dicha información se extrajeron los usos potenciales de la cuenca del Río Frío, los cuales se muestran en la Figura 6.



**Figura 6 Usos Potenciales Microcuenca del Río Frío – Fuente: Estudio CDMB**

Teniendo en cuenta los usos del suelo se clasificaron los números de curva de las microcuencas que componen el Río Frío, empleando los criterios propuestos por el Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos. Esta metodología supone que en un complejo suelo vegetación totalmente impermeable, la infiltración es nula, y la precipitación es igual a la escorrentía superficial; en contraste, un suelo totalmente permeable, en el complejo suelo vegetación todo el volumen de una lluvia se infiltra, y la escorrentía superficial es igual a cero.

Para la aplicación de la metodología del SCS, se clasifican los suelos de acuerdo con su grado de permeabilidad, designando los tipos de suelo con las letras A, B, C, y D, y que se describen a continuación. Dado que en general los suelos son areniscas de baja profundidad, se adoptó como complejo hidrológico para la cuenca el tipo B.

Bajo estas condiciones, los números de curva asociados a cada una de las unidades de uso potencial son los siguientes:

**Tabla 6** *Números de Curva para los usos Potenciales*

USO POTENCIAL	CN
BOSQUES	66
EXPANSION URBANA	90
ZONA DE PROTECCION	65
ZONA URBANA	90
CULTIVOS	76

**Fuente:** Soil Conservation Service - SCS

En función del área de cada subcuenca y del uso potencial en cada una de las unidades, se ponderó el número de curva para las Microcuencas del Río Frío, resumidas en la siguiente tabla.

**Tabla 7** *Número de Curva CN para las Microcuencas del Río Frío*

Nombre	Número de Curva (CN)
Frío Alta	55
Judía	55
Cuellar	74
Zapamanga	69
Frío Media	70
Frío Baja	76
Guayana	58
Estancia	80
Mensulí	62

Fuente: Estudio CDMB

#### 4.4.5. Estimación de las Curvas IDF para las Estaciones Representativas

Para la zona de estudio, a partir de los datos de lluvia de las estaciones, se establecieron los siguientes parámetros, que se requieren para estimar las curvas IDF a partir de la metodología de Vargas y Díaz-Granados.

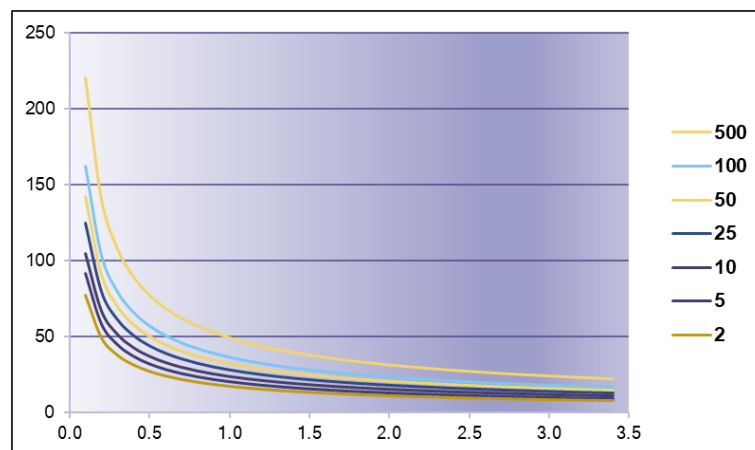
**Tabla 8** *Parámetros para estimación de Curva IDF*

PARÁMETRO	EL PICACHO	LA FLORESTA	BUCARAMANGA	PIEDECUUESTA	LA GALVICIA	LLANOGRANDE
Prom. Valores Max Anuales de Precipitación	41.7	78.0	73.3	85.2	68.4	82.9
Número de Días Lluvia	174.1	173.0	172.8	173.9	173.4	175.5
Precipitación Media Anual	1408.0	1056.0	1172.0	1130.0	1172.0	1039.0

A continuación, se presentan las curvas IDF para cada una de las estaciones, calculadas por el Estudio de Zonificación Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Media Del Río Frío de la CDMB.

**Tabla 9 Datos para Curvas IDF – Estación El Picacho**

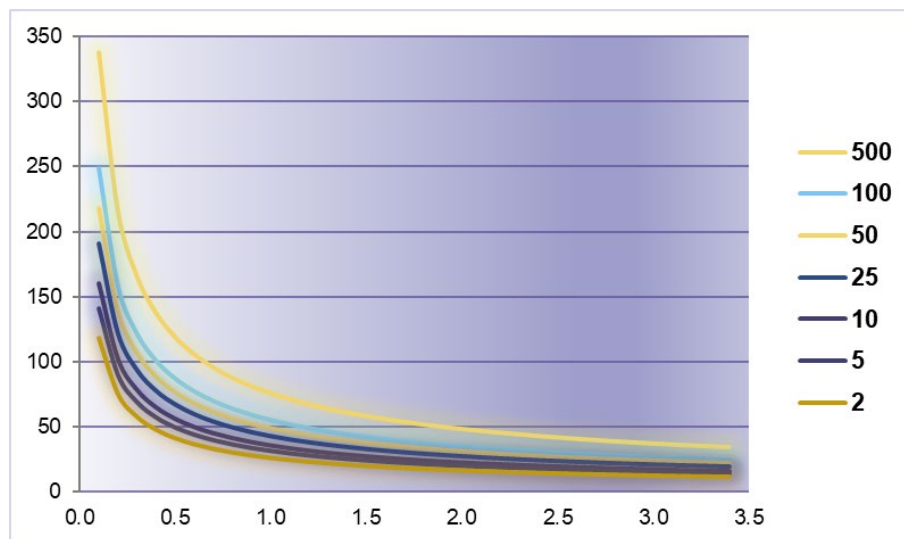
Tc horas	T años						
	500	100	50	25	10	5	2
0.1	220.17	162.16	142.15	124.61	104.70	91.78	77.12
0.2	140.31	103.34	90.59	79.41	66.72	58.49	49.14
0.3	107.80	79.40	69.60	61.01	51.27	44.94	37.76
0.4	89.42	65.86	57.73	50.61	42.52	37.27	31.32
0.5	77.34	56.97	49.94	43.78	36.78	32.24	27.09
0.6	68.70	50.60	44.36	38.88	32.67	28.64	24.06
0.7	62.15	45.78	40.13	35.18	29.56	25.91	21.77
0.8	56.98	41.97	36.79	32.25	27.10	23.75	19.96
0.9	52.78	38.88	34.08	29.87	25.10	22.00	18.49
1.0	49.29	36.30	31.82	27.90	23.44	20.55	17.26
1.1	46.33	34.12	29.91	26.22	22.03	19.31	16.23
1.2	43.78	32.25	28.27	24.78	20.82	18.25	15.33
1.3	41.56	30.61	26.83	23.52	19.76	17.33	14.56
1.4	39.61	29.17	25.57	22.42	18.84	16.51	13.87
1.5	37.87	27.89	24.45	21.43	18.01	15.79	13.26
1.6	36.31	26.75	23.45	20.55	17.27	15.14	12.72
1.7	34.91	25.71	22.54	19.76	16.60	14.55	12.23
1.8	33.64	24.78	21.72	19.04	16.00	14.02	11.78
1.9	32.48	23.92	20.97	18.38	15.44	13.54	11.38
2.0	31.41	23.14	20.28	17.78	14.94	13.09	11.00
2.2	29.52	21.75	19.06	16.71	14.04	12.31	10.34
2.4	27.90	20.55	18.01	15.79	13.27	11.63	9.77
2.6	26.49	19.51	17.10	14.99	12.60	11.04	9.28
2.8	25.24	18.59	16.30	14.29	12.00	10.52	8.84
3.0	24.13	17.78	15.58	13.66	11.48	10.06	8.45
3.2	23.14	17.05	14.94	13.10	11.01	9.65	8.11
3.4	22.25	16.39	14.36	12.59	10.58	9.27	7.79



**Figura 7 Curvas IDF – Estación El Picacho**

**Tabla 10 Datos para Curvas IDF – Estación la Floresta**

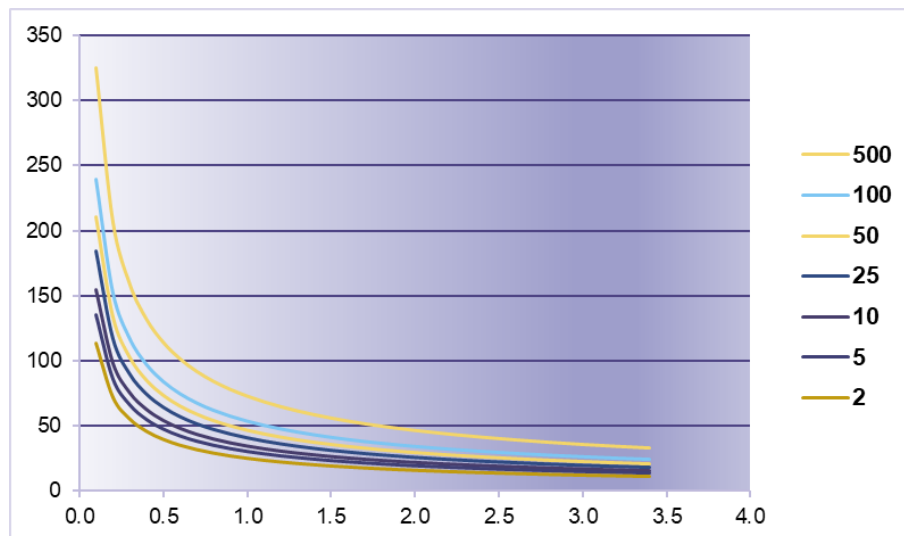
Tc horas	T años						
	500	100	50	25	10	5	2
0.1	337.83	248.82	218.12	191.20	160.65	140.83	118.33
0.2	215.29	158.57	139.00	121.85	102.38	89.75	75.41
0.3	165.41	121.83	106.80	93.62	78.66	68.96	57.94
0.4	137.20	101.05	88.58	77.65	65.25	57.19	48.06
0.5	118.68	87.41	76.62	67.17	56.44	49.47	41.57
0.6	105.41	77.64	68.06	59.66	50.13	43.94	36.92
0.7	95.36	70.24	61.57	53.97	45.35	39.75	33.40
0.8	87.44	64.40	56.45	49.49	41.58	36.45	30.63
0.9	80.99	59.65	52.29	45.84	38.52	33.76	28.37
1.0	75.63	55.70	48.83	42.81	35.97	31.53	26.49
1.1	71.09	52.36	45.90	40.23	33.81	29.63	24.90
1.2	67.18	49.48	43.37	38.02	31.95	28.00	23.53
1.3	63.77	46.97	41.17	36.09	30.33	26.58	22.34
1.4	60.77	44.76	39.24	34.40	28.90	25.33	21.29
1.5	58.11	42.80	37.52	32.89	27.63	24.22	20.35
1.6	55.72	41.04	35.98	31.54	26.50	23.23	19.52
1.7	53.57	39.45	34.59	30.32	25.47	22.33	18.76
1.8	51.61	38.02	33.32	29.21	24.55	21.52	18.08
1.9	49.83	36.70	32.17	28.20	23.70	20.77	17.45
2.0	48.20	35.50	31.12	27.28	22.92	20.09	16.88
2.2	45.30	33.37	29.25	25.64	21.54	18.89	15.87
2.4	42.81	31.53	27.64	24.23	20.36	17.85	15.00
2.6	40.64	29.93	26.24	23.00	19.33	16.94	14.23
2.8	38.73	28.53	25.01	21.92	18.42	16.15	13.57
3.0	37.03	27.27	23.91	20.96	17.61	15.44	12.97
3.2	35.51	26.15	22.93	20.10	16.89	14.80	12.44
3.4	34.14	25.14	22.04	19.32	16.23	14.23	11.96



**Figura 8 Curvas IDF – Estación La Floresta**

**Tabla 11 Datos para Curvas IDF – Estación Bucaramanga**

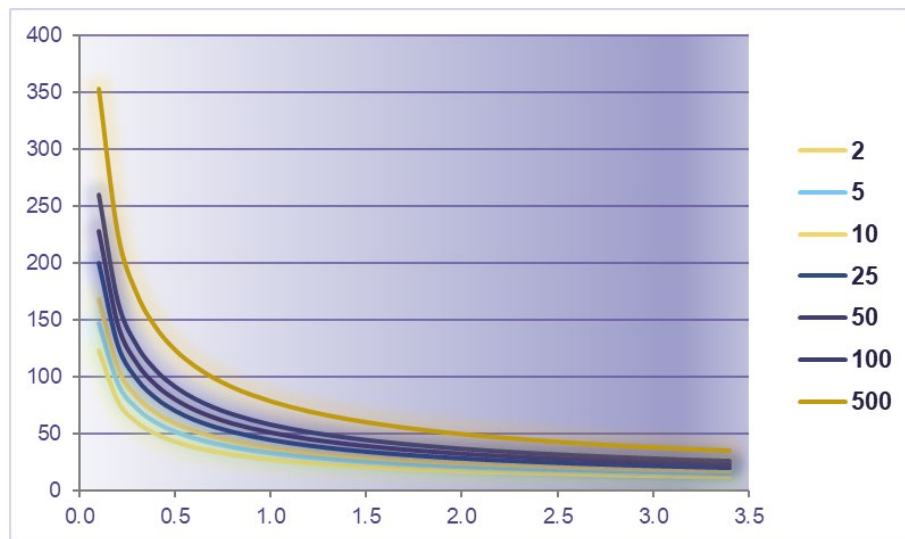
Tc	T años						
	500	100	50	25	10	5	2
0.1	325.46	239.71	210.13	184.20	154.77	135.67	113.99
0.2	207.41	152.76	133.91	117.39	98.63	86.46	72.65
0.3	159.35	117.37	102.89	90.19	75.78	66.43	55.82
0.4	132.18	97.35	85.34	74.81	62.86	55.10	46.30
0.5	114.33	84.21	73.82	64.71	54.37	47.66	40.05
0.6	101.55	74.80	65.57	57.48	48.29	42.33	35.57
0.7	91.87	67.67	59.32	52.00	43.69	38.30	32.18
0.8	84.23	62.04	54.39	47.67	40.06	35.11	29.50
0.9	78.03	57.47	50.38	44.16	37.10	32.53	27.33
1.0	72.86	53.66	47.04	41.24	34.65	30.37	25.52
1.1	68.48	50.44	44.22	38.76	32.57	28.55	23.99
1.2	64.72	47.67	41.79	36.63	30.78	26.98	22.67
1.3	61.44	45.25	39.67	34.77	29.22	25.61	21.52
1.4	58.55	43.12	37.80	33.14	27.84	24.41	20.51
1.5	55.98	41.23	36.14	31.68	26.62	23.34	19.61
1.6	53.68	39.54	34.66	30.38	25.53	22.38	18.80
1.7	51.61	38.01	33.32	29.21	24.54	21.51	18.08
1.8	49.72	36.62	32.10	28.14	23.65	20.73	17.42
1.9	48.01	35.36	31.00	27.17	22.83	20.01	16.81
2.0	46.43	34.20	29.98	26.28	22.08	19.36	16.26
2.2	43.64	32.15	28.18	24.70	20.75	18.19	15.29
2.4	41.24	30.38	26.63	23.34	19.61	17.19	14.45
2.6	39.15	28.84	25.28	22.16	18.62	16.32	13.71
2.8	37.31	27.48	24.09	21.12	17.74	15.55	13.07
3.0	35.68	26.28	23.03	20.19	16.97	14.87	12.50
3.2	34.21	25.20	22.09	19.36	16.27	14.26	11.98
3.4	32.89	24.22	21.23	18.61	15.64	13.71	11.52



**Figura 9 Curvas IDF – Estación Bucaramanga**

**Tabla 12 Datos para Curvas IDF – Estación Granja Piedecuesta**

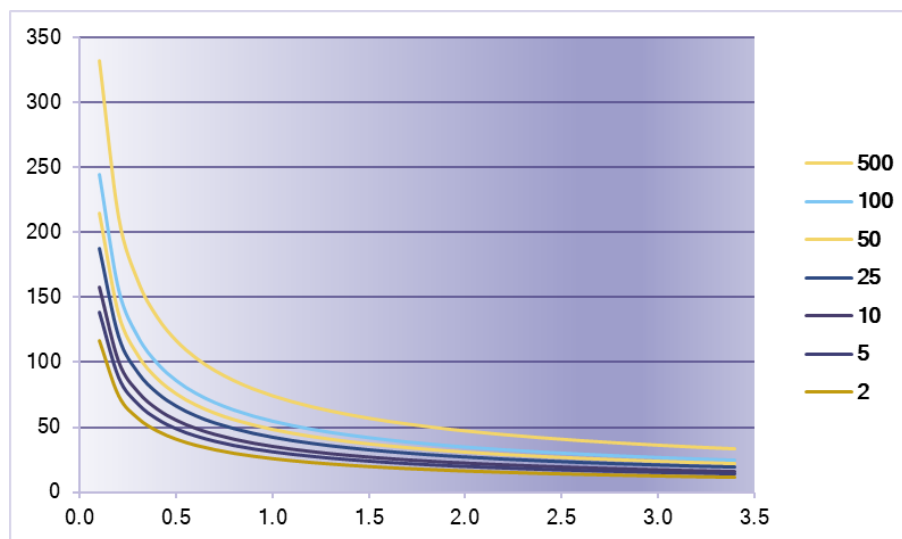
horas	T (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
0.10	123.53	147.03	167.72	199.62	227.72	259.77	352.69
0.20	78.73	93.70	106.89	127.21	145.12	165.55	224.76
0.30	60.49	71.99	82.12	97.74	111.50	127.19	172.69
0.40	50.17	59.71	68.12	81.07	92.48	105.50	143.24
0.50	43.40	51.65	58.92	70.12	79.99	91.26	123.90
0.60	38.55	45.88	52.33	62.29	71.06	81.06	110.05
0.70	34.87	41.50	47.35	56.35	64.28	73.33	99.56
0.80	31.97	38.05	43.41	51.66	58.94	67.23	91.28
0.90	29.62	35.25	40.21	47.86	54.59	62.28	84.55
1.00	27.66	32.91	37.55	44.69	50.98	58.16	78.96
1.10	25.99	30.94	35.29	42.00	47.92	54.66	74.21
1.20	24.57	29.24	33.35	39.69	45.28	51.66	70.13
1.30	23.32	27.75	31.66	37.68	42.99	49.04	66.58
1.40	22.22	26.45	30.17	35.91	40.96	46.73	63.45
1.50	21.25	25.29	28.85	34.34	39.17	44.68	60.66
1.60	20.38	24.25	27.66	32.92	37.56	42.85	58.17
1.70	19.59	23.31	26.59	31.65	36.11	41.19	55.92
1.80	18.87	22.46	25.62	30.50	34.79	39.69	53.88
1.90	18.22	21.69	24.74	29.44	33.59	38.32	52.02
2.00	17.62	20.98	23.93	28.48	32.49	37.06	50.32
2.20	16.57	19.72	22.49	26.77	30.54	34.83	47.30
2.40	15.65	18.63	21.25	25.30	28.86	32.92	44.69
2.60	14.86	17.69	20.18	24.01	27.39	31.25	42.43
2.80	14.16	16.86	19.23	22.88	26.11	29.78	40.43
3.00	13.54	16.12	18.38	21.88	24.96	28.47	38.66
3.20	12.98	15.45	17.63	20.98	23.94	27.30	37.07
3.40	12.48	14.86	16.95	20.17	23.01	26.25	35.64



**Figura 10 Curvas IDF – Estación Granja Piedecuesta**

**Tabla 13 Datos para Curvas IDF – Estación La Galvicia**

Tc horas	T años						
	500	100	50	25	10	5	2
0.1	332.03	244.55	214.38	187.93	157.90	138.41	116.30
0.2	211.60	155.85	136.62	119.76	100.63	88.21	74.11
0.3	162.57	119.74	104.97	92.01	77.31	67.77	56.94
0.4	134.85	99.32	87.06	76.32	64.13	56.21	47.23
0.5	116.64	85.91	75.31	66.02	55.47	48.62	40.85
0.6	103.61	76.31	66.89	58.64	49.27	43.19	36.29
0.7	93.73	69.03	60.52	53.05	44.57	39.07	32.83
0.8	85.94	63.29	55.48	48.64	40.87	35.82	30.10
0.9	79.60	58.63	51.40	45.05	37.85	33.18	27.88
1.0	74.33	54.75	47.99	42.07	35.35	30.99	26.04
1.1	69.87	51.46	45.11	39.54	33.23	29.13	24.47
1.2	66.03	48.63	42.63	37.37	31.40	27.52	23.13
1.3	62.68	46.17	40.47	35.47	29.81	26.13	21.95
1.4	59.73	43.99	38.57	33.81	28.40	24.90	20.92
1.5	57.11	42.06	36.87	32.32	27.16	23.81	20.00
1.6	54.76	40.34	35.36	31.00	26.04	22.83	19.18
1.7	52.65	38.78	33.99	29.80	25.04	21.95	18.44
1.8	50.73	37.36	32.75	28.71	24.12	21.15	17.77
1.9	48.98	36.07	31.62	27.72	23.29	20.42	17.15
2.0	47.37	34.89	30.59	26.81	22.53	19.75	16.59
2.2	44.53	32.79	28.75	25.20	21.17	18.56	15.60
2.4	42.08	30.99	27.17	23.81	20.01	17.54	14.74
2.60	39.94	29.42	25.79	22.61	19.00	16.65	13.99
2.8	38.07	28.04	24.58	21.54	18.10	15.87	13.33
3.0	36.40	26.81	23.50	20.60	17.31	15.17	12.75
3.2	34.90	25.71	22.53	19.75	16.60	14.55	12.22
3.4	33.55	24.71	21.66	18.99	15.96	13.99	11.75



**Figura 11 Curvas IDF – Estación La Galvicia**

#### 4.4.6. Tormenta de Diseño

A partir de las Curvas IDF y tomando como duración total de tormenta tres (3) horas, de acuerdo con los resultados obtenidos por Arguello y Fuentes (2009) se obtuvieron los valores de precipitación total en cada estación (Ver Tabla 15).

**Tabla 14 Precipitación Total para un Evento – Por estaciones**

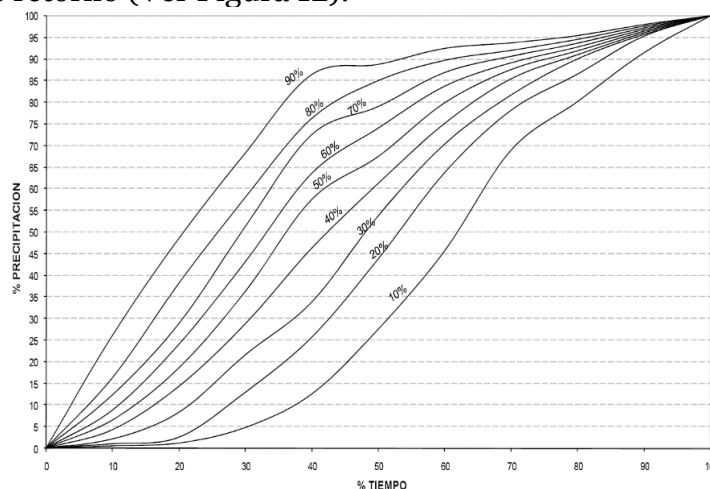
Estación	Precipitación total para un evento (mm)						
	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=500
El Picacho	36.5	43.4	49.5	58.9	67.2	76.7	104.1
La Floresta	57.1	67.9	77.5	92.2	105.2	120.0	162.9
Bucaramanga	54.9	65.4	74.6	88.7	101.2	115.5	156.8
Piedecuesta	61.2	72.9	83.1	99.0	112.9	128.8	174.8
La Galvicia	52.1	62.0	70.8	84.2	96.1	109.6	148.8
Llano Grande	59.5	70.8	80.8	96.2	109.7	125.1	169.9

Con estos valores de precipitación se realizaron interpolaciones para obtener los datos de precipitación en cada una de las Microcuencas, presentados en la siguiente Tabla.

