



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA**

**CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL**

**PROPUESTA DE DESAZOLVE SOBRE EL RÍO PUXCATÁN, EN LA  
ZONA DE ESTUDIO UBICADA EN EL ESTADO DE TABASCO ENTRE  
LAS COORDENADAS UTM P1( $X_1=534368.00$  ESTE,  $Y_1= 1930783.00$   
NORTE); P2( $X_2= 533373.00$  ESTE,  $Y_2=1930822.00$  NORTE).**

**T E S I N A**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA**

**P R E S E N T A :**

**ING. JESÚS ANTONIO GONZÁLEZ GARCÍA**

**DIRECTOR DE TESINA: M.I. AMALIA ADRIANA CAFFAGI FELIX**

**MÉXICO, D.F.**

**ABRIL 2013**



# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



## ÍNDICE.

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA. ....	2
1.2. OBJETIVO.....	4
<b>2. ASPECTOS BÁSICOS.....</b>	<b>5</b>
2.1. LOCALIZACIÓN. ....	5
2.2. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA. ....	7
<b>3. COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO. ....</b>	<b>9</b>
3.1. CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DE LA CUENCA DE ESTUDIO. 9	
3.2. ANÁLISIS DE USOS DE SUELO, VEGETACIÓN, Y TIPOS DE SUELO QUE COMPONEN A LA CUENCA DE ESTUDIO.....	12
3.3. METODOLOGÍA.....	14
3.4. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN HIDRÓMETRICA. ....	15
<b>4. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO.....</b>	<b>24</b>
4.1. METODOLOGÍA.....	24
4.2. ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL RÍO EN CONDICIONES NATURALES Y DE PROYECTO.....	30
<b>5. PROCESO CONSTRUCTIVO, CATÁLOGO DE CONCEPTOS Y PRESUPUESTO.....</b>	<b>93</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>105</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>106</b>



# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



## 1. INTRODUCCIÓN.

En el trabajo se presenta el dimensionamiento de una obra hidráulica fluvial menor, la cual consiste en el desazolve de la corriente principal ubicada en la sub-cuenca RH30Dn denominada Río Puxcatán. Para tal efecto, se caracteriza la cuenca a la cual pertenece la corriente principal, además del modelado realizado a partir de los datos hidrológicos y topográficos disponibles; dicha modelación se realizó para las condiciones naturales bajo las cuales actualmente se encuentra el río, las cuales se compararon con el comportamiento hidráulico esperado del mismo después de realizar la obra propuesta. Se muestra además, la determinación del gasto formativo del río para condiciones naturales y condiciones de proyecto, definiéndose así el gasto de diseño de la obra generada. Para la adecuada realización de este trabajo, al final de este documento se exponen algunas recomendaciones constructivas además del costo aproximado de la obra propuesta.

### 1.1. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA.

El territorio nacional se encuentra dividido en 13 regiones hidrológico-administrativas, de las cuales a su vez el país se encuentra subdividido en 37 regiones hidrológicas, en donde se define como región hidrológica a la agrupación de varias cuencas hidrológicas con niveles de escurrimiento muy similares; este análisis se enfoca en la región hidrológica RH-30 la cual compete la región denominada “Grijalva-Usumacinta” la cual es de las más húmedas del país y se encuentra dentro de la región hidrológico-administrativa IX “Frontera Sur”; lo cual se muestra en la Figura 1.1.1, en donde se muestra la división del país en cuanto a las regiones hidrológicas que lo componen, además de denotarse la región de interés en rojo.



# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Figura 1.1.1 Regiones Hidrológicas existentes en el país, se resalta en rojo la región hidrológica de interés.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



El sistema denominado Rh30 se encuentra integrado por los estados de Chiapas y Tabasco; de dicho sistema los cauces de mayor importancia son los ríos Grijalva y Usumacinta.

En el punto de interés transita el cauce denominado “Río Puxcatán” el cual nace en el estado de Chiapas y converge con el Río Grijalva en el sistema lagunario que se encuentra kilómetros aguas abajo del punto de interés del proyecto.

En la última década, en el estado de Tabasco se han presentado inundaciones provocando daños significativos. El riesgo de que las avenidas provoquen daños se ha incrementado debido a asentamientos irregulares, infraestructura caminera y petrolera que obstruye el drenaje natural de la cuenca y el azolvamiento de los cauces que reducen su capacidad hidráulica.

En la zona de estudio se puede observar como existen cauces con un avanzado grado de azolvamiento provocado por el transporte inherente de material que se produce por estado natural de la corriente en tránsito; lo cual reduce la capacidad hidráulica de los mismos y reduce el periodo de retorno asociado al gasto formativo de cada corriente lo cual provoca un aumento de riesgo de inundación en las zonas habitadas aledañas a los cauces.

### **1.2. OBJETIVO.**

El objetivo del presente trabajo es presentar una solución práctica a un asolvamiento presentado en un tramo del cauce denominado Río Puxcatán, dicho desazolve tendrá como objetivos los siguientes puntos:

- Aumentar el Periodo de Retorno Asociado al Gasto Formativo del cauce en estudio (máximo gasto que se presenta sin desbordar).





# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



- Aumentar el periodo de retorno asociado al evento máximo registrado en la zona de estudio y que es conocido como la Huella Máxima de Inundación.

## 2. ASPECTOS BÁSICOS.

### 2.1. LOCALIZACIÓN.

El sitio de proyecto se encuentra ubicado aproximadamente en las coordenadas (X=534774.00Este, Y=1931118.00Norte) entre las coordenadas P1(X1=534368.00Este, Y1=1930783.00Norte); P2(X2=533373.00Este, Y2=1930822.00Norte).



Figura 2.1.1 Red hidrológica de la RH30, se denota en rojo la sub-cuenca analizada y la cual genera los escurrimientos que transporta el Río Puxcatán hasta el sitio de proyecto.





# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.

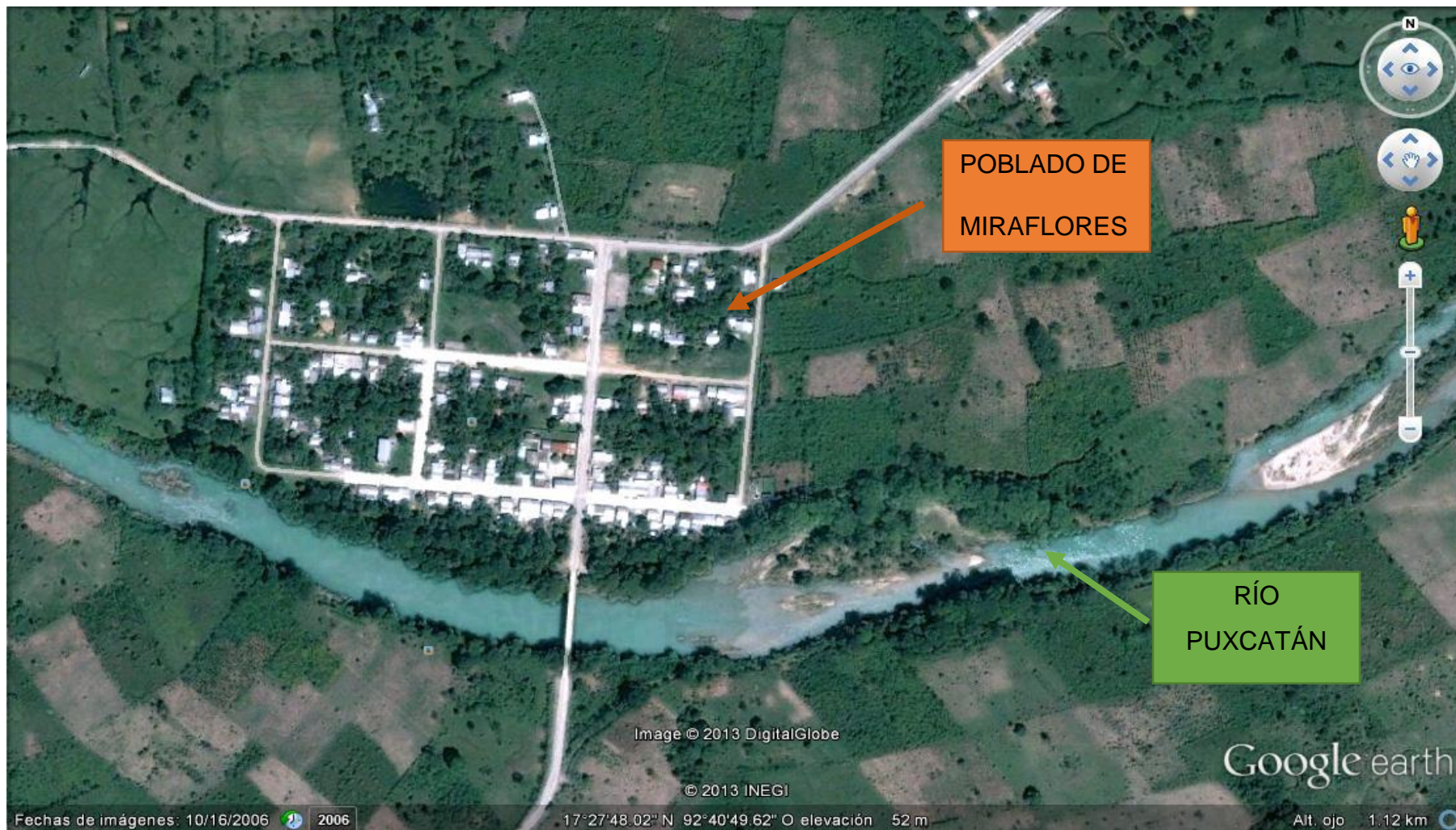


Figura 2.1.2 Localización del tramo del cauce a analizar para el desarrollo del desazolve propuesto



## 2.2. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA.

La cuenca de estudio se encuentra ubicada dentro de la Región Hidrológica 30, la cual se encuentra conformada por el territorio del estado de Tabasco y el estado de Chiapas, dentro de esta región se encuentra la cuenca R. Grijalva-Villahermosa; dicha cuenca se encuentra conformada en parte por la sub-cuenca RH30Dn la cual es objeto de estudio en este documento. La sub-cuenca RH30Dn es también denominada R. Puxcatán el cual también es el nombre de la corriente principal de dicha sub-cuenca, esta corriente es aquella que se encuentra en las cercanías del poblado de Miraflores lugar en donde se planea la construcción de la obra de protección contra inundaciones objeto de este estudio. Esta sub-cuenca recibe aportaciones de múltiples corrientes las cuales drenan hasta dicho río, a continuación se muestra en la Figura 3.1 la delimitación de la sub-cuenca RH30Dn y la red hidrográfica que la compone.



Figura 3.1 Delimitación Geográfica de la Sub-cuenca de estudio.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



### 2.2.1. CLIMA.

La ubicación del estado de Tabasco se encuentra en la zona tropical, su escasa elevación con respecto al nivel del mar y su cercanía al Golfo de México-determinan el desarrollo de climas cálidos con influencia marítima, en los que la variación de la temperatura es moderada. La invasión de las masas de aire en la entidad es directa y provoca gran parte de la precipitación anual.

El Estado de Tabasco se puede dividir en dos regiones, por sus tipos de clima: la Llanura y la Sierra, con su zona de transición hacia la Llanura. Esta última bordea al Golfo de México y tiene elevaciones menores a los 100 m; en ella los climas de acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García, son cálidos con lluvias en verano y van desde los húmedos hasta los subhúmedos, principalmente en los límites con Campeche.

El clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano se distribuye en gran parte de las subregiones Tonalá-Coatzacoalcos y Bajo Grijalva, desde la zona costera hasta las estribaciones de las sierras ubicadas en el sur. Este clima es el que cubre la mayor extensión territorial del estado, desde la Costa del Golfo hasta las estribaciones de la Sierra de Chiapas y Guatemala (localizadas al sur), encontrándose en esta zona importantes localidades, tales como Villahermosa, Cárdenas, Frontera, Emiliano Zapata, Ciudad PEMEX, Comalcalco, Cunduacán, La Venta, Paraíso, Tenosique y Balancán.

### 2.2.2. OROGRAFÍA.

El relieve de Tabasco guarda una estrecha relación con la geología de la región. La mayor parte del territorio queda comprendido dentro de la provincia fisiográfica llamada Planicie Costera del Golfo, y sólo una pequeña porción del sur, en la cual se localizan las poblaciones de Teapa, Tacotalpa, Tapijulapa, Puxcatán y Lomas Tristes, corresponde a la zona de montañas bajas.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



En este municipio se localizan las mayores elevaciones de la entidad, destacándose entre ellas las montañas de El Madrigal, La Campana, Murciélago, Palo Quemado y Cora de Poaná, las cuales no sobrepasan los 1,000 metros de altitud.

### 3. COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO.

Para la realización de cualquier obra hidráulica es de vital importancia la información hidrológica de la zona en donde se va a desarrollar dicha obra, para la determinación de los gastos a analizar en esta obra fue necesario el análisis de los factores que componen a la cuenca de estudio, además de identificar las estaciones climatológicas e hidrométricas que alimentaran el análisis y guiarán el diseño de la obra propuesta. A continuación se muestra un análisis hidrológico realizado para la futura modelación del cauce bajo condiciones naturales y de proyecto.

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS FISOGRÁFICAS DE LA CUENCA DE ESTUDIO.

La denominación de la cuenca de estudio se encuentra especificada como RH30Dn denominada comúnmente R. Puxcatán, dicha cuenca es de tipo exorreica además de contar con un área drenada hasta el punto de análisis de 674.35 [km<sup>2</sup>], la información fisiográfica de la cuenca fue obtenida de las múltiples bases de datos del INEGI utilizando primordialmente como herramienta de recopilación de datos el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas comúnmente conocido como SIATL desarrollado por este instituto.

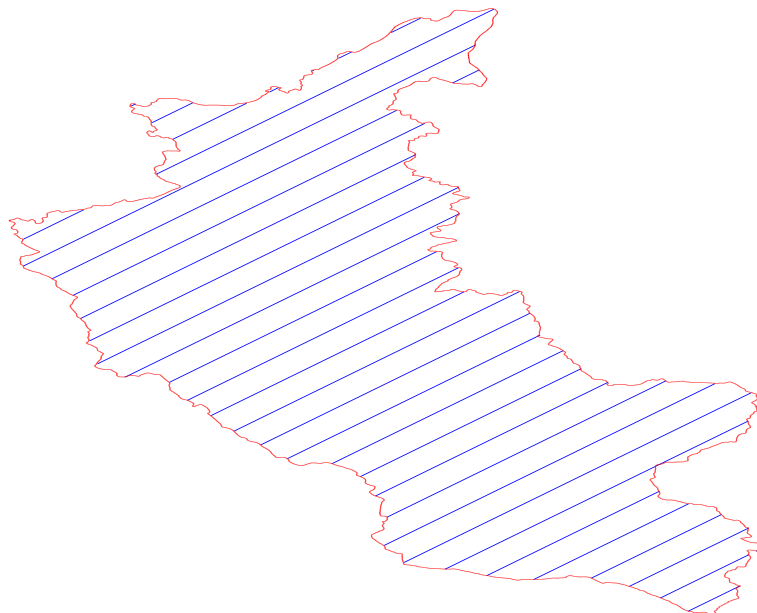
Además de utilizarse el simulador se recopiló información fisiográfica de la cuenca través de las cartas vectoriales disponibles en la base de datos de la institución anteriormente referida.



A continuación se muestran las características fisiográficas de la cuenca analizada.

- **PARTEAGUAS Y ÁREA DE LA CUENCA.**

Para la determinación de dichos parámetro se utilizó la información obtenida de la herramienta conocida como SIATL, en dicha herramienta se solicitó la generación de las características de la cuenca en un archivo GIS el cual fue convertido a un formato CAD del cual se extrajo dicha información. A continuación se muestra el parteaguas de la cuenca analizada resaltando dentro del mismo el área de la cuenca analizada.



<b>Área:</b>	673.85 [km <sup>2</sup> ]
--------------	---------------------------

Figura 3.1.1 Parteaguas de la cuenca analizada, se muestra además el área de la cuenca drenada.

- **DRENAJE Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA**

De la herramienta anteriormente mencionada se obtuvieron las características de drenaje de la cuenca analizada, de donde se pudo extraer la red hidrográfica de la misma, la cual se muestra en la Figura 3.1.2, en dicha imagen se pueden apreciar





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



los tributarios y los diferentes escurrimientos que existen dentro de la cuenca analizada.



Figura 3.1.2 Parteaguas y sistema de drenaje de la Cuenca analizada.

En la Tabla 3.1.1 se resumen las características fisiográficas generales de la cuenca así como las características de drenaje de la cuenca de estudio incluyendo las características de la corriente principal de la sub-cuenca analizada.

Tabla 3.1.1 Rasgos Fisiográficos de la Cuenca Analizada.

Rasgo Fisiográfico.	Valor
Área	673.85 [km <sup>2</sup> ]
Perímetro	184.96 [km]



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Densidad de Drenaje	1.322 [1]
Coefficiente de Compacidad.	2.009 [1]
Elevación Máxima de la Cuenca	2160.00 [msnm]
Elevación Mínima de la Cuenca	20.00 [msnm]
Elevación Máxima de la Corriente Principal	1260.00 [msnm]
Elevación Mínima de la Corriente Principal	20.00 [msnm]
Longitud de la Corriente Principal	95.97 [km]
Pendiente de la Corriente Principal	1.292[%]
Sinuosidad de la Corriente Principal	1.923[1]
Pendiente Media de la Sub-cuenca	41.460[%]

### 3.2. ANÁLISIS DE USOS DE SUELO, VEGETACIÓN, Y TIPOS DE SUELO QUE COMPONEN A LA CUENCA DE ESTUDIO.

Dentro de la descripción física de la cuenca mediante el análisis de las características fisiográficas de la misma, se analizaron las condiciones en las cuales se encuentra el uso de suelo, vegetación y tipo de suelo que la integran. Dicho análisis se realizó mediante el empleo de las cartas vectoriales disponibles en la página de internet del INEGI, específicamente aquellas relacionadas con los siguientes temas.

- Edafología.

A continuación en la Tabla 3.2.1, se muestra un resumen de análisis edafológico de la zona de estudio.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Tabla 3.2.1 Distribución del suelo dentro de la zona de estudio.

ID	SUELO	TEXTURA	Área	Peso
S1	Luvisol	Fina	455.47[km <sup>2</sup> ]	67.59%
S2	Nitrosol02	Fina	69.07[km <sup>2</sup> ]	10.25%
S3	Regosol	Media	46.25[km <sup>2</sup> ]	6.86%
S4	Acrisol	Media	77.32[km <sup>2</sup> ]	11.47%
S5	Cambisol	Media	12.33[km <sup>2</sup> ]	1.83%
S6	Rendzina02	Fina	13.41[km <sup>2</sup> ]	2.00%
<b>Área Total:</b>			673.85[km <sup>2</sup> ]	

- Uso de Suelo y Vegetación.

La información obtenida fue procesada mediante el uso de un programa GIS específicamente aquel denominado como “Arc-GIS” el cual es ampliamente usado para el procesamiento de este tipo de información; mediante la vectorización del parteaguas generado en este documento se logró la extracción de la información anteriormente referida en la zona de estudio.

A continuación se muestra la información extraída para la zona de estudio, específicamente para cada tema que se menciona con anterioridad; esto con la finalidad de ilustrar las condiciones del terreno de estudio, lo cual ayudó a interpretar y a generar una conclusión al final de este documento; esto es debido a que la información hidrológica por sí misma no es suficiente si no se encuentra englobada dentro de un contexto el cual ayude a interpretar la información generada por los múltiples cálculos que se muestran en los siguientes sub-apartados de este documento.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Tabla 3.2.2 Distribución del uso de suelo y vegetación dentro de la zona de estudio.

ID	Tipos de Suelo en la Zona	Área	Peso
U1	Pastizal Cultivado	145.56[km <sup>2</sup> ]	21.60%
U2	Selva Alta Perennifolia	405.28[km <sup>2</sup> ]	60.14%
U3	Bosque Mesofilo de Montaña	88.43[km <sup>2</sup> ]	13.12%
U4	Agricultura de Temporal	34.58[km <sup>2</sup> ]	5.14%
	<b>Área:</b>	673.85[km <sup>2</sup> ]	

### 3.3. METODOLOGÍA.

A partir de la información histórica de la estación hidrométrica Tapijulapa, se obtuvieron los gastos máximos anuales para el periodo de registro, se realizó el transporte de información de la estación hidrométrica Tapijulapa a la cuenca del río Puxcatán. A los datos transportados se les realizó un análisis estadístico mediante el cual se obtuvieron extrapolaciones de gastos para diferentes periodos de retorno, mismas que servirán para determinar la magnitud del gasto de diseño.

Se procesó la información topográfica y se generó la geometría del cauce en Hec-Ras, posteriormente se realizaron corridas con gastos asociados a los periodos de retorno de 2 y 10,000 años respectivamente. A partir de los trabajos de topografía, se localizó en un plano a la huella máxima y se definió la sección más cercana a ella. Conocida la sección, se construyó la curva Gastos-Elevaciones correspondiente a dicha geometría, a partir de los resultados de la simulación en Hec-Ras y se obtuvo el gasto que genera una elevación de la superficie del agua en 58.939 msnm (correspondiente a la huella máxima). Una vez determinado el gasto que genera la huella máxima se estimó el periodo de retorno al que corresponde.

### 3.4. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN HIDRÓMETRICA.

El sitio de estudio se localiza en la margen izquierda del río Puxcatán, sin embargo en la subcuenca de este cauce no se cuenta con estaciones hidrométricas, por ello fue necesario realizar un transporte de información desde el sitio con información más cercano. (Figura 3.4.1)

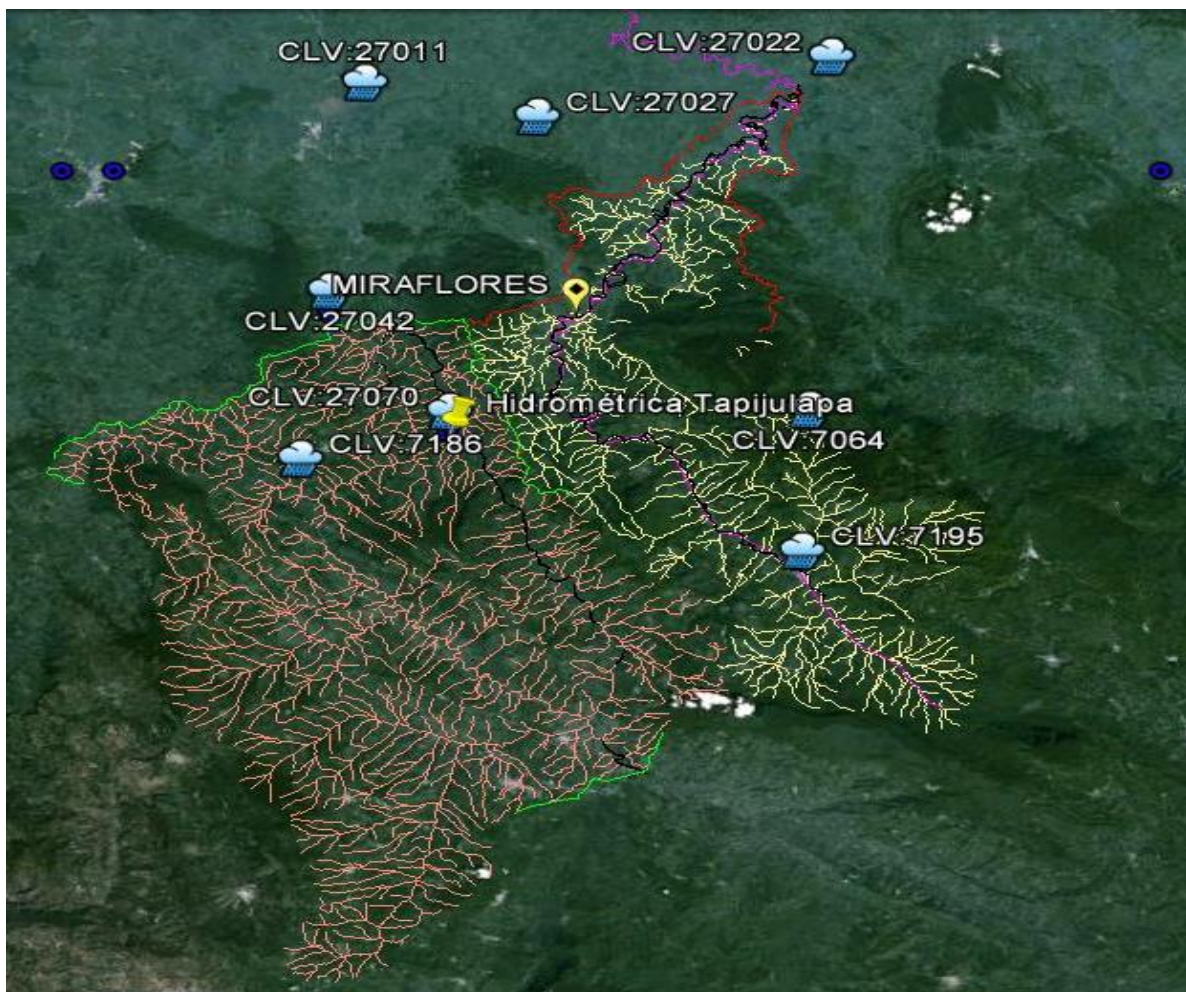


Figura 3.4.1. Estaciones climatológicas e hidrométrica.

Se cuenta con información hidrométrica de Tapijulapa con periodo de registro 1964-1999 y 2002-2006, proveniente de la base de datos BANDAS. La estación



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



hidrométrica 30093 registra los gastos escurridos por el río Almendro, de modo que debido a su cercanía y características de uso de suelo, vegetación y área similares a la cuenca del río Puxcatán, se puede realizar un transporte de información hidrométrica al sitio de estudio.

A partir del registro histórico se determinaron los gastos máximos anuales, se marcan con S/R los años sin registro de datos y como R/I los años con al menos un mes de registro faltante. Tabla 3.4.1.

Tabla 3.4.1. Gastos máximos anuales. Estación Tapijulapa.

Estación Hidrométrica Tapijulapa	
Año	Qmax m <sup>3</sup> /s
1964	985.69
1965	814.94
1966	1083.80
1967	2626.34
1968	650.66
1969	1404.67
1970	955.09
1971	1027.31
1972	948.09
1973	2596.04
1974	2587.00
1975	1717.51
1976	870.72
1977	926.13
1978	1598.77
1979	1169.47
1980	634.35
1981	897.03
1982	759.26
1983	810.28
1984	1133.23
1985	489.51
1986	1269.76
1987	940.90
1988	844.59
1989	1182.32
1990	1645.53
1991	666.75
1992	929.90
1993	856.71
1994	753.96
1995	828.82
1996	1282.63
1997	891.03
1998	819.86
1999	1064.60





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Estación Hidrométrica Tapijulapa	
Año	Qmax m <sup>3</sup> /s
2000	S/R
2001	S/R
2002	640.31
2003	1033.72
2004	838.09
2005	R/I
2006	R/I

Para la identificación de puntos extraños, así como para tener una idea preliminar de la distribución de probabilidad a emplear para la extrapolación de gastos a diferentes periodos de retorno, se dibujaron los datos de la Tabla 3.4.1 en papel Gumbel, el procedimiento para obtener la curva se describe a continuación:

- Se ordenó la muestra de gastos máximos anuales de mayor a menor, eliminándose los años sin registro y con registro incompleto

Qmax m <sup>3</sup> /s	Qmax ordenados
985.69	2626.34
814.94	2596.04
1083.80	2587.00
2626.34	1717.51
650.66	1645.53
1404.67	1598.77
955.09	1404.67
1027.31	1282.63
948.09	1269.76
2596.04	1182.32
2587.00	1169.47
⋮	⋮
1064.60	650.66
640.31	640.31
1033.72	634.35
838.09	489.51

- A cada elemento se le asignó un número de orden  $n$  y un periodo de retorno  $Tr$  mediante la distribución de Weibull  $Tr = \frac{m+1}{n}$ , donde  $m$  es el total de elementos en la muestra.