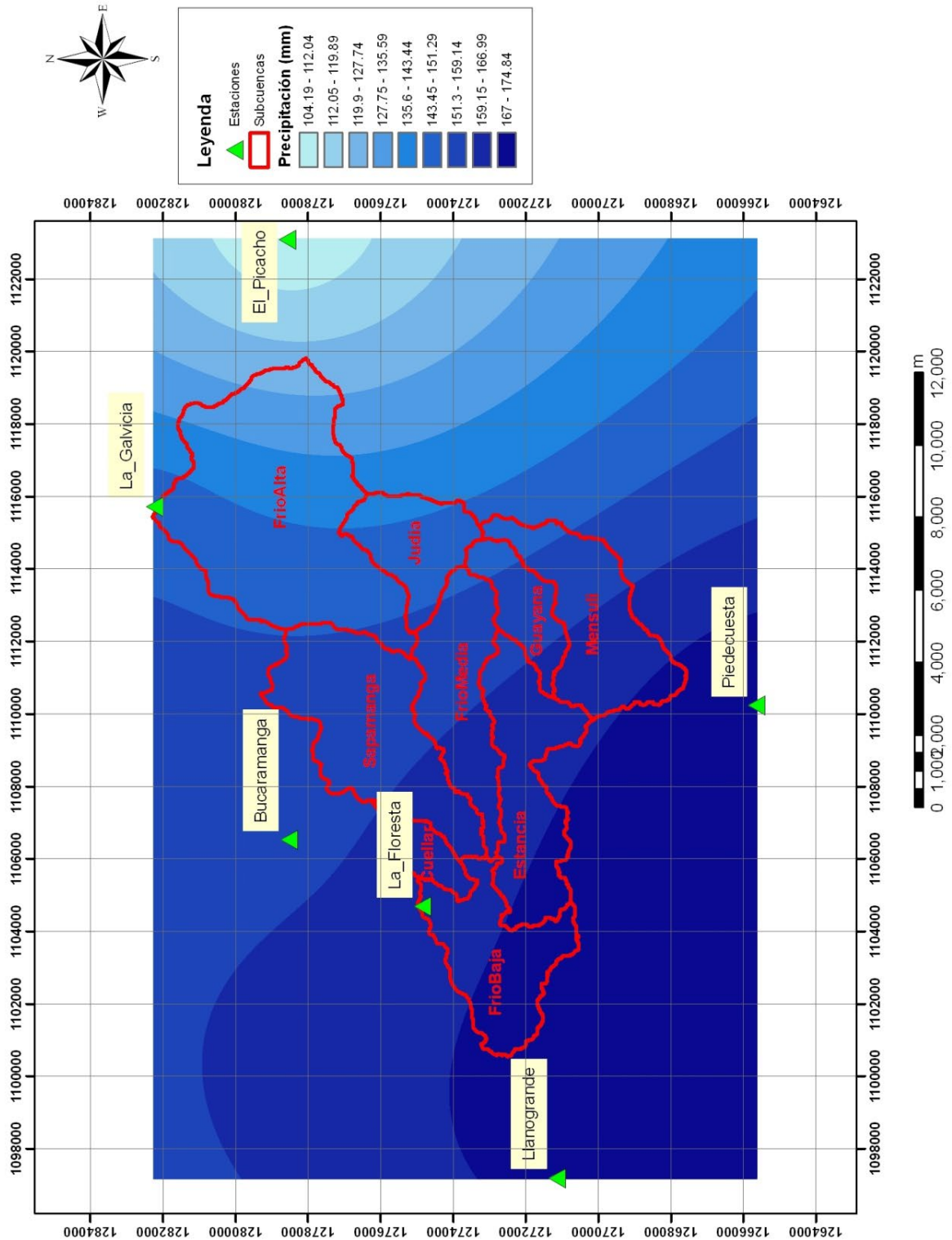
**Tabla 15 Precipitación Total para un Evento Por Microcuencas – Fuente: Estudio CDMB**

Microcuenca	Precipitación total para un evento (mm)						
	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=500
Cuellar	56.72	67.49	77.02	91.63	104.54	119.26	161.88
Estancia	57.82	68.81	78.49	93.43	106.58	121.59	165.05
Frío Alto	49.81	59.28	67.66	80.48	91.84	104.77	142.22
Frío Bajo	58.62	69.75	79.59	94.73	108.06	123.25	167.33
Frío Medio	55.60	66.19	75.51	89.85	102.51	116.95	158.75
Guayana	54.51	64.89	74.01	88.09	100.49	114.65	155.63
Judía	51.63	61.42	70.08	83.38	95.13	108.54	147.33
Mensulí	55.68	66.28	75.59	89.99	102.66	117.12	158.98
Zapamanga	54.98	65.45	74.68	88.83	101.35	115.64	156.97

Utilizando la distribución de tormenta estimada por Arguello y Fuentes (2009) para una probabilidad del 90%, se obtuvieron los eventos de precipitación correspondientes a cada periodo de retorno (Ver Figura 12).



**Figura 12 Distribución de Tormentas – Arguello y Fuentes (2009)**



**Figura 13 Interpolación para  $Tr = 500$  años – Fuente: Estudio CDMB**

#### 4.5. SIMULACIÓN DE CAUDALES MODELO HEC-HMS

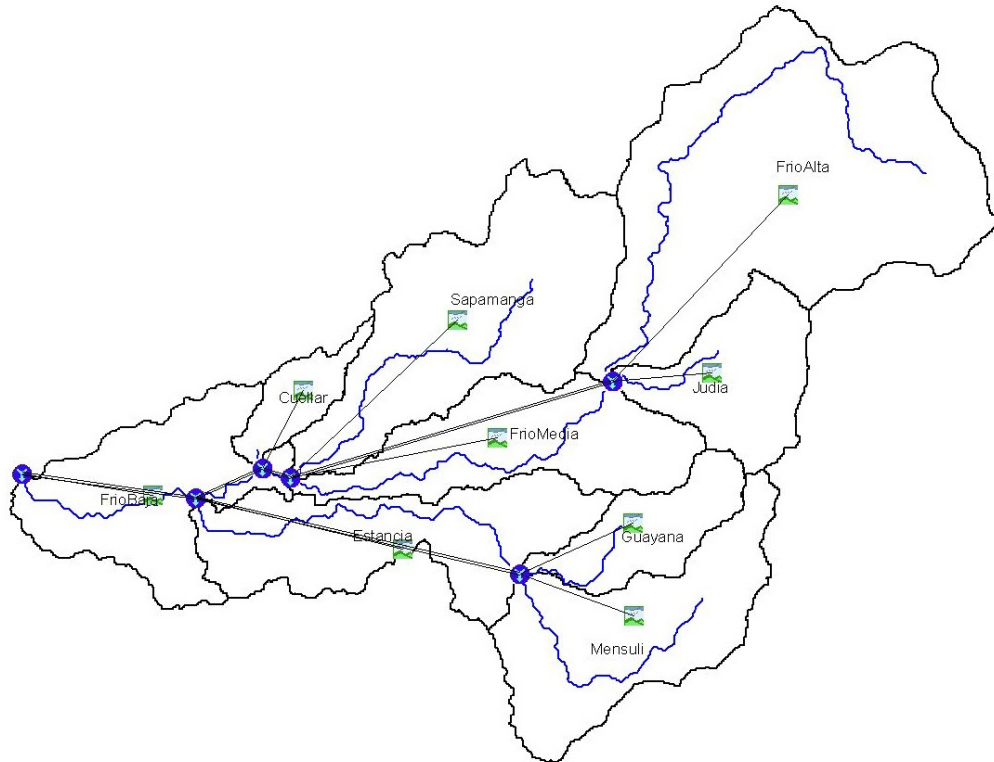
Los hidrogramas de caudal para una creciente en la Microcuenca Río Frío, se determinaron con el modelo HEC–HMS (Hydrologic Modeling System) del Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers de los Estados Unidos, el cual puede determinar dichos hidrogramas empleando diferentes metodologías de cálculo.

El modelo se diseña para simular la escorrentía superficial que resulta de una precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados. Cada componente modela un aspecto del proceso lluvia-escorrentía dentro de una subcuenca o subárea; los componentes incluyen la escorrentía superficial de la subcuenca, los canales y los embalses.

- **Elemento Subcuenca o subárea:** En este elemento, a partir de los datos meteorológicos (en este estudio se empleó solamente la lluvia), se realiza el balance hídrico descontando las pérdidas de agua por infiltración, y se transforma el exceso de precipitación en escorrentía superficial con la posibilidad de trabajar con y sin flujo base.
- **Tramo del cauce o canal:** Esquematiza el comportamiento de un canal, con la posibilidad de recibir uno o varios flujos de entrada dando lugar a un solo flujo de salida.
- **Nodos o Confluencias:** Reciben uno o varios flujos entrantes y dan lugar a un solo flujo saliente, con la particularidad de que el flujo saliente se obtiene directamente como suma de los flujos entrantes, considerando nula la variación del volumen almacenado en la misma. Permite representar la confluencia propiamente de ríos o canales, con la posibilidad de obtener también, flujos entrantes procedentes de subcuencas.

Cada componente se representa por un conjunto de parámetros que especifica las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen sus procesos físicos. Los resultados finales del proceso de modelación son los hidrogramas de escorrentía directa para varias subáreas y los hidrogramas de caudal en lugares predeterminados de la cuenca.

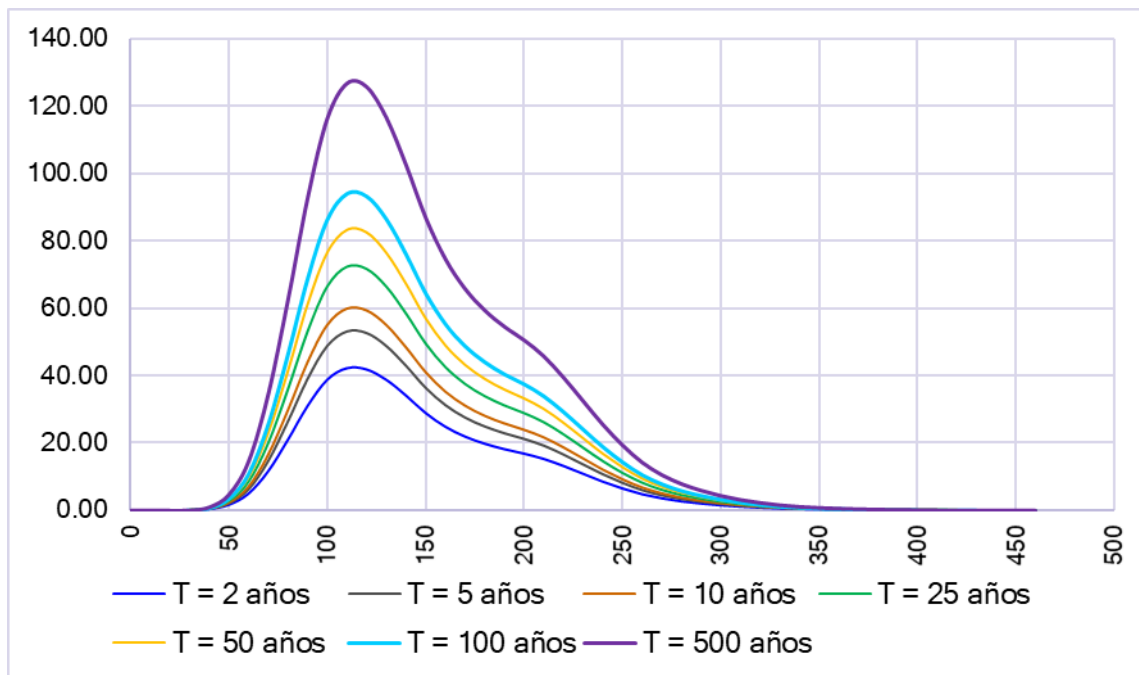
Es posible también simular el comportamiento de salidas de flujo en el sistema de drenaje, como es el caso de los puntos donde se extrae caudal a partir de bombeo. También, el modelo es capaz de simular el comportamiento en tanques de almacenamiento.



**Figura 14** Topología implementada para la modelación de la Microcuenca Río Frío – Fuente: Estudio CDMB

#### 4.6. CAUDALES DE DISEÑO

En el Estudio de Zonificación Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Media Del Río Frío, contratado por la CDMB, se calcularon los hidrogramas obtenidos para la totalidad de las Microcuencas aferentes al Río Frío, para los caudales correspondientes a cada periodo de retorno calculado de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años. No obstante, en el presente estudio se actualizó el hidrograma de Río Frío hasta el sector de interés, utilizando la información de precipitaciones de las mismas estaciones utilizadas en el estudio de la CDMB del año 2011, con información actualizada hasta diciembre del año 2022, cuyo hidrograma de caudales se presenta en la Figura 16 y sus valores de caudales asociados a los diferentes periodos de retorno en la Tabla 17.



**Figura 15** Hidrograma de Caudales Río Frío hasta el sector de interés – Fuente propia

**Tabla 16** Caudales de Río Frío en el sector de interés – Fuente propia

Periodo de Retorno	Caudales Río Frío m³/s
2	42.34
5	52.92
10	59.99
25	72.29
50	83.13
<b>100</b>	<b>93.94</b>
<b>500</b>	<b>126.82</b>

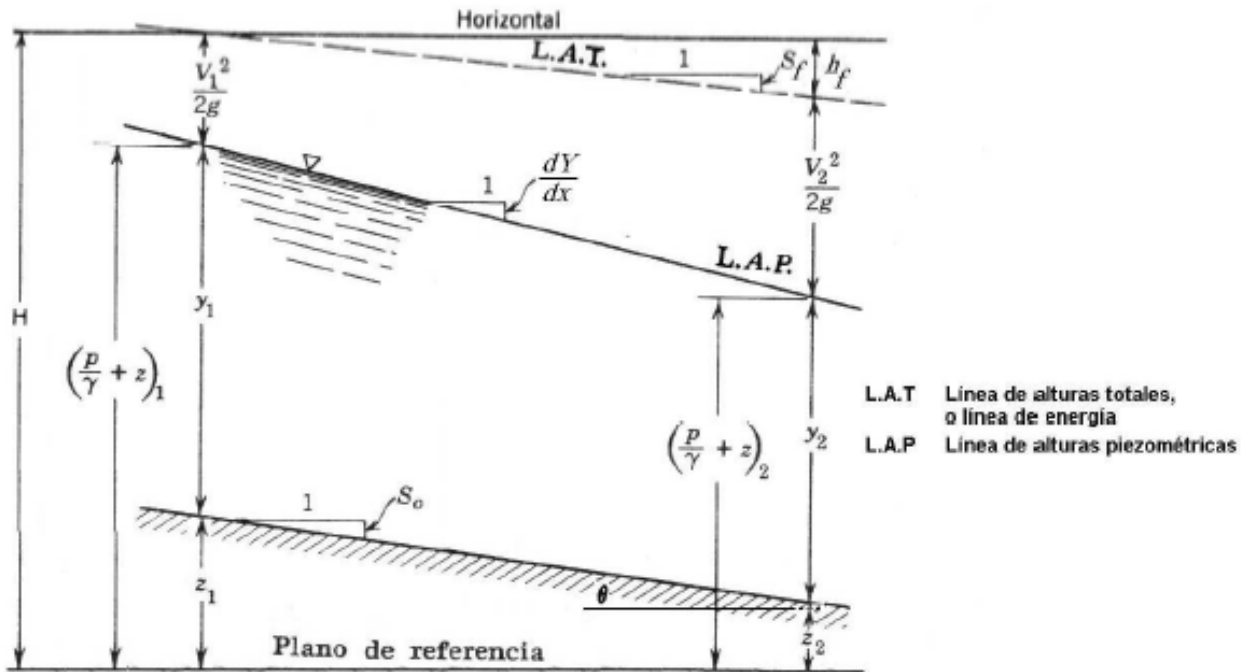
## 5. MODELAMIENTO HIDRÁULICO

### 5.1. MODELACIÓN MATEMÁTICA CON HEC – RAS

El análisis hidráulico para el Río Frío se realizó empleando el software HEC-RAS del U.S. Army Corp., de los Estados Unidos. Este programa fue desarrollado para calcular perfiles de flujo gradualmente variado en un canal con secciones transversales regulares o irregulares.

El programa calcula los perfiles de flujo empleando el método del paso estándar, la modelación matemática se realizó tomando las secciones transversales de acuerdo con las características mencionadas anteriormente.

## 5.2. CÁLCULO DE LOS PERFILES DE FLUJO (FLUJO GRADUALMENTE VARIADO)



**Figura 16** Análisis Flujo Gradualmente Variado

Un flujo gradualmente variado constituye una clase del flujo permanente no uniforme, en el cual existe una variación continua a lo largo del canal, de la profundidad del flujo y de igual forma en el área, la velocidad, el perímetro mojado, el radio hidráulico, entre otros (Chaudhry, 1994).

La posible forma que pueda tener la superficie libre está en función de las profundidades real, normal y crítica. Para el análisis de este tipo de flujos, el HEC-RAS, presenta las siguientes consideraciones:

- El flujo es permanente, es decir, constante en el tiempo.
- La distribución de presiones en cada sección transversal del canal es hidrostática (líneas de corriente paralelas).
- La pendiente del canal es pequeña y uniforme.
- Para el cálculo de la línea de energía, se permite el uso de las ecuaciones de flujo uniforme, que consideran que la pérdida de energía por fricción es la más importante.

En el análisis del flujo en canales, es necesario predecir cuál es el comportamiento de los perfiles de la lámina de agua. Esto se puede hacer con un análisis del comportamiento de la pendiente de la superficie del agua en función de las variables geométricas e hidráulicas del flujo, como se analiza a continuación.

En cualquier sección transversal la energía total  $H$  está dada por la expresión:

$$H = \frac{V^2}{2g} + Y + Z$$

Donde:

H: La energía total,

V: La velocidad promedio del flujo en dicha sección transversal,

g: La aceleración de la gravedad,

Y: La profundidad del flujo

Z: La altura de posición con respecto a un plano de referencia.

Derivando la ecuación anterior con la distancia longitudinal, y considerando un sistema de referencia con incrementos positivos a la derecha, se tiene:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{d}{dx} \left( \frac{V^2}{2g} \right) + \frac{dY}{dx} + \frac{dZ}{dx}$$

$$-Se = -Fr^2 \frac{dY}{dx} + \frac{dY}{dx} + So$$

Donde:

$$\frac{dH}{dx} = -Se$$

Es el cambio de la energía con respecto a la distancia, es decir, la pendiente de la línea de energía.

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{V^2}{2g} \right) = -\frac{Q^2}{gA^3} \left( \frac{dA}{dY} \right) = -\frac{Q^2 B}{gA^3} \left( \frac{dA}{dY} \right) = -Fr^2 \frac{dY}{dX}$$

Siendo:

A: Es el área de la sección transversal del flujo

B: El ancho superior del flujo

Q: El caudal del flujo

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (\text{Número de Froude})$$

D: Profundidad hidráulica, igual a **A / B**

$$\frac{dZ}{dx} = -So \quad \text{Es la pendiente del fondo del canal.}$$

Por lo tanto, la ecuación se puede describir como:

$$\frac{dY}{dx} = \frac{So - Se}{1 - Fr^2}$$

Existen varias formas de calcular el flujo gradualmente variado en un cauce. El Hec-RAS, emplea el método del paso estándar, que a continuación se resume en forma breve.

### **5.3. MÉTODO DEL PASO ESTÁNDAR**

El flujo gradualmente variado es calculado en el HEC-RAS empleando el método del paso estándar, el cuál es una de las metodologías más aplicadas para el cálculo tanto de perfiles de flujo en canales prismáticos como en aquellos de geometría variada.

El método consiste en estimar la profundidad del flujo en las diferentes secciones transversales, iniciando a partir de los datos de profundidad conocidos para una sección, que en la mayoría de los casos corresponde a la sección de control.

Si el flujo es subcrítico los cálculos se inician desde aguas abajo y se desarrollan hacia aguas arriba y si es supercrítico se parte de aguas arriba continuándose hacia aguas abajo. Se determina por un método de convergencia, la profundidad del flujo en cada sección transversal localizada en una determinada abscisa de forma que satisfaga las relaciones de energía en el cauce.

La metodología empleada para analizar desde el punto de vista hidráulico el cauce del Río Frío, se presenta a continuación, destacando que las simulaciones del comportamiento del flujo se realizaron empleando el modelo matemático Hec-RAS (U.S. Army Corps Engineers, 2002), versión 4.1.0, ampliamente usado en Estados Unidos y Latinoamérica.

#### **5.3.1. Procesamiento de Información Topográfica**

A partir de la topografía y batimetrías levantadas para el cauce del Río Frío en el estudio de la CDMB, se realizaron los modelos geométricos de secciones transversales para cada cauce. El modelo del Río Frío presenta secciones cada 25 m en una longitud total de 13.95 Km.

Las secciones transversales de los cauces utilizadas para el modelamiento hidráulico se ubican mirando hacia aguas abajo, y se enumeran e introducen desde la sección más aguas abajo hacia aguas arriba.

#### **5.3.2. Implementación del Modelo Matemático**

Una vez constituidos los modelos geométricos de ambos cauces, se determinaron los parámetros hidráulicos de dichas secciones transversales, con base en la geometría obtenida de la topografía. De acuerdo con los valores típicos, se estimaron los coeficientes de rugosidad por el método de Cowan.

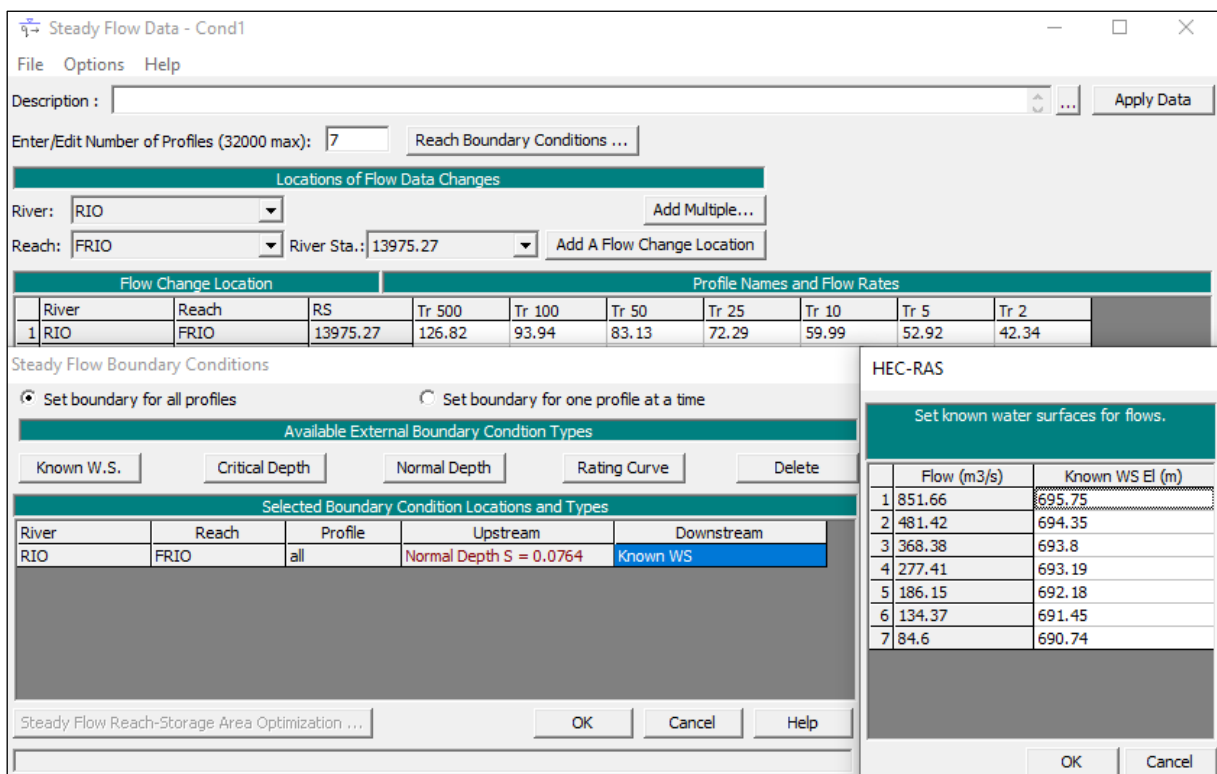
Una vez lo anterior, se calculó el perfil del flujo en cada uno de los cauces, para los periodos de retorno de 100 y 500 años, empleando los caudales máximos obtenidos por el estudio mencionado de la CDMB, resumidos en la Tabla 16.

Asumiendo que el flujo se comporta como un flujo gradualmente variado, para cada sección transversal se definió el nivel correspondiente asociado a un determinado caudal. Del cálculo hidráulico, para cada sección transversal se estimó el área hidráulica, la velocidad del flujo, el ancho de la sección y el número de Froude, entre otros parámetros.