Número de Orden	Qmax ordenados	Tr
1	2626.34	40.00
2	2596.04	20.00
3	2587.00	13.33
4	1717.51	10.00
⋮	⋮	⋮
36	650.66	1.11
37	640.31	1.08
38	634.35	1.05
39= m	489.51	1.03

- Se determinó la variable reducida  $z$ , como  $z = -\ln\left(\ln\left(\frac{Tr}{Tr-1}\right)\right)$

Orden	Qmax ordenados	Tr	z
1	2626.34	40.00	3.68
2	2596.04	20.00	2.97
3	2587.00	13.33	2.55
⋮	⋮	⋮	⋮
37	640.31	1.08	-0.95
38	634.35	1.05	-1.10
39	489.51	1.03	-1.31

- Se dibujó la curva  $Q_{max}$  ordenados- $z$

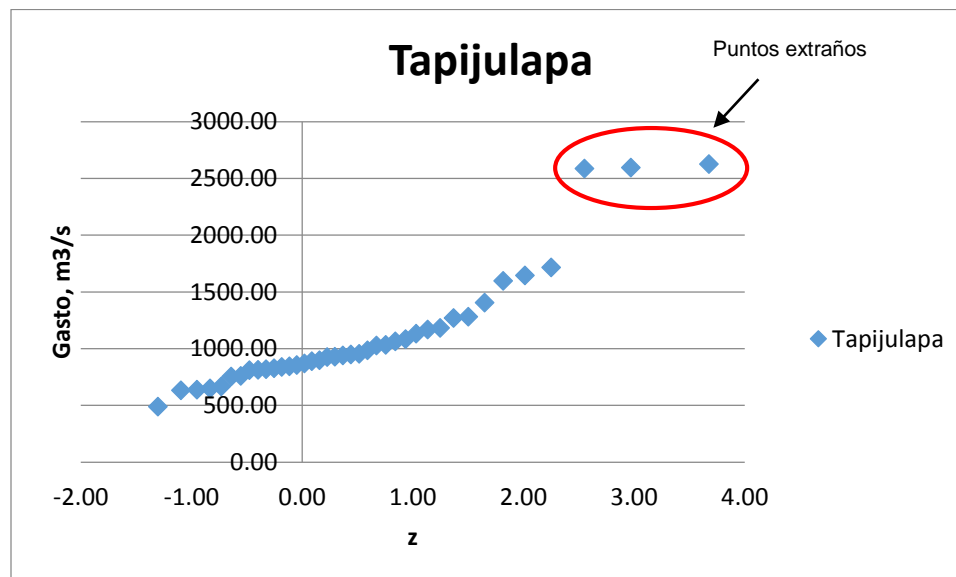


Figura 3.4.2. Gastos máximos anuales en papel Gumbel. Estación Tapijulapa

Se observa en la Figura 3.4.2 la existencia de tres puntos extraños, mismos que deben ser verificados para determinar si son datos correctos o errores de captura, para ello se dibujaron los hidrogramas del mes completo donde se presentó el gasto máximo en cuestión y se comparó contra la serie de tiempo de la precipitación del mismo mes de la estación climatológica Tapijulapa. A partir de estas representaciones gráficas se determinó que los gastos en cuestión son correctos y se toman en cuenta para el ajuste de los datos.

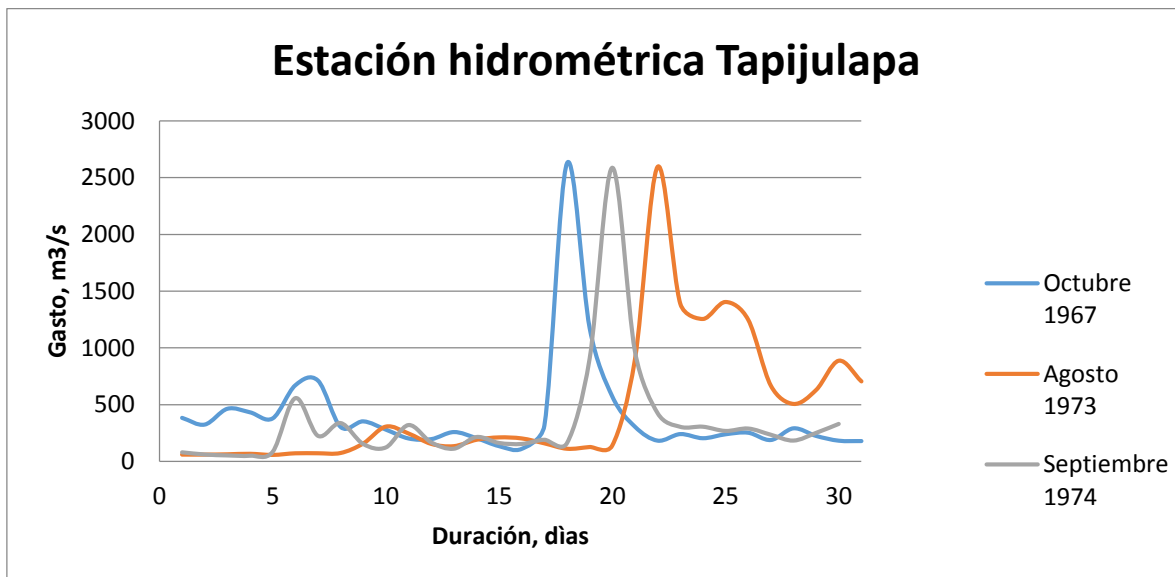


Figura 3.4.3. Hidrogramas de los meses en los que se presentan los puntos extraños

Una vez verificada la validez de la muestra de gastos máximos anuales, se realizó el transporte de información de la estación hidrométrica Tapijulapa a la cuenca del río Puxcatán. Para ello, se afectó a los datos por un factor de transporte  $F_T$ , que depende de las áreas de las cuencas:

$$Q_x = \frac{A_x}{A_d} Q_d = F_T Q_d$$

donde

$Q_x$     gasto estimado, m<sup>3</sup>/s



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



- $A_x$     área de la cuenca sin datos, km<sup>2</sup>  
 $A_d$     área de cuenca de la estación hidrométrica, km<sup>2</sup>  
 $Q_d$     gasto en la estación hidrométrica m<sup>3</sup>/s

Para este trabajo:

$$Q_x = \frac{673.85}{1042.03} Q_d = 0.65 Q_d$$

Por lo que la “muestra” de gastos máximos anuales para la subcuenca del río Puxcatán queda definida por la Tabla 3.4.2.

Tabla 3.4.2. Gastos máximos anuales estación virtual Puxcatán

Estación Virtual Puxcatán	
Año	Q <sub>máx</sub> m <sup>3</sup> /s
1964	637.41
1965	526.99
1966	700.86
1967	1698.36
1968	420.76
1969	908.35
1970	617.62
1971	664.32
1972	613.10
1973	1678.77
1974	1672.92
1975	1110.65
1976	563.07
1977	598.89
1978	1033.87
1979	756.25
1980	410.21
1981	580.08
1982	490.99
1983	523.98
1984	732.82
1985	316.55
1986	821.11
1987	608.45
1988	546.17
1989	764.56
1990	1064.10
1991	431.16
1992	601.33
1993	554.00
1994	487.56





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Estación Virtual Puxcatán	
Año	Q <sub>máx</sub> m <sup>3</sup> /s
1995	535.97
1996	829.43
1997	576.20
1998	530.17
1999	688.44
2000	S/R
2001	S/R
2002	414.07
2003	668.47
2004	541.96
2005	R/I
2006	R/I

El transporte de información de la estación hidrométrica Tapijulapa al sitio en estudio es válido, pues son cuencas contiguas que tienen características similares de uso de suelo, vegetación, clima, tipo de suelos y pendiente media de la cuenca.

A partir de los datos de la Tabla 3.4.2, se realizó la extrapolación de los gastos a periodos de retorno desde 2 hasta 10,000 años con ayuda del programa AX.

Se muestra a continuación en la Tabla 3.4.3 la extrapolación realizada a través del anterior problema, además de las imágenes que muestran los parámetros de la función seleccionada para realizar el mismo.

Tabla 3.4.3. Gastos Extrapolados mediante Ax utilizando la función Doble-Gumble

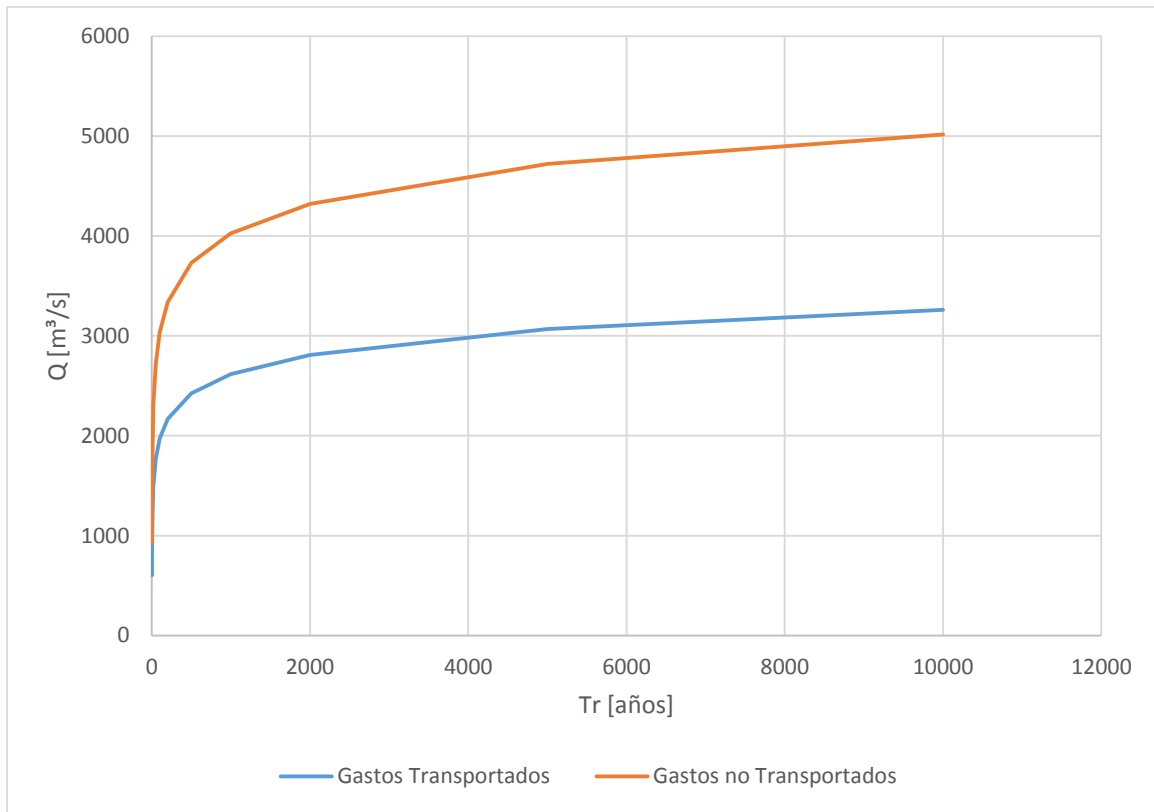
TR [años]	Q [m <sup>3</sup> /s]
2	603.18
5	898.36
10	1253.53
20	1495.7
50	1773.73
100	1973.02
200	2168.58
500	2424.6
1000	2617.91
2000	2808.99
5000	3068.74
10000	3259.82



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



A continuación se muestran los gastos extrapolados representados en graficas para los gastos transportados y no transportados.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	169.075	-----	169.075	-----
Lognormal	114.706	107.483	137.564	88.421
Gumbel	121.601	-----	151.584	-----
Exponencial	96.578	-----	321.480	-----
Gamma	129.501	101.888	143.642	124.134
Doble Gumbel	74.843			

Mínimo error estándar: 74.843

Calculado por la función: Doble Gumbel

i	Tr	Dato	Calculado	Error <sup>2</sup>
19	2.11	613.42	613.57	.02
20	2.	608.76	603.18	31.12
21	1.9	601.65	593.35	68.85
22	1.82	599.2	583.98	231.51
23	1.74	580.38	574.99	29.04
24	1.67	576.5	566.3	104.07
25	1.6	563.36	557.84	30.44
26	1.54	554.29	549.56	22.35
27	1.48	546.45	541.41	25.44
28	1.43	542.24	533.32	79.63
29	1.38	536.25	525.24	121.21
30	1.33	530.45	517.12	177.8
31	1.29	527.26	508.88	337.99
32	1.25	524.25	500.44	567.02
33	1.21	491.24	491.7	.21
34	1.18	487.81	482.52	28.02
35	1.14	431.38	472.69	1706.66
36	1.11	420.98	461.9	1674.71
37	1.08	414.28	449.59	1246.7
38	1.05	410.42	434.56	582.84
39	1.03	316.71	413.35	9340.17

**Parámetros estadísticos de la muestra:**

$\mu = 716.268$      $\sigma = 333.548$      $\gamma = 1.958$      $\kappa = 6.696$

**Parámetros de la función:**                      **Doble Gumbel**

Parámetro	Alfa1	Beta1	Alfa2	Beta2	P
Valor	.010522	531.4833	.00361	1150.4074	.8

Error estándar = 74.843



## 4. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO.

En este apartado se mostrara el comportamiento hidráulico del río a lo largo de su longitud, lo cual comprende en la determinación de niveles de agua y velocidades que se presentan a lo largo del eje propuesto. Para la determinación de dichos valores se expondrá de manera detallada los parámetros usados para su determinación tales como (Rugosidad y Pendiente Hidráulica).

Además de exponerse la metodología realizada para la generación del modelo matemático del río en el famoso software conocido como HEC-RAS.

### 4.1. METODOLOGÍA.

A continuación se exponen los pasos que se siguieron para la obtención del modelo matemático además de la correspondiente extracción y análisis de la información que se generó a partir de esta herramienta de cálculo.

#### 4.1.1. MODELACIÓN.

Para la modelación del río en condiciones naturales se utilizó el modelo matemático HEC-RAS desarrollado por el USACE (United States Army Corps of Engineers). Dicho modelo es utilizado para la modelación de conductos a superficie libre, tanto artificiales como naturales; al tratarse de un modelo matemático, el procesamiento de la información que se va a introducir al modelo cobra vital importancia, ya que lo que se busca generar es una representación adecuada de la realidad; en este caso el proceso de modelación en cuanto a su estructura se separó en los siguientes elementos.

- Procesamiento de Elementos Geométricos.
- Parámetros Hidráulicos y Datos de Flujo.
- Consideraciones realizadas en la modelación matemática.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Procesamiento de Elementos Geométricos.

Para el procesamiento de elementos geométricos se hizo uso de la topobatimetría de detalle levantada en el tramo de estudio “Río Grijalva PUXCATÁN KM 0+000.00-1+560.00”, para la obtención de los siguientes elementos que componen la estructura del modelo matemático.

- Eje del Cauce.
- Secciones que componen al Cauce.

Se procesó toda la información disponible mediante el programa conocido como CivilCad, el cual ayudo a extraer cada punto de la topografía disponible con sus correspondientes coordenadas X (Este) y Y (Norte), además de las elevaciones de los mismos, información que fue procesada para la correspondiente lectura del programa conocido como HEC-RAS.

Eje del Cauce: En base a la topobatimetría de detalle se trazó el eje del cauce, siguiendo la lógica de continuidad de la vena líquida del flujo, se evitaron en el trazo cambios de dirección, fuertes y frecuentes razón por la cual no se trazó el eje del cauce por los puntos más bajos de la topobatimetría ya antes referida. Para la georeferenciación de dicho eje en el modelo matemático se extrajeron las coordenadas del eje anteriormente trazado mediante el uso de Autocad y Excel.

Secciones que Componen al Cauce: Para la introducción de dicha información y conservar las coordenadas geográficas de cada punto que integra a la topografía levantada se generó un archivo CSV delimitado por comas generado por CivilCad y depurado en Excel; para la medición de las distancias que existe entre cada sección aguas abajo se generaron dos poli-líneas de apoyo que se trazaron a los extremos de cada sección generada sobre el eje del cauce, se extrajeron las coordenadas que componen a las poli-líneas generadas y mediante la relación geométrica que se muestra a continuación se obtuvieron las distancias anteriormente referidas.

$$r = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$$



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Donde:

i: Sección i que compone al tramo de estudio.

i-1: Sección i-1 que compone al tramo de estudio, y se encuentra aguas abajo de la sección i.

r: Distancia que existe entre la sección i y la sección i-1.

$x_i$ : Coordenada UTM Este de la poli-línea generada en la sección i.

$x_{i-1}$ : Coordenada UTM Este de la poli-línea generada en la sección i-1.

$y_i$ : Coordenada UTM Norte de la poli-línea generada en la sección i.

Parámetros Hidráulicos de Flujo.

Los Parámetros Hidráulicos necesarios para la realización de la modelación matemática se enlistan a continuación de manera ilustrativa, se menciona además el origen de la consideración de cada uno de los parámetros utilizados. La explicación a detalle del cómo fueron obtenidos estos valores se muestra a lo largo de este documento.

Tabla 4.1.1 Parámetros hidráulicos considerados para la modelación matemática.

Descripción	Valor	Origen
Longitud del tramo	Del km 0+000 al km 1+560, un total de 1.56 km	Información Topobatimétrica de detalle, sobre el eje de cauce propuesto.
Coefficiente de rugosidad en Plantilla (n)	0.042 y 0.039	Análisis Fotográfico, Topobatimétrico y Granulométrico de las calas realizadas. Ref( Hidráulica de Canales Abiertos Ven Te Chow.
En río coeficiente de expansión (c)	0.3	User's Manual River Analysis System Hec Ras, Us Army Corp of Engineers
En río coeficiente de contracción (c)	0.1	User's Manual River Analysis System Hec Ras, Us Army Corp of Engineers



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Descripción	Valor	Origen
Gastos simulados	Desde el $tr=2$ hasta $tr=100$ años; y Gasto Formativo según Inglis y Kellerhals.	Análisis de la Estación Hidrométrica Tapijulapa.
Condición de Frontera	0.001065, Flujo Uniforme.	Datos obtenidos de Campo (Pendiente Hidráulica).
Tipo de régimen	Subcrítico.	User's Manual River Analysis System Hec Ras, Us Army Corp of Engineers.
Tirante inicial frontera aguas arriba	Tirante normal	Datos obtenidos de Campo (Pendiente Hidráulica).
Tirante inicial frontera aguas abajo	Tirante normal	Datos obtenidos de Campo (Pendiente Hidráulica).

Como se menciona en la Tabla 4.1.1 se realizó un análisis para la muestra de datos generados en la estación Hidrométrica el Tapijulapa A continuación sólo se muestra la Tabla resumen 4.1.2 en donde se presenta una relación gasto periodo de retorno utilizado para la modelación matemática.

Tabla 4.1.2 Parámetros hidráulicos considerados para la modelación matemática.

TR [años]	Q [ $m^3/s$ ]
2	603.18
5	898.36
10	1253.53
20	1495.7
50	1773.73
100	1973.02

En la Tabla 4.1.2 se muestra una relación Gastos-Periodo de Retorno utilizada en la modelación matemática, se modeló sólo para los gastos que comprenden un periodo de retorno que va de 2 años a 100 años, de la información arrojada por el modelo matemático para este escenario se generó una nueva condición en donde se buscó el gasto para el cual el cauce no desborda "Gasto Formativo según Inglis



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



y Kellerhals” ref.4; en dicha condición se buscó la sección de mínima capacidad a la cual le fue construida su curva Gastos-Elevaciones y mediante la misma fue obtenido dicho Gasto Formativo buscando el Gasto y Periodo de Retorno para el cual se alcanza la elevación del hombro existente.

### **4.1.2. Extracción de Información del Modelo.**

Para el análisis de la información arrojada por el modelo, se realizó la extracción de los resultados del modelo matemático siguiendo el siguiente orden.

- Perspectivas 3D.
- Perfiles Hidráulicos.
- Secciones Hidráulicas.
- Grafica de Velocidades.
- Tabla de Resultados Hidráulicos.

En cuanto a las secciones hidráulicas se menciona que se insertaran sólo las secciones representativas del cauce, buscando mostrar en el informe sólo los cambios representativos de niveles dentro del tramo analizado; por lo cual se insertaran sólo las secciones iniciales y finales, y las secciones generadas a cada 100 metros.

Se buscó dicho proceso en la extracción de la información buscando una adecuada síntesis de la información arrojada por el modelo matemático y poder llegar a un adecuado análisis de la misma.

### **4.1.3. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LA INFORMACIÓN EXTRAÍDA DEL MODELO MATEMÁTICO.**

Con base en la información extraída del modelo matemático se realizó el análisis de la misma, se buscó cumplir con los siguientes objetivos en el análisis hidráulico.

- Ilustrar el comportamiento del Río en condiciones naturales, y en condiciones de proyecto.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



- Determinación del Gasto para el cual el cauce desborda “Gasto Formativo según Inglis y Kellerhals”.
- Determinación del Gasto Formativo comparando criterio de “Inglis y Kellerhals” y criterio de “Leopold y Maddock” ref.4.

### 4.1.4. DISEÑO DE CUBETA PROPUESTA.

La cubeta propuesta se diseñó siguiendo los siguientes criterios.

- Se propuso niveles de rasante de excavación los cuales permitieran formar una pendiente topográfica adecuada, en una longitud considerable para lograr establecer un flujo en equilibrio, esta pendiente utilizada al final del tramo de desazolve propuesto fue la empleada para la modelación generada en condiciones de proyecto. En el proyecto se propusieron dos pendientes de diseño debido a la irregularidad topográfica que presenta el perfil natural del cauce de diseño, ambos tramos de diseño quedan definidos de la siguiente forma.

TRAMO	DEL	AL	PENDIENTE TOPOGRAFICA.
	KM	KM	M/KM
1	1100	700	4.2
2	700	80	1.2

- El ancho de la cubeta obedeció a la topografía existente en la zona de estudio, y se ajustó dicha topografía a una sección regular trapecial con un talud de 2:1, en la totalidad de los tramos excavados; esta geometría en la excavación tiene como única finalidad ajustar el río a una geometría lo más regular posible, además de quitar los obstáculos que antes se presentaban en el tramo de estudio, con lo cual se logra reducir el coeficiente de rugosidad que afecta al río en condiciones naturales.



- Con este trazo en la excavación realizada se busca reducir los niveles de agua que se presentan con cada periodo de retorno y además aumentar la capacidad hidráulica del río así como el gasto formativo del río en el tramo analizado.

## **4.2. ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL RÍO EN CONDICIONES NATURALES Y DE PROYECTO.**

A continuación se muestra el análisis hidráulico que se realizó para finalidades de este trabajo, se presenta el proceso de obtención de los parámetros hidráulicos necesarios para la modelación realizada y los análisis generados para la obtención de gastos de diseño y que regirán la comparación entre condiciones naturales y de proyecto.

### **4.2.1. ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL RÍO EN CONDICIONES NATURALES.**

A continuación se muestran los elementos que componen el Análisis Hidráulico del Río realizado en el tramo de estudio, se busca a continuación especificar las consideraciones realizadas para su realización, además de ilustrar los resultados sintetizados obtenidos a través de la modelación matemática realizada; se buscó al final de este apartado proponer una solución a la problemática presentada. En este apartado se exponen los siguientes elementos.

- Parámetros Hidráulicos empleados a lo largo del estudio debidamente Justificados.
- Gastos empleados para la modelación matemática, debidamente detallados.
- Información topográfica relevante para el análisis hidráulico.
- Información geotécnica relevante para el análisis hidráulico.
- Extracción de resultados obtenidos mediante el modelo matemático.
- Obtención del Gasto Formativo.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



- Obtención de Gastos de Diseño.

### 4.2.1.1. CONDICIONES GENERALES.

Para la determinación del coeficiente de rugosidad “ $n$ ” de Manning se utilizarán los conceptos vertidos en las Ref.1 y 3; además de utilizar los resultados obtenidos de los estudios topográfico y geotécnico del proyecto. El análisis efectuado para la obtención del coeficiente de rugosidad “ $n$ ” de Manning se encuentra basado en un análisis de fotos realizadas a lo largo del tramo de estudio del cauce que ayuden a determinar el valor de dicho concepto, con los cuales se determinara cómo discretizar dicho parámetro.

Para la estimación del coeficiente de rugosidad se emplearon diferentes criterios con la finalidad de refinar la estimación de dicho parámetro, mediante la comparación de los métodos que a continuación se mencionan.

Asignación del coeficiente “ $n$ ” de Manning utilizando tablas: El empleo de este método se basó en la observación de las características del cauce, lo cual comprende el análisis de “Topografía e Imágenes”; y basándose en los conocimientos vertidos en la ref.1 se asigna un valor adecuado de  $n$ .

Método de Cowan: Este método se basa en la observación de las características físicas del cauce, y busca a través de una ponderación de cada una de estas características la obtención del coeficiente de rugosidad; este método se encuentra basado en lo estipulado en la ref.1 de este documento.

Estimación del coeficiente de rugosidad mediante fotografías: a partir de fotografías de tramos del cauce se comparan con las imágenes en la ref.1 y se determina el valor correspondiente del coeficiente

### **Análisis Topográfico.**

Para el análisis topográfico se utilizó la topobatimetría levantada a lo largo del tramo de estudio, en donde se muestra una irregularidad menor al no existir contracciones o expansiones bruscas de un tramo a otro en un corto intervalo de longitud, además de no presenciarse un cambio de forma a lo largo del tramo de estudio. A continuación en la Figura 4.2.1.1.1 se muestra la topobatimetría levantada en la zona de estudio.

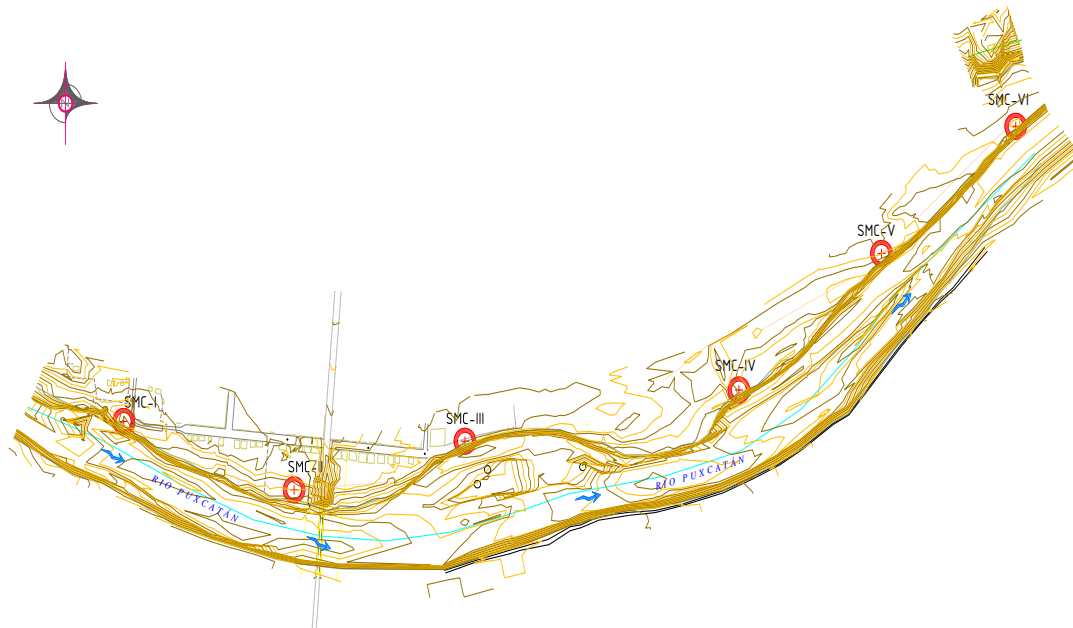


Figura 4.2.1.1.1 Topobatimetría realizada en el tramo de estudio, sin seccionamiento.

### Análisis Fotográfico.

Para la determinación del coeficiente de rugosidad se emplearon diferentes imágenes las cuales ilustran las condiciones generales del cauce y ayudan a apreciar el estado en el que se encuentra el tramo de estudio. En dichas imágenes se buscó evaluar la cantidad de vegetación existente, así como constatar la composición del material que integra los elementos de las secciones que componen





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



al tramo del cauce de estudio; a su vez se buscó observar la irregularidad del cauce así como los cambios de dirección que el mismo presenta.



Figura 4.2.1.1.2 Fotografía del tramo en estudio.

En la Figura 4.2.1.1.2 se muestra una sección del tramo en estudio, en la cual se puede observar la existencia de vegetación dentro del cauce, así como un ancho considerable en el cual no se aprecian cambios bruscos de sección.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Figura 4.2.1.1.3 Fotografía del tramo en estudio.

En la Figura 4.2.1.1.3 se muestra el tramo de estudio, en la cual se puede observar que el río conserva una amplitud considerable en el ancho de su cauce, sin cambios bruscos de sección. También se aprecia una curva, pero al ser la relación de la longitud del meandro con la longitud del tramo recto menor de 1.2, se considera *menor*.





Figura 4.2.1.1.4 Fotografía que muestra una zona del tramo del cauce de estudio.

En la Figura 4.2.1.1.4 se muestra el tramo de estudio, en la cual se puede observar que la presencia de las pilas del puente no constituye una obstrucción, debido a la amplitud del ancho del cauce, se puede considerar que dichas obstrucciones son despreciables y por lo tanto, se considera que no existe obstrucción al flujo.

Se dividió al cauce cualitativamente en dos tramos, Tramo 1 (0+000 a 1+060) y Tramo 2 (1+080 a 1+579.19), estos tramos se definieron con base en fotografías del cauce, en las cuales se aprecia que el Tramo 1 está compuesto principalmente por boleos mientras que el suelo en el Tramo 2 es de características finas.

Debido a que no existe un método exacto para la selección del coeficiente de rugosidad  $n$ , su determinación es difícil. Los factores que afectan el coeficiente  $n$  son la rugosidad de la superficie, la existencia de vegetación, las irregularidades del



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



canal, depósitos o socavaciones, obstrucciones, tamaño y forma del canal, nivel y caudal, cambio estacional y el material suspendido y transporte de fondo. Todos estos factores que deben ser tomados en cuenta para la determinación del coeficiente.

Se estimarán los coeficientes de rugosidad con tres procedimientos, se determinará primero el rango de valores entre los cuales se encuentra el coeficiente de rugosidad y posteriormente se afinará:

- Mediante el uso de Tablas, Ref 1
- Método de Cowan, Ref 1
- Identificación de fotografías, Ref 1

### Determinación del coeficiente de rugosidad mediante el uso de Tablas

La Tabla 4.2.1.1.2 da una lista de valores  $n$  para canales de varios tipos, se muestran únicamente los valores correspondientes a canales con características similares a los tramos del cauce, para conocer la totalidad de los valores dirigirse al Cuadro 5-6 de la Referencia 1.

Tabla 4.2.1.1.2. Valores  $n$  diferentes tipos de canal

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D-3. Cursos de agua importantes (ancho superficial en nivel de creciente > 100 ft). Los valores de $n$ son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva.			
a. Sección regular, sin rocas y arbustos	0.025	-----	0.060
b. Sección irregular y áspera	0.035	-----	0.100

El intervalo válido del coeficiente de rugosidad  $n$  se encuentra dentro del intervalo 0.035 a 0.100

### Método de Cowan

Cowan desarrolló un procedimiento para estimar el valor de  $n$ :



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



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

donde

$n_0$  es un valor básico de  $n$  para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales comprendidos

$n_1$  es un valor que corrige el efecto de irregularidades de la superficie

$n_2$  es un valor para las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal

$n_3$  es un valor de obstrucciones

$n_4$  es un valor para la vegetación y condiciones de flujo

$m_5$  es un factor de corrección de los meandros del canal

Los valores anteriores pueden definirse con la Tabla 4.2.1.1.3, Ref 1.

Tabla 4.2.1.1.3. Valores de los coeficientes del método de Cowan

Condiciones del canal		Valores	
Material considerado	Tierra	$n_0$	0.020
	Roca cortada		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Liso	$n_1$	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal del canal	Gradual	$n_2$	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
	Despreciable		0.000





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Condiciones del canal		Valores	
Efectivo relativo de obstrucciones	Menor	$n_3$	0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	$n_4$	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Cantidad de meandros	Menor	$m_5$	1.000
	Apreciable		1.150
	Severa		1.300

Para el Tramo 1:

	Valor	Justificación
$n_0$	0.028	El material del fondo del cauce está compuesto por gravas gruesas
$n_1$	0.005	Las irregularidades del fondo del cauce son menores
$n_2$	0.000	Las variaciones de la sección transversal son graduales
$n_3$	0.000	El cauce no se encuentra obstruido
$n_4$	0.009	La altura de la vegetación es de dos a tres veces menor que la altura media de la Vegetación.
$m_5$	1.000	La cantidad de meandros en el tramo es menor

$$n = (0.028 + 0.005 + 0.000 + 0.000 + 0.009)1.0 = 0.04$$

Para el Tramo 2:

	Valor	Justificación
$n_0$	0.020	El material del fondo del cauce está compuesto por arenas
$n_1$	0.005	Las irregularidades del fondo del cauce son moderadas
$n_2$	0.000	Las variaciones de la sección transversal son graduales
$n_3$	0.000	El cauce no se encuentra obstruido
$n_4$	0.014	La altura de la vegetación es de dos a tres veces menor que la profundidad media del flujo
$m_5$	1.000	La cantidad de meandros en el tramo es menor

$$n = (0.020 + 0.005 + 0.000 + 0.000 + 0.014)1.0 = 0.039$$



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Ambos valores quedan dentro del intervalo definido anteriormente.

### Coeficiente de rugosidad mediante fotografías

Al comparar las Figuras Figura 4.2.1.1.6 y Figura 4.2.1.1.7, puede observarse que las ilustraciones (17) y (18) de la Figura 4.2.1.1.5 tienen características similares a los tramos del cauce en estudio, resultando así un valor del coeficiente de rugosidad de 0.040 y 0.045. Por lo que para el Tramo 1, el valor del coeficiente de rugosidad será 0.042, mientras que para el tramo 2 se consideró una media entre el método de Cowan y el coeficiente establecido en las ilustraciones, es decir 0.039.

En la Tabla 4.2.1.1.4 se muestra un resumen de la obtención de este parámetro.

Tabla 4.2.1.1.4. Valores de los coeficientes de rugosidad para el cauce

Cadenamiento		n Manning
de	a	
0+000.00	0+120.00	0.042
0+140.00	0+380.00	0.042
0+400.00	0+720.00	0.042
0+740.00	1+060.00	0.042
1+080.00	1+320.00	0.039
1+340.00	1+560.00	0.039

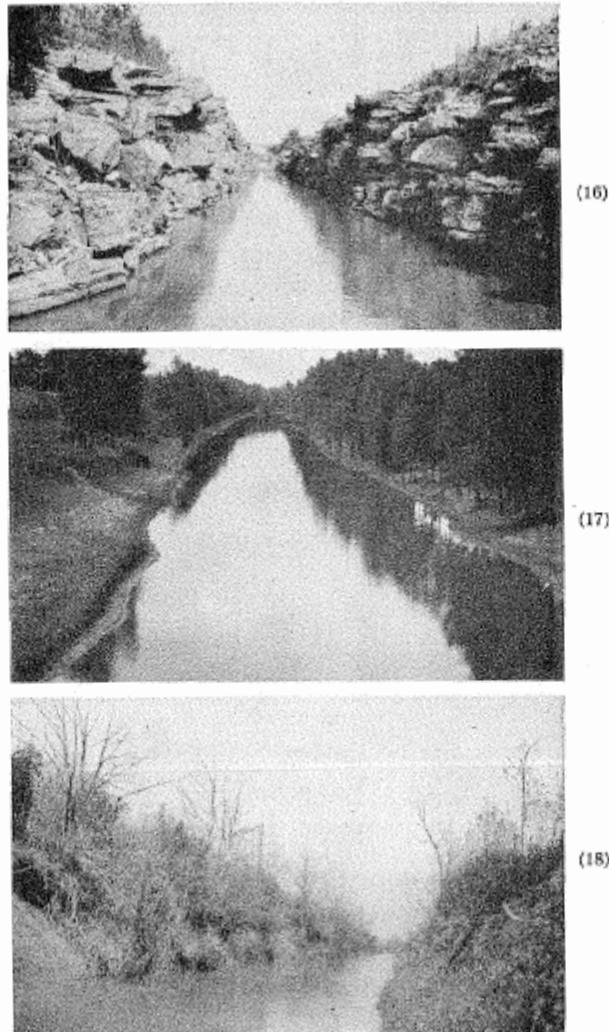


FIG. 5-5 (16-18)

16.  $n = 0.040$ . Canal en roca excavado con explosivos.  
17.  $n = 0.040$ . Zanja en arcilla y gruda arenosa; pendientes laterales, fondo y sección transversal irregulares; pastos en los lados.  
18.  $n = 0.045$ . Canal dragado, pendientes laterales y fondo irregulares, en arcilla negra plástica en la parte superior y en arcilla amarilla en el fondo, los lados cubiertos con pequeños arbolitos y arbustos, variación pequeña y gradual en la sección transversal.

Figura 4.2.1.1.5 Ilustraciones de canales con diferente rugosidad



Figura 4.2.1.1.6 Fotografía del Tramo 1



Figura 4.2.1.1.7 Figura del Tramo 2





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



### **Coefficientes de expansión y contracción.**

La recomendación que da la ref.2, estipula que si el cambio en las secciones transversales es gradual y el flujo es subcrítico -este caso-, los coeficientes de contracción y expansión están en el orden de 0.1 y 0.3, respectivamente. Por lo que los coeficientes para el modelo serán:

- Contracción: 0.1
- Expansión: 0.3

### **Condiciones de frontera.**

Para la realización de la modelación matemática se consideró que el flujo tiende al equilibrio tanto aguas arriba como aguas abajo, por lo que se estimó la pendiente a la cual se establece dicho equilibrio; dicha pendiente se estimó utilizando la topobatimetría de detalle, mediante la medición de dos cotas de agua medidas sobre el eje del cauce trazado en diferentes cadenamientos alejados a una distancia considerable; y se dividió la diferencia de elevaciones entre la diferencia de longitudes de cada cadenamiento analizado. Se utilizó dicha pendiente como representativa; debido a que la condición hipotética del flujo uniforme considera paralelas las pendientes del flujo, del fondo y de energía.

Tabla 4.2.1.1.5 Distancias y alturas utilizadas para la estimación de la condición de Frontera.

	<b>ESTACIÓN</b>	<b>NIVEL DEL TERRENO</b>
	1+560.00	52.966 msnm
	0+000.00	51.305 msnm
<b>DIFERENCIA</b>	1560.00 m	1.682 m

En la Tabla 4.2.1.1.5 se muestran las diferencias de longitudes y las diferencias de elevaciones de agua, a continuación se muestra la expresión utilizada para la obtención de la pendiente a la cual se establece el equilibrio del flujo.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



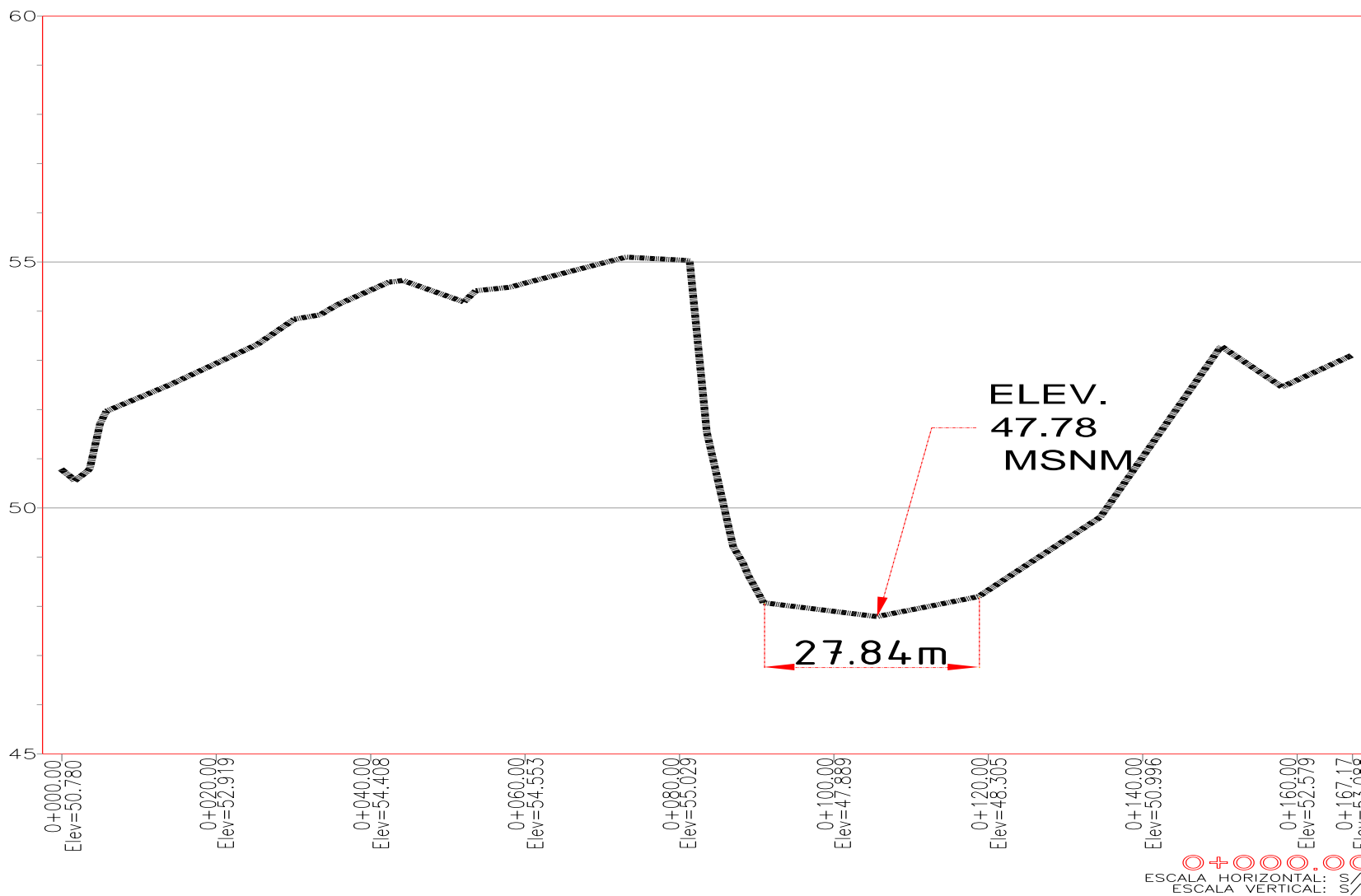
$$s = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{1.682}{1560} = 0.001065 [m/m]$$

### Secciones Topográficas Representativas.

A continuación con la finalidad de representar la forma que tienen las secciones que componen el tramo de estudio se ilustran 5 secciones representativas del cauce en el tramo analizado. En dichas secciones se muestran los elementos que componen dichas secciones como por ejemplo ancho del cauce, y elevación del fondo; se incluye una malla numerada para la corroboración de los datos medidos además de indicarse el cadenamiento al que corresponde

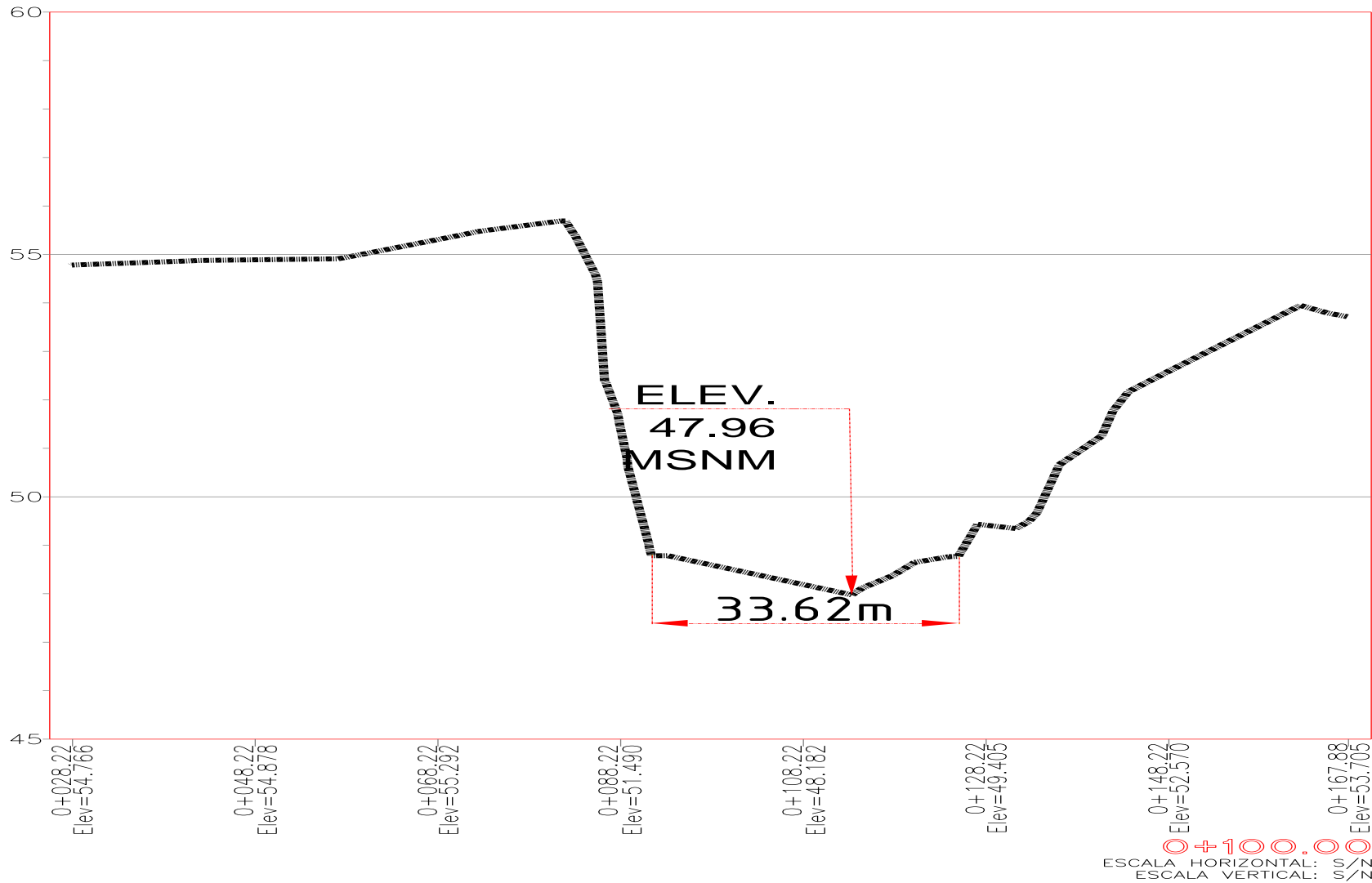


# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



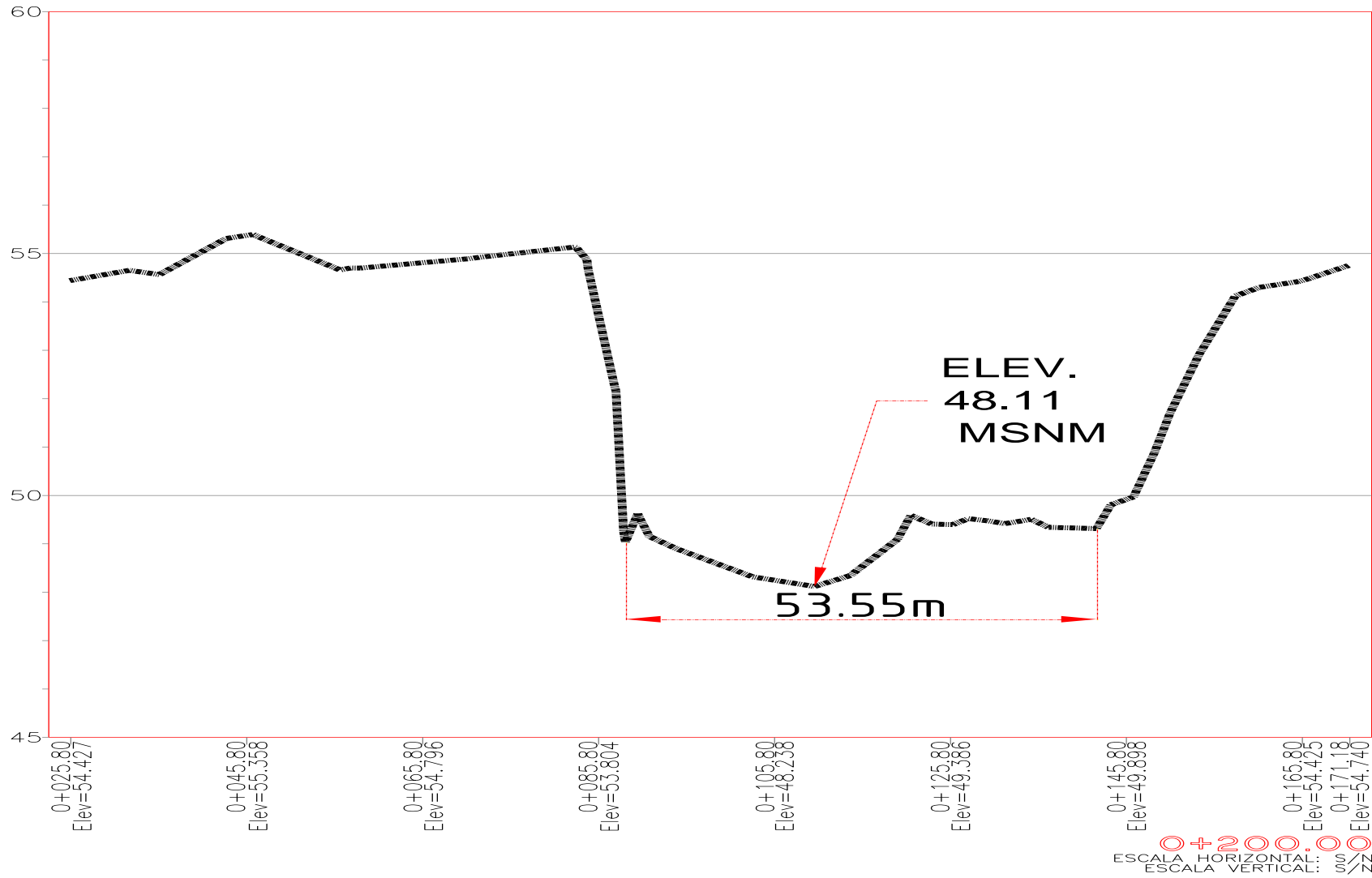


# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



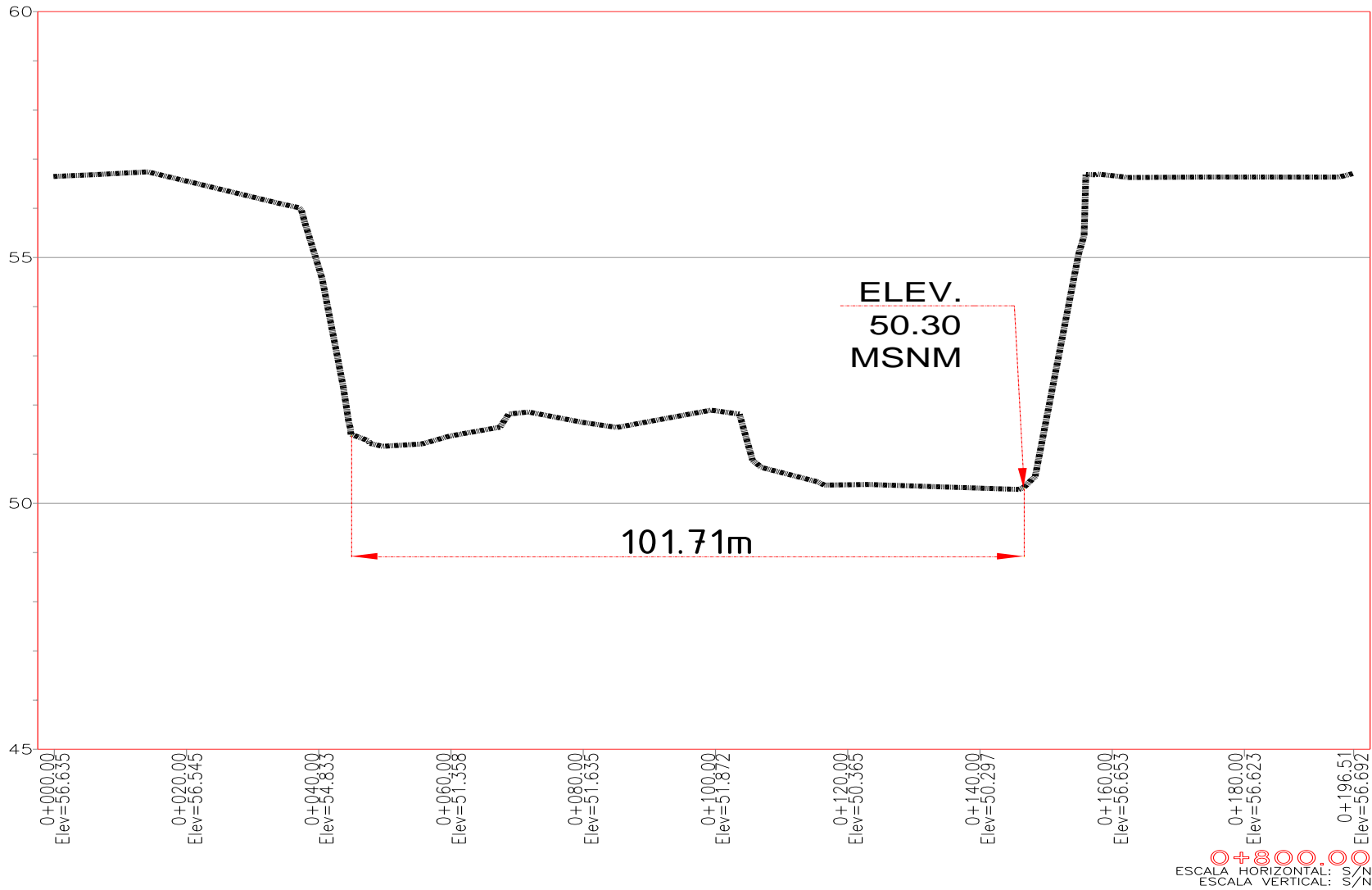


# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.





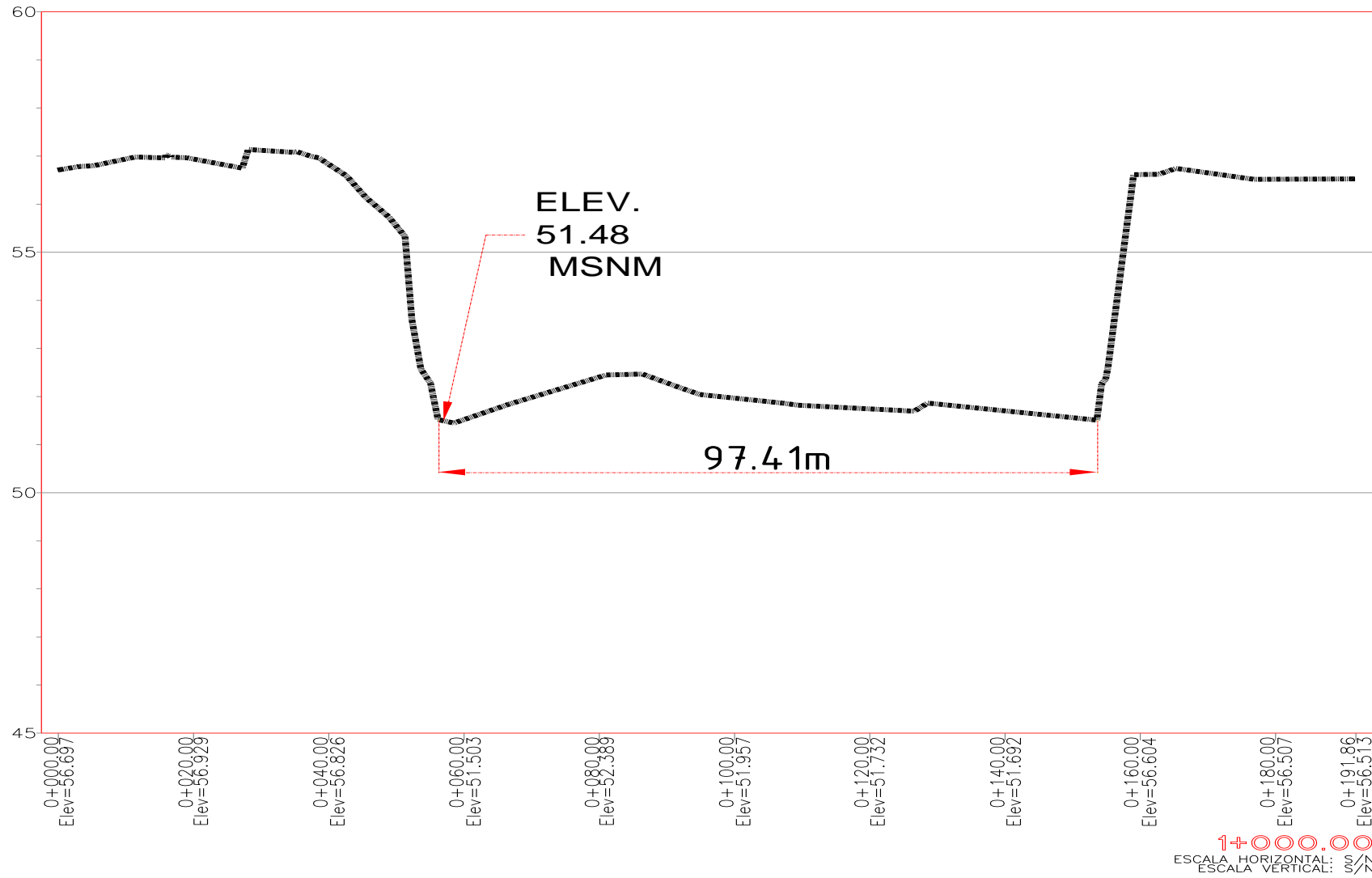
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.







# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



### 4.2.1.2. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA.

En este apartado se ilustran los resultados obtenidos de la modelación matemática del tramo del cauce analizado, el cual fue modelado utilizando HEC-RAS. Los escenarios simulados fueron generados siguiendo la metodología que se muestra en el apartado 4.1 de este documento, acatando los parámetros hidráulicos que se muestran en la Tabla 4.1.1.1; los cuales fueron debidamente justificados en el subapartado 4.2.1.1 de este documento.

Para cada escenario se incluyen los respectivos resultados, los cuales se ordenaron de la siguiente forma para cada escenario generado.

- Perspectivas 3D
- Perfiles Hidráulicos
- Secciones Hidráulicas: En este apartado se muestran las secciones representativas del tramo del cauce de estudio. Dichas secciones son aquellas que se presentan en el inicio y el final del tramo del cauce analizado además de aquellas secciones ubicadas a cada cien metros sobre el eje del cauce trazado; en dichos elementos se busca representar el nivel de agua que ocurre para los diferentes escenarios anteriormente mencionados.
- Gráfica de Velocidades: En este apartado se busca ilustrar la variación del parámetro velocidad a lo largo de la longitud del tramo del cauce estudiado; su representación sigue el mismo formato utilizado para los elementos anteriormente mencionados.



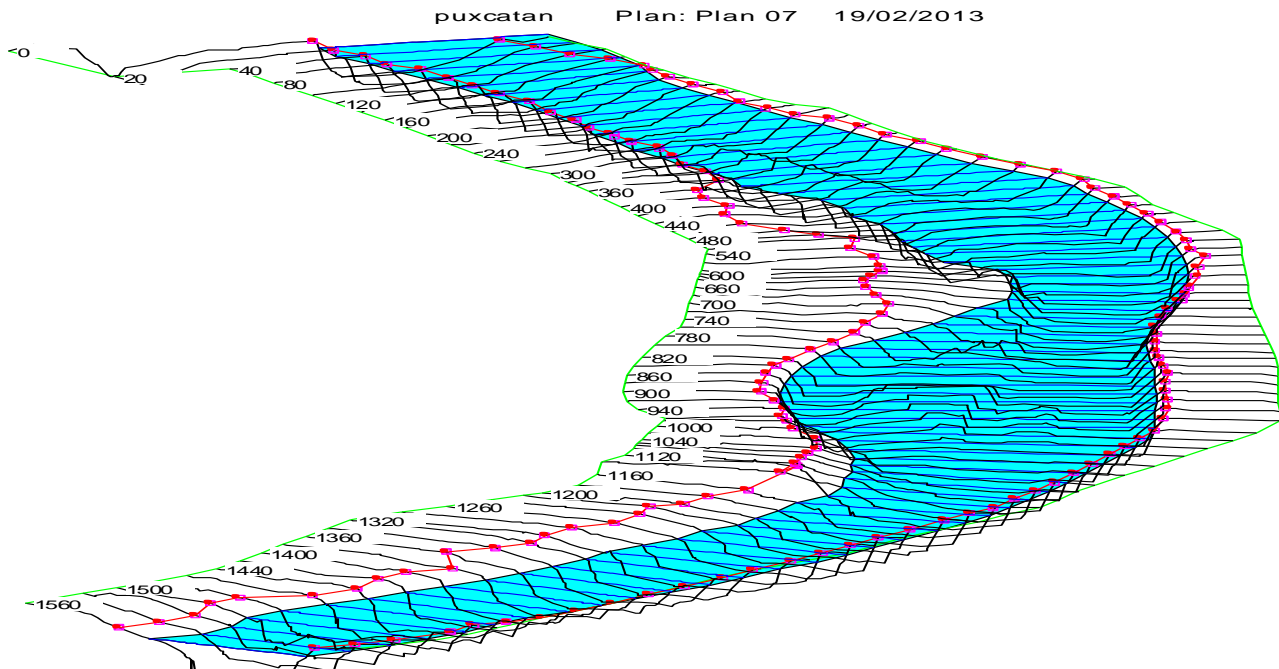
## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



A continuación se muestran diferentes sub-apartados donde se ilustran los resultados hidráulicos generados para cada escenario mencionado en este apartado; dichos resultados se integran para cada sub-apartado mostrando los elementos anteriormente mencionados y que son fundamentales para poder realizar un análisis del comportamiento hidráulico del tramo del cauce de estudio.

### PERSPECTIVAS 3D.

TR=2 [años], Q=603.18 [m<sup>3</sup>/s].

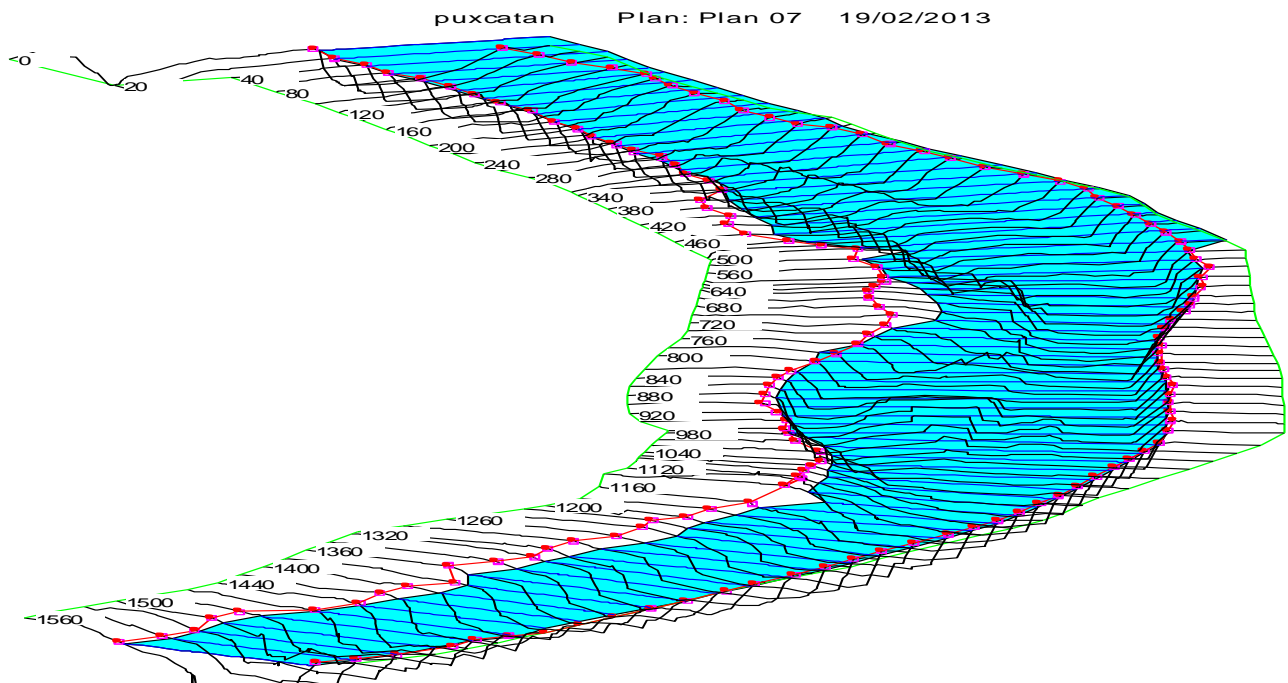




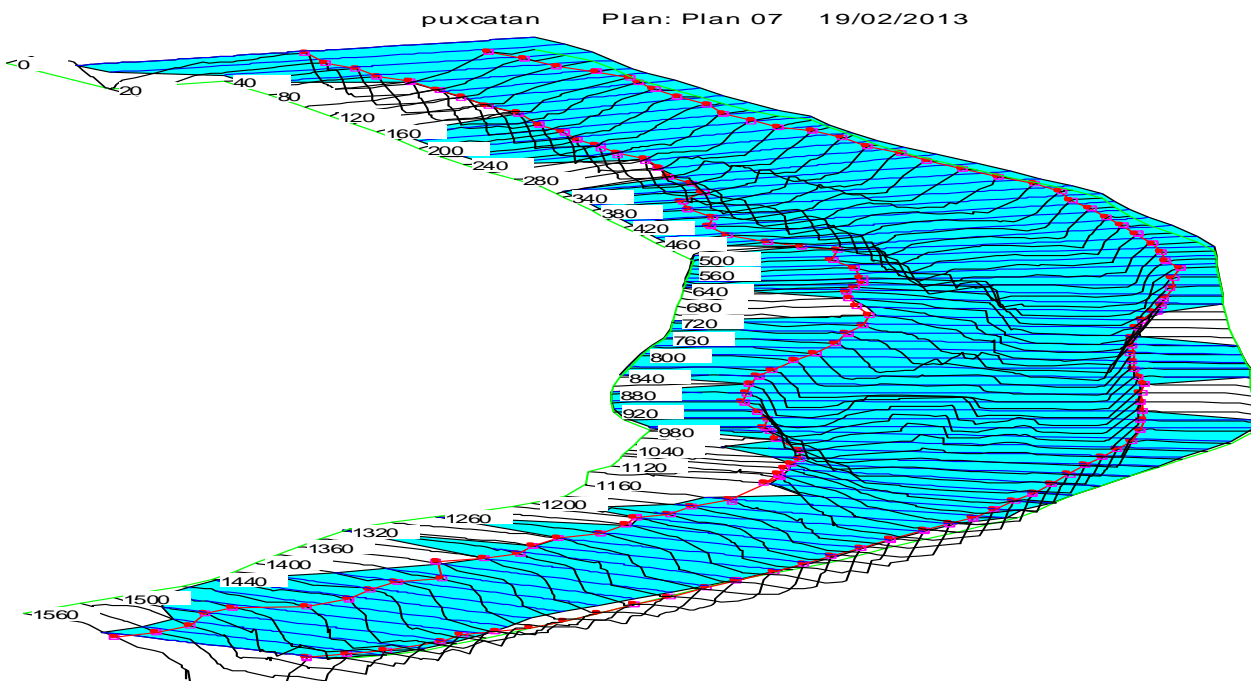
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



**TR=5 [años], Q=898.36 [m<sup>3</sup>/s].**



**TR=10 [años], Q=1,253.53 [m<sup>3</sup>/s].**

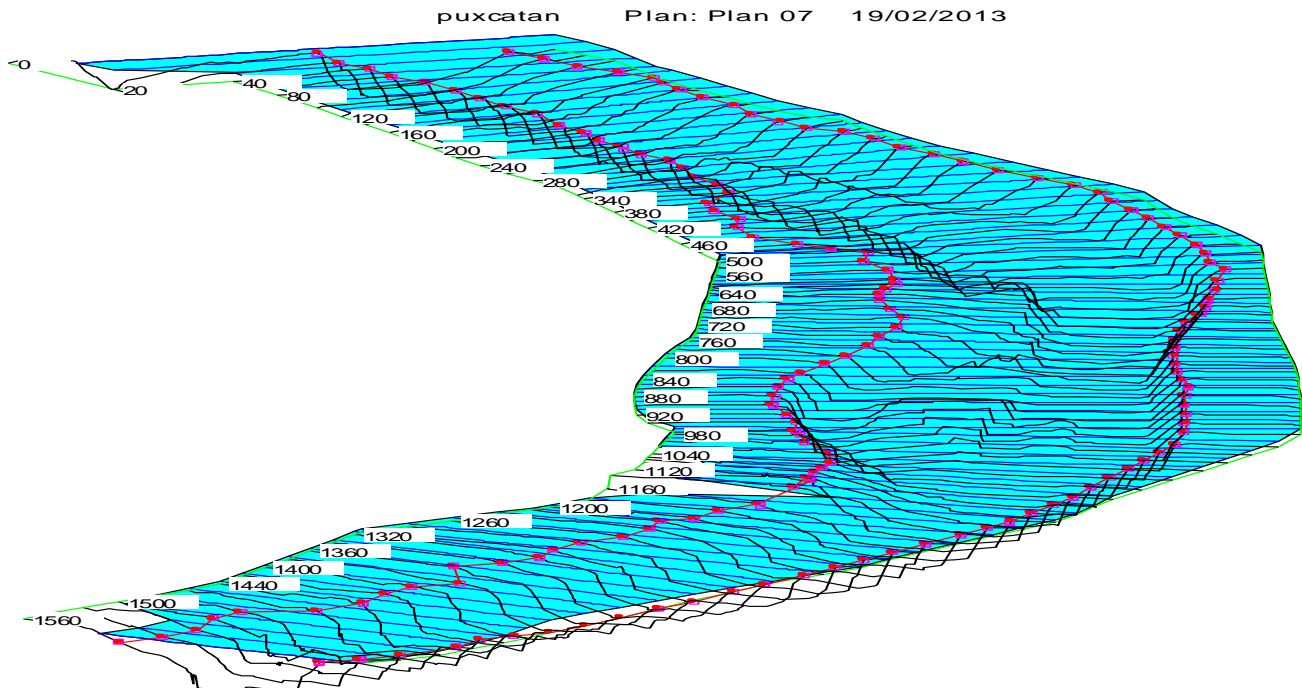




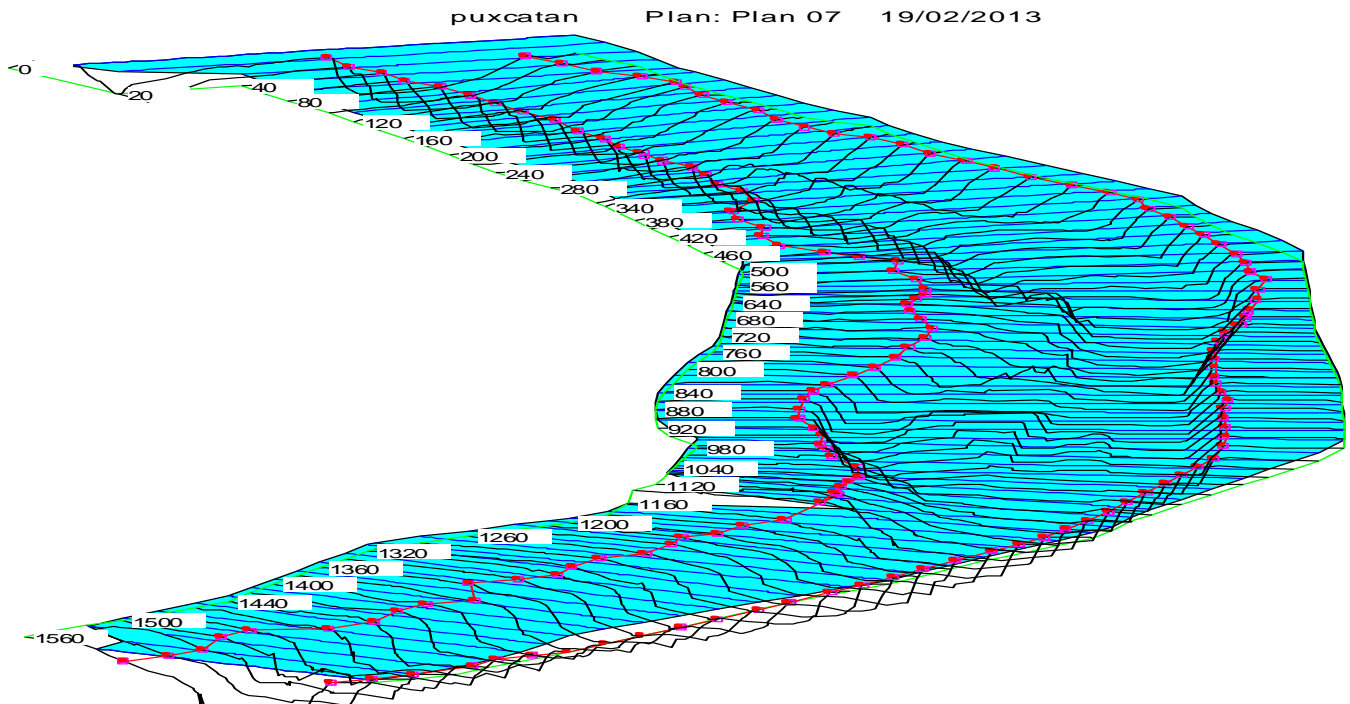
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



TR=20 [años], Q=1,495.70 [m<sup>3</sup>/s].



TR=50 [años], Q=1773.73 [m<sup>3</sup>/s].



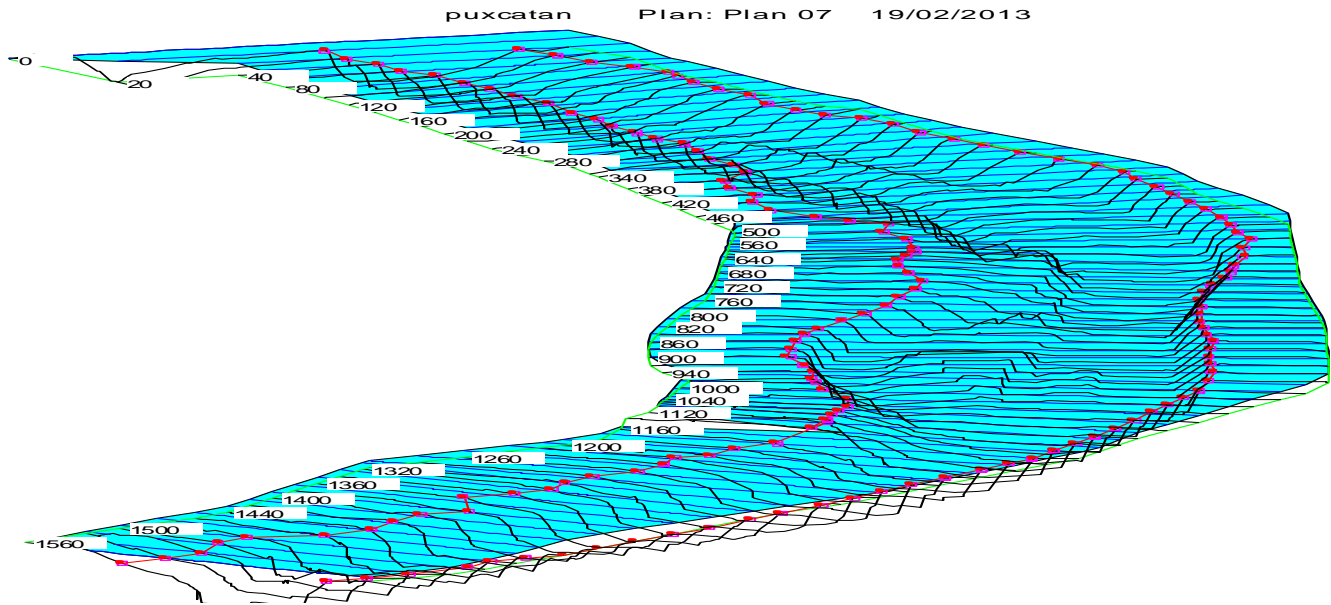




# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.

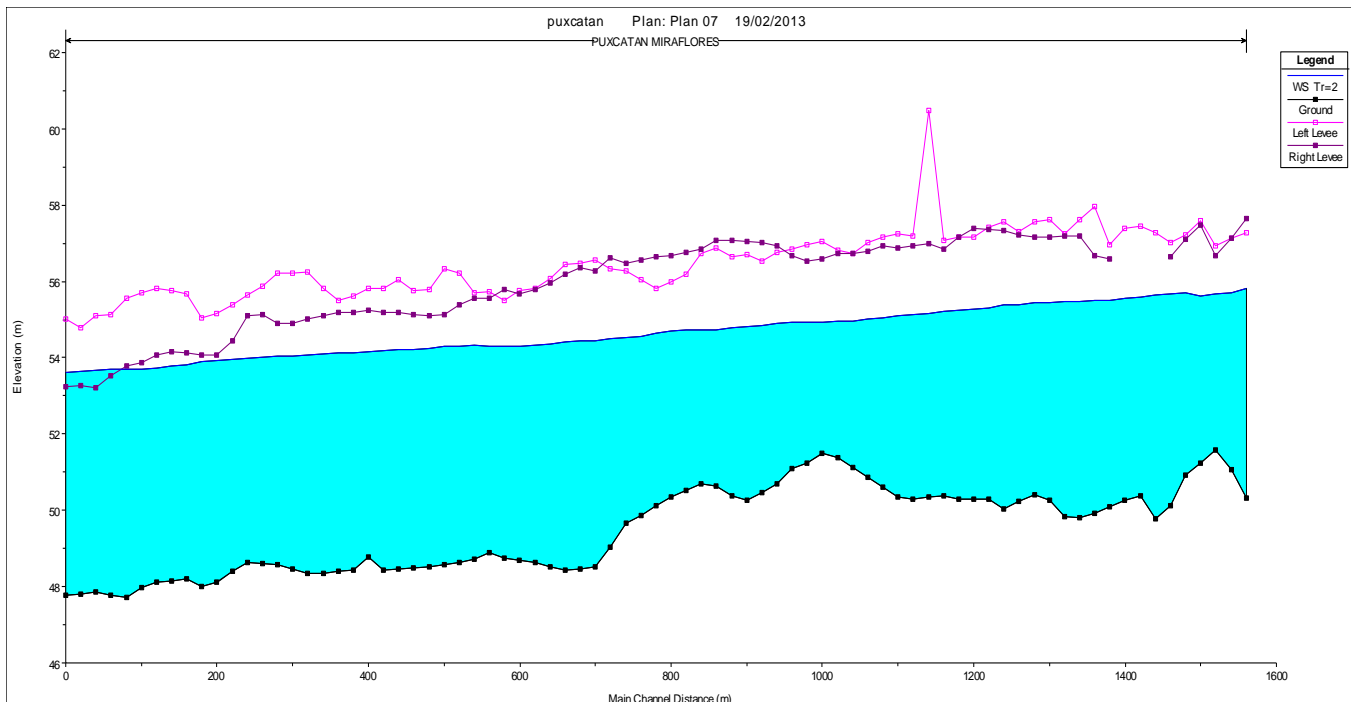


TR=100 [años], Q=1973.02 [m<sup>3</sup>/s].



## PERFILES HIDRÁULICOS.

TR=2 [años], Q=603.18 [m<sup>3</sup>/s].

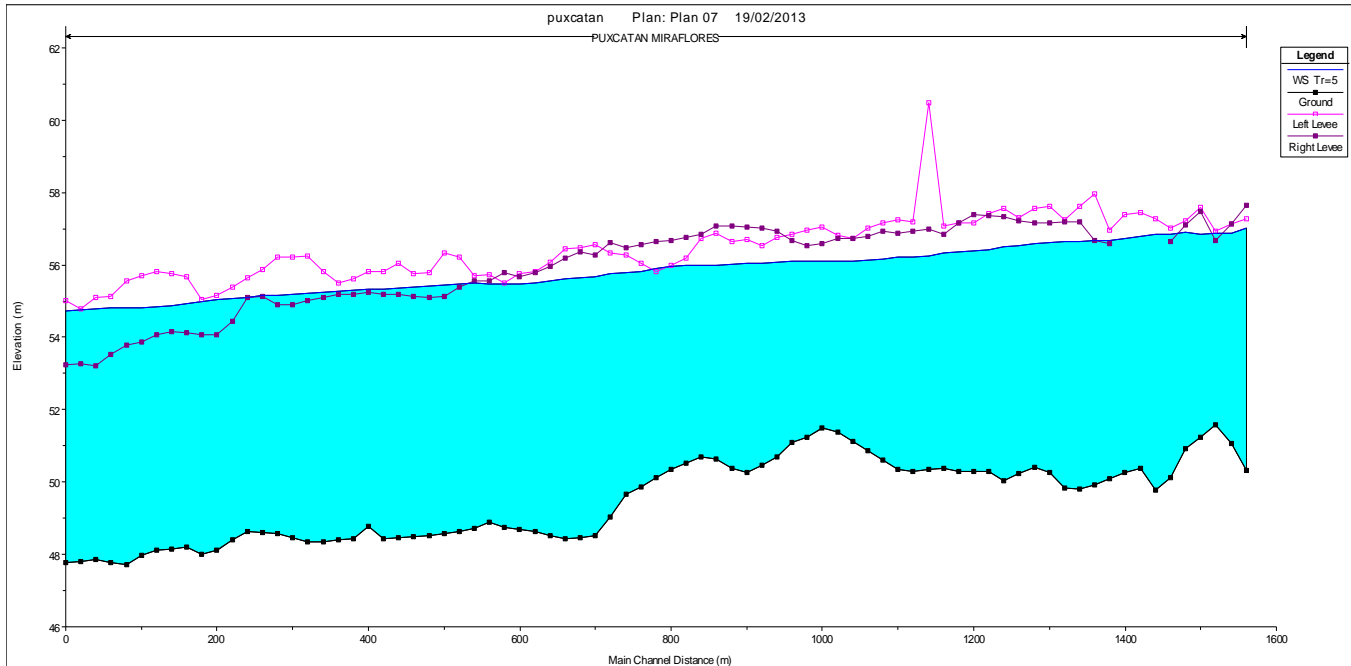




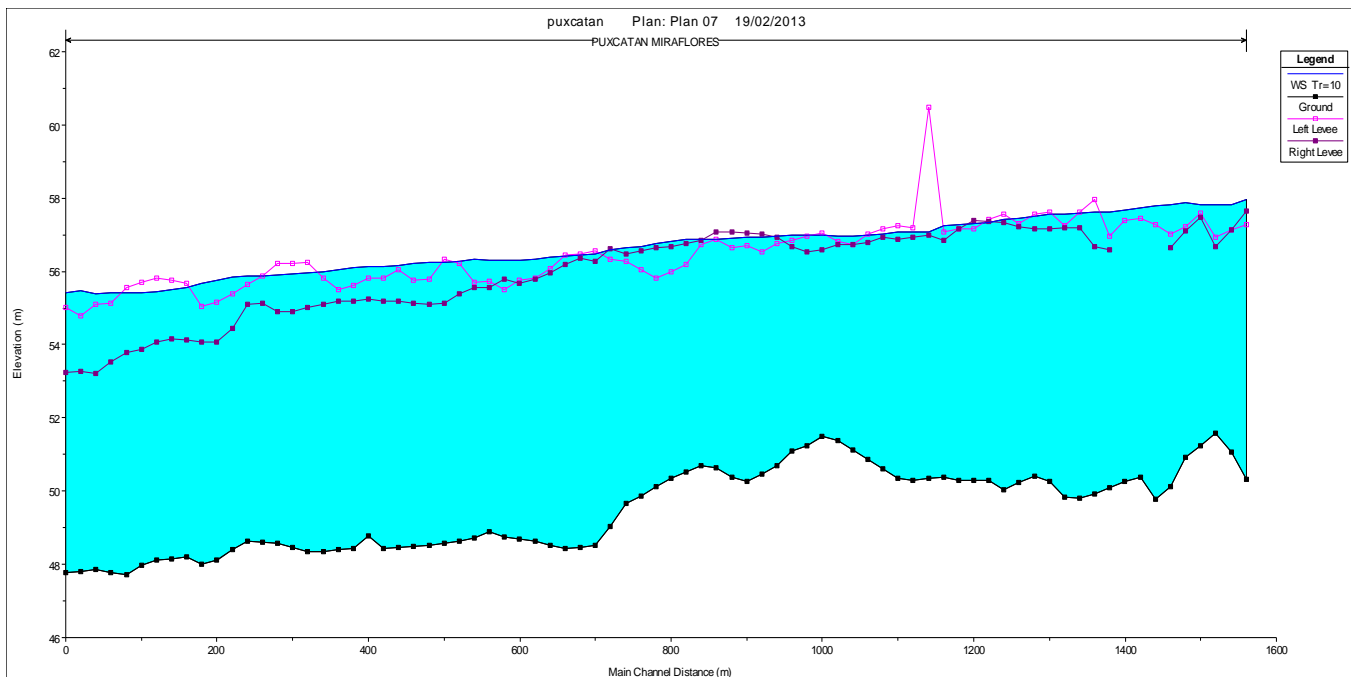
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



TR=5 [años], Q=898.36 [m<sup>3</sup>/s].