## 5.4. PARÁMETROS PARA EL MODELAMIENTO

### 5.4.1. Condiciones de Frontera

Las condiciones de frontera del modelo hidráulico de Río Frío corresponden a una altura conocida aguas abajo, en el sector de confluencia con el Río de Oro, tomada del “Estudio de Actualización por Inundación del Río de Oro sector Bahondo hasta la confluencia con el Río Suratá” de la CDMB; y aguas arriba corresponde a la altura crítica; tal como quedó establecido por el “Estudio de Zonificación Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Media del Río Frío” también de la CDMB (Ver Figura 17).



Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates							
River	Reach	RS	Tr 500	Tr 100	Tr 50	Tr 25	Tr 10	Tr 5	Tr 2	
1	RIO	FRIO	13975.27	126.82	93.94	83.13	72.29	59.99	52.92	42.34

Selected Boundary Condition Locations and Types				
River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
RIO	FRIO	all	Normal Depth S = 0.0764	Known WS

Set known water surfaces for flows.		
Flow (m3/s)	Known WS El (m)	
1	851.66	695.75
2	481.42	694.35
3	368.38	693.8
4	277.41	693.19
5	186.15	692.18
6	134.37	691.45
7	84.6	690.74

Figura 17 Condiciones de Frontera utilizadas en el modelo hidráulico de Río Frío

### 5.4.1. Coeficiente de Rugosidad “n” de Manning

El valor del coeficiente de rugosidad “n” para la ecuación de Manning dentro de un canal es muy variable y depende de un cierto número de factores que se describen a continuación.

**Rugosidad superficial:** Se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forman el perímetro mojado y que producen un efecto retardador del flujo. En general, granos finos dan como resultado un valor relativamente bajo de *n*, y granos gruesos, un valor alto de *n*. Los cantos rodados grandes a menudo se concentran en el fondo de la corriente, haciendo que este sea más rugoso que sus bancas e incrementando el valor de *n* para los niveles bajos.

**Vegetación:** Puede considerarse como una clase de rugosidad superficial, pero también reduce de manera notable la capacidad del canal y retarda el flujo. Este efecto depende por completo de la altura, la densidad, la distribución y el tipo de vegetación.

**Irregularidad del canal:** Las irregularidades del canal incluyen irregularidades en el perímetro mojado y variaciones en la sección transversal, tamaño y forma de esta a lo largo del canal. En canales naturales, tales irregularidades por lo general son producidas por la presencia de barras de arena, ondas de arena, crestas y depresiones y fosos y montículos en el lecho del canal. En general un cambio gradual y uniforme en la sección transversal o en su tamaño y forma no produce efectos apreciables en el valor de  $n$ , pero cambios abruptos o alternaciones de secciones grandes y pequeñas requieren el uso de un valor grande de  $n$ .

**Alineamiento del canal:** Curvas suaves con radios grandes producirán valores de  $n$  relativamente bajos, en tanto que curvas bruscas con meandros severos incrementarán el valor de  $n$ . La curvatura puede inducir la acumulación de material flotante y por consiguiente incrementar indirectamente el valor de  $n$ .

**Sedimentación y socavación:** La sedimentación puede cambiar un canal muy irregular en un canal relativamente uniforme y disminuir el  $n$ , en tanto que la socavación puede hacer lo contrario e incrementar el  $n$ . Sin embargo, el efecto dominante de la sedimentación dependerá de la naturaleza del material depositado. La cantidad y uniformidad de la socavación dependerán del material que conforma el perímetro mojado, Así, un lecho de arena o de gravas se erosionará más uniformemente que un lecho de arcillas. La energía utilizada para erosionar y mover el material en suspensión o por saltación a lo largo del lecho también incrementará el valor de  $n$ . El efecto de la socavación no es importante siempre y cuando la erosión del lecho del canal, causada por velocidades altas progrese igual y uniformemente.

**Obstrucción:** La presencia de obstrucciones de troncos, de pilas de puente y estructuras similares tiende a incrementar el valor de  $n$ . La magnitud de este aumento depende de la naturaleza de las obstrucciones, de su tamaño, forma, número y distribución.

**Tamaño y forma del canal:** No existe evidencia definitiva acerca del tamaño y la forma del canal como factores importantes que afecten el valor de  $n$ .

**Nivel y caudal:** En la mayoría de las corrientes el valor de  $n$  disminuye con el aumento en el nivel y en el caudal. Cuando el agua es poco profunda, las irregularidades del fondo del canal quedan expuestas y sus efectos se vuelven pronunciados. Sin embargo, el valor de  $n$  puede ser grande en niveles altos si las bancas están cubiertas por pastos o son rugosas. Cuando el caudal es muy alto, la corriente puede rebosar sus bancas y una parte del flujo se localizará en la planicie de inundación y allí el  $n$  por lo general es mayor que el del canal en sí y su magnitud depende de la condición superficial o de la vegetación.

**Cambio estacional:** Debido al crecimiento estacional de plantas acuáticas, hierbas, malezas, sauces y árboles en el canal o en las bancas, el valor de  $n$  puede aumentar en la estación de crecimiento y disminuir en la estación inactiva.

Este cambio estacional puede producir cambios en otros factores.

**Material en suspensión y carga de lecho:** El material en suspensión y la carga de lecho, ya sea en movimiento o no, consumirá energía y causará una pérdida de altura e incrementará la rugosidad aparente del canal.

A partir del reconocimiento de varios factores primordiales que afectan el coeficiente de rugosidad  $n$  de Manning, Cowan desarrolló un procedimiento para estimar el valor de  $n$  el cual puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$n = (n_m + n_i + n_v + n_o + n_{ve}) * m_m$$

Donde:

- $n_m$ : Valor básico de  $n$  para canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados.
- $n_i$ : Valor que debe agregarse a  $n_m$  para corregir el efecto de las rugosidades superficiales.
- $n_v$ : Valor para considerar las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal
- $n_o$ : Valor para considerar las obstrucciones.
- $n_{ve}$ : Valor para considerar la vegetación y las condiciones de flujo.
- $m_m$ : Factor de corrección de los efectos por meandros en el canal.

Los valores apropiados de  $n_m$ ,  $n_i$ ,  $n_v$ ,  $n_o$ ,  $n_{ve}$  y  $m_m$  pueden seleccionarse de la Tabla 18.

Al establecer el valor de  $n_i$ , se considera que el grado de irregularidad es liso para superficies comparables con el mejor obtenible en los materiales involucrados; menor para canales artificiales bien dragados, con taludes laterales ligeramente erosionados o socavados en canales artificiales o canales de drenaje; moderado para canales mediana a pobremente dragados, taludes laterales moderadamente derrumbados o erosionados de canales artificiales o canales de drenaje; y severos para bancas muy derrumbadas de cauces naturales o con taludes laterales muy erosionados o muy derrumbados en canales artificiales o canales de drenaje, y canales artificiales excavados en roca con superficies deformes, con entrantes y salientes e irregulares.

Al establecer el valor de  $n_v$ , se considera que el carácter de las variaciones en tamaño y forma de la sección transversal es gradual cuando el cambio en el tamaño o en la forma ocurre de manera gradual, alternante ocasional cuando las secciones grandes y pequeñas se alternan ocasionalmente o cuando los cambios en la forma causan el cambio de la corriente principal de un lado a otro, y frecuentemente alterna cuando las secciones grandes y pequeñas se alternan con frecuencia o cuando los cambios en la forma causan frecuentes cambios de la corriente principal de un lado a otro.

Al establecer el valor de  $n_o$  se consideran la presencia y las características de obstrucciones como depósitos de basura, palos, raíces expuestas, cantos rodados y troncos caídos y atascados. Para juzgar el efecto relativo de las obstrucciones se debe considerar hasta qué punto las obstrucciones ocupan o reducen el promedio del área mojada, la naturaleza de las obstrucciones y la posición y el espaciamiento, transversal y longitudinal, de las obstrucciones en el tramo bajo consideración.

**Tabla 17 Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad ecuación de Cowan**

Condiciones del canal		Valores
nm1	Para canales en tierra	0.020
nm2	Para canales en roca cortada	0.025
nm3	Para canales en grava fina	0.024
nm4	Para canales en grava gruesa	0.028
nm5	Para canales en tierra arenosa	0.023
ni1	Irregularidad de sección: liso	0.000
ni2	Irregularidad de sección: menor	0.005
ni3	Irregularidad de sección: moderada	0.010
ni4	Irregularidad de sección: severa	0.020
nv1	Variación entre secciones: gradual	0.000
nv2	Variación entre secciones: alternante ocasional	0.005
nv3	Variación entre secciones: frecuentemente alterna	0.010
nv4	Variación entre secciones: muy frecuente alterna	0.015
no1	Obstrucciones: despreciable	0.000
no2	Obstrucciones: menor	0.012
no3	Obstrucciones: apreciable	0.025
no4	Obstrucciones: severa	0.055
nve1	Vegetación : Nula	0.000
nve2	Vegetación : Baja	0.007
nve3	Vegetación : Media	0.017
nve4	Vegetación : Alta	0.037
nve5	Vegetación : Muy alta	0.075
mm1	Cantidad de meandros: Menor	1.000
mm2	Cantidad de meandros: Apreciable	1.150
mm3	Cantidad de meandros: Severa	1.300

Al establecer el valor de  $n_{ve}$  se considera el grado del efecto de la vegetación:

**Bajo:** Crecimientos densos de pastos o malezas flexibles donde la profundidad promedio de flujo es de dos a tres veces la altura de la vegetación.

Varas flexibles de planta jóvenes donde la profundidad promedio de flujo es de tres a cuatro veces la altura de la vegetación.

**Medio:** Césped cuando la profundidad promedio de flujo es una a dos veces la altura de la vegetación.

Pastos con tallo, maleza o plantas jóvenes con cubierta moderada cuando la profundidad promedio de flujo es de dos a tres veces la altura de la vegetación.

Crecimientos de matorrales, moderadamente densos, a lo largo de los taludes laterales de un canal sin vegetación importante a lo largo del fondo del canal, cuando el radio hidráulico es mayor que 2 pies.

**Alto:** Prados de césped cuando la profundidad promedio es mas o menos igual a la altura de la vegetación.

Plantas jóvenes con crecimiento intermedio de malezas y matorrales, sin vegetación en el follaje, cuando el radio hidráulico es mayor que 2 pies.

Matorrales con intercalaciones de algunas malezas con follaje completo a lo largo de los taludes laterales sin vegetación importante a lo largo del fondo del canal, cuando el radio hidráulico es mayor que 2 pies.

**Muy alto:** Pastos cuando la profundidad promedio del flujo es menor que la mitad de la altura de la vegetación.

Matorrales con crecimientos intercalados de malezas con follaje completo a lo largo de los taludes laterales o crecimientos densos de plantas de hojas anchas en el fondo del canal, con cualquier valor de radio hidráulico hasta 10 o 15 pies.

Árboles en la estación de crecimiento con intercalaciones de malezas y matorrales, todos con follaje completo, con cualquier valor de radio hidráulico hasta 10 o 15 pies.

Al establecer el valor de  $m_m$  el grado de los efectos por meandros depende de la relación entre la longitud con meandros y la longitud recta del tramo del canal. Los meandros se consideran menores para relaciones de 1 a 1.2, apreciables para relaciones de 1.2 a 1.5, y severos para relaciones de 1.5 y mayores.

Utilizando el método de Cowan se determinaron los coeficientes de rugosidad “ $n$ ” de Manning para ambos cauces, tanto para el canal principal, como las márgenes inundables (Ver Tabla 18).

**Tabla 18 Cálculo del coeficiente de Rugosidad “ $n$ ” de Manning por el método de Cowan**

CAUCE		$n_m$	$n_i$	$n_v$	$n_o$	$n_{ve}$	$m_m$	“ $n$ ”
Río	Canal natural	0.028	0.005	0.005	0	0	1.15	<b>0.044</b>
Frío	Márgenes	0.020	0.005	0.005	0.012	0.007	1.15	<b>0.056</b>

### 5.4.1. Consideraciones generales para la Modelación

A partir de la información topográfica disponible de la zona de estudio (topografía y batimetrías del cauce), se constituyeron modelos geométricos, estableciendo las secciones transversales del cauce.

Para el modelamiento bajo las condiciones actuales, se utilizó la topografía del Estudio de Amenaza por Inundación del Río Frío, contratado por la CDMB. Para el modelamiento del cauce con las obras proyectadas, se utilizaron las secciones levantadas para el presente proyecto, con un total de 11 secciones transversales en una longitud de 250 m.

En los modelamientos el flujo se supone como un flujo permanente. A partir de esta suposición, se obtienen los niveles de la superficie del agua para cada sección transversal y para cada uno de los escenarios analizados.

**Coefficiente de Rugosidad “n” de Manning:** En el presente estudio, los valores del coeficiente de rugosidad “n” de Manning se calcularon por el método de Cowan, cuyos valores se resumen en la Tabla 18.

**Coefficientes de Expansión y Contracción:** Estos valores son los sugeridos en las referencias bibliográficas del software Hec-RAS. Para el coeficiente de expansión se adoptó el valor por defecto que sugiere el software (0.30); de igual forma, para el coeficiente de contracción (0.10).

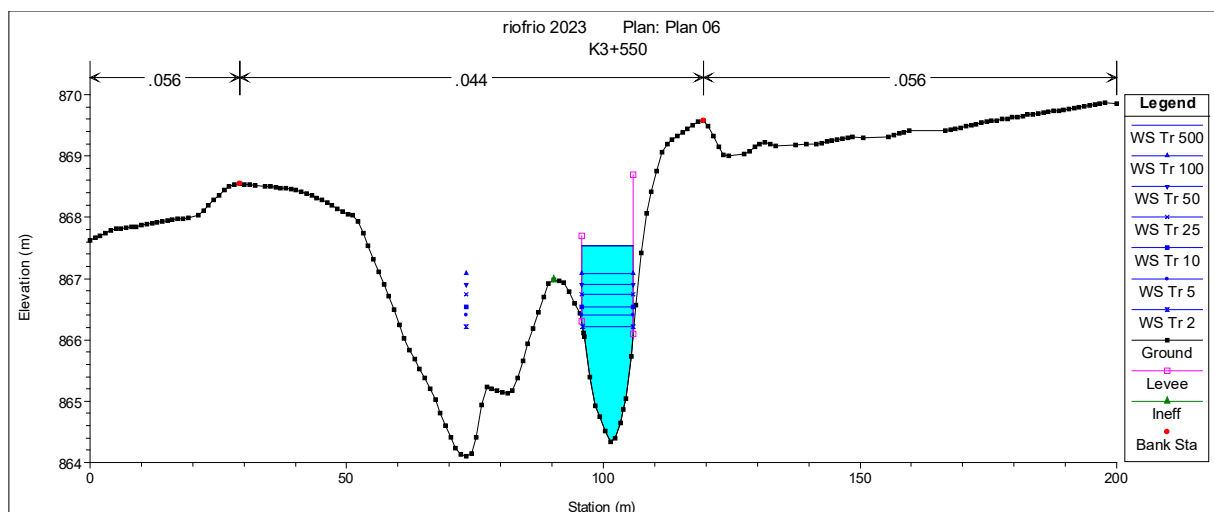
**Condiciones de Frontera Aguas Arriba y Aguas Abajo:** Se establecieron las alturas normales del cauce, tal como se describe en el Numeral 5.4.1. (Ver Figura 17).

## 6. RESULTADO DEL MODELAMIENTO CON LAS OBRAS PROYECTADAS

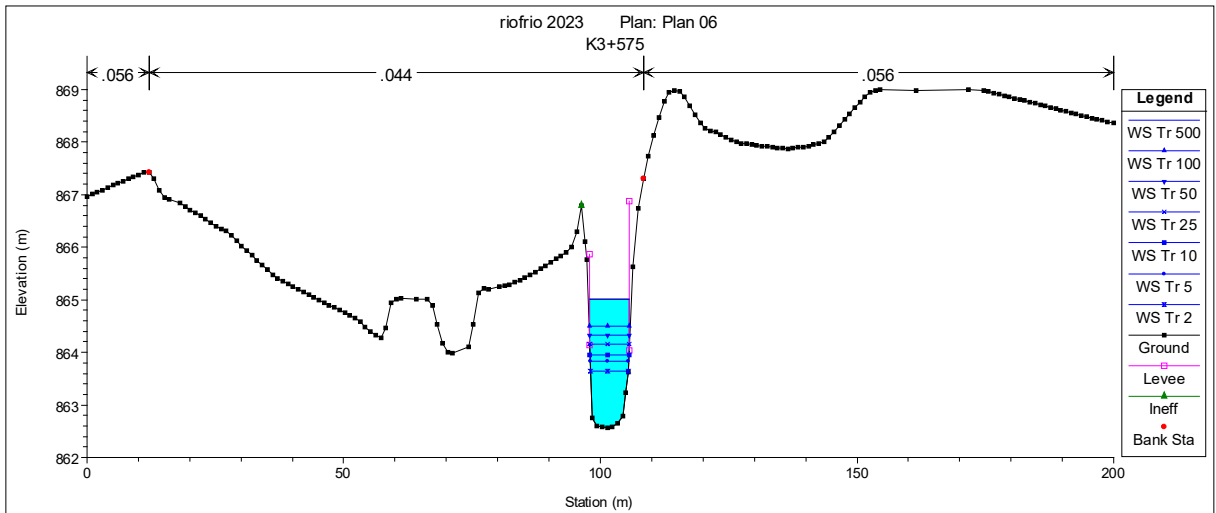
Se realizó el modelamiento hidráulico del Río Frío con la inclusión de muros en gavión sobre ambas márgenes del cauce, verificando que estos tengan una altura suficiente para la contención de las crecientes máximas calculadas, con el objetivo de evaluar su comportamiento y verificar su efecto en la mitigación contra la amenaza por inundación.

El modelamiento de las obras proyectadas arrojó que estas mitigan completamente la amenaza por inundación generada por el desbordamiento del Río Frío en el sector de interés, frenando los procesos de socavación lateral de cauce en los taludes que conforman las márgenes del cauce.

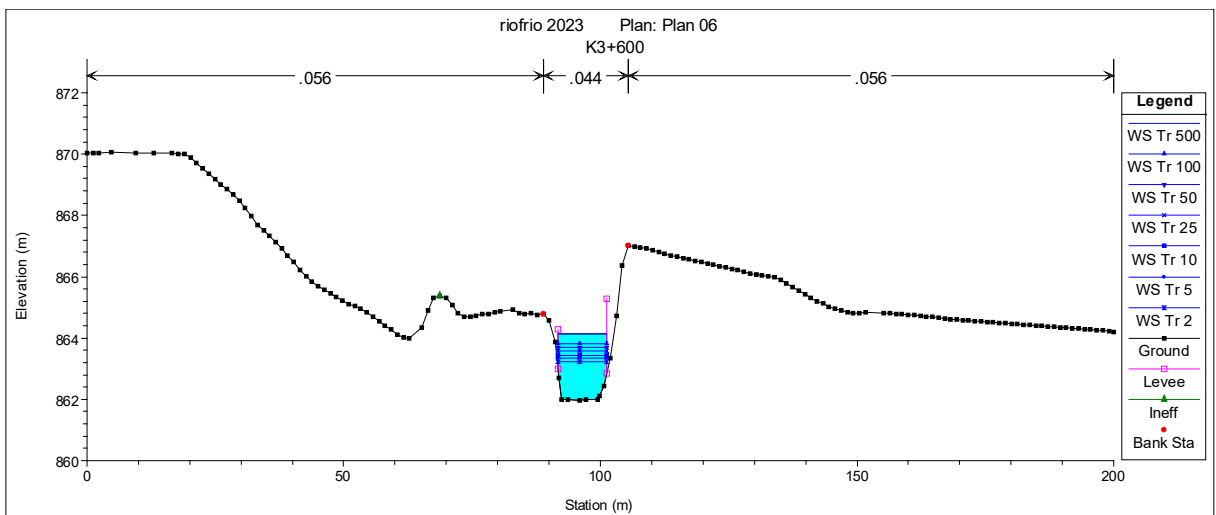
A continuación, se presentan las alturas de la lámina de agua que arroja el modelo hidráulico en el software Hec-RAS, incluyendo las obras proyectadas.



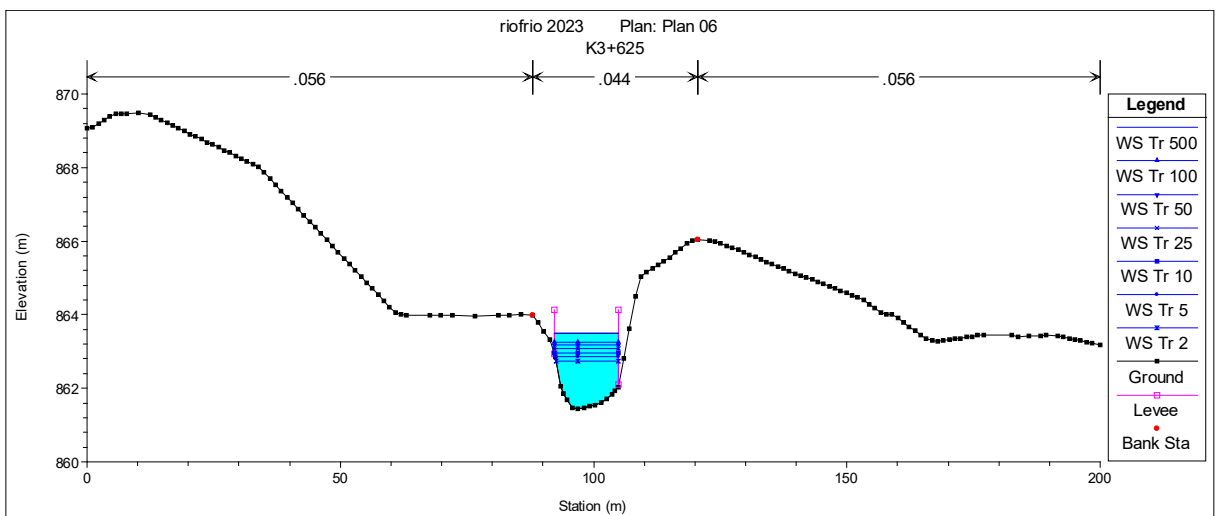
**Figura 18 Modelamiento Hidráulico con obras K3+550 – Fuente propia**



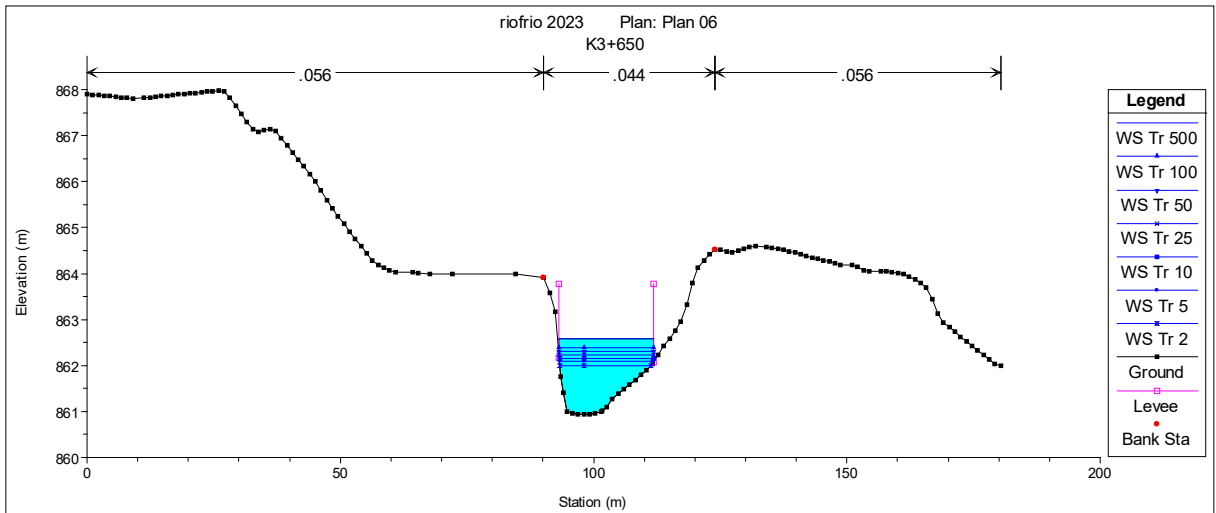
**Figura 19 Modelamiento Hidráulico con obras K3+575 – Fuente propia**