TR=10 [años], Q=1,253.53 [m<sup>3</sup>/s].

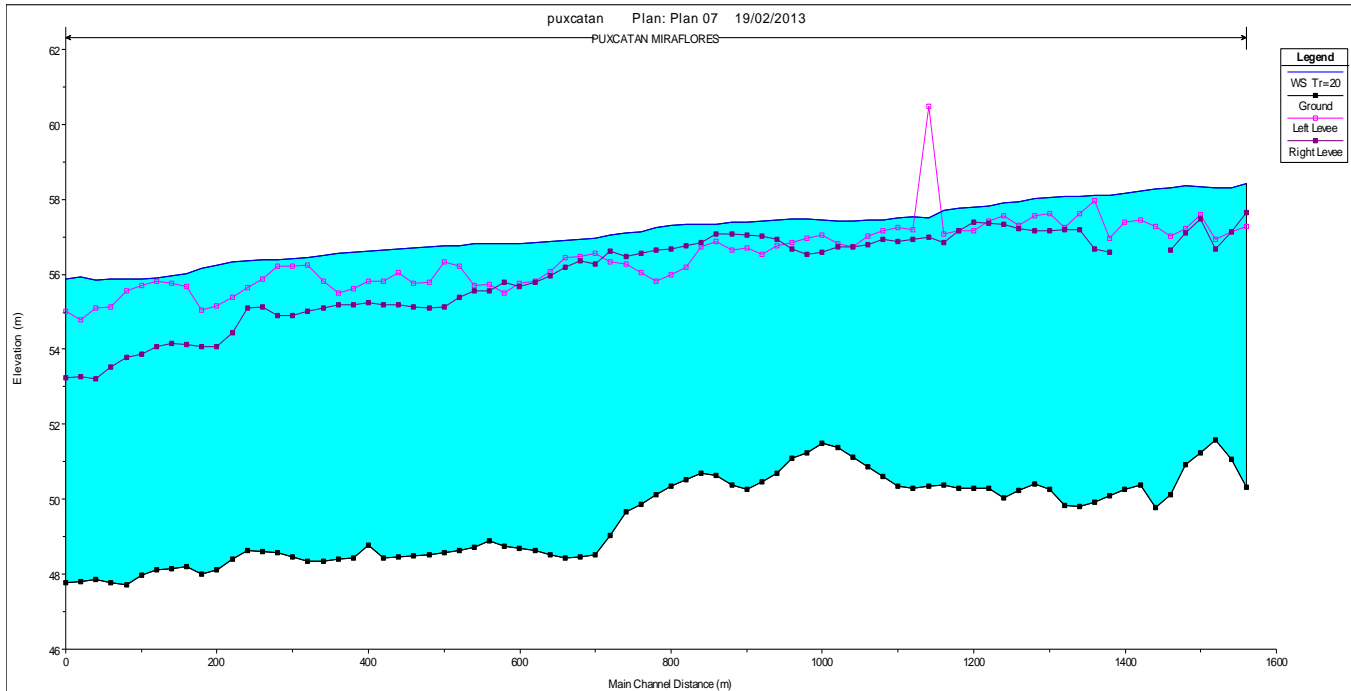




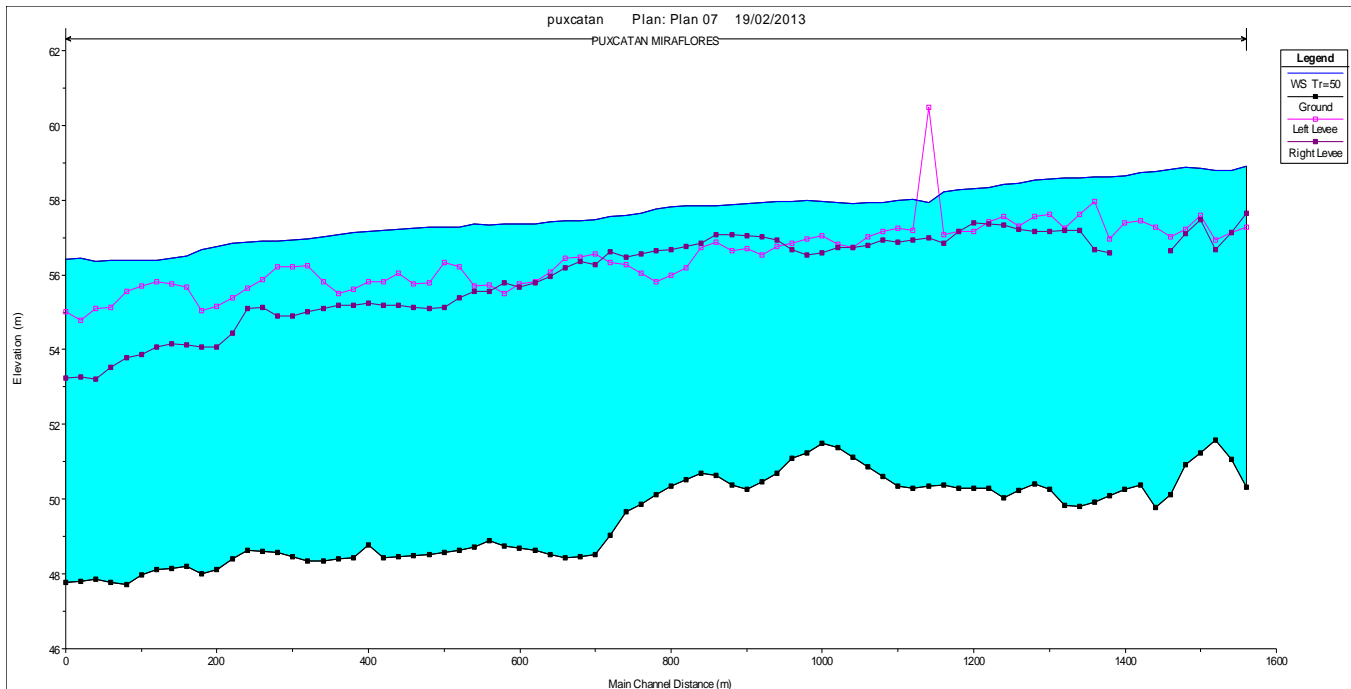
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



TR=20 [años], Q=1,495.70 [m<sup>3</sup>/s].



TR=50 [años], Q=1773.73 [m<sup>3</sup>/s].

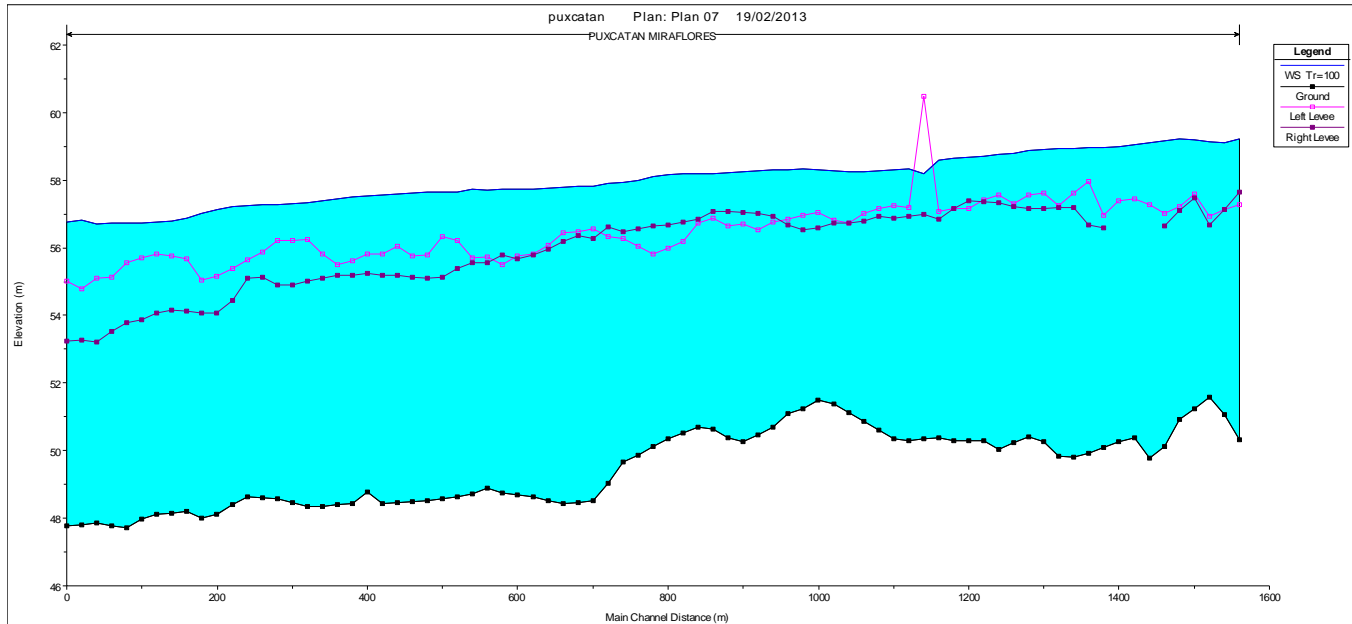




# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



TR=100 [años], Q=1973.02 [m<sup>3</sup>/s].



## SECCIONES HIDRÁULICAS.

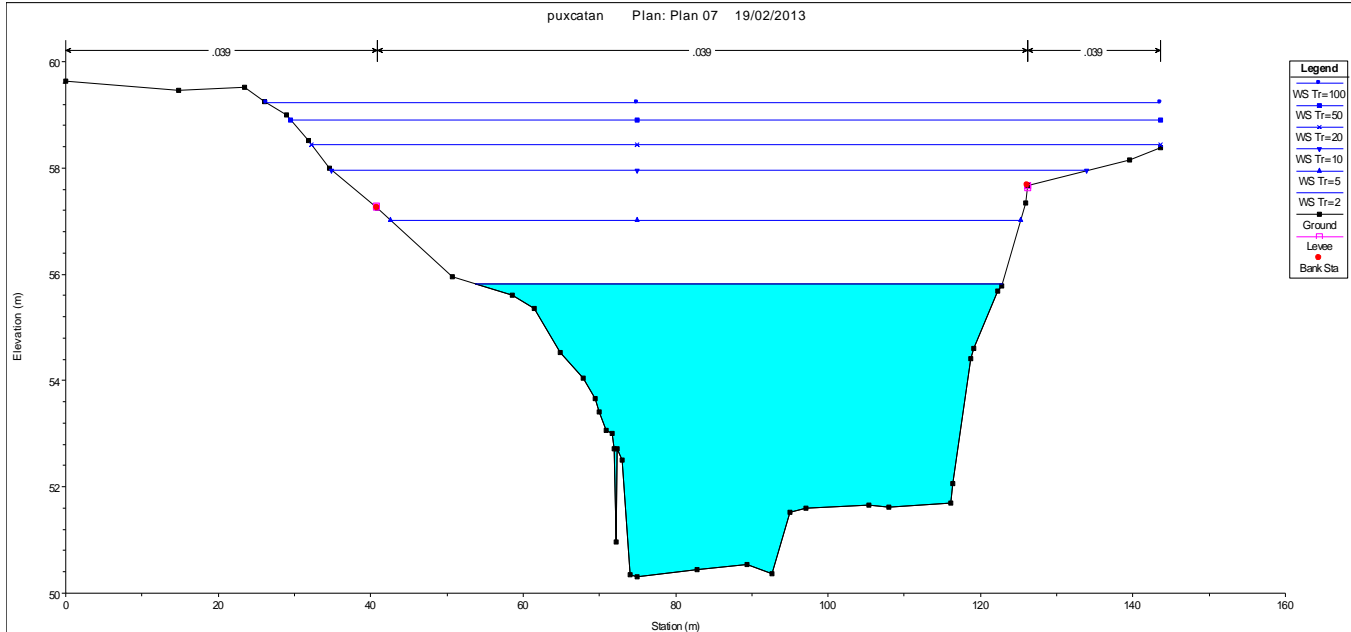
A continuación se muestran algunas de las secciones que integran al cauce modelado, específicamente aquellas que se consideran representativas de la problemática presentada, se incluyen además los niveles de agua presentados para los diferentes periodos de retorno modelados.



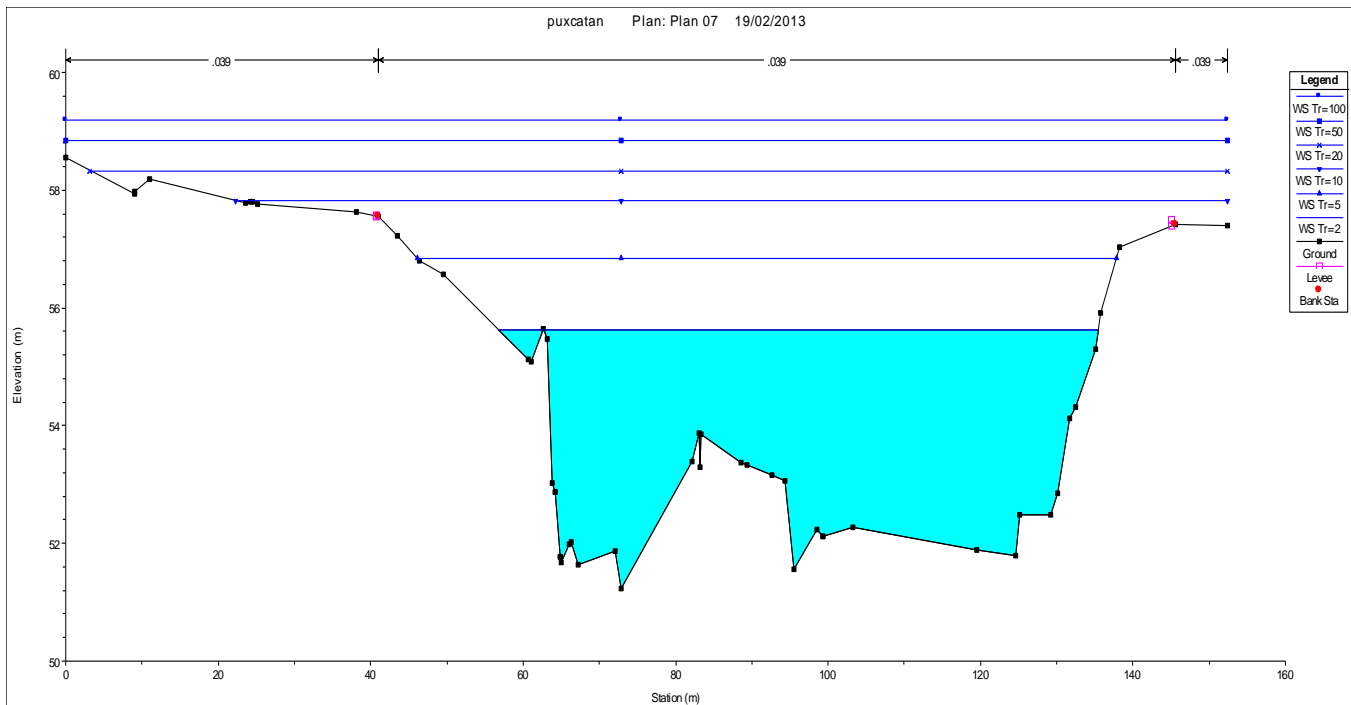
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



## SECCIÓN 1+560.00



## SECCIÓN 1+500.00



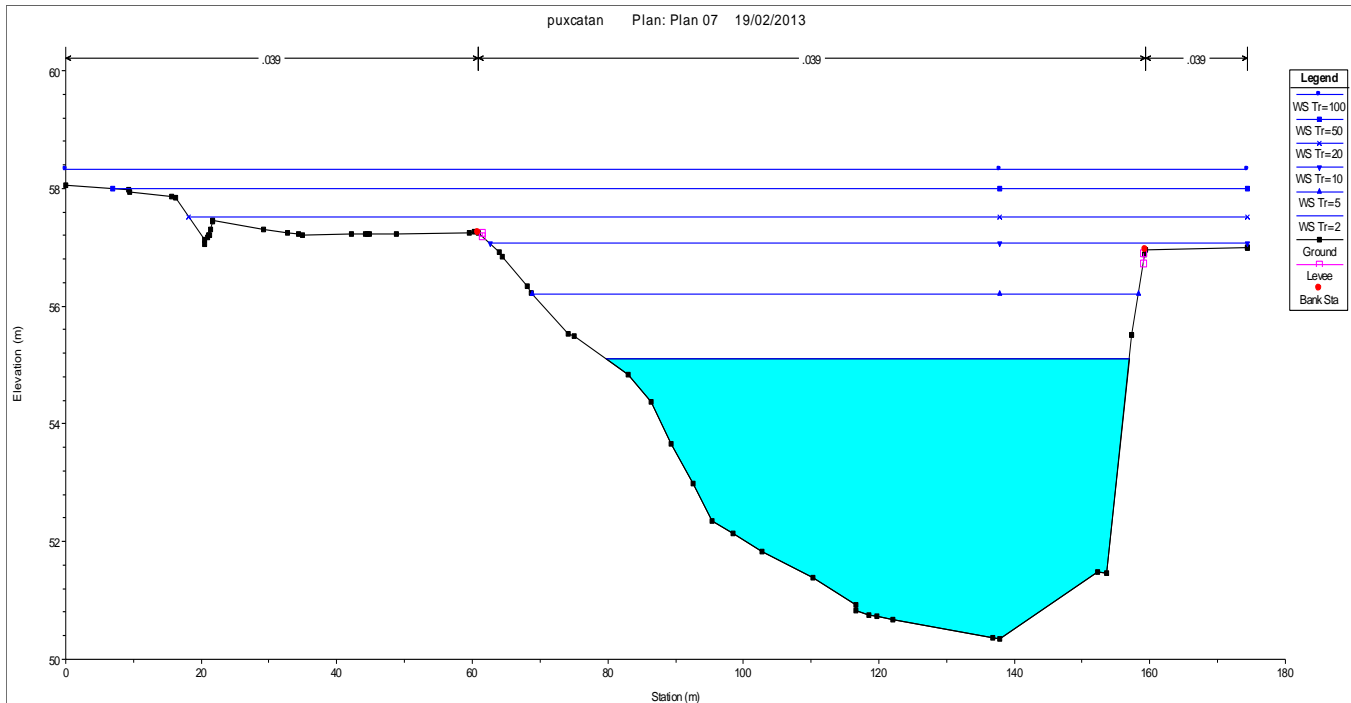




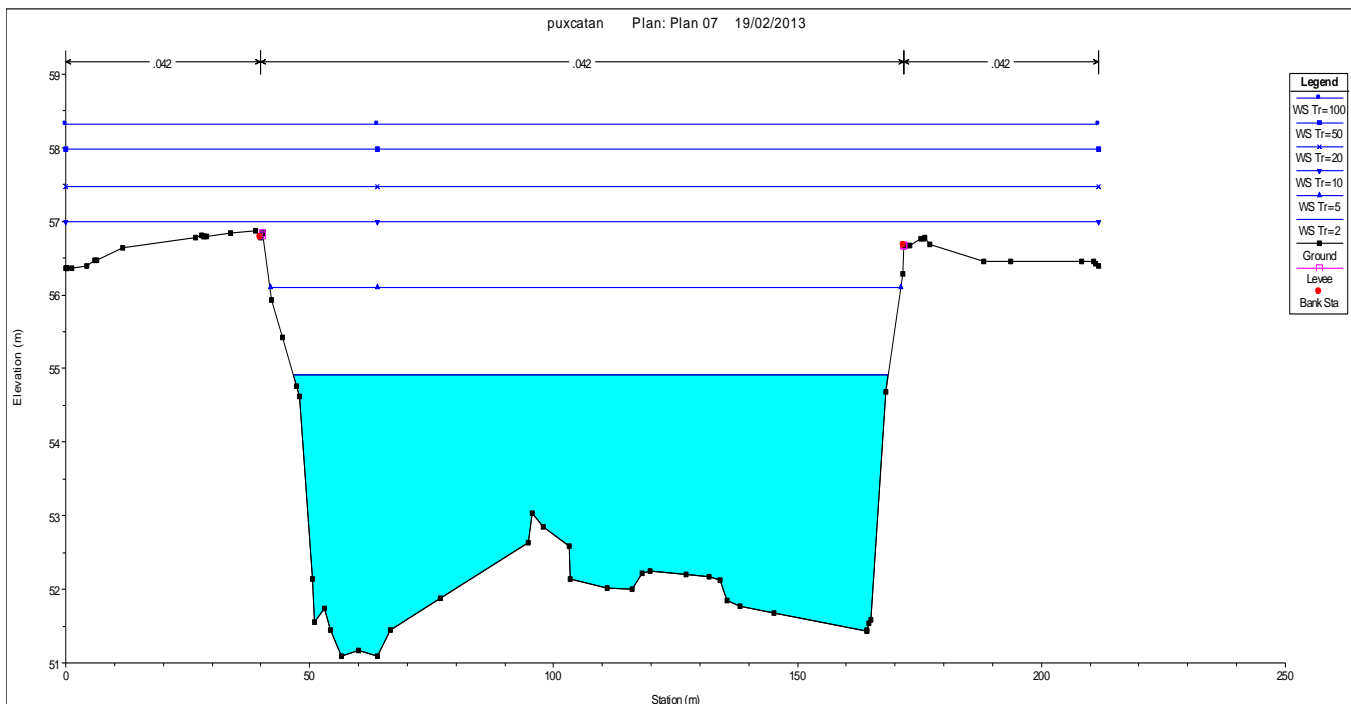
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



## SECCIÓN 1+100.00



## SECCIÓN 0+960.00

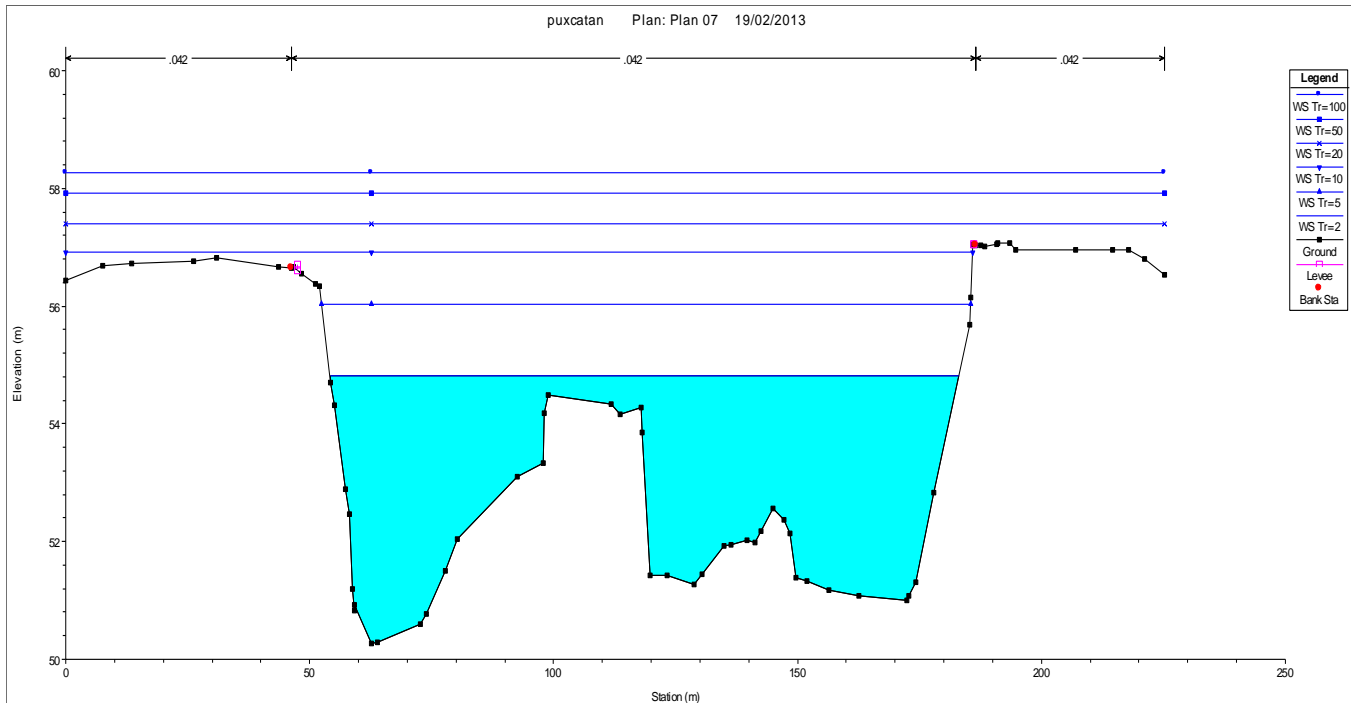




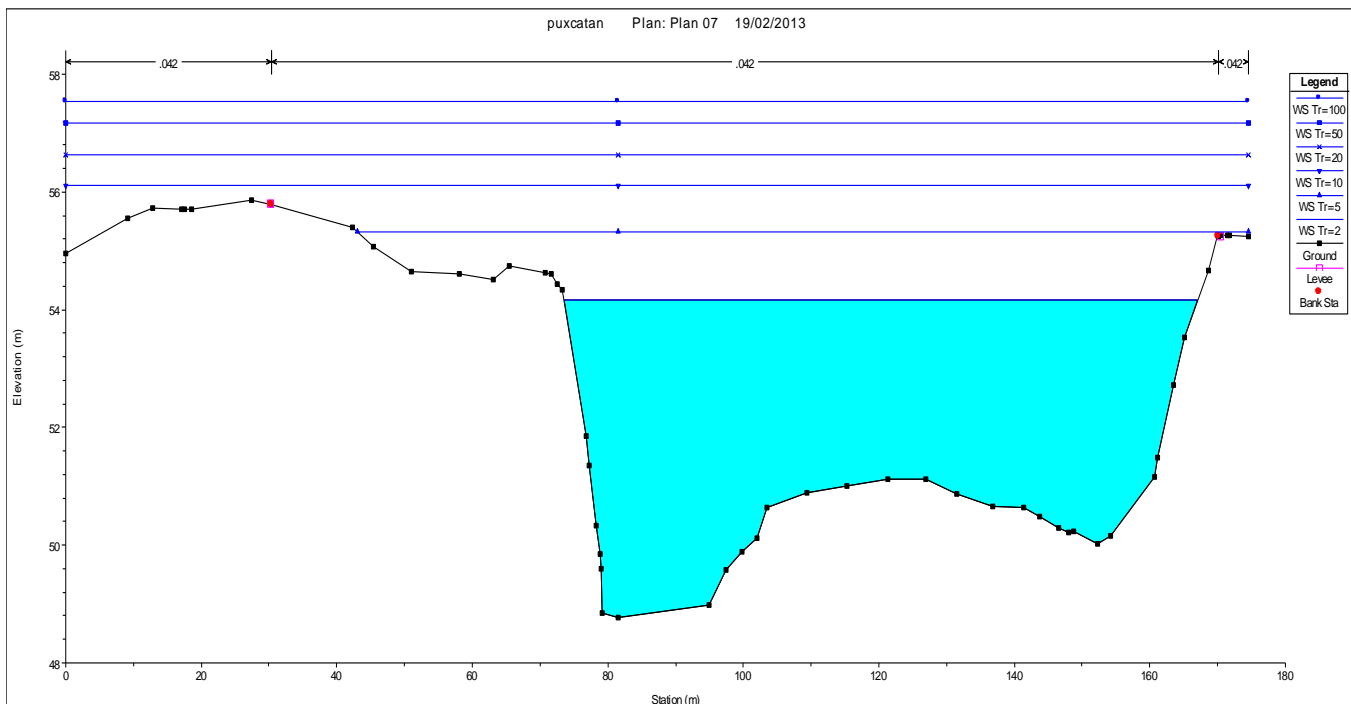
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



## SECCIÓN 0+900.00



## SECCIÓN 0+400.00

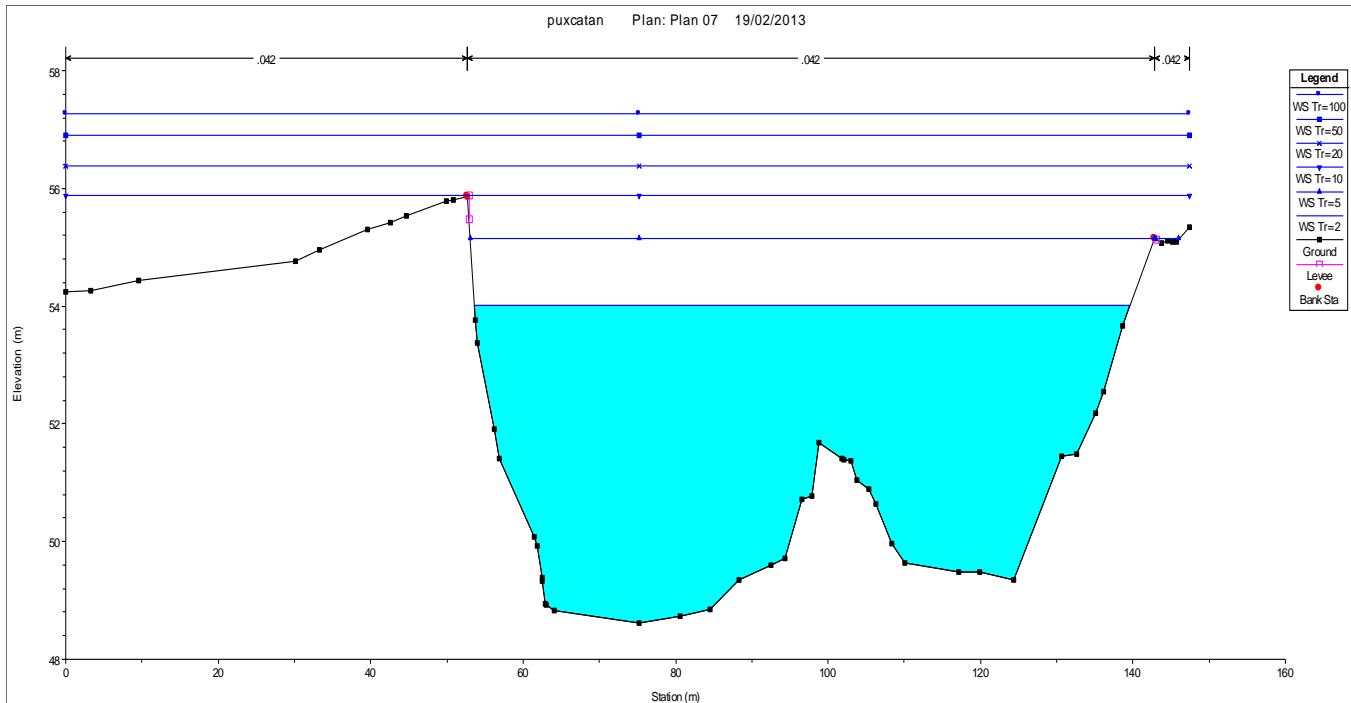




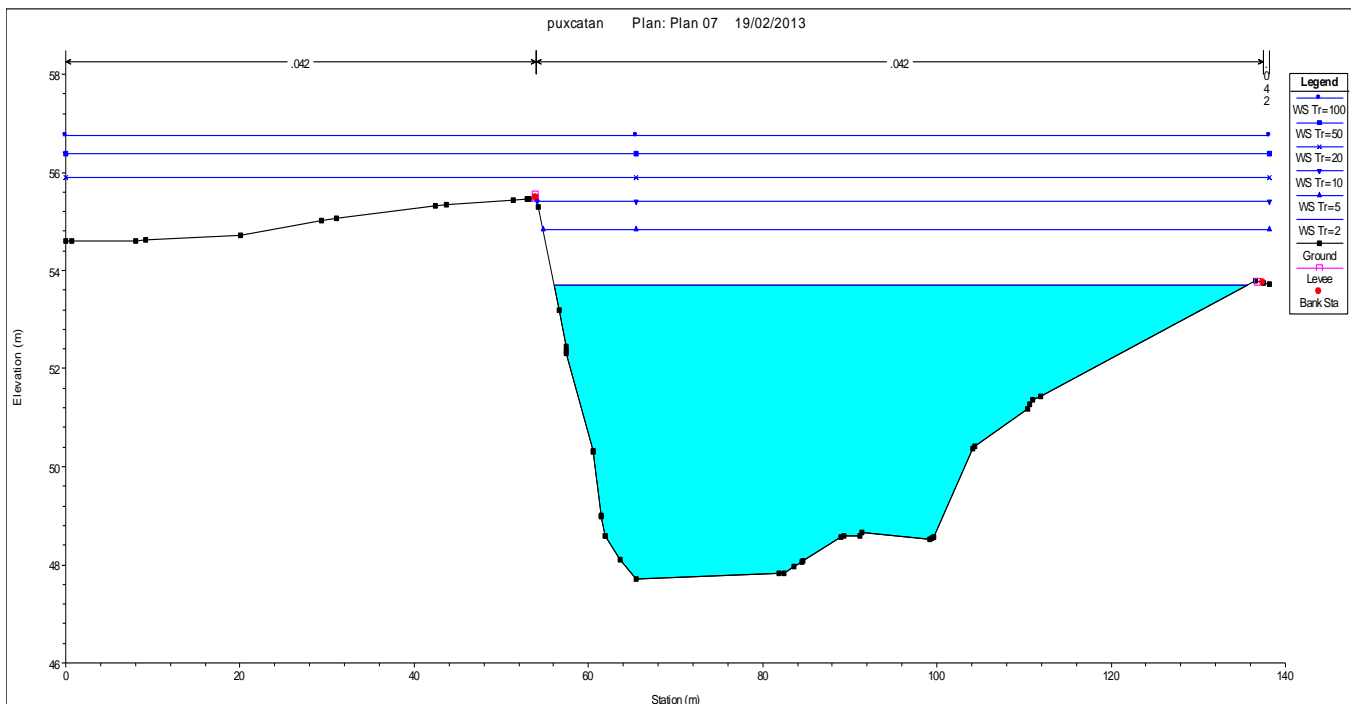
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



## SECCIÓN 0+260.00



## SECCIÓN 0+080.00





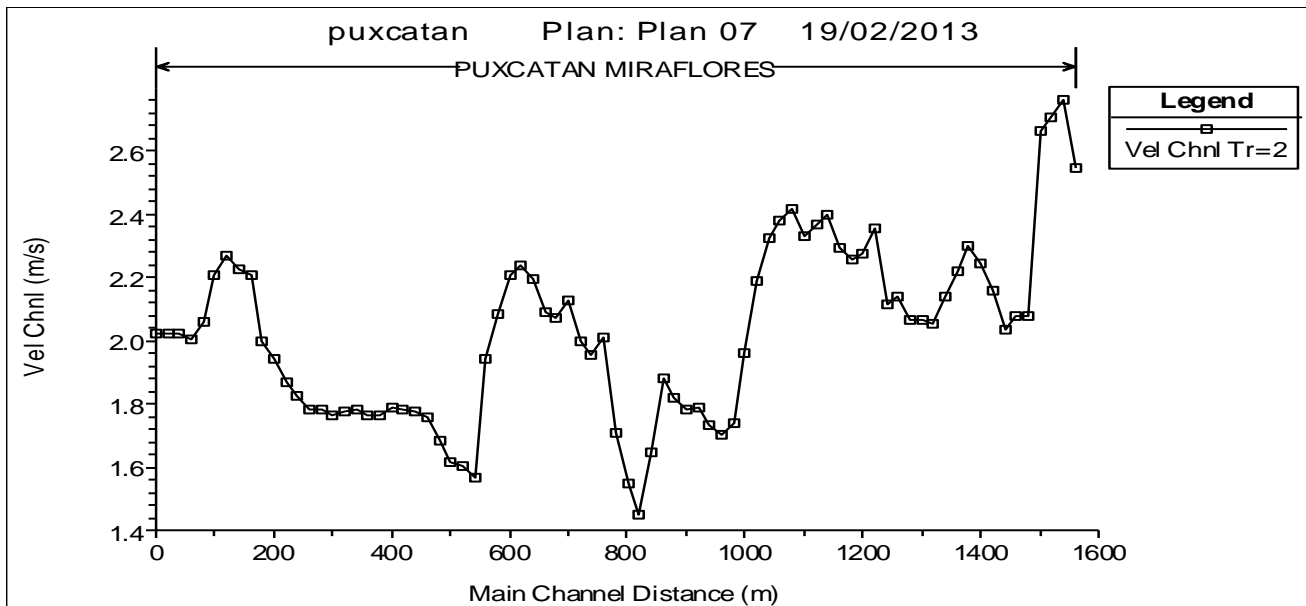
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



## GRÁFICAS DE VELOCIDADES.

A continuación se muestra la variación que existe del parámetro de velocidad a lo largo del río analizado, esto es con respecto al gasto que transita a lo largo de su longitud.

TR=2 [años], Q=603.18 [m<sup>3</sup>/s].

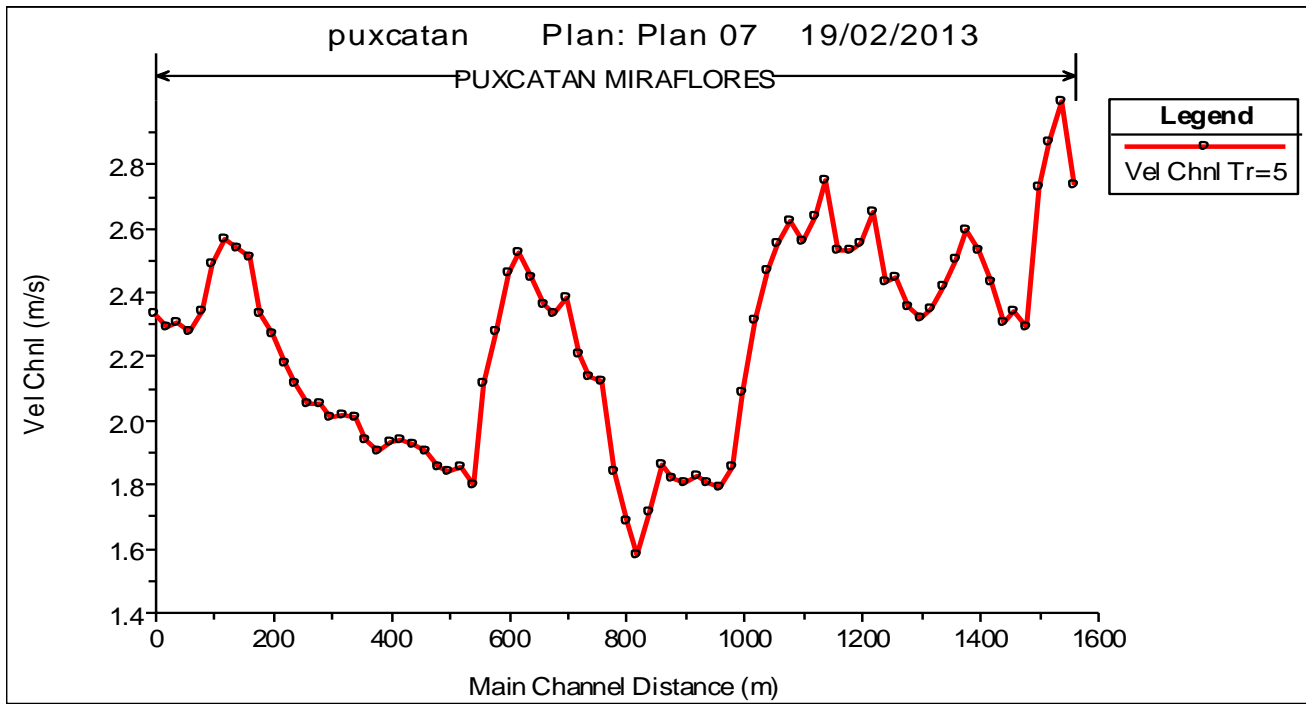




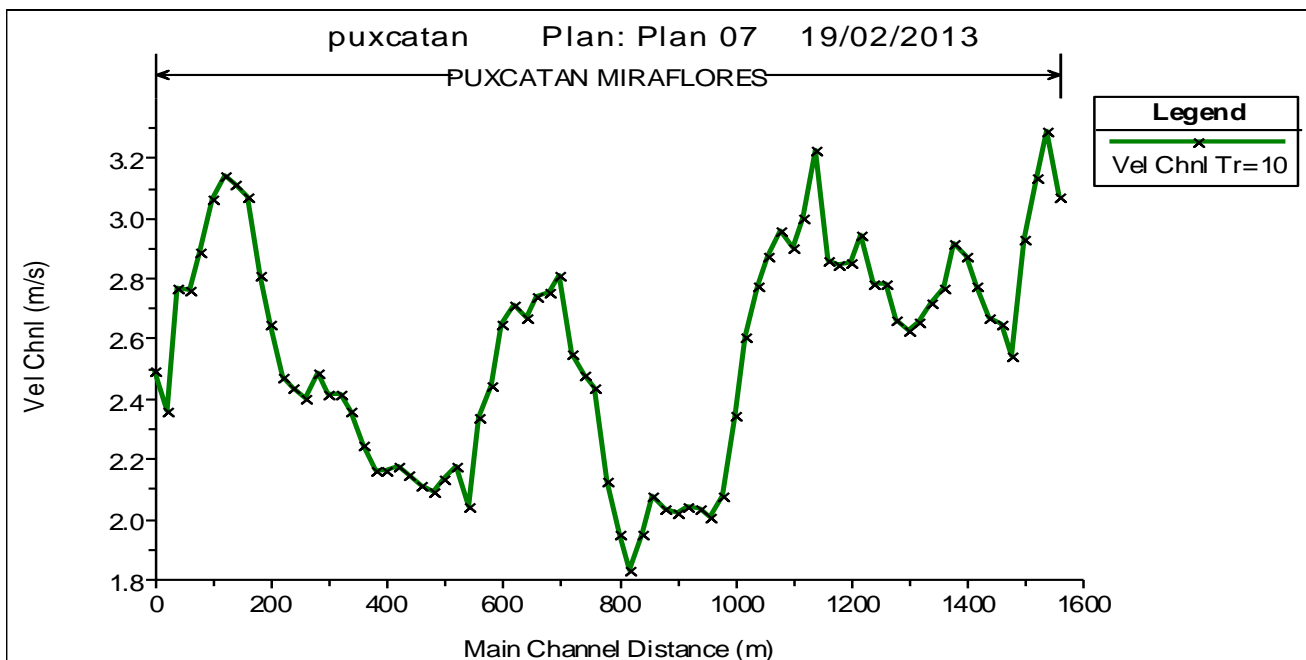
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



TR=5 [años], Q=898.36 [m<sup>3</sup>/s].



TR=10 [años], Q=1,253.53 [m<sup>3</sup>/s].



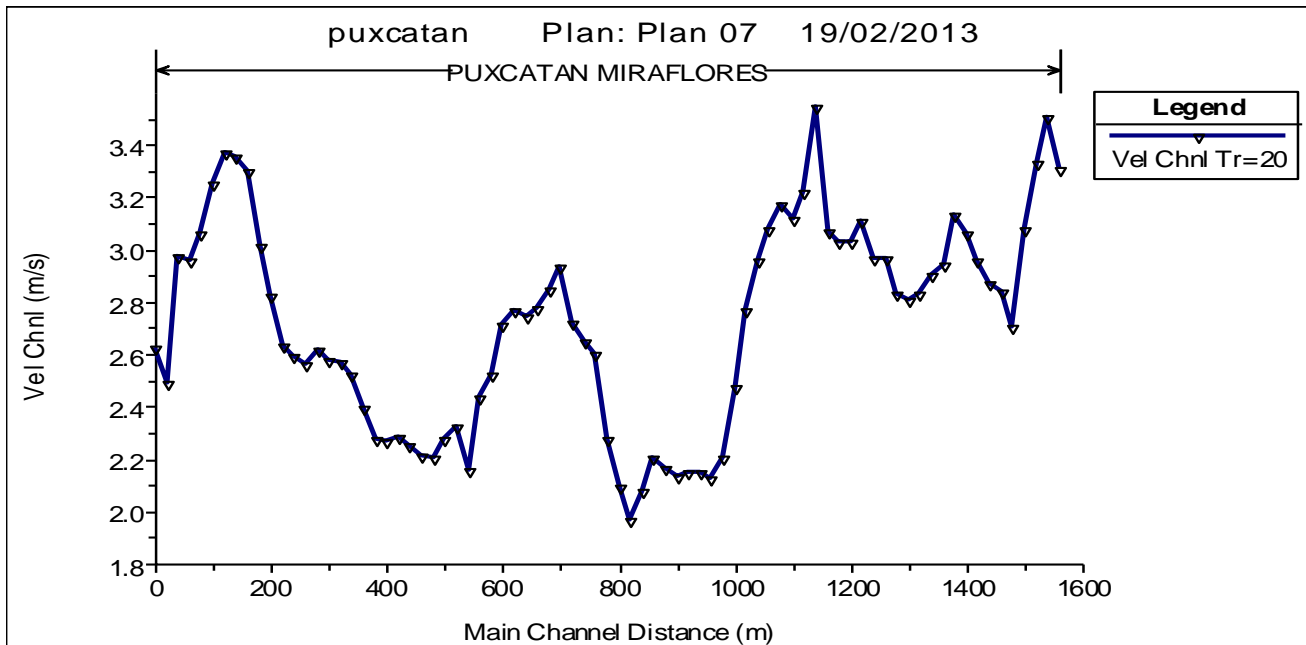




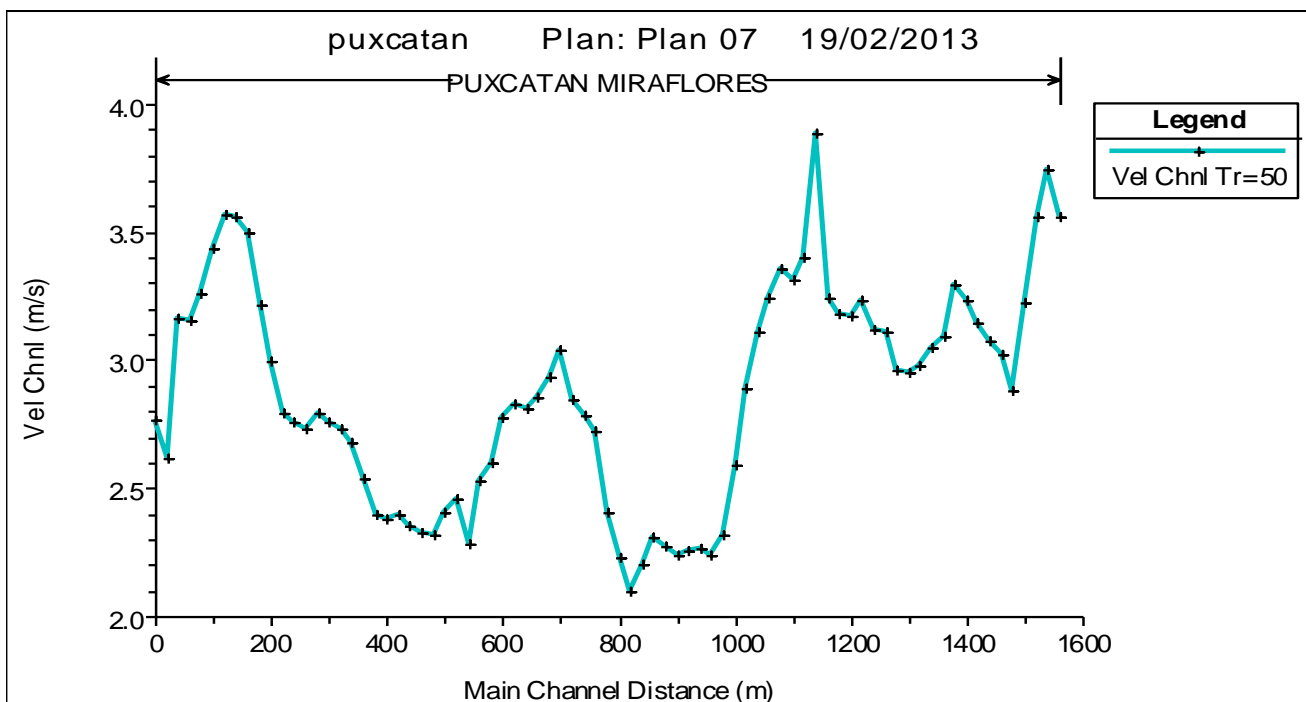
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



TR=20 [años], Q=1,495.70 [m<sup>3</sup>/s].



TR=50 [años], Q=1773.73 [m<sup>3</sup>/s].

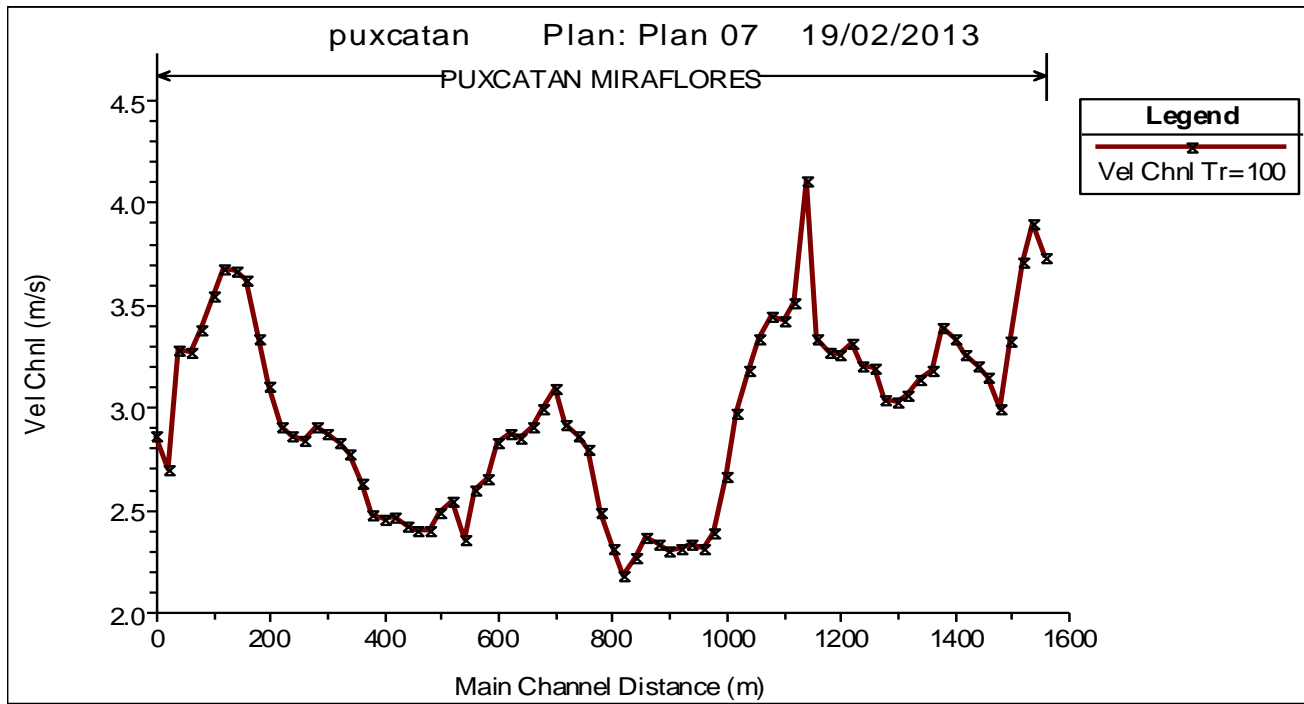




# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



TR=100 [años], Q=1973.02 [m<sup>3</sup>/s].



### 4.2.1.3. DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE GASTO Y PERIODO DE RETORNO ASOCIADO A HUELLA MÁXIMA DE INUNDACIÓN.

Para la determinación del gasto y periodo de retorno al cual corresponde el evento máximo registrado en la zona de estudio, el cual es conocido como Huella Máxima de Inundación se realizó un análisis de curva Elevación-Capacidad a la sección topográfica utilizada para la generación del modelo en condiciones naturales que se encontrara con mayor cercanía a la misma, dicha sección de análisis es aquella que se encuentra en el cadenamiento 1+480.00 sobre el eje de cauce propuesto. A continuación se muestra una gráfica en donde se expone la variación de nivel de agua de dicha sección con respecto a los gastos modelados y la intersección del nivel de dicha huella máxima de inundación que se encuentra ubicada en la cota 58.939 msnm con dicha gráfica, la cual fue empleada para la obtención de dicho gasto, para probar la validez de dicho ajuste se modelara en HEC-RAS dicho gasto obtenido, el cual tendrá que arrojar la elevación de huella máxima de inundación

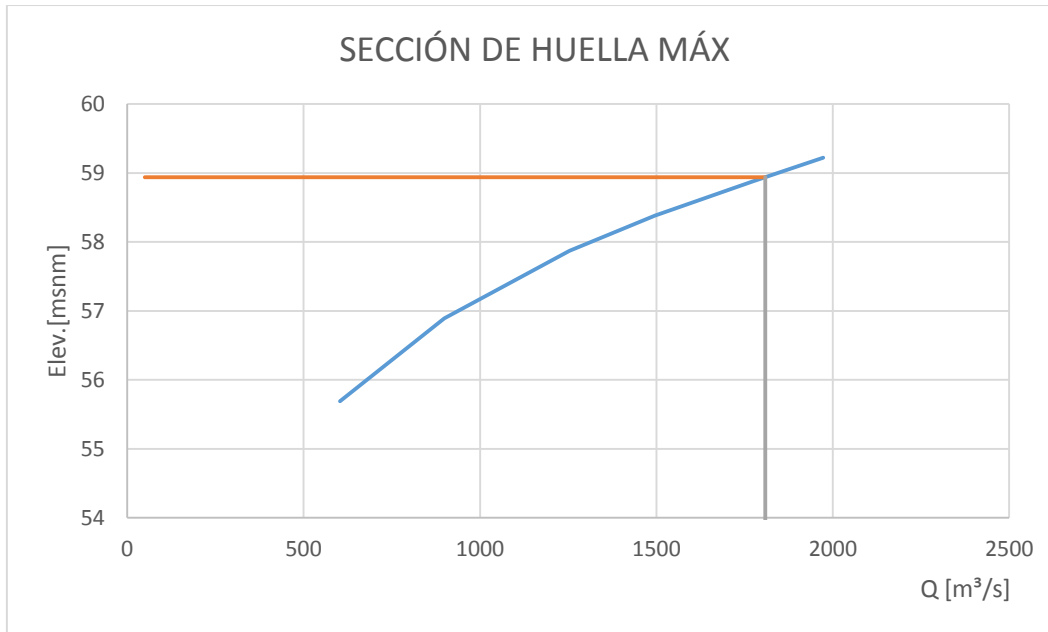


## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



conocida. Para la obtención del periodo de retorno se obtuvo una interpolación de la tabla de gastos extrapolados el cual se muestra en la sección 3.4.