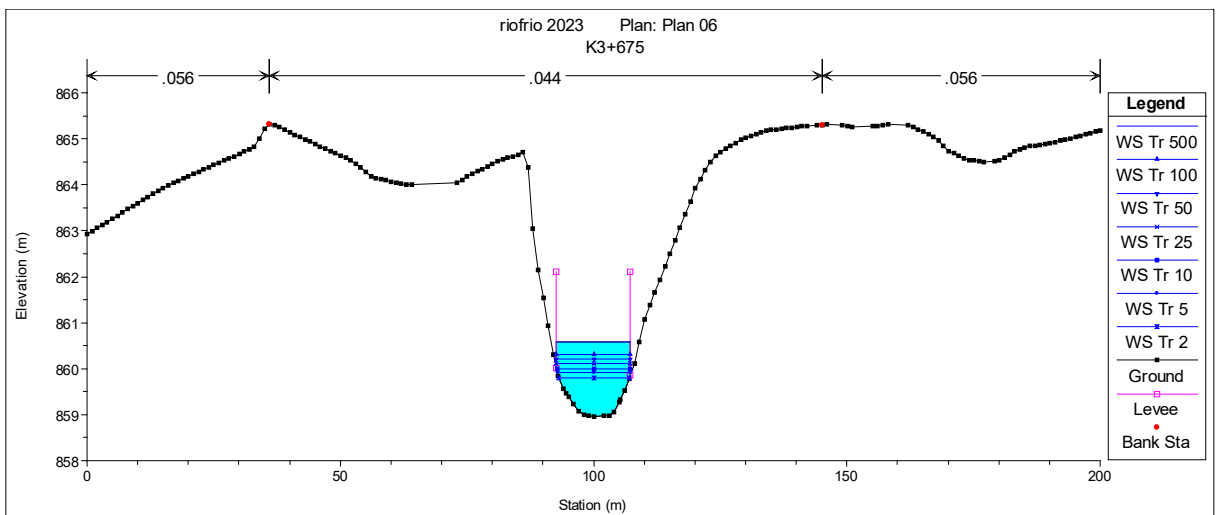
**Figura 20 Modelamiento Hidráulico con obras K3+600 – Fuente propia**



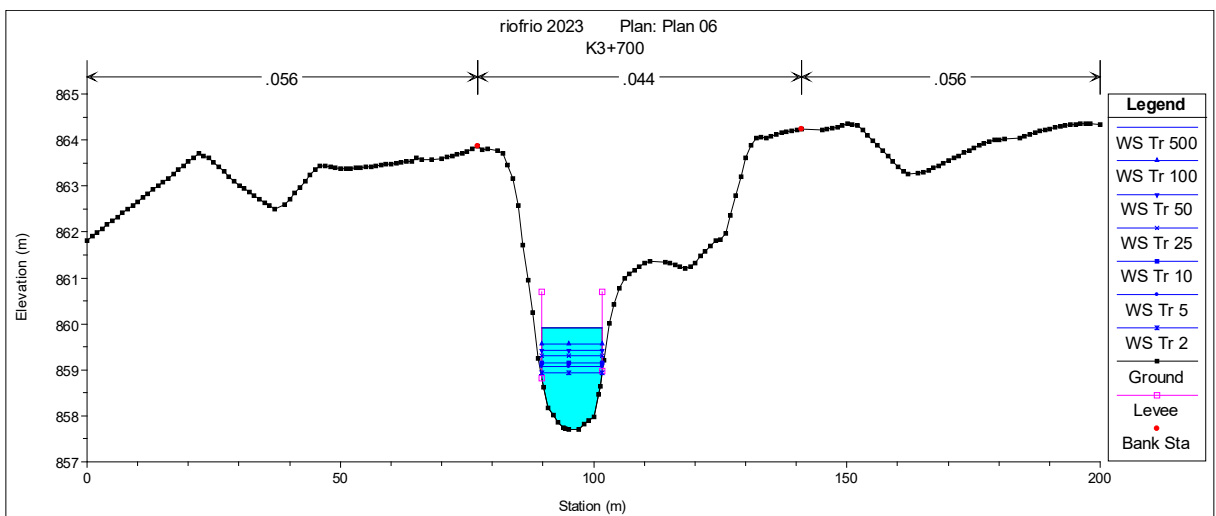
**Figura 21 Modelamiento Hidráulico con obras K3+625 – Fuente propia**



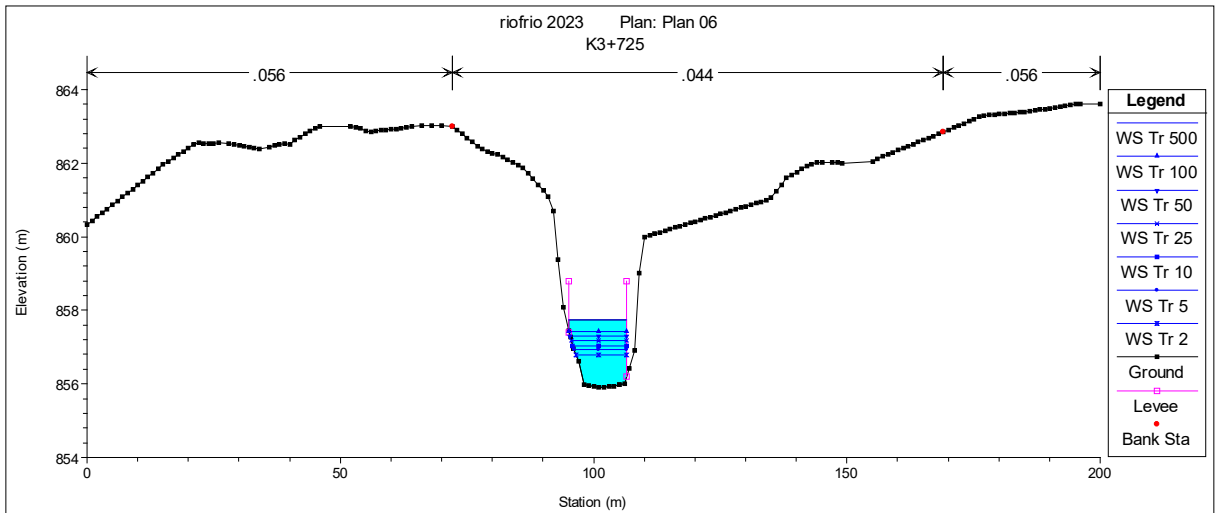
**Figura 22 Modelamiento Hidráulico con obras K3+650 – Fuente propia**



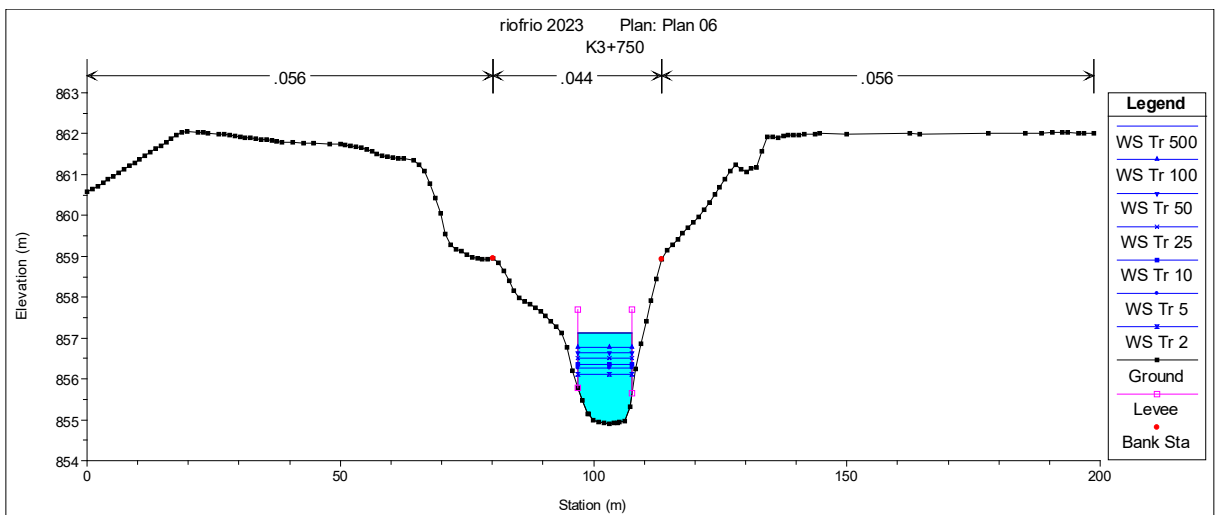
**Figura 23 Modelamiento Hidráulico con obras K3+675 – Fuente propia**



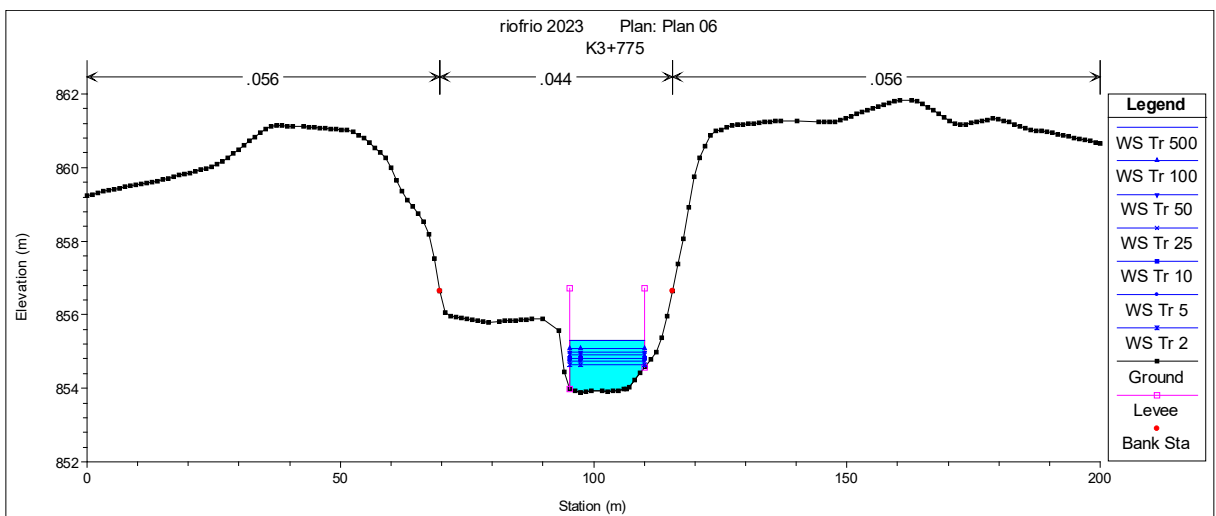
**Figura 24 Modelamiento Hidráulico con obras K3+700 – Fuente propia**



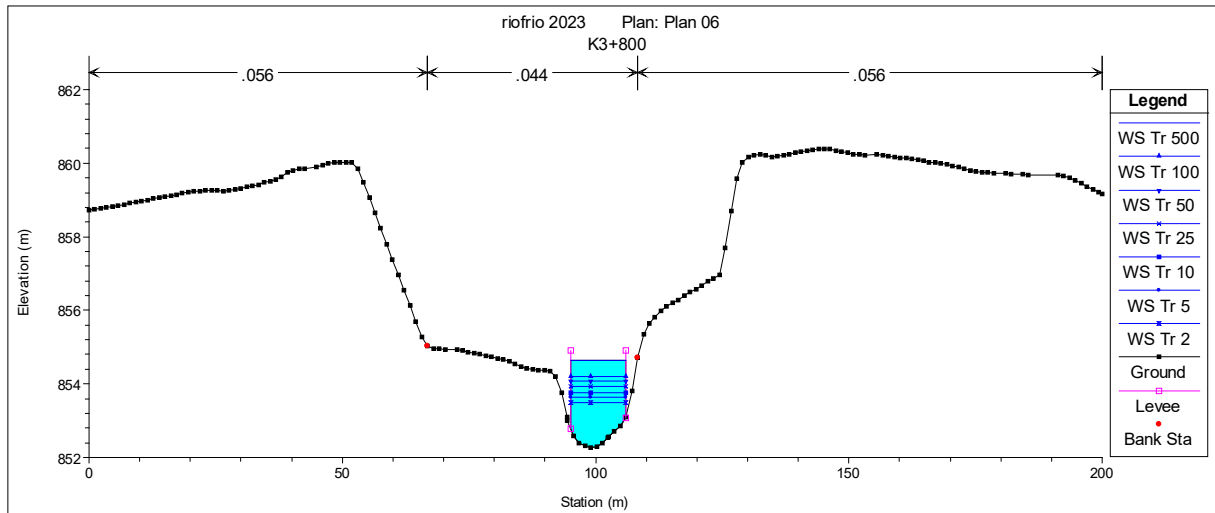
**Figura 25 Modelamiento Hidráulico con obras K3+725 – Fuente propia**



**Figura 26 Modelamiento Hidráulico con obras K3+750 – Fuente propia**



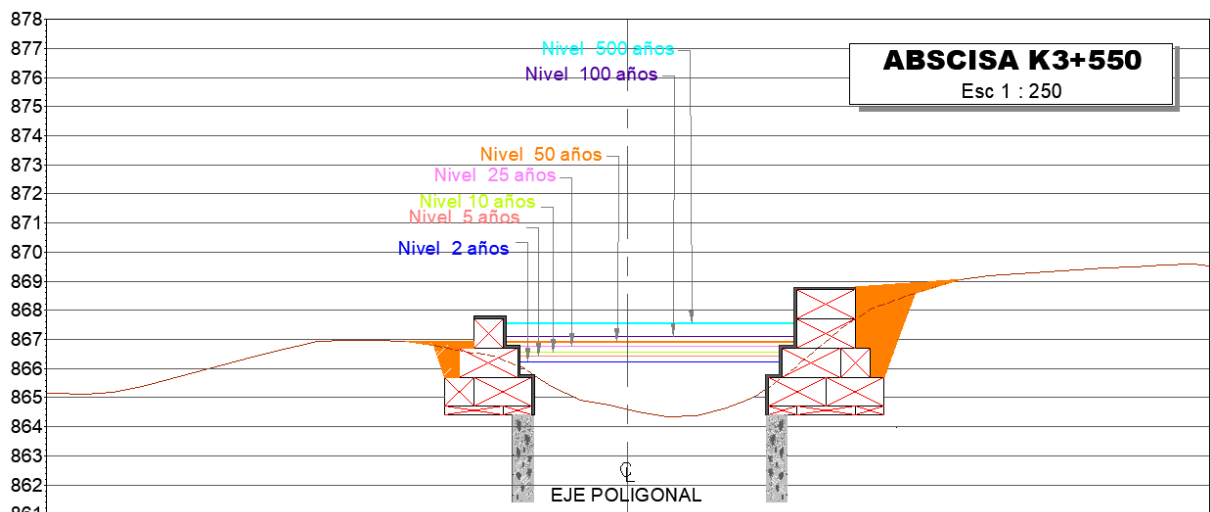
**Figura 27 Modelamiento Hidráulico con obras K3+775 – Fuente propia**



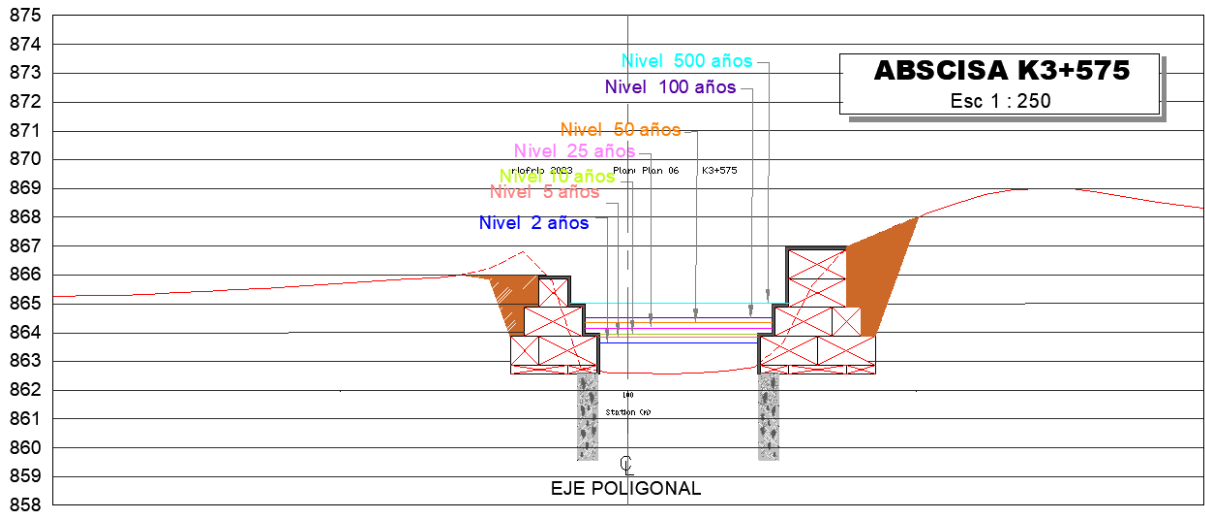
**Figura 28 Modelamiento Hidráulico con obras K3+800 – Fuente propia**

Con base en los resultados del modelamiento hidráulico, se dimensionaron los muros en gavión para protección de las márgenes del cauce y control de las franjas inundables, cuyo alineamiento en planta y secciones transversales pueden consultarse en los planos adjuntos.

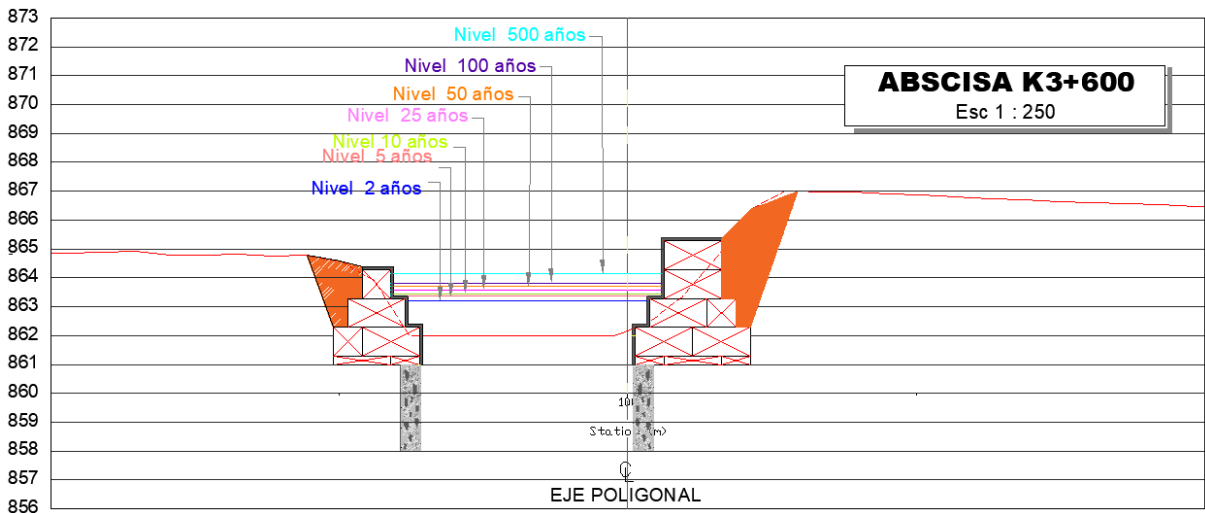
Los muros existentes en el Río Frío en el sector objeto del presente estudio, están a punto de colapsar por efecto de la socavación lateral de cauce; por lo cual, el estudio de la CDMB del año 2011 determinó una socavación del Río Frío de entre 2 m y 3 m de profundidad; por lo cual, los muros proyectados tendrán en su base un dentellón en concreto ciclópeo de 3 m de profundidad, localizado debajo de la cara húmeda del gavión. En las siguientes Figuras se presentan las secciones transversales de los muros proyectados, las cuales también pueden revisarse en los planos anexos.



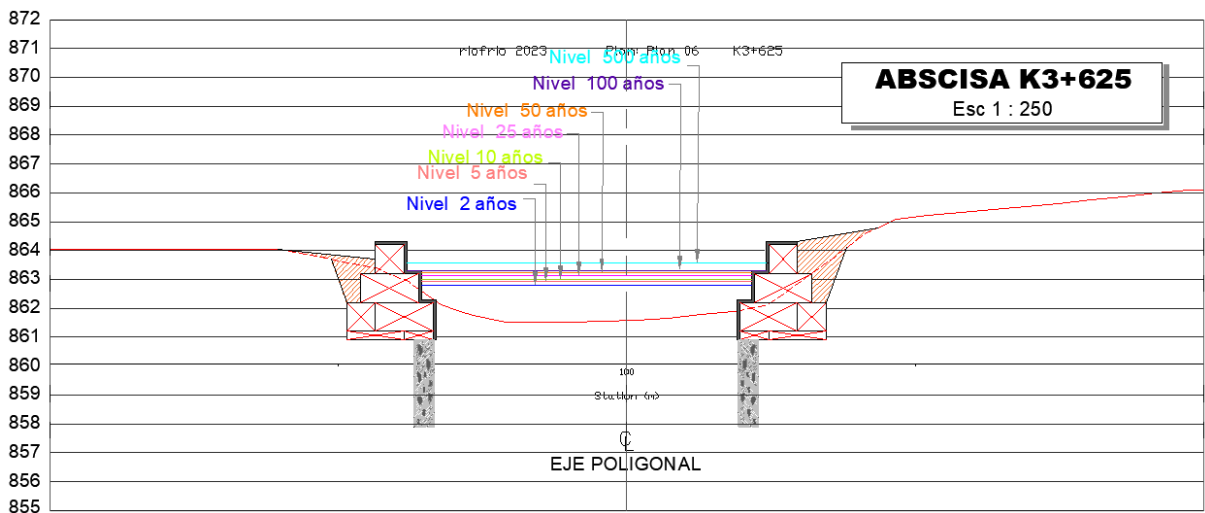
**Figura 29 Sección Transversal con muros diseñados K3+550**



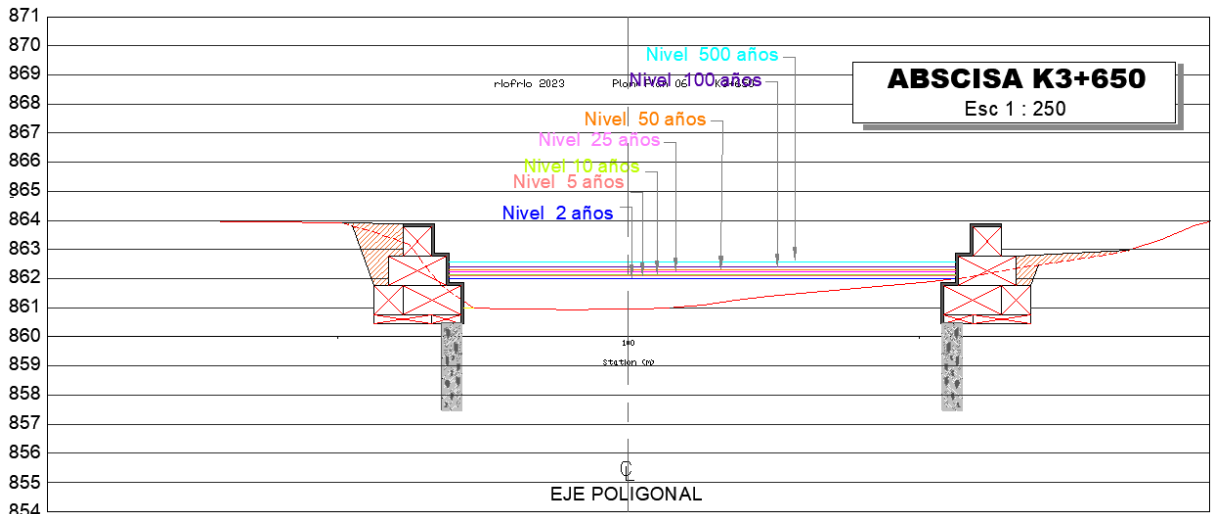
**Figura 30 Sección Transversal con muros diseñados K3+575**