### CURVAS DE CAPACIDAD-ELEVACIONES PARA LA SECCIÓN 1+480.00



#### DETERMINACIÓN DE GASTO.

$$S_Q = \frac{Q_{TR=100} - Q_{TR=50}}{E_{TR=100} - E_{TR=50}} = \frac{1973.02 - 1773.73}{59.22 - 58.88} = 586.147 \left[ \frac{m^3/s}{m} \right]$$

$$Q_{H.MÁX} = Q_{TR=50} + [(E_{H.MÁX} - E_{TR=50}) * S_Q] = 1773.73 + [(58.939 - 58.88) * 586.147]$$

$$Q_{H.MÁX} = 1773.73 + (0.059 * 586.147) = 1808.313 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

#### DETERMINACIÓN DE PERIODO DE RETORNO.

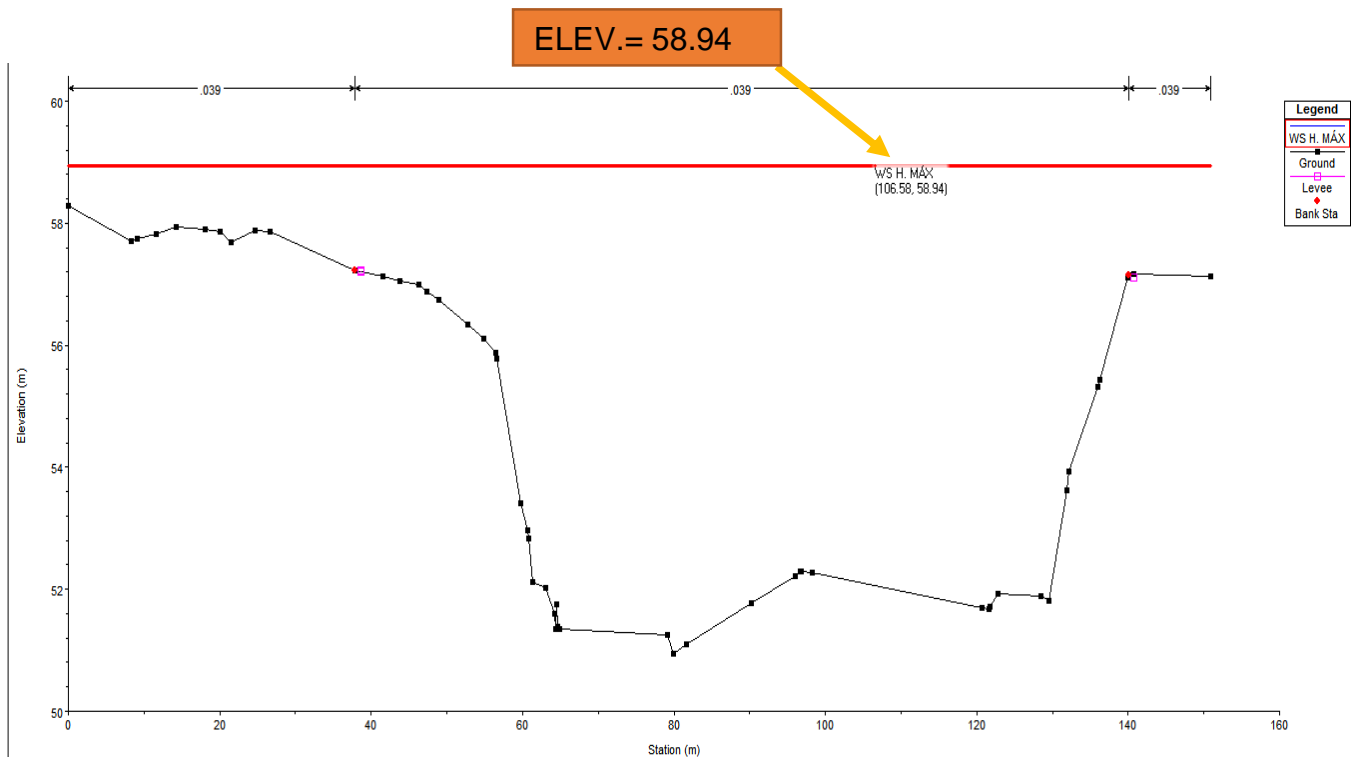
$$TR_{H.MAX} = 50 + \left[ (Q_{H.MAX} - Q_{TR=50}) * \left( \frac{50}{Q_{TR=100} - Q_{TR=50}} \right) \right] = 58.676 \text{ [años]}$$



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Después de obtenido el gasto y el periodo de retorno al cual pertenece la huella máxima registrada se procede a determinar si dicho análisis fue lo suficientemente preciso tomando como margen de error 5 centímetros de tolerancia, razón por la cual se modelo dicho gasto y se obtuvo el nivel de agua que se presenta en la sección de análisis, comparándolo con el nivel deseado dicho valor de muestra a continuación en la figura 4.2.1.3.1.



La anterior modelación muestra que existe solo una diferencia mínima de 0.1 cm menor a la tolerancia aceptada por lo cual el anterior análisis queda validado por el modelo matemático generado con anterioridad.

De lo anterior se puede concluir que el gasto al cual corresponde el evento máximo de inundación registrado corresponde a aquel con magnitud de 1808.13 [m<sup>3</sup>/s], el cual corresponde a un evento que se presenta cada 58.676 [años].



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



### 4.2.1.4. ANÁLISIS HIDRÁULICO Y DETERMINACIÓN DE GASTO DE DISEÑO.

En este apartado se estiman las condiciones que abran de regir el diseño, debido a que esta no es una obra de protección se escogerá como gasto de diseño a aquel que corresponda al gasto formativo del tramo de estudio, para definir el gasto formativo de la zona de estudio se tomaran en cuenta dos criterios los cuales se detallan en la ref.1 de este documento.

- Criterio de Inglis y Kellerhalls: De este criterio se especifica como gasto formativo o dominante de una corriente, aquel con el cual el cauce desborde, por lo cual para este análisis se encontrará y analizará la sección de menor capacidad la cual quedara definida como la sección con el menor bordo libre en la margen izquierda, esto es debido a que esta es la margen de interés para el trabajo en cuestión.
- Criterio de Leopold y Maddock: Este criterio estipula que el gasto formativo será aquel que se presente cada 1.4 [años].

De lo anterior se realizara una comparativa de criterios siendo aquel criterio a seguir el que arroje el gasto más desfavorable o de mayor magnitud.

#### **CRITERIO DE INGLIS Y KELLERHALS.**

Para este criterio se encontró la sección con el menor bordo libre en la margen izquierda existente a lo largo de la longitud del tramo de estudio. Para la obtención de este valor se transitó un gasto igual a un periodo de retorno de 2 años debido a que como se trata en este trabajo de un río de planicie no importa la magnitud del mismo ya que la corriente debe de presentar el mismo comportamiento.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Cadenamiento	GASTO	ELEVACIÓN DEL AGUA	BORDO LIBRE EN M. IZQUIERDA
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)
0+000.00	603.18	53.61	1.4
0+020.00	603.18	53.64	1.17
0+040.00	603.18	53.66	1.47
0+060.00	603.18	53.69	1.4
0+080.00	603.18	53.71	1.77
0+100.00	603.18	53.71	1.99
0+120.00	603.18	53.74	2.09
0+140.00	603.18	53.78	2
0+160.00	603.18	53.81	1.89
0+180.00	603.18	53.89	1.11
0+200.00	603.18	53.92	1.22
0+220.00	603.18	53.96	1.37
0+240.00	603.18	53.98	1.72
0+260.00	603.18	54.01	1.85
0+280.00	603.18	54.03	2.19
0+300.00	603.18	54.05	2.16
0+320.00	603.18	54.07	2.17
0+340.00	603.18	54.09	1.73
0+360.00	603.18	54.12	1.41
0+380.00	603.18	54.14	1.47
0+400.00	603.18	54.16	1.64
0+420.00	603.18	54.18	1.65
0+440.00	603.18	54.2	1.82
0+460.00	603.18	54.22	1.57
0+480.00	603.18	54.26	1.52
0+500.00	603.18	54.29	2.01
0+520.00	603.18	54.3	1.95
0+540.00	603.18	54.32	1.38
0+560.00	603.18	54.29	1.4
0+580.00	603.18	54.3	1.22
0+600.00	603.18	54.3	1.4
0+620.00	603.18	54.32	1.54
0+640.00	603.18	54.36	1.66
0+660.00	603.18	54.41	2
0+680.00	603.18	54.43	2.06



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Cadenamiento	GASTO	ELEVACIÓN DEL AGUA	BORDO LIBRE EN M. IZQUIERDA
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)
0+700.00	603.18	54.45	2.13
0+720.00	603.18	54.5	1.82
0+740.00	603.18	54.54	1.75
0+760.00	603.18	54.56	1.44
0+780.00	603.18	54.65	1.11
0+800.00	603.18	54.7	1.24
0+820.00	603.18	54.73	1.48
0+840.00	603.18	54.72	2.03
0+860.00	603.18	54.73	2.14
0+880.00	603.18	54.78	1.97
0+900.00	603.18	54.82	1.84
0+920.00	603.18	54.85	1.67
0+940.00	603.18	54.89	1.88
0+960.00	603.18	54.92	1.86
0+980.00	603.18	54.94	1.99
1+000.00	603.18	54.94	2.09
1+020.00	603.18	54.95	1.87
1+040.00	603.18	54.97	1.72
1+060.00	603.18	55	1.99
1+080.00	603.18	55.04	2.12
1+100.00	603.18	55.1	2.15
1+120.00	603.18	55.13	2.07
1+140.00	603.18	55.16	5.28
1+160.00	603.18	55.21	1.85
1+180.00	603.18	55.25	1.9
1+200.00	603.18	55.28	1.89
1+220.00	603.18	55.29	2.11
1+240.00	603.18	55.38	2.13
1+260.00	603.18	55.4	1.91
1+280.00	603.18	55.44	2.12
1+300.00	603.18	55.46	2.14
1+320.00	603.18	55.48	1.75
1+340.00	603.18	55.49	2.1
1+360.00	603.18	55.5	2.41
1+380.00	603.18	55.51	1.46



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Cadenamiento	GASTO	ELEVACIÓN DEL AGUA	BORDO LIBRE EN M. IZQUIERDA
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)
1+400.00	603.18	55.55	1.78
1+420.00	603.18	55.6	1.88
1+440.00	603.18	55.65	1.62
1+460.00	603.18	55.66	1.36
1+480.00	603.18	55.69	1.53
1+500.00	603.18	55.63	1.92
1+520.00	603.18	55.67	1.26
1+540.00	603.18	55.71	1.36
1+560.00	603.18	55.82	1.43

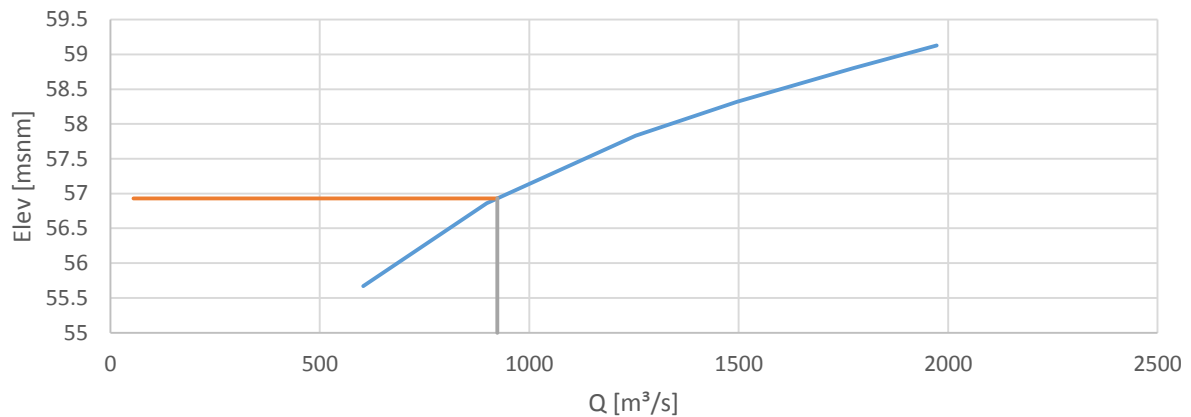
De lo anterior se puede observar que la sección con menor capacidad es aquella que se encuentra en la sección 0+020.00, sin embargo, dicha sección carece de validez debido a que se encuentra muy alejada de la zona en donde se encuentra la población asentada en la margen izquierda del tramo de estudio, razón por la cual se tomara la segunda en orden descendente, la cual corresponde a la sección 1+520.00 y posee un valor de bordo libre de 1.26 m, dicho valor es el segundo mínimo encontrado en la muestra de análisis además de encontrarse la estación muy cerca en donde la población se encuentra asentada.

A continuación se muestra un análisis de capacidad elevaciones para la sección de análisis seleccionada, la cual posee una elevación de hombro igual a 56.93 msnm.

Cadenamiento	Periodo de Retorno	Q Total	ELEVACIÓN DE AGUA
		(m <sup>3</sup> /s)	(m)
1520	2	603.18	55.67
1520	5	898.36	56.86
1520	10	1253.53	57.83
1520	20	1495.7	58.32
1520	50	1773.73	58.8
1520	100	1973.02	59.13



SECCIÓN DE MENOR CAPACIDAD PARA OBTENCIÓN DE GASTO  
FORMATIVO.



**DETERMINACIÓN DE GASTO.**

$$S_Q = \frac{Q_{TR=10} - Q_{TR=5}}{E_{TR=10} - E_{TR=5}} = \frac{1253.53 - 898.36}{57.83 - 56.86} = 366.155 \left[ \frac{m^3/s}{m} \right]$$

$$Q_{FORM} = Q_{TR=5} + [(E_{HOMBRO} - E_{TR=5}) * S_Q] = 898.36 + [(56.93 - 56.86) * 366.155]$$

$$Q_{H.MÁX} = 898.36 + (0.07 * 366.155) = 923.991 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

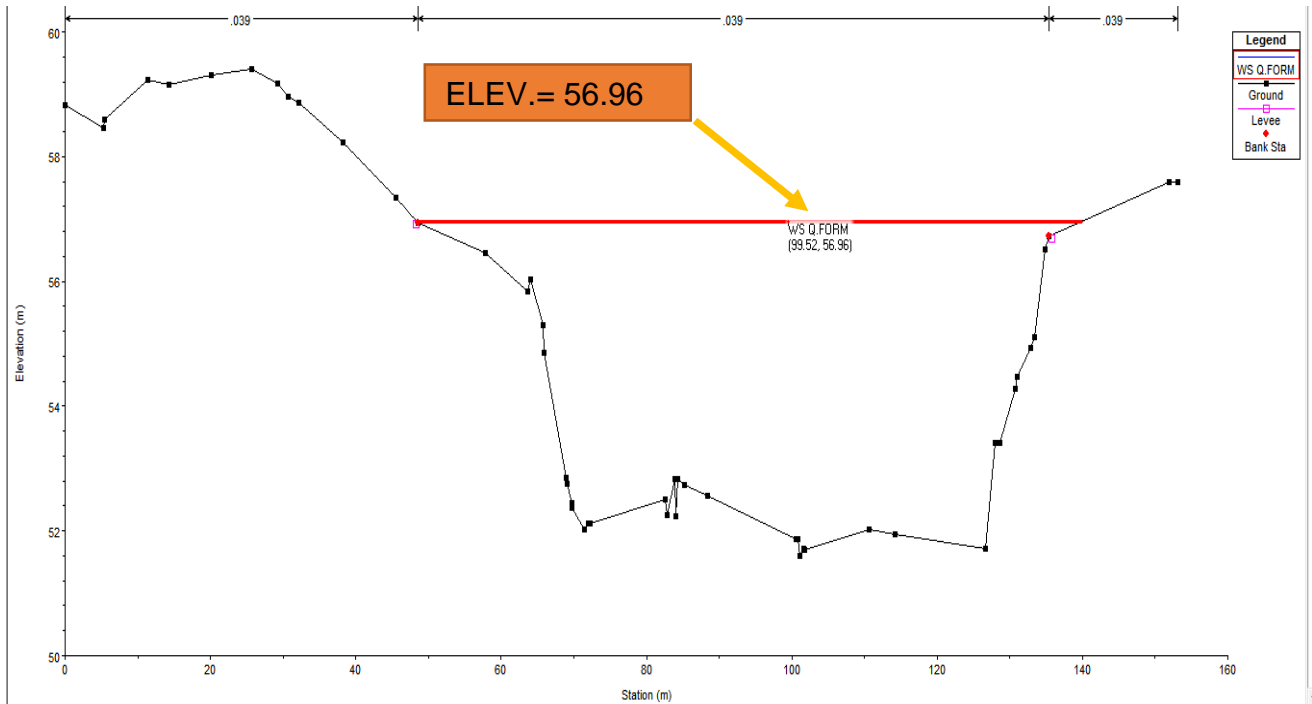
**DETERMINACIÓN DE PERIODO DE RETORNO.**

$$TR_{FORM} = 5 + \left[ (Q_{FORM} - Q_{TR=5}) * \left( \frac{5}{Q_{TR=10} - Q_{TR=5}} \right) \right] = 5.361 \text{ [años]}$$

Para la validación del anterior gasto obtenido se procede a generar una modelación de dicho gasto el cual corroborara que se presenta inmediatamente antes de desbordar en la sección crítica de análisis.



# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Esto indica una diferencia de 3 centímetros menor a la tolerancia aceptada de 5 centímetros en cuanto al nivel estimado, razón por la cual se toma el análisis como válido y se acepta el gasto estimado.

## COMPARACIÓN DE CRITERIOS.

Debido a que el periodo de retorno del Gasto Formativo queda definido como aquel que se presenta cada 5.361 [años] y por ende mayor a aquel que se llegara a presentar cada 1.4 [años] se establece que aquel criterio que dominara el diseño es aquel gasto que se obtiene a partir del criterio de Inglis y Kellerhalls el cual posee una magnitud de 929.991 [m<sup>3</sup>/s]. De lo anterior queda para el análisis a realizar en condiciones de proyecto como gastos de diseño los siguientes valores.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Gasto	Magnitud [m <sup>3</sup> /s]	Periodo de Retorno [años]
Gasto Formativo	929.991	5.361
Gasto H. Máxima	1808.313	58.676

### 4.2.2. ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL RÍO EN CONDICIONES DE PROYECTO.

En este apartado se busca generar las condiciones en las cuales transitara el cauce en su tramo en estudio después de realizada la excavación propuesta, con lo cual se realizará una comparación de niveles y velocidades con respecto a las condiciones naturales, para esto se mostraran únicamente los gastos de diseño considerados en el apartado anterior los cuales son (Gasto Formativo, y Gasto al cual corresponde la Huella Máxima).

#### 4.2.2.1. CONDICIONES GENERALES.

A continuación se muestran los parámetros hidráulicos y geométricos considerados para la modelación del tramo de estudio en condiciones de proyecto, mostrándose las nuevas condiciones de rugosidad, pendiente hidráulica y secciones a modelar tomadas para la realización del mismo.

#### COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.

##### Determinación del coeficiente de rugosidad mediante el uso de Tablas

La Tabla 4.2.2.1.1 da una lista de valores  $n$  para canales de varios tipos, se muestran únicamente los valores correspondientes a canales con características similares a los tramos del cauce, para conocer la totalidad de los valores dirigirse al Cuadro 5-6 de la Referencia 1.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Tabla 4.2.2.1.1. Valores  $n$  diferentes tipos de canal

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D-3. Cursos de agua importantes (ancho superficial en nivel de creciente > 100 ft). Los valores de $n$ son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva.			
a. Sección regular, sin rocas y arbustos	0.025	-----	0.060
b. Sección irregular y áspera	0.035	-----	0.100

El intervalo válido del coeficiente de rugosidad  $n$  se encuentra dentro del intervalo 0.035 a 0.100

### Método de Cowan

Cowan desarrolló un procedimiento para estimar el valor de  $n$ :

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

donde

$n_0$  es un valor básico de  $n$  para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales comprendidos

$n_1$  es un valor que corrige el efecto de irregularidades de la superficie

$n_2$  es un valor para las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal

$n_3$  es un valor de obstrucciones

$n_4$  es un valor para la vegetación y condiciones de flujo

$m_5$  es un factor de corrección de los meandros del canal

Los valores anteriores pueden definirse con la Tabla 4.2.2.1.2, Ref 1.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Tabla 4.2.2.1.2 Valores de los coeficientes del método de Cowan

Condiciones del canal		Valores	
Material considerado	Tierra	$n_0$	0.020
	Roca cortada		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Liso	$n_1$	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal del canal	Gradual	$n_2$	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efectivo relativo de obstrucciones	Despreciable	$n_3$	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	$n_4$	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Cantidad de meandros	Menor	$m_5$	1.000
	Apreciable		1.150
	Severa		1.300

Para el Tramo 1:

	Valor	Justificación
$n_0$	0.028	El material del fondo del cauce está compuesto por gravas gruesas
$n_1$	0.000	Las irregularidades del fondo del cauce son nulas



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



	Valor	Justificación
$n_2$	0.000	Las variaciones de la sección transversal son graduales
$n_3$	0.000	El cauce no se encuentra obstruido
$n_4$	0.003	La altura de la vegetación es de dos a tres veces menor que la altura media de la Vegetación.
$m_5$	1.000	La cantidad de meandros en el tramo es menor

$$n = (0.028 + 0.000 + 0.000 + 0.000 + 0.005)1.0 = 0.033$$

Para el Tramo 2:

	Valor	Justificación
$n_0$	0.020	El material del fondo del cauce está compuesto por arenas
$n_1$	0.005	Las irregularidades del fondo del cauce son moderadas
$n_2$	0.000	Las variaciones de la sección transversal son graduales
$n_3$	0.000	El cauce no se encuentra obstruido
$n_4$	0.014	La altura de la vegetación es de dos a tres veces menor que la profundidad media del flujo
$m_5$	1.000	La cantidad de meandros en el tramo es menor

$$n = (0.020 + 0.005 + 0.000 + 0.000 + 0.014)1.0 = 0.039$$

Ambos valores quedan dentro del intervalo definido anteriormente.

### **Coeficiente de rugosidad mediante fotografías**

Por lo que para el Tramo 1, el valor del coeficiente de rugosidad será 0.033, mientras que para el tramo 2 se consideró una media entre el método de Cowan y el coeficiente establecido en las ilustraciones, es decir 0.039.

En la Tabla 4.2.2.1.3 se muestra un resumen de la obtención de este parámetro.

Tabla 4.2.2.1.3. Valores de los coeficientes de rugosidad para el cauce



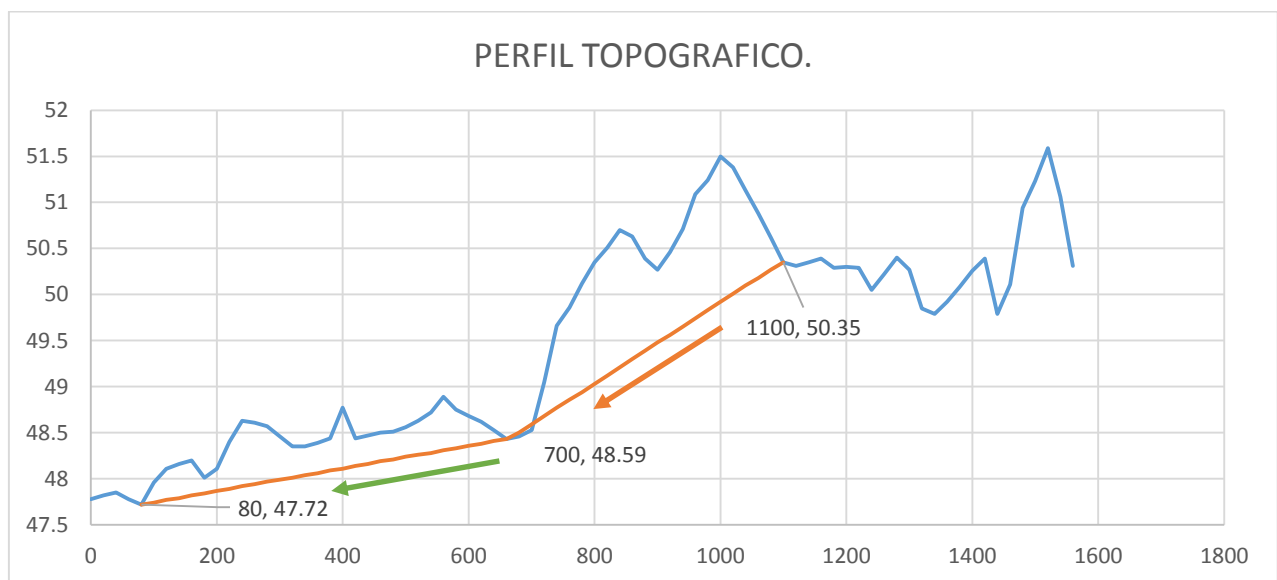
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Cadenamiento		n Manning
de	a	
0+000.00	0+120.00	0.033
0+140.00	0+380.00	0.033
0+400.00	0+720.00	0.033
0+740.00	1+060.00	0.033
1+080.00	1+100.00	0.033
1+100.00	1+320.00	0.039
1+340.00	1+560.00	0.039

## PENDIENTE HIDRÁULICA.

Para la determinación de este parámetro en condiciones de proyecto se utilizó la pendiente topográfica que se logró dar al río con la excavación propuesta por lo cual dicho valor queda de la siguiente forma.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Tabla 4.2.2.1.1. Pendiente topográfica del cauce de estudio.

De lo anterior se puede deducir que existen dos tramos de interés en el diseño, los cuales quedan representados en la figura 4.2.2.1.1, el primer tramo comprende del km 1+100.00 al km 0+700.00 y el segundo comprende desde el km 0+700.00 al km 0+080.00.

Para la realización del modelo matemático en condiciones de proyecto se consideró como pendiente de frontera aquella que corresponde al segundo tramo de proyecto por lo cual la pendiente utilizada para el modelo matemático como condición de frontera es la siguiente.

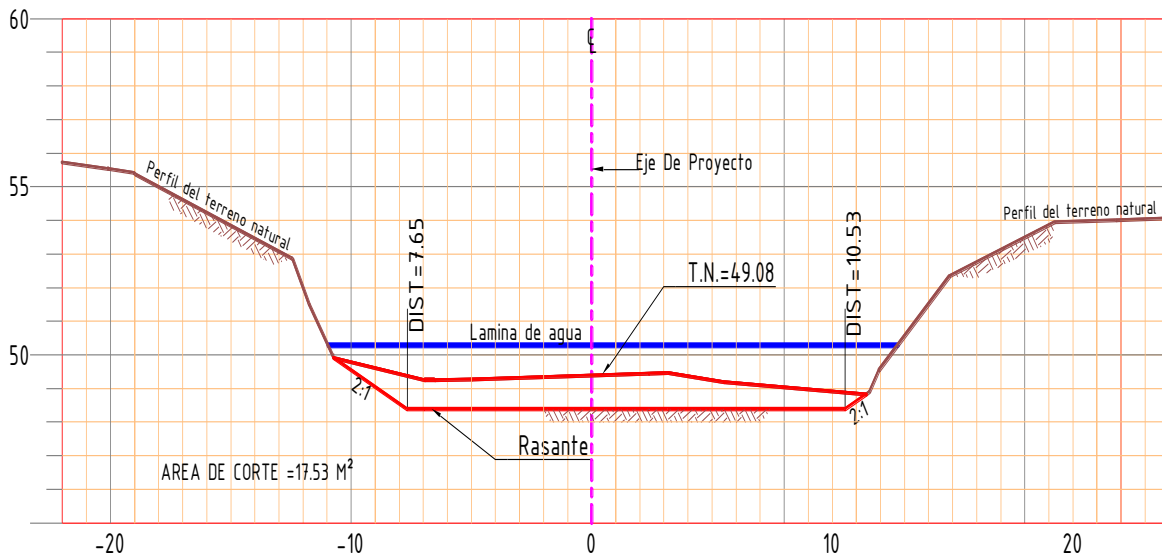
$$S_0 = \frac{48.59 - 47.72}{700 - 80} = \frac{0.87}{620} = 0.0014$$

### Sección Topográfica.

A continuación se muestra la sección tipo utilizada para este desazolve propuesto, dicha sección obedece a los niveles de rasante proyectados, además de que los anchos de plantilla de la misma son variables debido a que se buscó adaptar dicha sección a la geometría existente del cauce, el talud propuesto para las secciones a modelar es de 2:1 en ambas márgenes.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



### 4.2.2.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA.

En este apartado se ilustran los resultados obtenidos de la modelación matemática del tramo del cauce analizado, el cual fue modelado utilizando HEC-RAS. Los escenarios simulados fueron generados siguiendo la metodología que se muestra en el apartado 4.1 de este documento, acatando los parámetros hidráulicos que se muestran en la Tabla 4.1.1.1; los cuales fueron debidamente justificados en el subapartado 4.2.1.1 de este documento.

Para cada escenario se incluyen los respectivos resultados, los cuales se ordenaron de la siguiente forma para cada escenario generado.

- Perspectivas 3D
- Perfiles Hidráulicos
- Secciones Hidráulicas: En este apartado se muestran las secciones representativas del tramo del cauce de estudio. Dichas secciones son aquéllas que se presentan en el inicio y el final del tramo del cauce analizado además de aquellas secciones ubicadas a cada cien metros sobre el eje del cauce trazado; en dichos elementos se busca representar el nivel de agua que ocurre para los diferentes escenarios anteriormente mencionados.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.