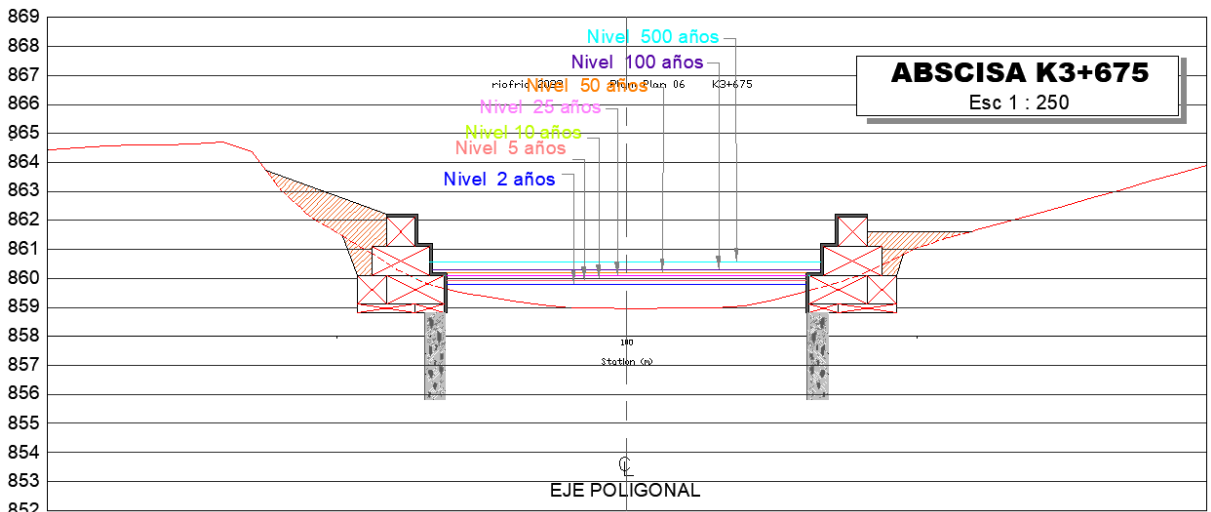
**Figura 31 Sección Transversal con muros diseñados K3+600**



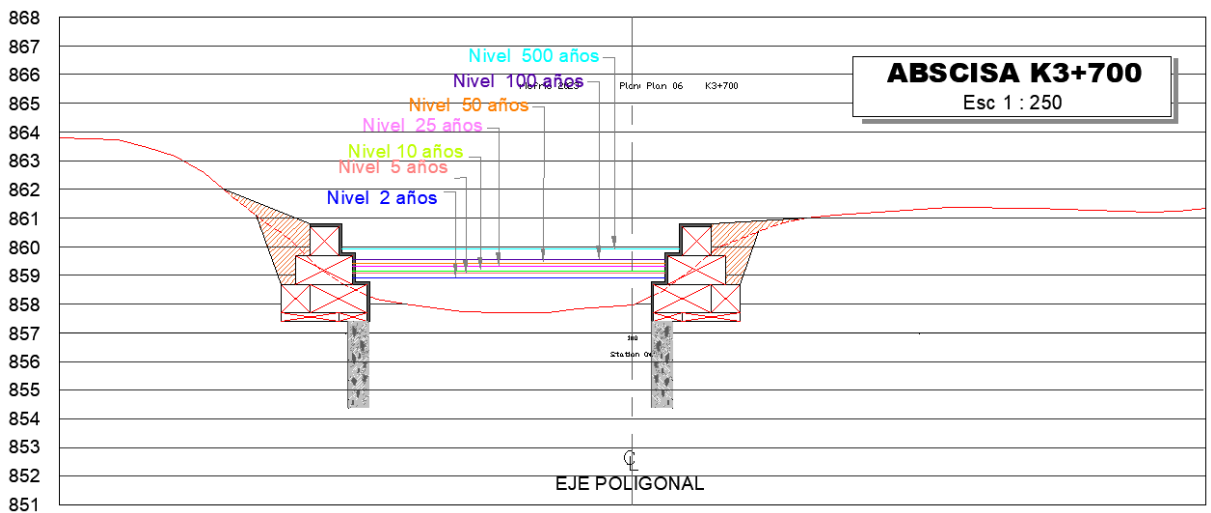
**Figura 32 Sección Transversal con muros diseñados K3+625**



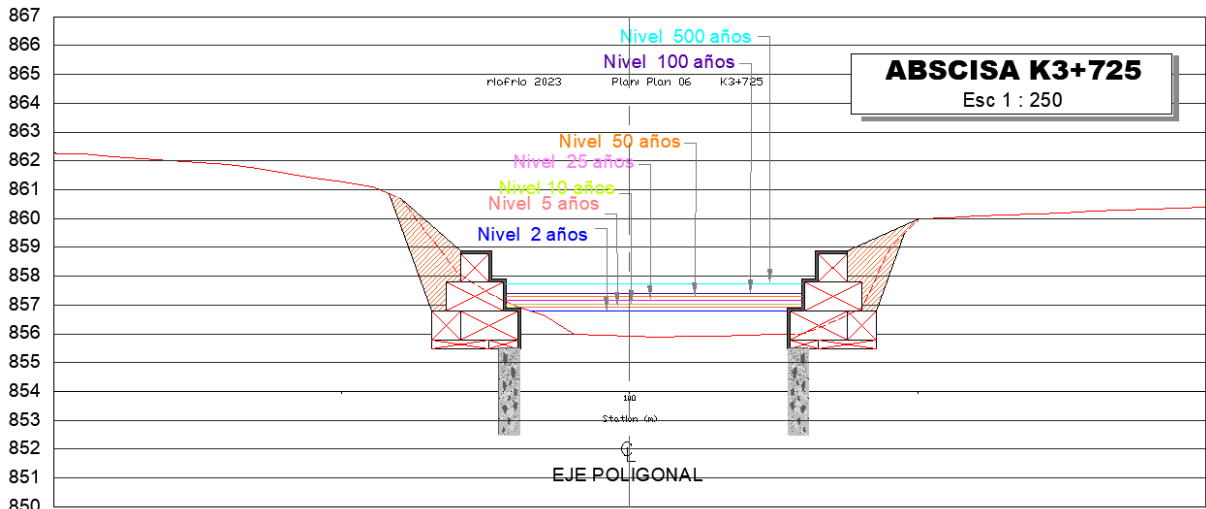
**Figura 33 Sección Transversal con muros diseñados K3+650**



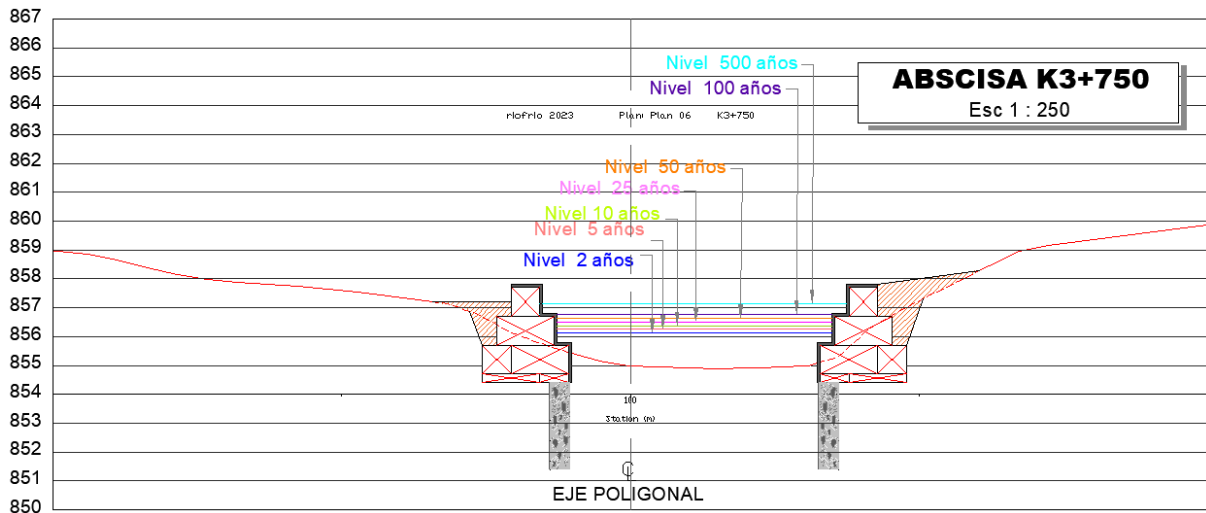
**Figura 34 Sección Transversal con muros diseñados K3+675**



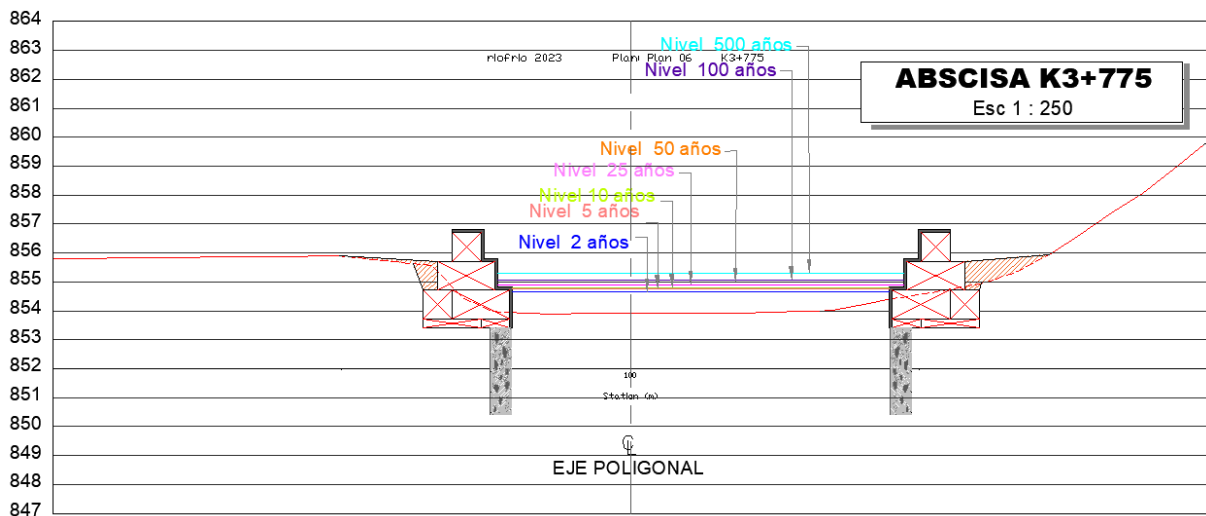
**Figura 35 Sección Transversal con muros diseñados K3+700**



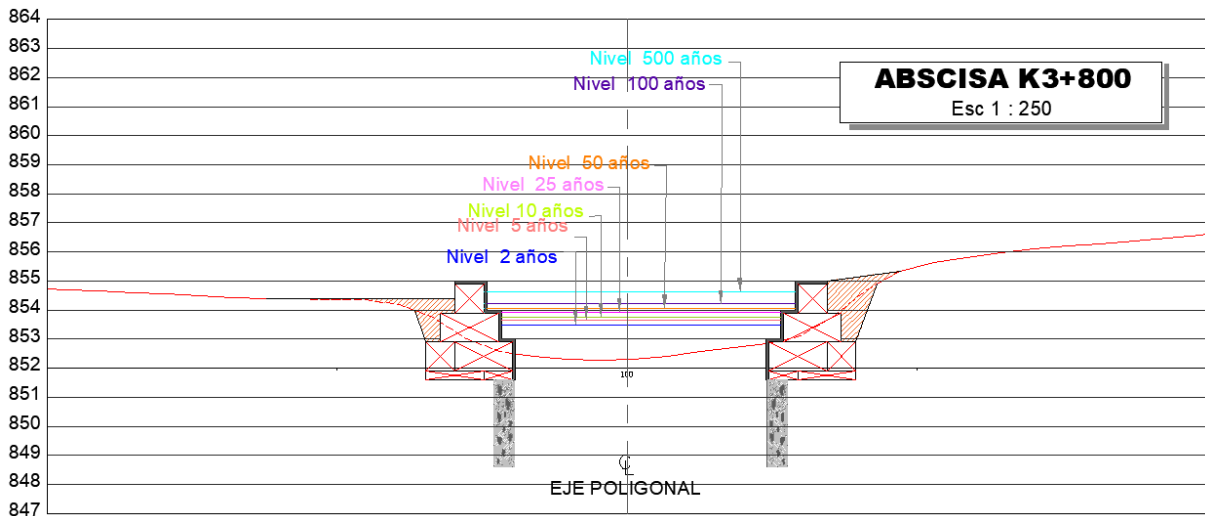
**Figura 36 Sección Transversal con muros diseñados K3+725**



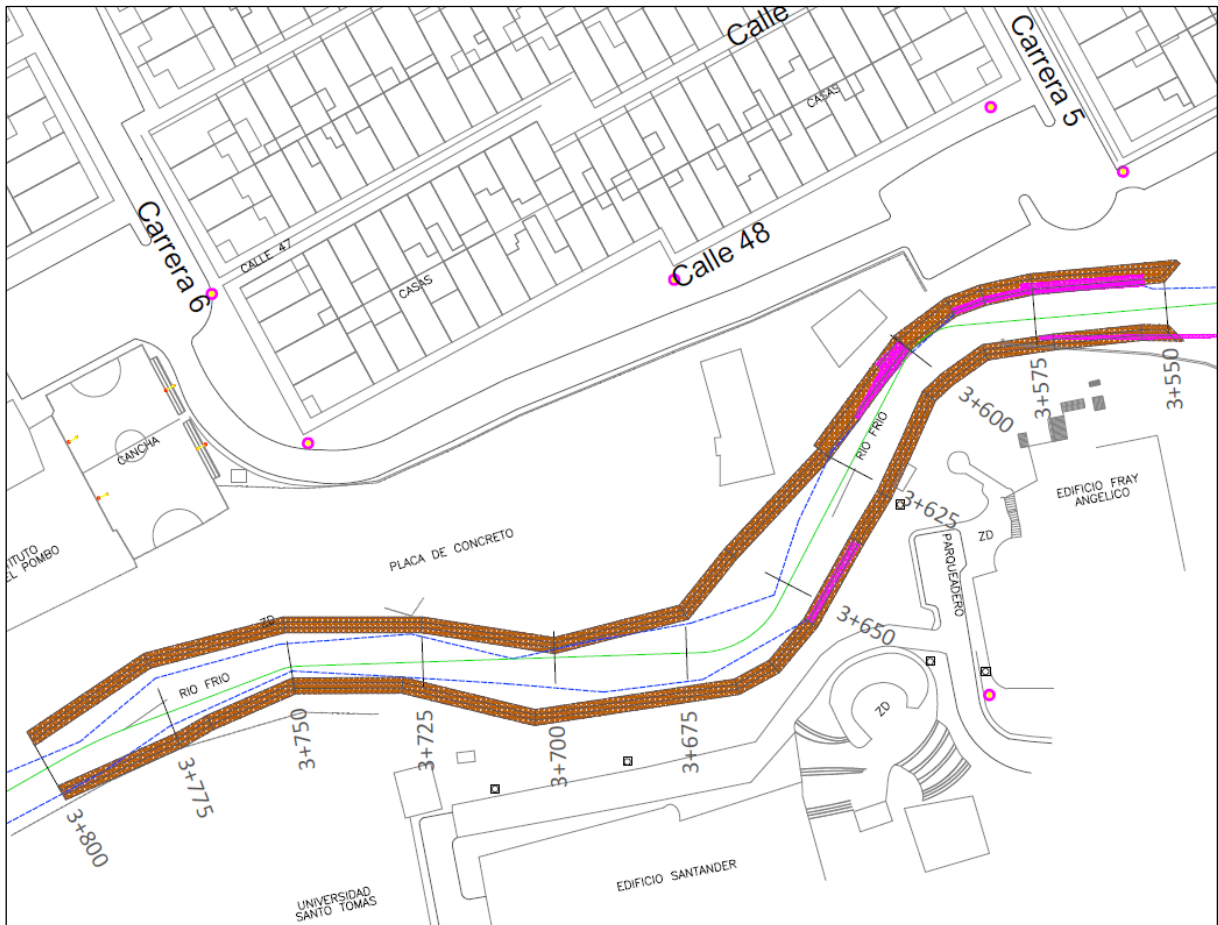
**Figura 37 Sección Transversal con muros diseñados K3+750**



**Figura 38 Sección Transversal con muros diseñados K3+775**



**Figura 39 Sección Transversal con muros diseñados K3+800**



**Figura 40 Planta con obras proyectadas**

## 7. PRESUPUESTO

A continuación, se presenta el presupuesto base de la obra proyectada para control de cauce en el Río Frío a la altura del Barrio Lagos II del Municipio de Floridablanca, entre las carreras 5 y 6.

Así mismo en el Anexo 1 se presenta el cronograma de obra y en el Anexo 2 los planos de planta y secciones transversales de las obras proyectadas.

**Tabla 19 Presupuesto de Obra**

OBJETO: CONSTRUCCION DE OBRA PARA MITIGAR FENOMENOS POR INUNDACION					
FORMULARIO DE CANTIDADES APROXIMADAS DE OBRA Y PRECIOS					
ITEM	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>SECCION PRIMERA</b>					
1.20	REPLANTEO, CONTROL Y MEDICION DE OBRA	6.00	MES	\$ 9,763,189.00	\$ 58,579,134.00
1.40	Desmante de Gaviones de cuerpo 2.00 x 1.00 x 1.00	508.35	M3	\$ 4,905.00	\$ 2,493,478.72
1.50	RETIRO DE BASURAS, ESCOMBROS Y SOBRESANTES (AL BOTADERO AUTORIZADO)	5655.71	M3	\$ 72,364.00	\$ 409,269,640.98
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 470,342,253.70</b>
<b>SECCION SEGUNDA</b>					
2,1A2	EXCAVACION EN MATERIAL GRANULAR A CUALQUIER PROFUNDIDAD	4540.77	M3	\$ 44,317.00	\$ 201,233,304.09
2.4.1	SUMINISTRO, CONFORMACION Y COMPACTACION DE MATERIAL SELECCIONADO	1439.92	M3	\$ 131,551.00	\$ 189,422,587.04
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 390,655,891.13</b>
<b>SECCION TERCERA</b>					
3,7B	CONSTRUCCIÓN GAVIONES EN MALLA ELECTROSOLDADA DE (2.0X1.0X1.0 metros)	3375.00	M3	\$ 354,530.00	\$ 1,196,538,750.00
3,7C	CONSTRUCCIÓN GAVIONES EN MALLA ELECTROSOLDADA DE (0.30X1.0X2.0 metros)	472.50	M3	\$ 225,508.00	\$ 106,552,530.00
3.1B	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CONCRETO Ciclópeo=65% Concreto 3500Psi y 35% Rajon de piedra	1050.00	M3	\$ 621,770.00	\$ 652,858,500.00
3.10	Suministro y colocación de Recubrimiento en concreto de 3500 psi de E=10 cm	1575.00	M2	\$ 453,205.00	\$ 713,797,875.00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 2,669,747,655.00</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 3,530,745,799.83</b>
ADMINISTRACIÓN				23%	\$ 812,071,533.96
IMPREVISTOS				1%	\$ 35,307,458.00
UTILIDADES				6%	\$ 211,844,747.99
A.I.U					\$ 1,059,223,739.95
<b>SUBTOTAL BASICO OBRAS</b>					<b>\$ 4,589,969,539.78</b>
IVA/UTILIDAD				19%	\$ 40,250,502.1200
<b>VALOR TOTAL OBRAS IVA INCLUIDO</b>					<b>\$ 4,630,220,041.90</b>
VALOR AJUSTE ESTUDIOS Y DISEÑOS					\$ 20,000,000.00
IVA ESTUDIOS Y DISEÑOS				19%	\$ 3,800,000.00
<b>VALOR TOTAL AJUSTE ESTUDIOS Y DISEÑOS</b>					<b>\$ 23,800,000.00</b>
<b>VALOR TOTAL BASICO PROYECTO</b>					<b>\$ 4,654,020,041.90</b>
ADMINISTRACIÓN FIDUCIARIA				5%	\$ 232,701,002.00
INTERVENTORIA				7%	\$ 325,781,402.00
<b>VALOR TOTAL DEL PROYECTO (OBRA + INTERVENTORIA)</b>					<b>\$ 5,212,502,445.90</b>

## 8. CONCLUSIONES

Los caudales de diseño se calcularon para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, cumpliendo con lo establecido por las Normas Geotécnicas de la CDMB, y con base en los resultados del “*Estudio de Zonificación Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Media del Río Frío*” contratado por la CDMB.

Para el modelamiento hidráulico se calcularon los diferentes valores del coeficiente de rugosidad “n” de la ecuación de Manning, por medio de la metodología de Cowan, con lo cual se disminuye la subjetividad, y cuyos valores concuerdan con los utilizados en los estudios previos de la CDMB y el AMB. Las secciones transversales del modelo hidráulico del Río Frío, corresponden al levantamiento topográfico cauce, incluyendo los muros proyectados, para verificar que su altura supere los niveles de la lámina de agua para eventos de creciente con periodos de retorno de 100 y 500 años.

En la Foto 1 y la Foto 2 puede observarse que las obras de control de cauce se encuentran socavadas por el Río Frío, con colapsos parciales y totales en varios tramos, por lo cual es urgente su remplazo y/o reparación.

Los resultados de los modelamientos hidráulicos del Estudio de Amenaza por Inundación de Río Frío contratado por la CDMB, muestran que bajo las condiciones actuales, existe amenaza por inundación al interior de la sede Floridablanca de la USTA y amenaza por procesos de socavación lateral de cauce sobre la margen del barrio Lagos II, por lo cual, se proyectan muros en gavión con una altura que alcance el nivel de la creciente máxima, cimentados sobre un dentellón en concreto ciclópeo con una profundidad de 3 m, superior a la socavación de fondo calculada por el estudio de la CDMB del año 2011.

El modelamiento hidráulico del cauce arroja que las estructuras proyectadas evitan el desbordamiento del Río Frío y frenan el avance de la línea de erosión.

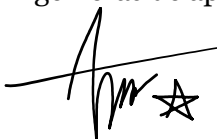
Se recomienda la ejecución de las obras proyectadas, teniendo en cuenta el mal estado de los muros existentes, con evidente riesgo de colapso por la socavación ejercida por el cauce de Río Frío, de modo que se mitigue la amenaza por inundación identificada.

Consultor:



**EDGAR JAVIER LEAL ARCHILA**  
Ingeniero Civil – Asesor Hidráulico  
Matrícula Profesional 68202132453 STD  
Contratista CDMB

Ingenieras de apoyo:



**ALEJANDRA MARÍA HERNÁNDEZ GUTIERREZ**  
Practicante de Ingeniería Civil – CDMB

Sarai A Barajas C

**SARAI ANDREA BARAJAS CABARIQUE**  
Practicante de Ingeniería Civil – CDMB

Revisó:



**JESÚS EVELIO SÁNCHEZ SÁNCHEZ**  
Profesional Universitario Grado 11  
Coordinador de Gestión del Riesgo CDMB

## **TABLA DE CONTENIDO**

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	OBJETIVOS .....	2
2.1.	OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
3.	LOCALIZACIÓN.....	3
4.	HIDROLOGÍA RÍO FRÍO.....	5
4.1.	INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA .....	5
4.2.	PRECIPITACIÓN.....	7
4.2.1.	Análisis de los datos de precipitación .....	7
4.2.2.	Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia IDF sintéticas.....	8
4.3.	ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN.....	8
4.3.1.	Método del Soil Conservation Service (SCS) Para el Cálculo de Abstracciones y Precipitación Efectiva.....	8
4.3.2.	Número de Curva de Escorrentía (CN).....	10
4.3.3.	Clasificación Hidrológica de los Suelos.....	10
4.3.4.	Uso y Tratamiento del Suelo.....	11
4.3.5.	Condición Hidrológica del Suelo .....	11
4.3.6.	Transformación Lluvia Escorrentía – Hidrograma Unitario del SCS .....	12
4.4.	HIDROGRAMA DE CAUDAL .....	13
4.4.1.	Consideraciones Generales.....	13
4.4.2.	Características de las Subcuencas.....	13
4.4.3.	Tiempo de Retardo .....	14
4.4.4.	Número de Curva (CN) .....	15
4.4.5.	Estimación de las Curvas IDF para las Estaciones Representativas.....	16
4.4.6.	Tormenta de Diseño .....	22
4.5.	SIMULACIÓN DE CAUDALES MODELO HEC-HMS.....	24
4.6.	CAUDALES DE DISEÑO .....	25
5.	MODELAMIENTO HIDRÁULICO .....	26
5.1.	MODELACIÓN MATEMÁTICA CON HEC – RAS .....	26
5.2.	CÁLCULO DE LOS PERFILES DE FLUJO (FLUJO GRADUALMENTE VARIADO) .....	27
5.3.	MÉTODO DEL PASO ESTÁNDAR .....	29
5.3.1.	Procesamiento de Información Topográfica.....	29
5.3.2.	Implementación del Modelo Matemático.....	29

5.4.	PARÁMETROS PARA EL MODELAMIENTO .....	30
5.4.1.	Condiciones de Frontera.....	30
5.4.1.	Coefficiente de Rugosidad “n” de Manning .....	30
5.4.1.	Consideraciones generales para la Modelación .....	34
6.	RESULTADO DEL MODELAMIENTO CON LAS OBRAS PROYECTADAS .....	35
7.	PRESUPUESTO .....	44
8.	CONCLUSIONES .....	45

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 AMENAZA RÍO FRÍO CON OBRAS Y AISLAMIENTO SECTOR DE INTERÉS – FUENTE: ESTUDIO CDMB 2011 .....	3
FIGURA 2 LOCALIZACIÓN DEL MURO PROYECTADO – FUENTE: ESTUDIO GEOTÉCNICO CDMB.....	4
FIGURA 3 LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES – FUENTE: ESTUDIO CDMB .....	6
FIGURA 4 MÉTODO DE ABSTRACCIONES DEL SCS – SOIL CONSERVATION SERVICE – SCS.....	9
FIGURA 5 HIDROGRAMA UNITARIO SCS.....	12
FIGURA 6 USOS POTENCIALES MICROCUENCA DEL RÍO FRÍO – FUENTE: ESTUDIO CDMB.....	15
FIGURA 7 CURVAS IDF – ESTACIÓN EL PICACHO.....	17
FIGURA 8 CURVAS IDF – ESTACIÓN LA FLORESTA.....	18
FIGURA 9 CURVAS IDF – ESTACIÓN BUCARAMANGA.....	19
FIGURA 10 CURVAS IDF – ESTACIÓN GRANJA PIEDECUESTA .....	20
FIGURA 11 CURVAS IDF – ESTACIÓN LA GALVICIA .....	21
FIGURA 12 DISTRIBUCIÓN DE TORMENTAS – ARGUELLO Y FUENTES (2009) .....	22
FIGURA 13 INTERPOLACIÓN PARA TR = 500 AÑOS – FUENTE: ESTUDIO CDMB.....	23
FIGURA 14 TOPOLOGÍA IMPLEMENTADA PARA LA MODELACIÓN DE LA MICROCUENCA RÍO FRÍO – FUENTE: ESTUDIO CDMB .....	25
FIGURA 15 HIDROGRAMA DE CAUDALES RÍO FRÍO HASTA EL SECTOR DE INTERÉS – FUENTE PROPIA.....	26
FIGURA 16 ANÁLISIS FLUJO GRADUALMENTE VARIADO .....	27
FIGURA 17 CONDICIONES DE FRONTERA UTILIZADAS EN EL MODELO HIDRÁULICO DE RÍO FRÍO .....	30
FIGURA 18 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+550 – FUENTE PROPIA .....	35
FIGURA 19 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+575 – FUENTE PROPIA.....	36
FIGURA 20 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+600 – FUENTE PROPIA.....	36
FIGURA 21 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+625 – FUENTE PROPIA .....	36
FIGURA 22 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+650 – FUENTE PROPIA .....	37
FIGURA 23 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+675 – FUENTE PROPIA .....	37
FIGURA 24 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+700 – FUENTE PROPIA.....	37
FIGURA 25 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+725 – FUENTE PROPIA .....	38
FIGURA 26 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+750 – FUENTE PROPIA .....	38
FIGURA 27 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+775 – FUENTE PROPIA.....	38
FIGURA 28 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON OBRAS K3+800 – FUENTE PROPIA.....	39
FIGURA 29 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+550 .....	39
FIGURA 30 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+575.....	40
FIGURA 31 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+600 .....	40
FIGURA 32 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+625 .....	40
FIGURA 33 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+650 .....	41
FIGURA 34 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+675.....	41
FIGURA 35 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+700 .....	41
FIGURA 36 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+725.....	42
FIGURA 37 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+750 .....	42
FIGURA 38 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+775.....	42
FIGURA 39 SECCIÓN TRANSVERSAL CON MUROS DISEÑADOS K3+800.....	43
FIGURA 40 PLANTA CON OBRAS PROYECTADAS .....	43

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1	DATOS ESTACIONES – FUENTE: ESTUDIO CDMB.....	6
TABLA 2	COEFICIENTES DE LA CURVA IDF SINTÉTICA .....	8
TABLA 3	PRECIPITACIÓN ACUMULADA PARA CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE.....	11
TABLA 4	INFORMACIÓN DE LAS MICROCUENCAS AFERENTES .....	13
TABLA 5	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN MICROCUENCAS AFERENTES .....	14
TABLA 6	NÚMEROS DE CURVA PARA LOS USOS POTENCIALES .....	16
TABLA 7	NÚMERO DE CURVA CN PARA LAS MICROCUENCAS DEL RÍO FRÍO .....	16
TABLA 8	PARÁMETROS PARA ESTIMACIÓN DE CURVA IDF .....	16
TABLA 9	DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN EL PICACHO .....	17
TABLA 10	DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN LA FLORESTA.....	18
TABLA 11	DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN BUCARAMANGA .....	19
TABLA 12	DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN GRANJA PIEDECUESTA.....	20
TABLA 13	DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN LA GALVICIA.....	21
TABLA 14	PRECIPITACIÓN TOTAL PARA UN EVENTO – POR ESTACIONES .....	22
TABLA 15	PRECIPITACIÓN TOTAL PARA UN EVENTO POR MICROCUENCAS – FUENTE: ESTUDIO CDMB.....	22
TABLA 16	CAUDALES DE RÍO FRÍO EN EL SECTOR DE INTERÉS – FUENTE PROPIA .....	26
TABLA 17	VALORES PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD ECUACIÓN DE COWAN .....	33
TABLA 18	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD “N” DE MANNING POR EL MÉTODO DE COWAN .....	34
TABLA 19	PRESUPUESTO DE OBRA .....	44

## LISTA DE FOTOS

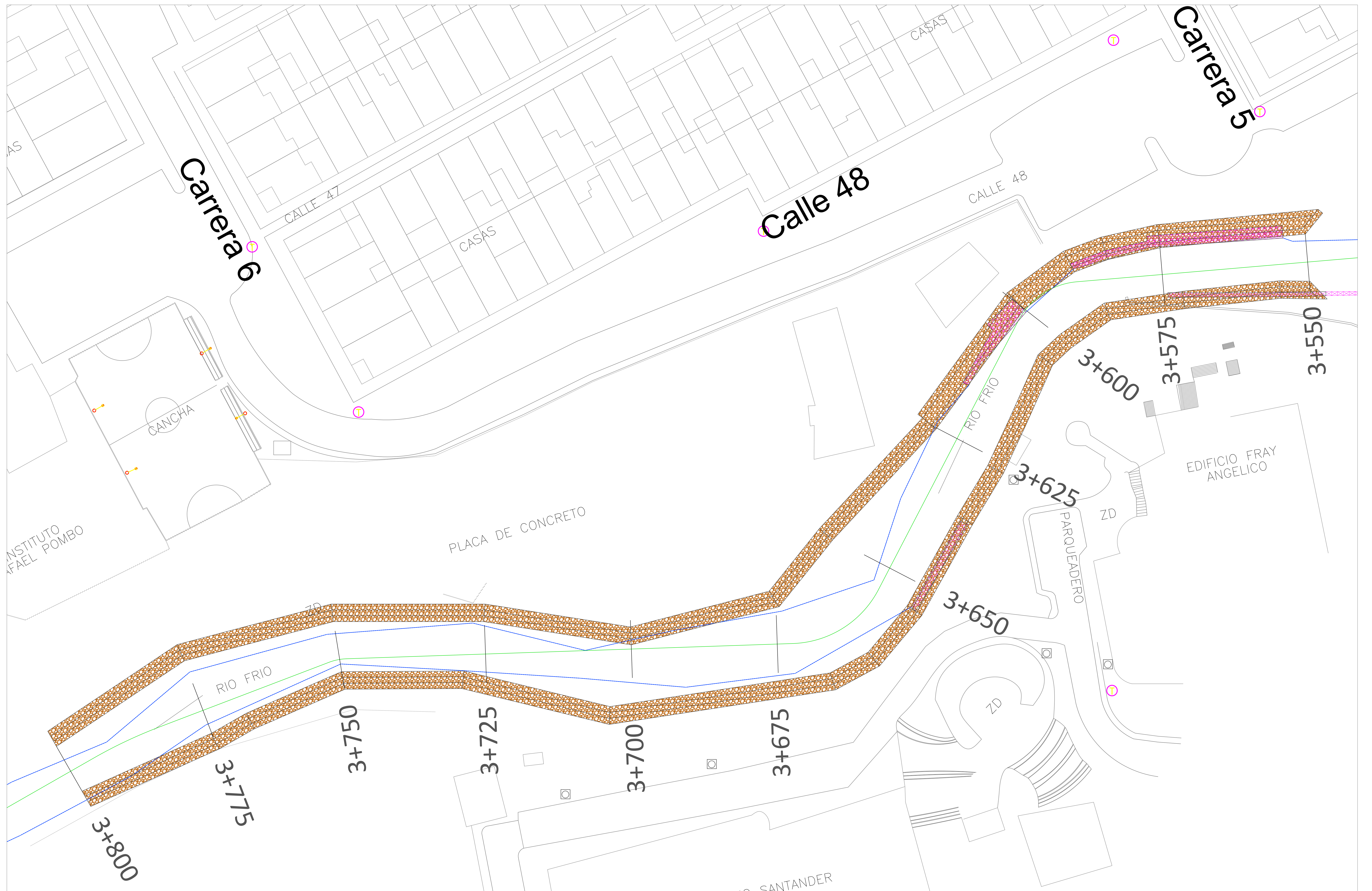
FOTO 1	SOCAVACIÓN DEL RÍO FRÍO DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN– FUENTE: ESTUDIO CDMB.....	1
FOTO 2	SOCAVACIÓN DEL RÍO FRÍO EN LA BASE DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN– FUENTE: ESTUDIO CDMB .	1

**ANEXO 1**  
**CRONOGRAMA**

**OBJETO: CONSTRUCCION DE OBRA PARA MITIGAR FENOMENOS POR INUNDACION**

ITEM	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR PARCIAL	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
<b>SECCION PRIMERA</b>										
1.20	REPLANTEO, CONTROL Y MEDICION DE OBRA	6.00	MES	\$ 58,579,134.00	\$ 19,526,378.00		\$ 19,526,378.00		\$ 19,526,378.00	
1.40	Desmante de Gaviones de cuerpo 2.00 x 1.00 x 1.00	508.35	M3	\$ 2,493,478.72	\$ 623,369.68	\$ 623,369.68		\$ 623,369.68	\$ 623,369.68	
1.50	RETIRO DE BASURAS, ESCOMBROS Y SOBRAINTES (AL	5655.71	M3	\$ 409,269,640.98	\$ 102,317,410.24	\$ 102,317,410.24		\$ 102,317,410.24	\$ 102,317,410.24	
	<b>SUBTOTAL</b>			\$ 470,342,253.70	\$ 122,467,157.93	\$ 102,940,779.93	\$ 19,526,378.00	\$ 102,940,779.93	\$ 122,467,157.93	\$ 0.00
<b>SECCION SEGUNDA</b>										
2,1A2	EXCAVACION EN MATERIAL GRANULAR A CUALQUIER PROFUNDIDAD	4540.77	M3	\$ 201,233,304.09	\$ 40,246,660.82	\$ 40,246,660.82	\$ 40,246,660.82	\$ 40,246,660.82	\$ 40,246,660.82	
2.4.1	SUMINISTRO, CONFORMACION Y COMPACTACION DE MATERIAL SELECCIONADO	1439.92	M3	\$ 189,422,587.04	\$ 37,884,517.41	\$ 37,884,517.41	\$ 37,884,517.41	\$ 37,884,517.41	\$ 37,884,517.41	
	<b>SUBTOTAL</b>			\$ 390,655,891.13	\$ 78,131,178.23	\$ 78,131,178.23	\$ 78,131,178.23	\$ 78,131,178.23	\$ 78,131,178.23	\$ 0.00
<b>SECCION TERCERA</b>										
3,7B	CONSTRUCCIÓN GAVIONES EN MALLA ELECTROSOLDADA DE (2.0X1.0X1.0 metros)	3375.00	M3	\$ 1,196,538,750.00		\$ 239,307,750.00	\$ 239,307,750.00	\$ 239,307,750.00	\$ 239,307,750.00	\$ 239,307,750.00
3,7C	CONSTRUCCIÓN GAVIONES EN MALLA ELECTROSOLDADA DE (0.30X1.0X2.0 metros)	472.50	M3	\$ 106,552,530.00		\$ 26,638,132.50	\$ 26,638,132.50	\$ 26,638,132.50	\$ 26,638,132.50	
3.1B	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CONCRETO Ciclópeo=65% Concreto 3500Psi y 35% Rajon de piedra	1050.00	M3	\$ 652,858,500.00	\$ 130,571,700.00	\$ 130,571,700.00	\$ 130,571,700.00	\$ 130,571,700.00	\$ 130,571,700.00	
3.10	Suministro y colocación de Recubrimiento en concreto de 3500 psi de E=10 cm	1575.00	M2	\$ 713,797,875.00		\$ 142,759,575.00	\$ 142,759,575.00	\$ 142,759,575.00	\$ 142,759,575.00	\$ 142,759,575.00
	<b>SUBTOTAL</b>			\$ 2,669,747,655.00	\$ 130,571,700.00	\$ 539,277,157.50	\$ 539,277,157.50	\$ 539,277,157.50	\$ 539,277,157.50	\$ 382,067,325.00
	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>			\$ 3,530,745,799.83	\$ 331,170,036.15	\$ 720,349,115.65	\$ 636,934,713.73	\$ 720,349,115.65	\$ 739,875,493.65	\$ 382,067,325.00
	ADMINISTRACIÓN	23%		\$ 812,071,533.96	\$ 76,169,108.31	\$ 165,680,296.60	\$ 146,494,984.16	\$ 165,680,296.60	\$ 170,171,363.54	\$ 87,875,484.75
	IMPREVISTOS	1%		\$ 35,307,458.00	\$ 3,311,700.36	\$ 7,203,491.16	\$ 6,369,347.14	\$ 7,203,491.16	\$ 7,398,754.94	\$ 3,820,673.25
	UTILIDADES	6%		\$ 211,844,747.99	\$ 19,870,202.17	\$ 43,220,946.94	\$ 38,216,082.82	\$ 43,220,946.94	\$ 44,392,529.62	\$ 22,924,039.50
	A.I.U			\$ 1,059,223,739.95	\$ 99,351,010.84	\$ 216,104,734.70	\$ 191,080,414.12	\$ 216,104,734.70	\$ 221,962,648.10	\$ 114,620,197.50
	<b>SUBTOTAL BASICO OBRAS</b>			\$ 4,589,969,539.78	\$ 430,521,046.99	\$ 936,453,850.35	\$ 828,015,127.85	\$ 936,453,850.35	\$ 961,838,141.75	\$ 496,687,522.50
	IVA/UTILIDAD	19%		\$ 40,250,502.12	\$ 3,775,338.41	\$ 8,211,979.92	\$ 7,261,055.74	\$ 8,211,979.92	\$ 8,434,580.63	\$ 4,355,567.51
	<b>VALOR TOTAL OBRAS IVA INCLUIDO</b>			\$ 4,630,220,041.90	\$ 434,296,385.40	\$ 944,665,830.27	\$ 835,276,183.58	\$ 944,665,830.27	\$ 970,272,722.38	\$ 501,043,090.01
	VALOR AJUSTE ESTUDIOS Y DISEÑOS			\$ 20,000,000.00	\$ 1,666,666.67	\$ 1,666,666.67	\$ 1,666,666.67	\$ 1,666,666.67	\$ 1,666,666.67	\$ 1,666,666.67
	IVA ESTUDIOS Y DISEÑOS	19%		\$ 3,800,000.00	\$ 316,666.67	\$ 316,666.67	\$ 316,666.67	\$ 316,666.67	\$ 316,666.67	\$ 316,666.67
	<b>VALOR TOTAL AJUSTE ESTUDIOS Y DISEÑOS</b>			\$ 23,800,000.00	\$ 1,983,333.33	\$ 1,983,333.33	\$ 1,983,333.33	\$ 1,983,333.33	\$ 1,983,333.33	\$ 1,983,333.33
	<b>VALOR TOTAL BASICO PROYECTO</b>			\$ 4,654,020,041.90	\$ 436,279,718.74	\$ 946,649,163.60	\$ 837,259,516.92	\$ 946,649,163.60	\$ 972,256,055.71	\$ 503,026,423.34
	ADMINISTRACIÓN FIDUCIARIA	5%		\$ 232,701,002.00	\$ 21,813,986.00	\$ 47,332,458.00	\$ 41,862,976.00	\$ 47,332,458.00	\$ 48,612,803.00	\$ 25,151,321.00
	INTERVENTORIA	7%		\$ 325,781,402.00	\$ 30,539,580.00	\$ 66,265,441.00	\$ 58,608,166.00	\$ 66,265,441.00	\$ 68,057,924.00	\$ 35,211,850.00
	<b>VALOR TOTAL DEL PROYECTO (OBRA + INTERVENTORIA)</b>			\$ 5,212,502,445.90	\$ 488,633,284.74	\$ 1,060,247,062.60	\$ 937,730,658.92	\$ 1,060,247,062.60	\$ 1,088,926,782.71	\$ 563,389,594.34

**ANEXO 2**  
**PLANOS**



**CORPORACIÓN  
AUTÓNOMA  
REGIONAL  
PARA LA  
DEFENSA DE LA  
MESETA DE  
BUCARAMANGA**

**DISEÑO Y CÁLCULO**  
*Edgar Leal*  
**Ing. Civil Edgar Javier Leal Archila**  
 Mat. Profesional 68202132453 STD

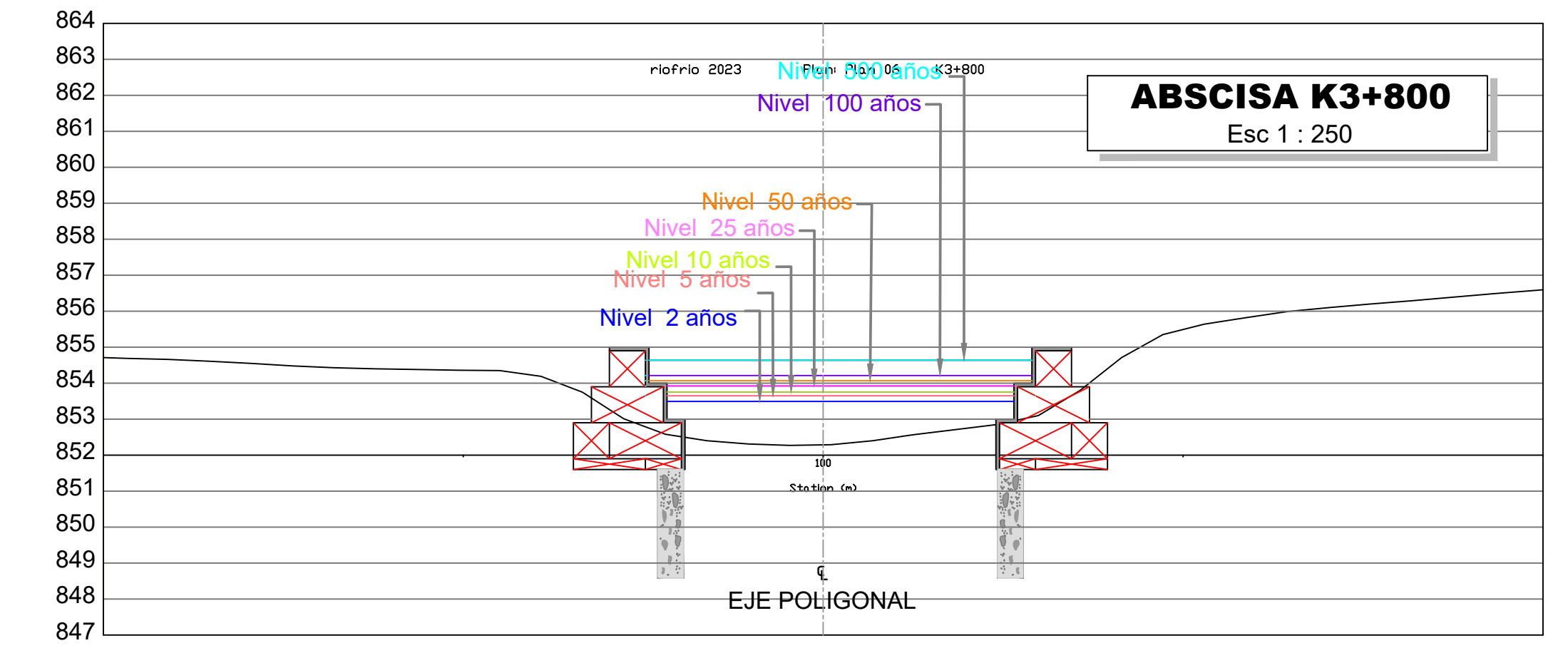
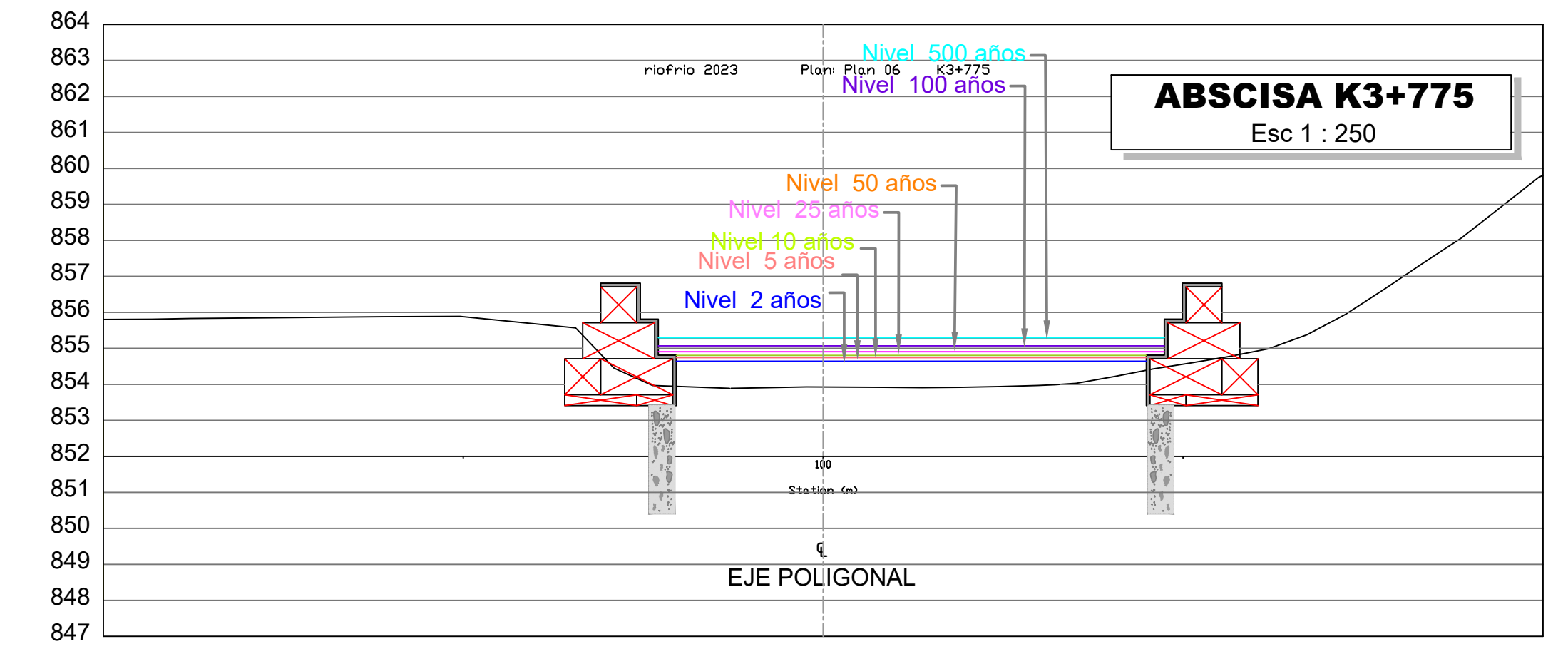
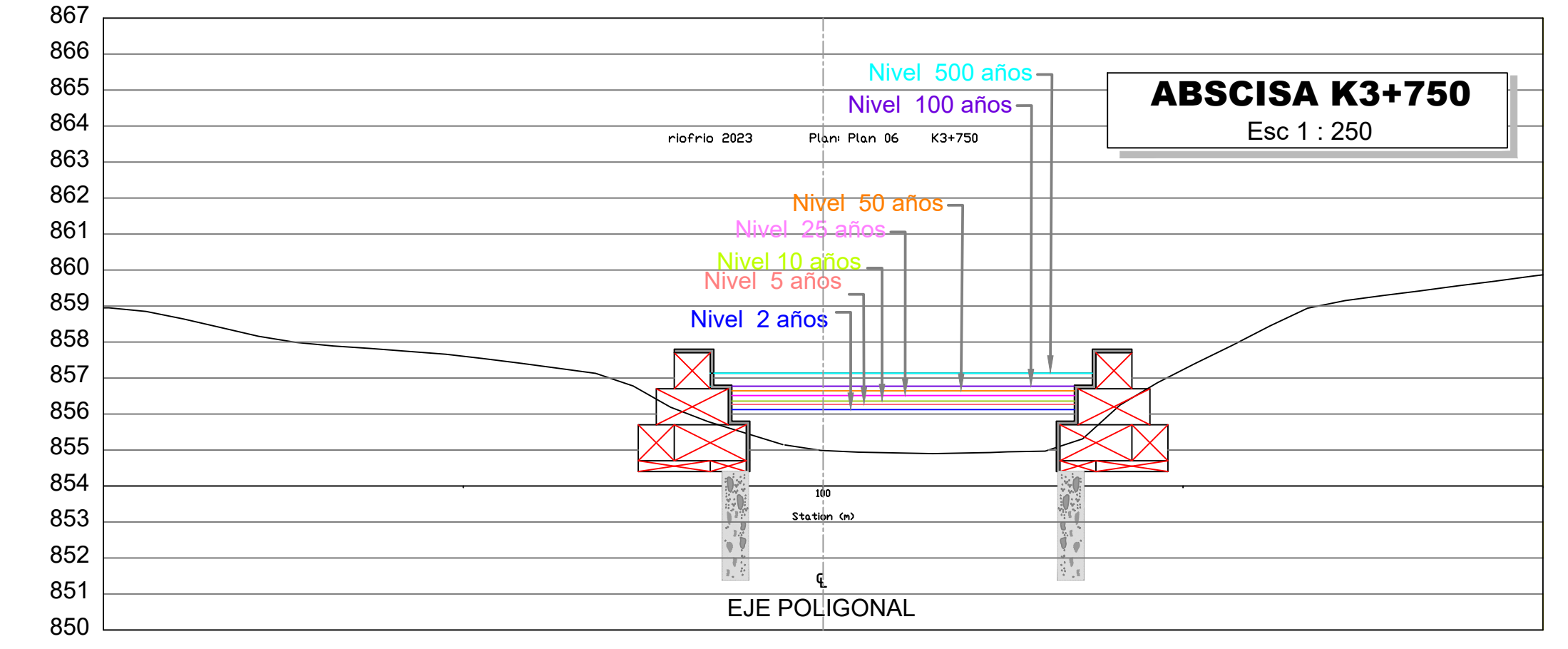
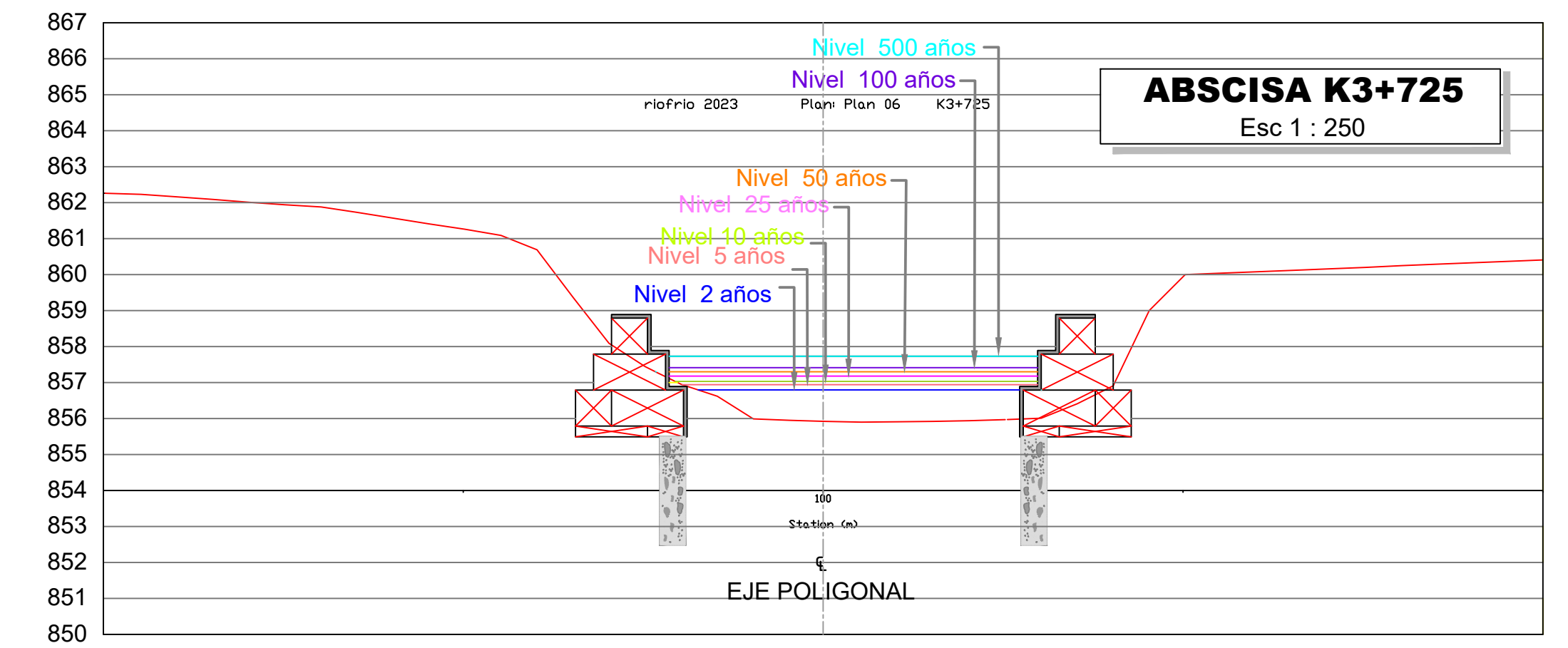
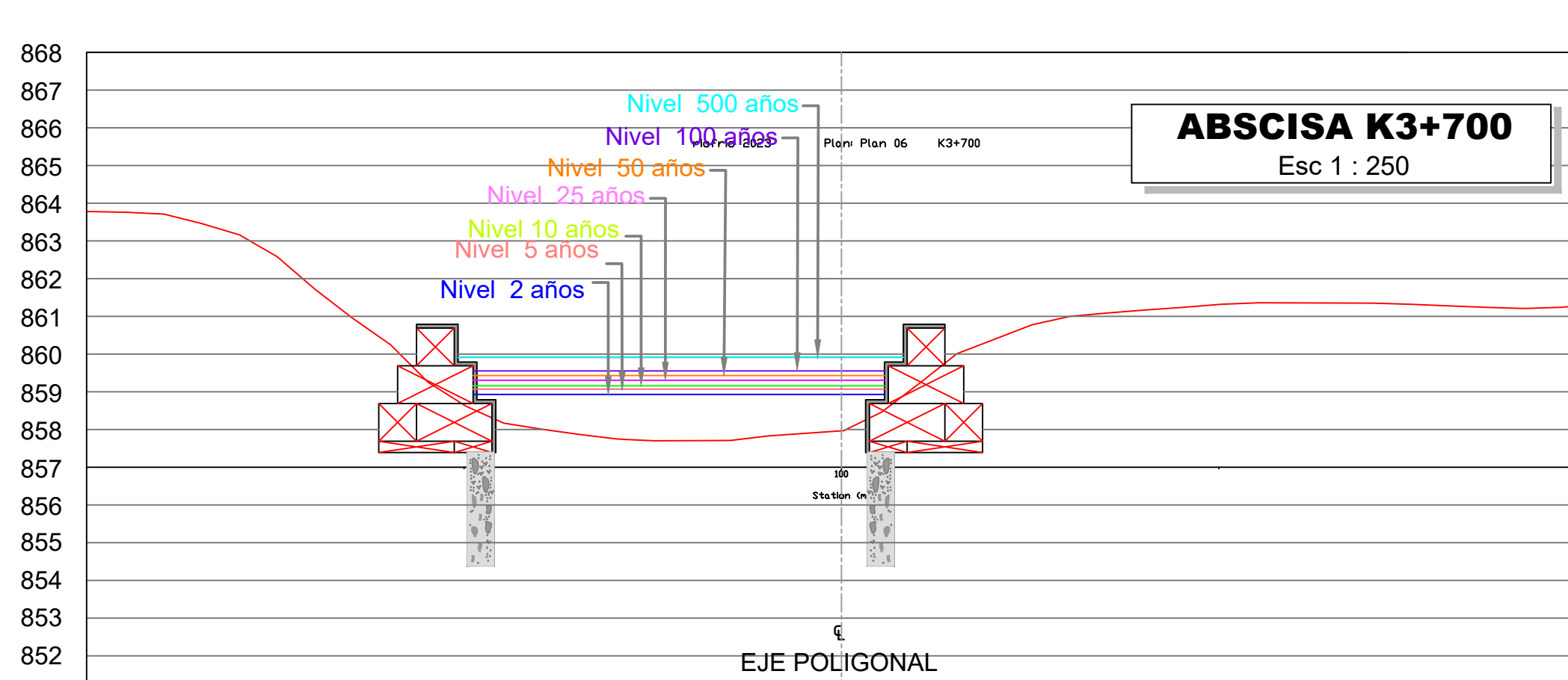
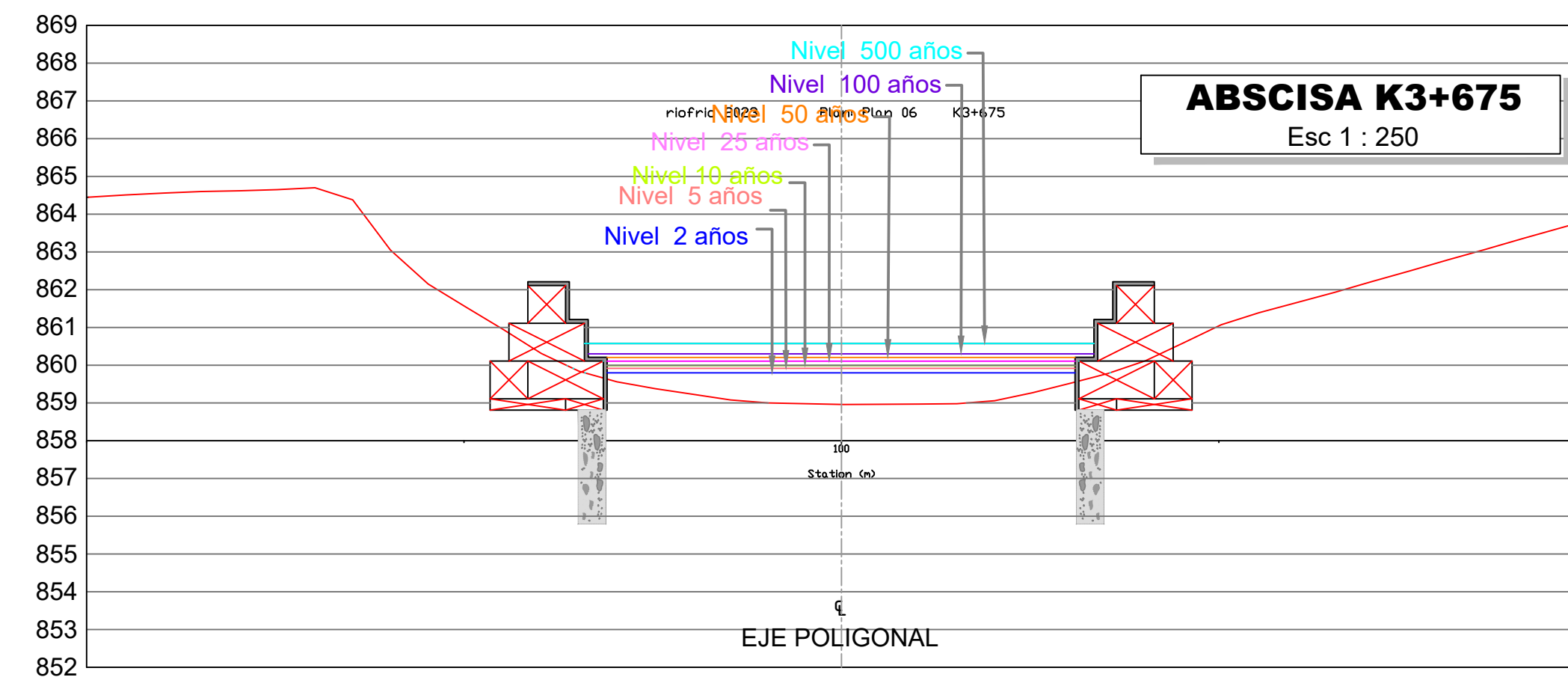
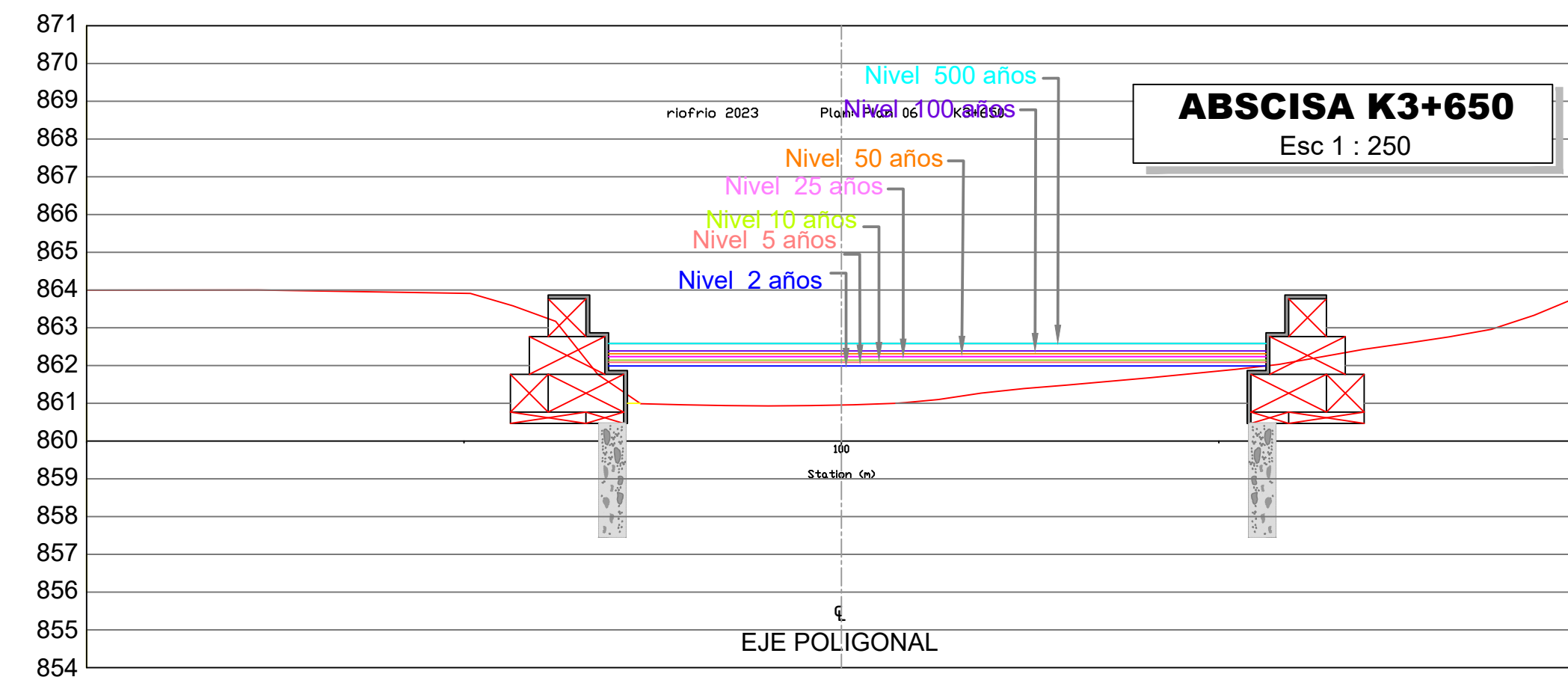
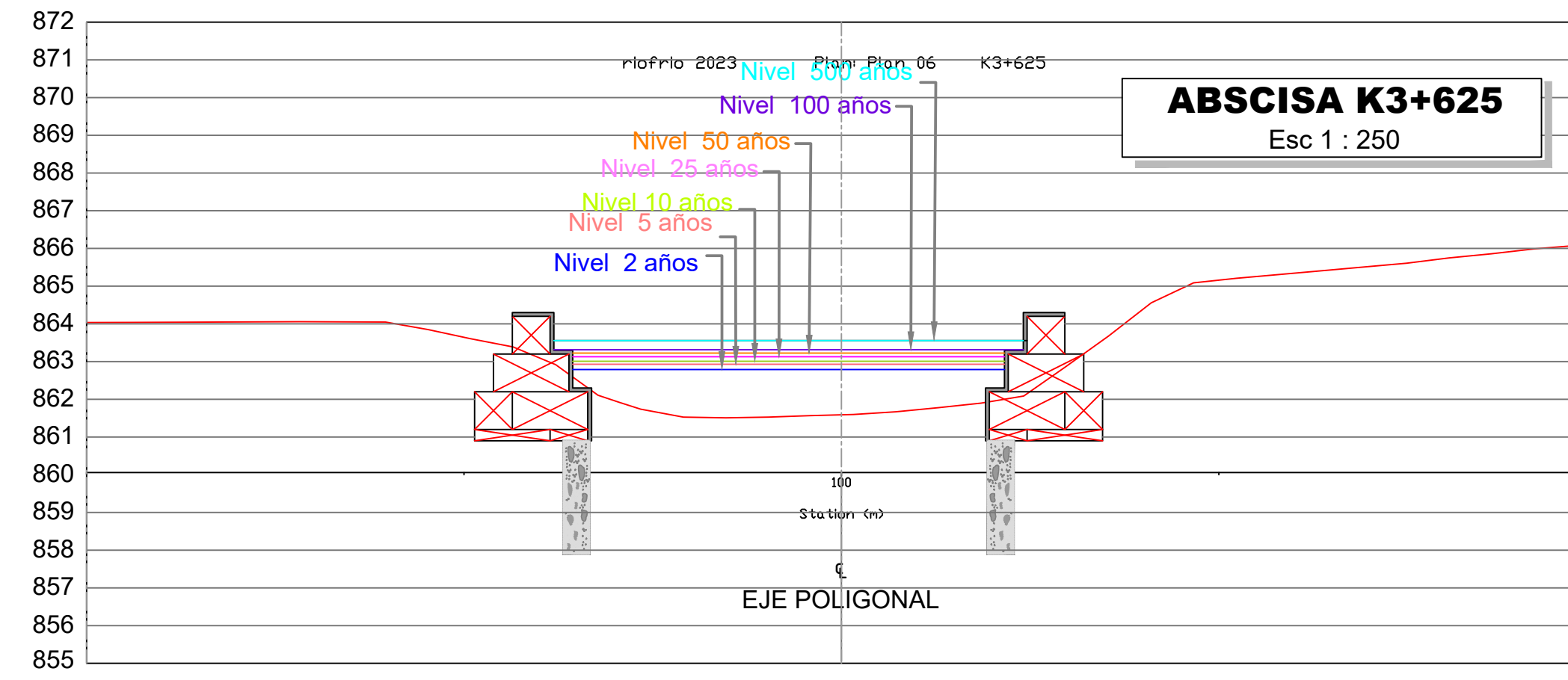
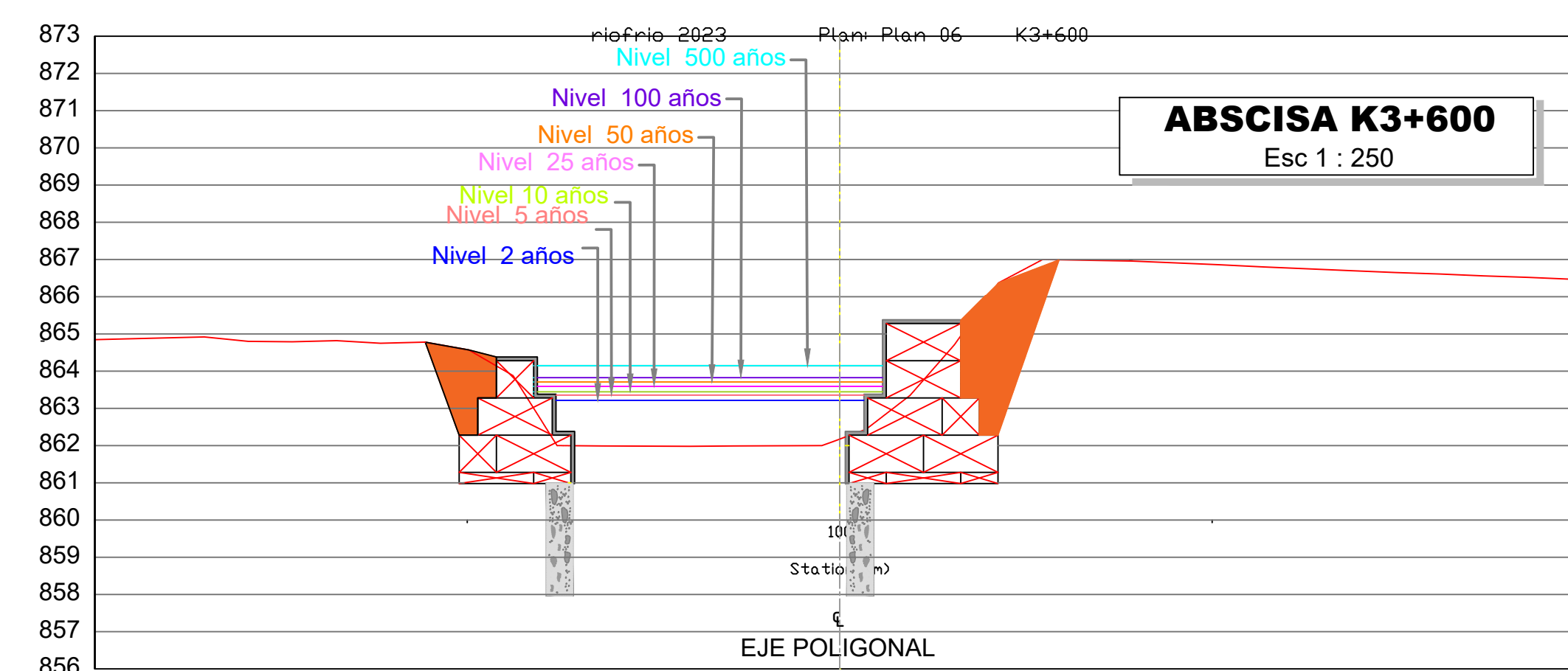
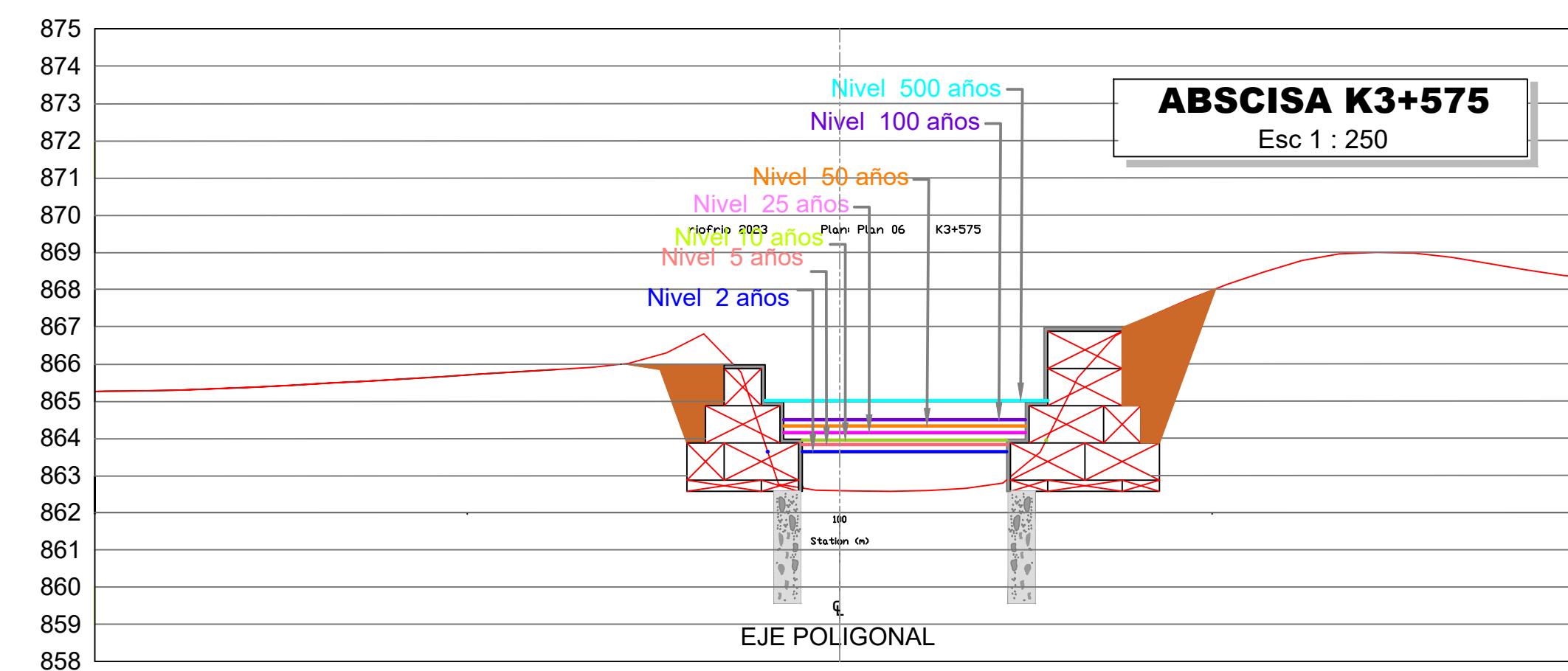
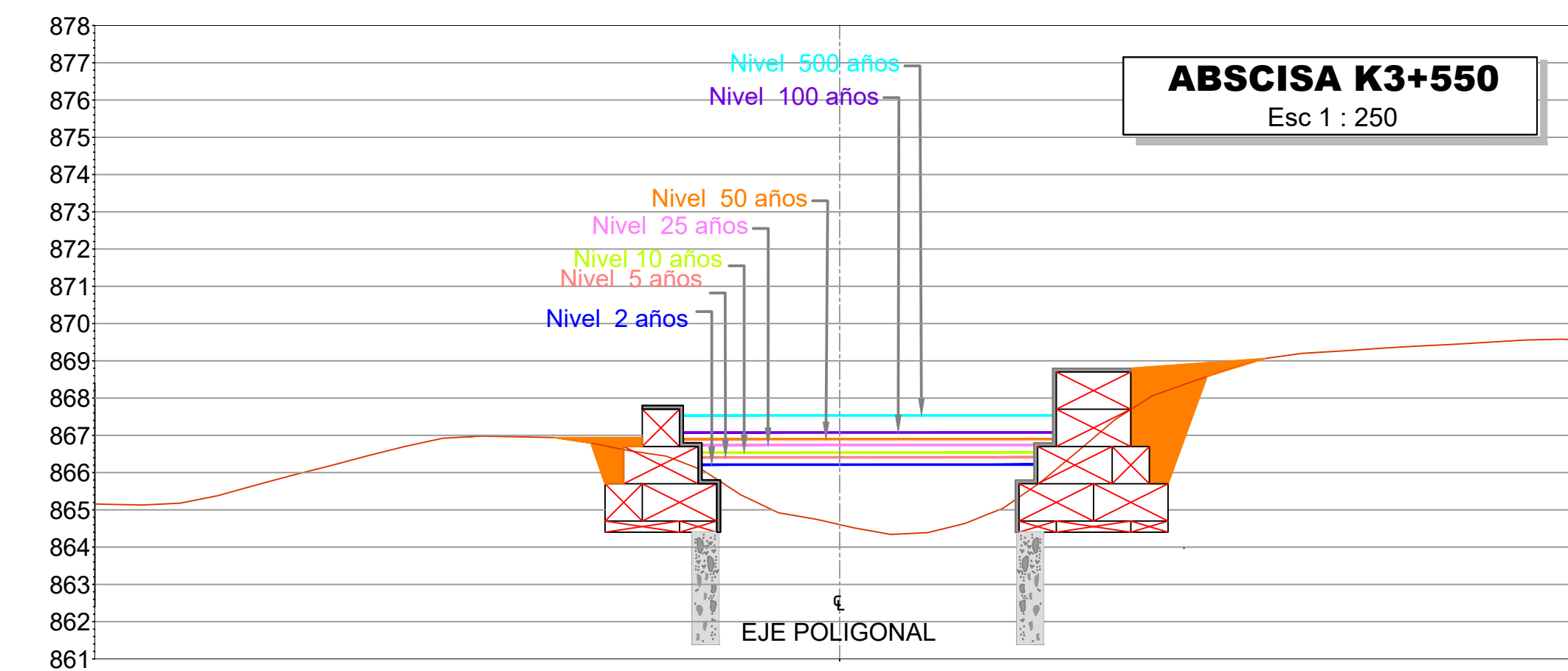
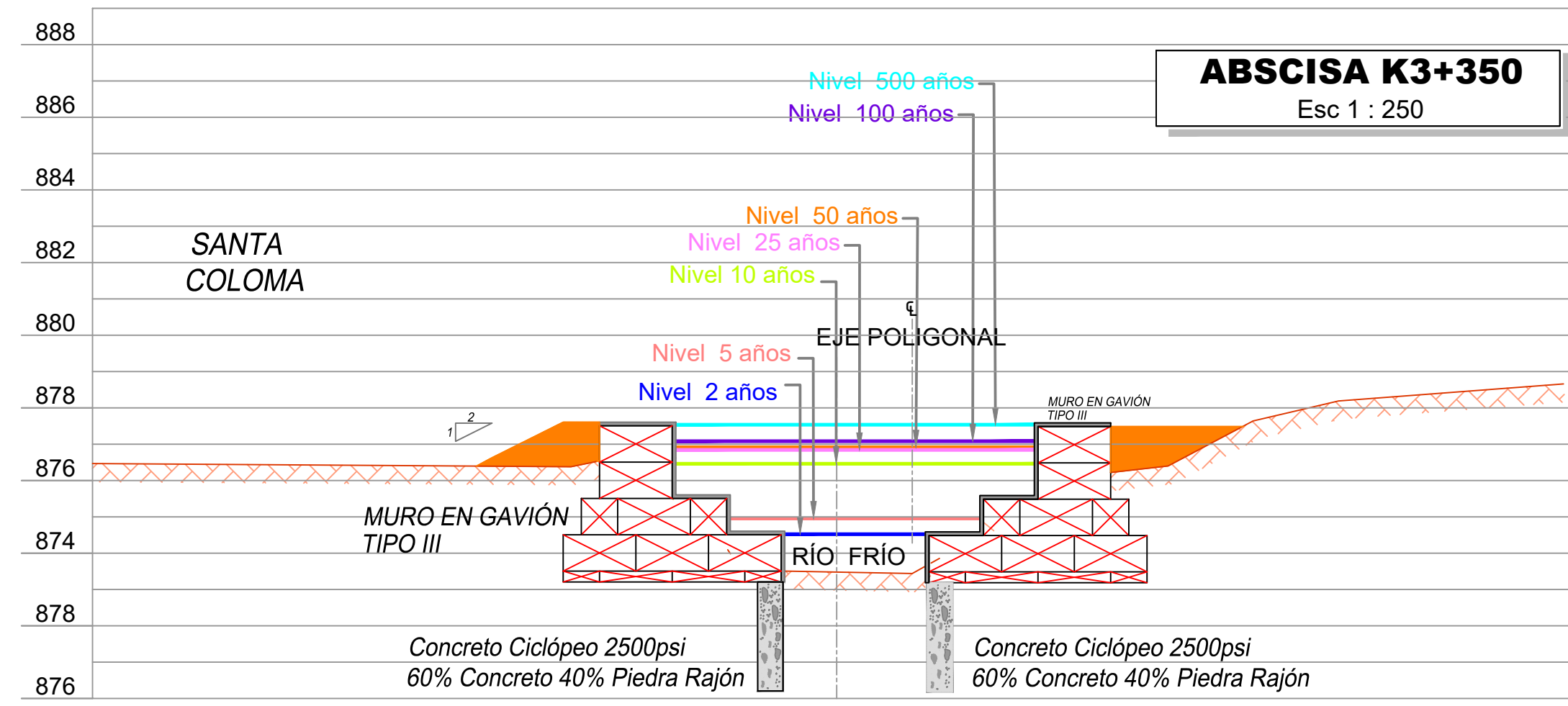
**REVISO**  
*Jesús Sánchez*  
**Ing. Jesús Evelio Sánchez.**

**DIGITALIZO : Subdirección de Gestión  
Del Riesgo y Seguridad Territorial**  
**FECHA: Diciembre de 2023**  
**ESCALA: 1:250**

AMENAZA RÍO FRÍO BARRIO LAGOS II ENTRE  
CARRERAS 5 Y 6

**PLANTA CON OBRAS**

**PLANO  
1 DE 2**



**CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA**

**DISEÑO Y CÁLCULO**  
*Edgar Leal*  
 Ing. Civil Edgar Javier Leal Archila  
 Mat. Profesional 68202132453 STD

**REVISO**  
*Jesús Sánchez*  
 Ing. Jesús Evelio Sánchez.

**DIGITALIZO : Subdirección de Gestión Del Riesgo y Seguridad Territorial**  
**FECHA: Diciembre de 2023**  
**ESCALA: 1:150**

AMENAZA RÍO FRÍO BARRIO LAGOS II ENTRE CARRERAS 5 Y 6

**SECCIONES TRANSVERSALES**

**PLANO 2 DE 2**

Absisa		IZQUIERDA			DERECHA		
		Área Transversal (m2)	Longitud (m)	Volumen	Área Transversal (m2)	Longitud (m)	Volumen
Absisa K3+350	Gavión 2x1	12		0	12		
	Gavión 1X1	2			2		
	Gavión 0.3x1	0.6			0.6		
	Gavión 0.3x2	1.2			1.2		
	Recubrimiento	0.94			0.94		
Absisa K3+550	Gavión 2x1	4	25	100	10	25	250
	Gavión 1X1	2		50	1		25
	Gavión 0.3x1	0.3		7.5	0.6		15
	Gavión 0.3x2	0.6		15	0.6		15
	Excavación	9.63845			14.94895		
	Relleno	1.78075			5.1164		
	Recubrimiento	0.54		13.5	0.74		18.5
Absisa K3+575	Gavión 2x1	4	25	100	10	25	250
	Gavión 1X1	2		50	1		25
	Gavión 0.3x1	0.3		7.5	0.6		15
	Gavión 0.3x2	0.6		15	0.6		15
	Excavación	10.76735			17.0188		
	Relleno	2.63675			5.9557		
	Recubrimiento	0.54		13.5	0.74		18.5
Absisa K3+600	Gavión 2x1	4	25	100	10	25	250
	Gavión 1X1	2		50	1		25
	Gavión 0.3x1	0.3		7.5	0.6		15
	Gavión 0.3x2	0.6		15	0.6		15
	Excavación	10.00125			12.64895		
	Relleno	2.2196			4.6643		
	Recubrimiento	0.54		13.5	0.74		18.5
Absisa K3+625	Gavión 2x1	4	25	100	4	25	100
	Gavión 1X1	2		50	2		50
	Gavión 0.3x1	0.3		7.5	0.3		7.5
	Gavión 0.3x2	0.6		15	0.6		15
	Excavación	9.2775			7.5544		
	Relleno	1.5389			2.06445		
	Recubrimiento	0.54		13.5	0.54		13.5
Absisa K3+650	Gavión 2x1	4	25	100	4	25	100
	Gavión 1X1	2		50	2		50
	Gavión 0.3x1	0.3		7.5	0.3		7.5
	Gavión 0.3x2	0.6		15	0.6		15
	Excavación	8.115			6.7206		
	Relleno	3.15825			1.67585		
	Recubrimiento	0.54		13.5	0.54		13.5
Absisa K3+675	Gavión 2x1	4	25	100	4	25	100
	Gavión 1X1	2		50	2		50
	Gavión 0.3x1	0.3		7.5	0.3		7.5
	Gavión 0.3x2	0.6		15	0.6		15
	Excavación	7.735			7.3058		
	Relleno	4.12915			2.41475		
	Recubrimiento	0.54		13.5	0.54		13.5
Absisa K3+700	Gavión 2x1	4	25	100	4	25	100
	Gavión 1X1	2		50	2		50
	Gavión 0.3x1	0.3		7.5	0.3		7.5
	Gavión 0.3x2	0.6		15	0.6		15
	Excavación	9.95905			7.26645		
	Relleno	3.86065			3.0007		
	Recubrimiento	0.54		13.5	0.54		13.5
Absisa K3+725	Gavión 2x1	4	25	100	4	25	100
	Gavión 1X1	2		50	2		50
	Gavión 0.3x1	0.3		7.5	0.3		7.5
	Gavión 0.3x2	0.6		15	0.6		15
	Excavación	9.2888			6.71435		
	Relleno	2.9548			3.24935		
	Recubrimiento	0.54		13.5	0.54		13.5
Absisa	Gavión 2x1	4		100	4		100
	Gavión 1X1	2		50	2		50
	Gavión 0.3x1	0.3		7.5	0.3		7.5

Absisa K3+750	Gavión 0.3x2	0.6	25	15	0.6	25	15
	Excavación	6.5159			6.71545		
	Relleno	1.20635			2.4597		
	Recubrimiento	0.54		13.5	0.54		13.5
Absisa K3+775	Gavión 2x1	4	25	100	4	25	100
	Gavión 1X1	2		50	2		50
	Gavión 0.3x1	0.3		7.5	0.3		7.5
	Gavión 0.3x2	0.6		15	0.6		15
	Excavación	6.2999			7.13885		
	Relleno	1.31465			2.19565		
	Recubrimiento	0.54		13.5	0.54		13.5

	IZQUIERDA	DERECHA	Total Volumen (m3)
Gavión 2x1	1000	1450	2450
Gavión 1X1	500	425	925
Gavión 0.3x1	75	97.5	172.5
Gavión 0.3x2	150	150	300
Concreto Ciclopeo	525	525	1050

	Volumen IZQ	Volumen DER	Area m2
Recubrimiento	67.5	82.5	1500

Recubrimiento	400	375	775
---------------	-----	-----	-----

**OBJETO: CONSTRUCCION DE OBRA PARA MITIGAR FENOMENOS POR INUNDACION**

**FORMULARIO DE CANTIDADES APROXIMADAS DE OBRA Y PRECIOS**

ITEM	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>SECCION PRIMERA</b>					
1.20	REPLANTEO, CONTROL Y MEDICION DE OBRA	6.00	MES	\$ 9,763,189.00	\$ 58,579,134.00
1.40	Desmante de Gaviones de cuerpo 2.00 x 1.00 x 1.00	508.35	M3	\$ 4,905.00	\$ 2,493,478.72
1.50	RETIRO DE BASURAS, ESCOMBROS Y SOBRESANTES (AL BOTADERO AUTORIZADO)	5655.71	M3	\$ 72,364.00	\$ 409,269,640.98
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 470,342,253.70</b>
<b>SECCION SEGUNDA</b>					
2,1A2	EXCAVACION EN MATERIAL GRANULAR A CUALQUIER PROFUNDIDAD	4540.77	M3	\$ 44,317.00	\$ 201,233,304.09
2.4.1	SUMINISTRO, CONFORMACION Y COMPACTACION DE MATERIAL SELECCIONADO	1439.92	M3	\$ 131,551.00	\$ 189,422,587.04
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 390,655,891.13</b>
<b>SECCION TERCERA</b>					
3,7B	CONSTRUCCIÓN GAVIONES EN MALLA ELECTROSOLDADA DE (2.0X1.0X1.0 metros)	3375.00	M3	\$ 354,530.00	\$ 1,196,538,750.00
3,7C	CONSTRUCCIÓN GAVIONES EN MALLA ELECTROSOLDADA DE (0.30X1.0X2.0 metros)	472.50	M3	\$ 225,508.00	\$ 106,552,530.00
3.1B	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CONCRETO Ciclópeo=65% Concreto 3500Psi y 35% Rajon de piedra	1050.00	M3	\$ 621,770.00	\$ 652,858,500.00
3.10	Suministro y colocación de Recubrimiento en concreto de 3500 psi de E=10 cm	1575.00	M2	\$ 453,205.00	\$ 713,797,875.00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 2,669,747,655.00</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 3,530,745,799.83</b>
				ADMINISTRACIÓN	23% \$ 812,071,533.96
				IMPREVISTOS	1% \$ 35,307,458.00
				UTILIDADES	6% \$ 211,844,747.99
				A.I.U	\$ 1,059,223,739.95
<b>SUBTOTAL BASICO OBRAS</b>					<b>\$ 4,589,969,539.78</b>
				IVA/UTILIDAD	19% \$ 40,250,502.1200
<b>VALOR TOTAL OBRAS IVA INCLUIDO</b>					<b>\$ 4,630,220,041.90</b>
<b>VALOR AJUSTE ESTUDIOS Y DISEÑOS</b>					<b>\$ 20,000,000.00</b>
				IVA ESTUDIOS Y DISEÑOS	19% \$ 3,800,000.00
<b>VALOR TOTAL AJUSTE ESTUDIOS Y DISEÑOS</b>					<b>\$ 23,800,000.00</b>
<b>VALOR TOTAL BASICO PROYECTO</b>					<b>\$ 4,654,020,041.90</b>
				ADMINISTRACIÓN FIDUCIARIA	5% \$ 232,701,002.00
				INTERVENTORIA	7% \$ 325,781,402.00
<b>VALOR TOTAL DEL PROYECTO (OBRA + INTERVENTORIA)</b>					<b>\$ 5,212,502,445.90</b>

**OBJETO: CONSTRUCCION DE OBRA PARA MITIGAR FENOMENOS POR INUNDACION**

**FORMULARIO DE CANTIDADES APROXIMADAS DE OBRA Y PRECIOS**

ITEM	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>SECCION PRIMERA</b>					
1.20	REPLANTEO, CONTROL Y MEDICION DE OBRA	4.00	MES	\$ 9,763,189.00	\$ 39,052,756.00
1.40	Desmante de Gaviones de cuerpo 2.00 x 1.00 x 1.00	159.83	M3	\$ 4,905.00	\$ 783,984.49
1.50	RETIRO DE BASURAS, ESCOMBROS Y SOBRESANTES (AL BOTADERO AUTORIZADO)	2793.68	M3	\$ 72,364.00	\$ 202,161,885.72
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 241,998,626.21</b>
<b>SECCION SEGUNDA</b>					
2,1A2	EXCAVACION EN MATERIAL GRANULAR A CUALQUIER PROFUNDIDAD	2350.82	M3	\$ 44,317.00	\$ 104,181,068.36
2.4.1	SUMINISTRO, CONFORMACION Y COMPACTACION DE MATERIAL SELECCIONADO	819.92	M3	\$ 131,551.00	\$ 107,861,460.36
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 212,042,528.71</b>
<b>SECCION TERCERA</b>					
3,7B	CONSTRUCCIÓN GAVIONES EN MALLA ELECTROSOLDADA DE (2.0X1.0X1.0 metros)	1875.00	M3	\$ 354,530.00	\$ 664,743,750.00
3,7C	CONSTRUCCIÓN GAVIONES EN MALLA ELECTROSOLDADA DE (0.30X1.0X2.0 metros)	247.50	M3	\$ 225,508.00	\$ 55,813,230.00
3.1B	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CONCRETO Ciclópeo=65% Concreto 3500Psi y 35% Rajon de piedra	525.00	M3	\$ 621,770.00	\$ 326,429,250.00
3.10	Suministro y colocación de Recubrimiento en concreto de 3500 psi de E=10 cm	82.50	M2	\$ 453,205.00	\$ 37,389,412.50
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 1,084,375,642.50</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 1,538,416,797.42</b>
				ADMINISTRACIÓN	23% \$ 353,835,863.41
				IMPREVISTOS	1% \$ 15,384,167.97
				UTILIDADES	6% \$ 92,305,007.85
				A.I.U	\$ 461,525,039.23
<b>SUBTOTAL BASICO OBRAS</b>					<b>\$ 1,999,941,836.65</b>
				IVA/UTILIDAD	19% \$ 17,537,951.4900
<b>VALOR TOTAL OBRAS IVA INCLUIDO</b>					<b>\$ 2,017,479,788.14</b>
<b>VALOR AJUSTE ESTUDIOS Y DISEÑOS</b>					<b>\$ 20,000,000.00</b>
				IVA ESTUDIOS Y DISEÑOS	19% \$ 3,800,000.00
<b>VALOR TOTAL AJUSTE ESTUDIOS Y DISEÑOS</b>					<b>\$ 23,800,000.00</b>
<b>VALOR TOTAL BASICO PROYECTO</b>					<b>\$ 2,041,279,788.14</b>
				ADMINISTRACIÓN FIDUCIARIA	5% \$ 102,063,989.00
				INTERVENTORIA	7% \$ 142,889,585.00
<b>VALOR TOTAL DEL PROYECTO (OBRA + INTERVENTORIA)</b>					<b>\$ 2,286,233,362.14</b>

**OBJETO: CONSTRUCCION DE OBRA PARA MITIGAR FENOMENOS POR INUNDACION**

**FORMULARIO DE CANTIDADES APROXIMADAS DE OBRA Y PRECIOS**

ITEM	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
<b>SECCION PRIMERA</b>					
1.20	REPLANTEO, CONTROL Y MEDICION DE OBRA	4.00	MES	\$ 9,763,189.00	\$ 39,052,756.00
1.40	Desmante de Gaviones de cuerpo 2.00 x 1.00 x 1.00	348.52	M3	\$ 133,350.00	\$ 46,475,240.68
1.50	RETIRO DE BASURAS, ESCOMBROS Y SOBRESANTES (AL BOTADERO AUTORIZADO)	2862.03	M3	\$ 72,364.00	\$ 207,107,755.26
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 292,635,751.94</b>
<b>SECCION SEGUNDA</b>					
2,1A2	EXCAVACION EN MATERIAL GRANULAR A CUALQUIER PROFUNDIDAD	2189.96	M3	\$ 44,317.00	\$ 97,052,235.74
2.4.1	SUMINISTRO, CONFORMACION Y COMPACTACION DE MATERIAL SELECCIONADO	620.00	M3	\$ 131,551.00	\$ 81,561,126.68
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 178,613,362.42</b>
<b>SECCION TERCERA</b>					
3,7B	CONSTRUCCIÓN GAVIONES EN MALLA ELECTROSOLDADA DE (2.0X1.0X1.0 metros)	1500.00	M3	\$ 354,530.00	\$ 531,795,000.00
3,7C	CONSTRUCCIÓN GAVIONES EN MALLA ELECTROSOLDADA DE (0.30X1.0X2.0 metros)	225.00	M3	\$ 225,508.00	\$ 50,739,300.00
3.1B	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CONCRETO Ciclópeo=65% Concreto 3500Psi y 35% Rajon de piedra	525.00	M3	\$ 621,770.00	\$ 326,429,250.00
3.10	Suministro y colocación de Recubrimiento en concreto de 3500 psi de E=10 cm	75.00	M2	\$ 453,205.00	\$ 33,990,375.00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 942,953,925.00</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 1,414,203,039.36</b>
				ADMINISTRACIÓN	23% \$ 325,266,699.05
				IMPREVISTOS	1% \$ 14,142,030.39
				UTILIDADES	6% \$ 84,852,182.36
				A.I.U	\$ 424,260,911.80
<b>SUBTOTAL BASICO OBRAS</b>					<b>\$ 1,838,463,951.16</b>
				IVA/UTILIDAD	19% \$ 16,121,914.6500
<b>VALOR TOTAL OBRAS IVA INCLUIDO</b>					<b>\$ 1,854,585,865.81</b>
<b>VALOR AJUSTE ESTUDIOS Y DISEÑOS</b>					<b>\$ 20,000,000.00</b>
				IVA ESTUDIOS Y DISEÑOS	19% \$ 3,800,000.00
<b>VALOR TOTAL AJUSTE ESTUDIOS Y DISEÑOS</b>					<b>\$ 23,800,000.00</b>
<b>VALOR TOTAL BASICO PROYECTO</b>					<b>\$ 1,878,385,865.81</b>
				ADMINISTRACIÓN FIDUCIARIA	5% \$ 93,919,293.00
				INTERVENTORIA	7% \$ 131,487,010.00
<b>VALOR TOTAL DEL PROYECTO (OBRA + INTERVENTORIA)</b>					<b>\$ 2,103,792,168.81</b>