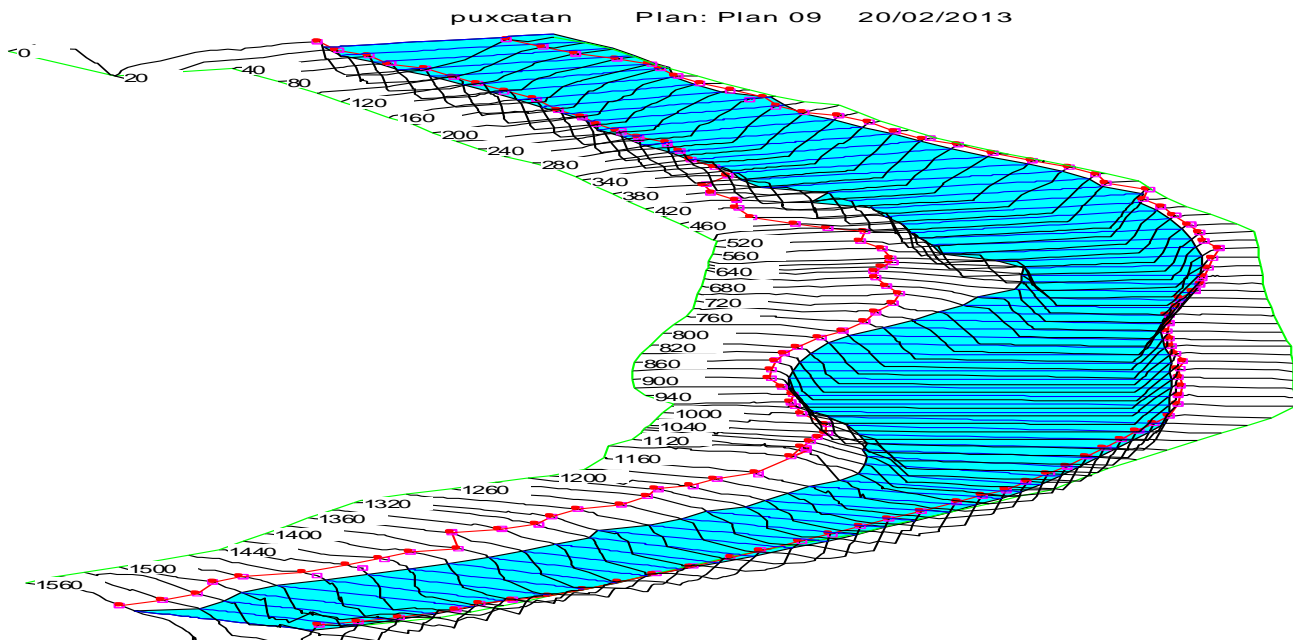


- Gráfica de Velocidades: En este apartado se busca ilustrar la variación del parámetro velocidad a lo largo de la longitud del tramo del cauce estudiado; su representación sigue el mismo formato utilizado para los elementos anteriormente mencionados.

A continuación se muestran los resultados hidráulicos obtenidos a partir del modelo matemático generado, mostrando únicamente los gastos que se han considerado como gastos de diseño en el apartado 4.2.1.4.

### PERSPECTIVAS 3D.

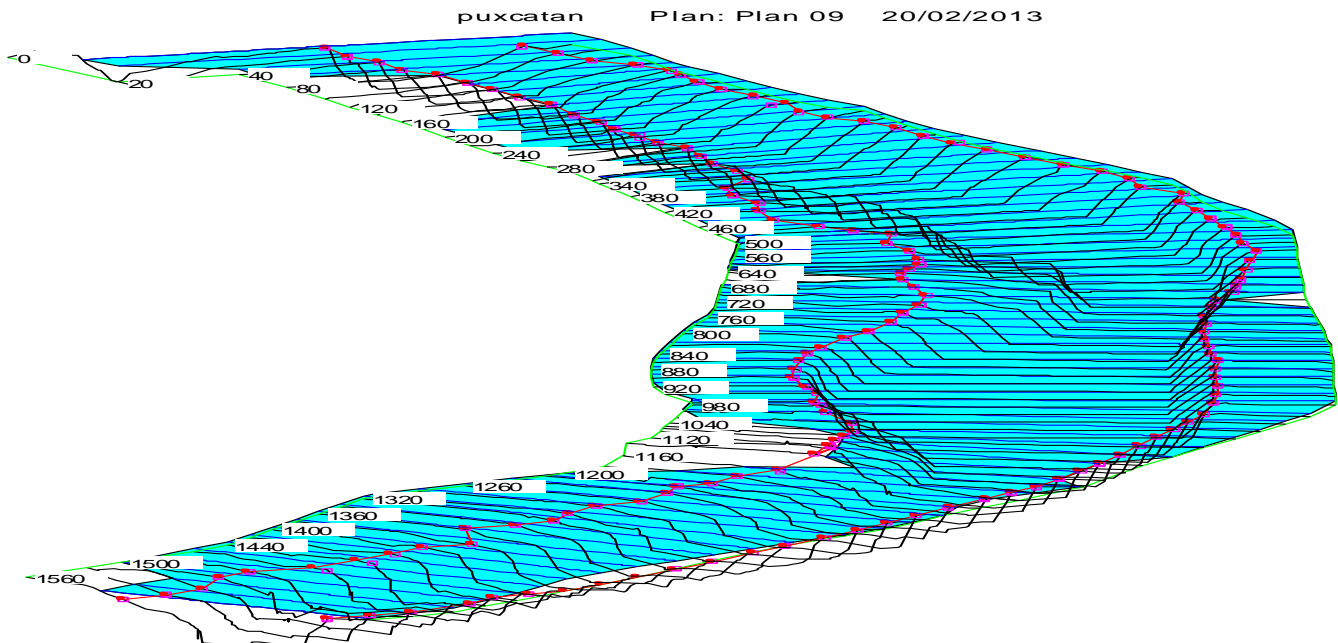
**TR=5.361 [años], Q=929.991 [m<sup>3</sup>/s]**



**TR=58.676 [años], Q=1808.313 [m<sup>3</sup>/s]**

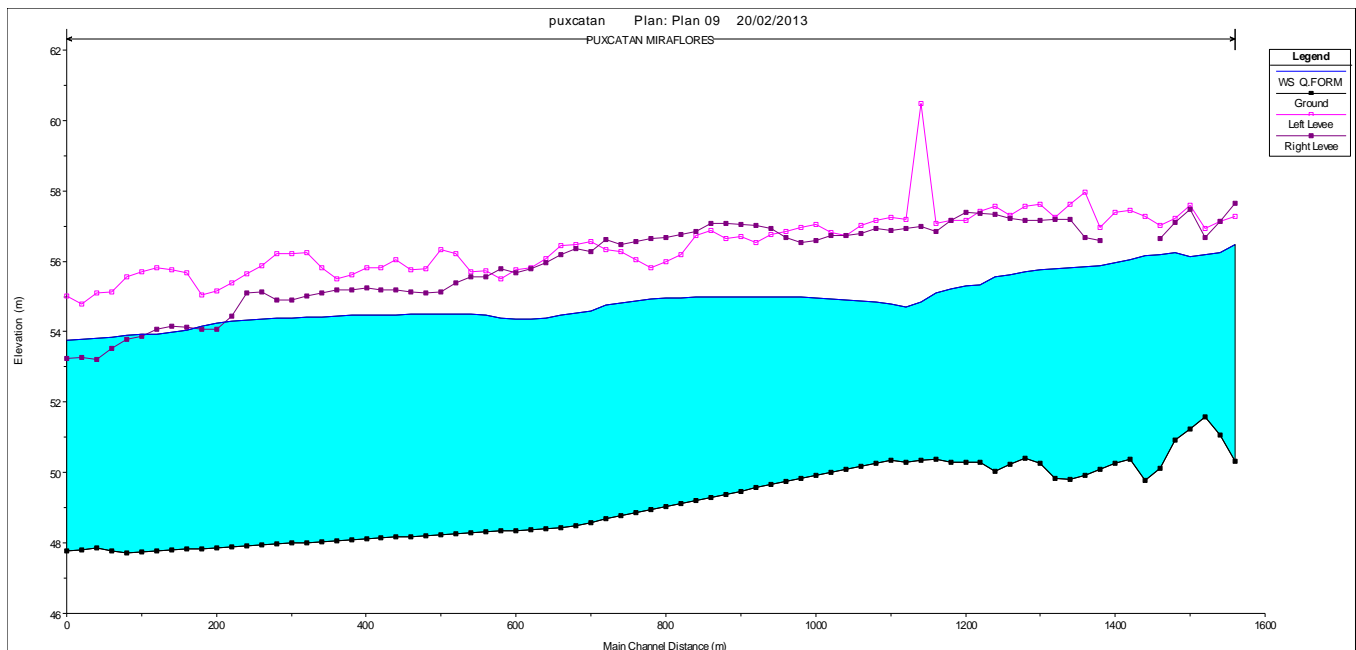


# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



## PERFIL HIDRÁULICO.

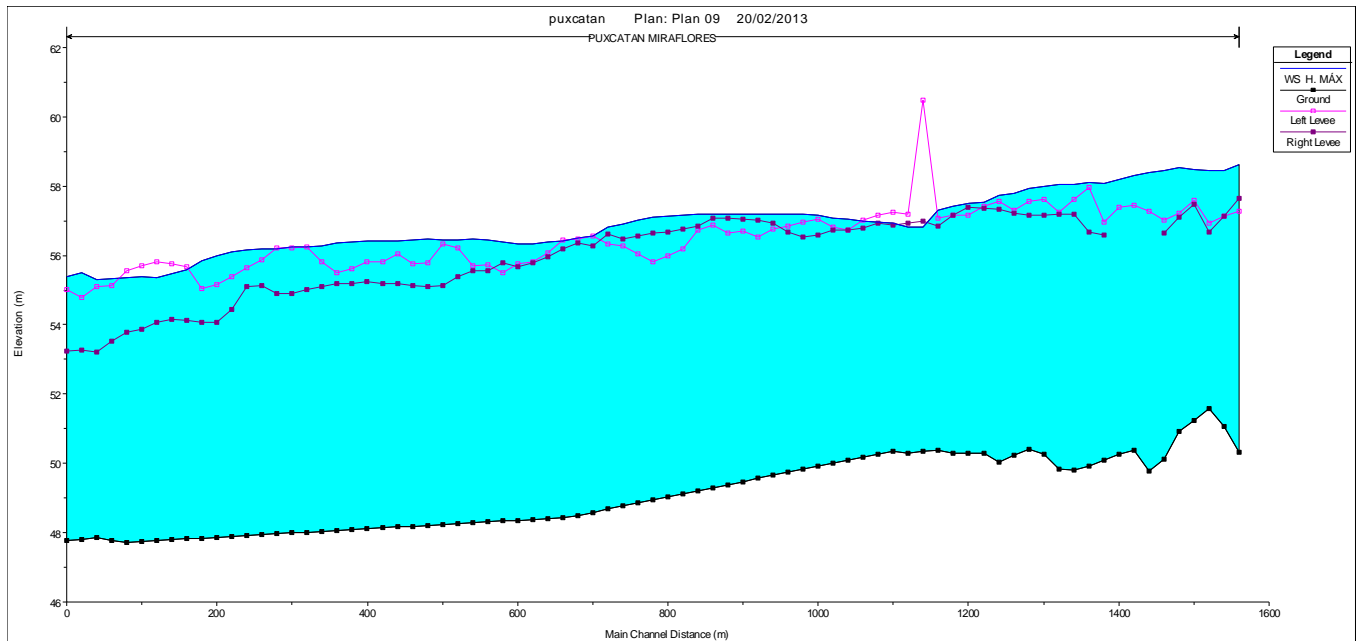
TR=5.361 [años], Q=929.991 [m<sup>3</sup>/s]



TR=58.676 [años], Q=1808.313 [m<sup>3</sup>/s]



# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



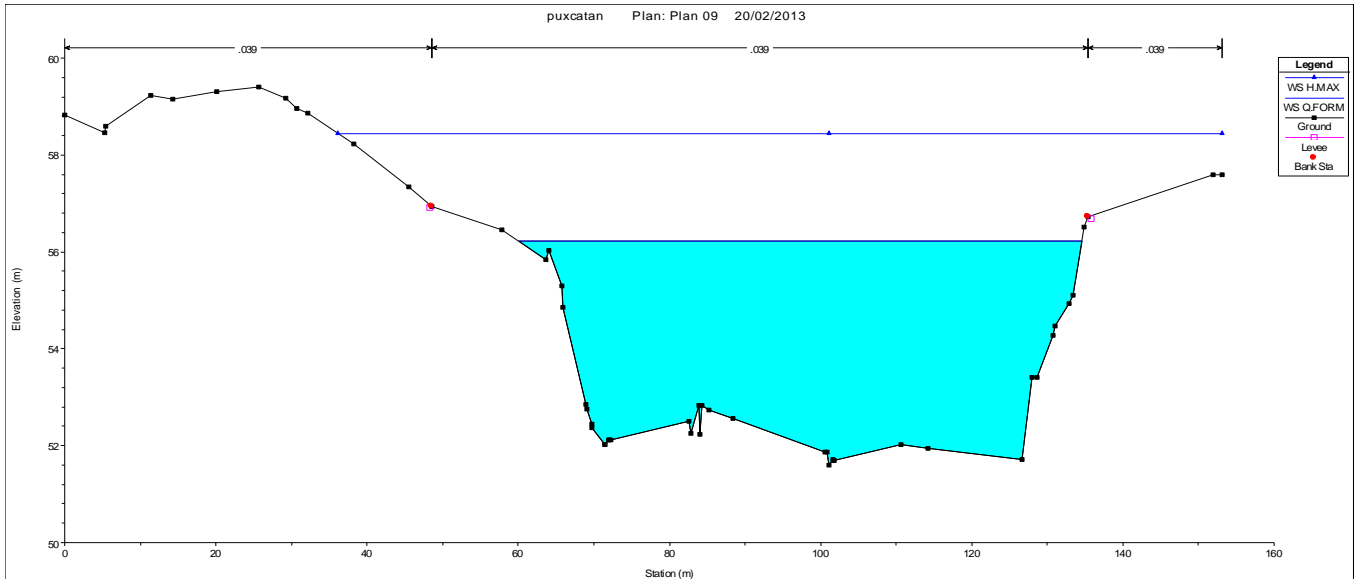
## SECCIONES HIDRÁULICAS.

A continuación se muestran algunas de las secciones que integran al cauce modelado, específicamente aquellas que se consideran representativas de la problemática presentada, se incluyen además los niveles de agua presentados para los diferentes periodos de retorno modelados.

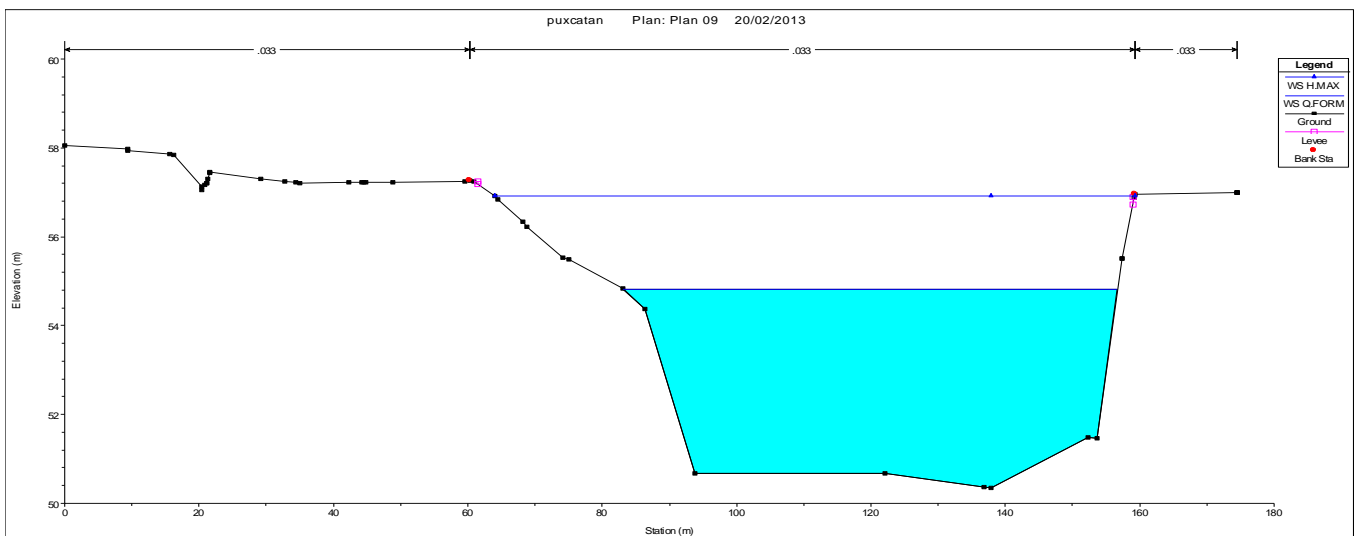
### SECCIÓN 1+520.00



# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



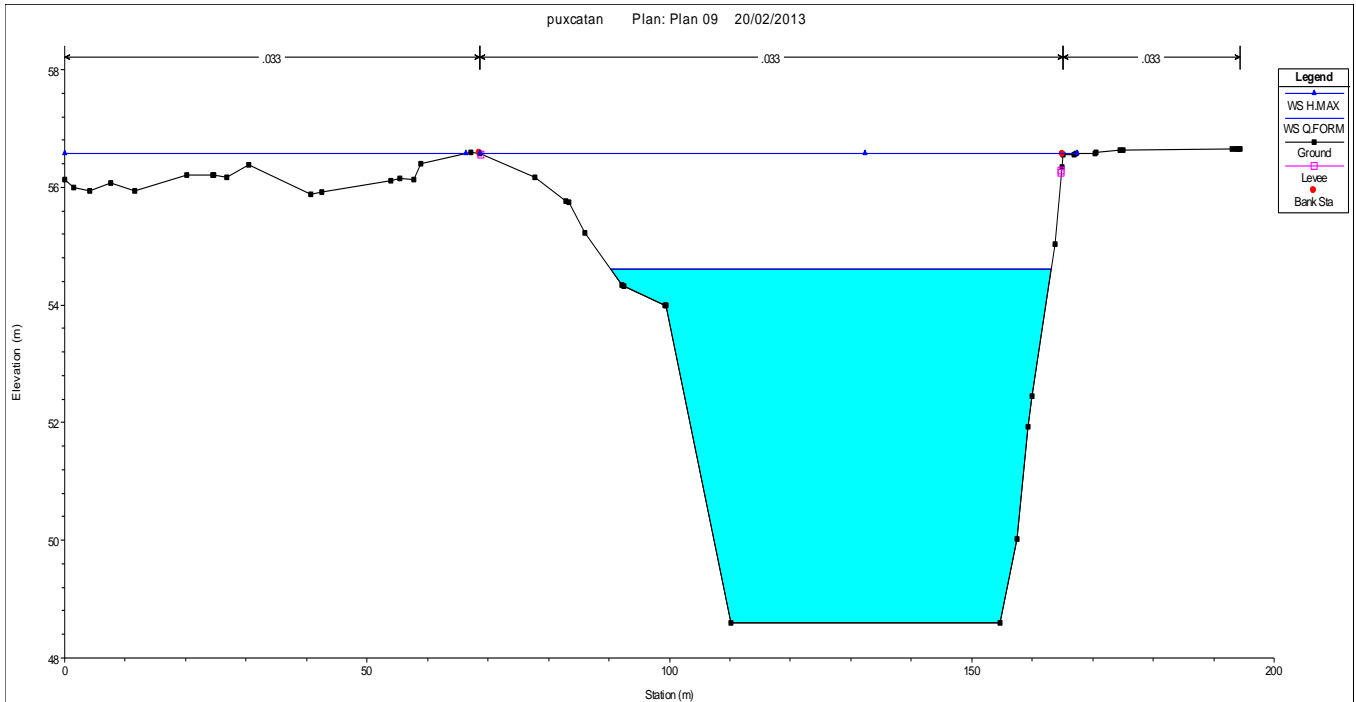
### SECCIÓN 1+100.00



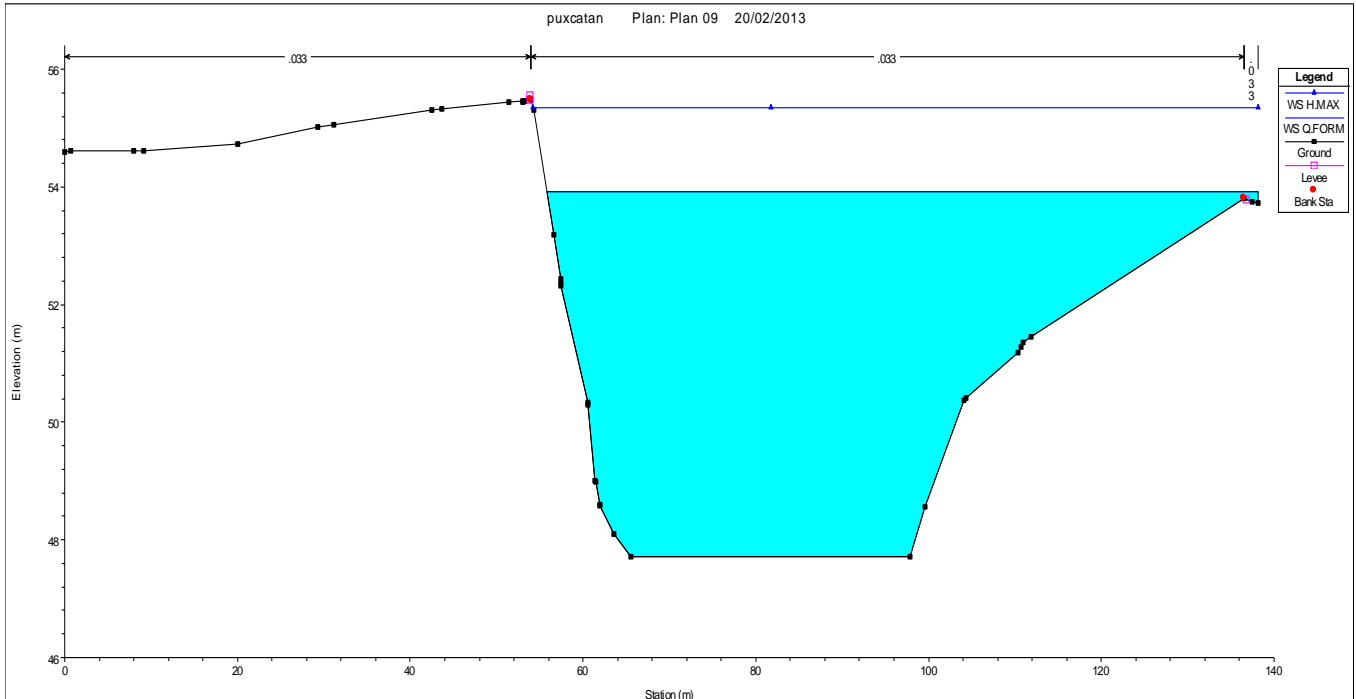
### SECCIÓN 0+700.00



# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



## SECCIÓN 0+080.00



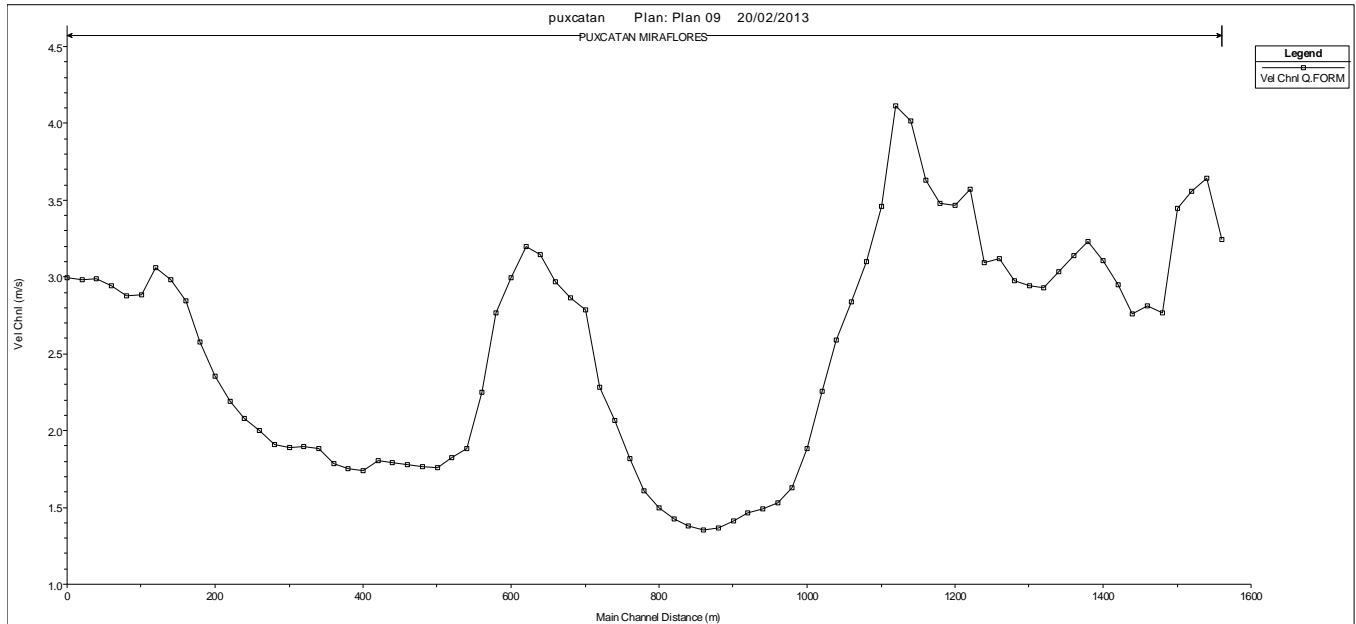
## GRAFICAS DE VELOCIDAD.



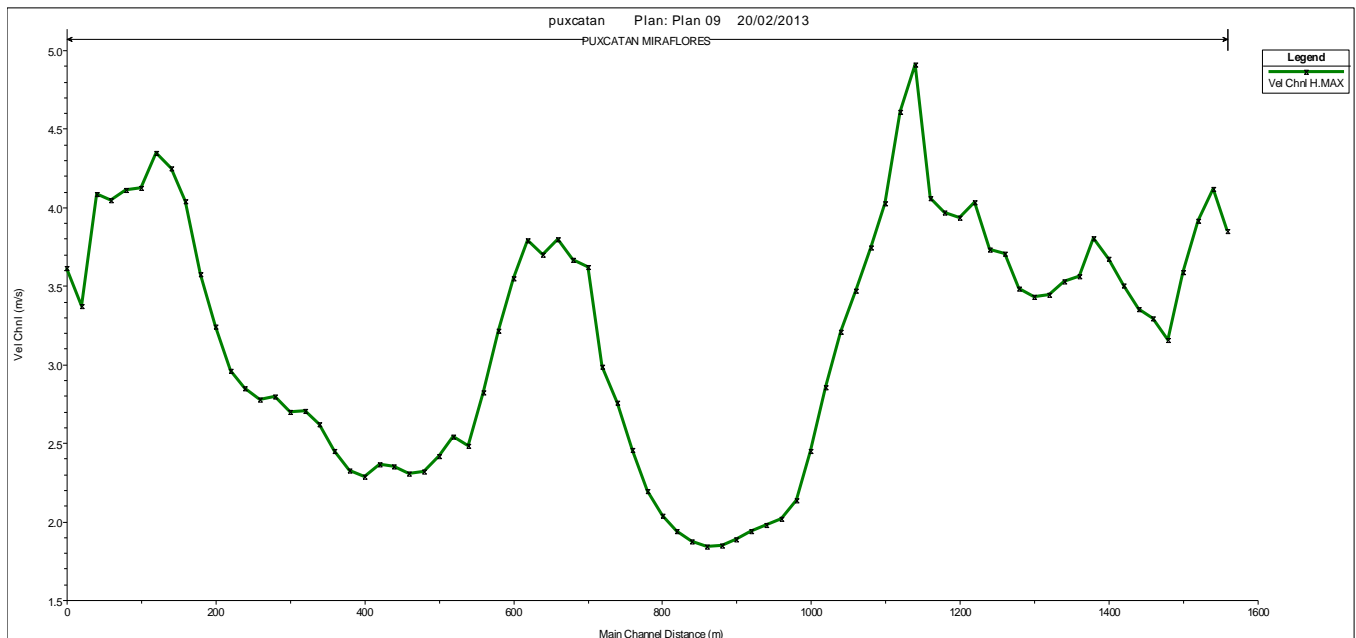
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



**TR=5.361 [años], Q=929.991 [m<sup>3</sup>/s]**



**TR=58.676 [años], Q=1808.313 [m<sup>3</sup>/s]**



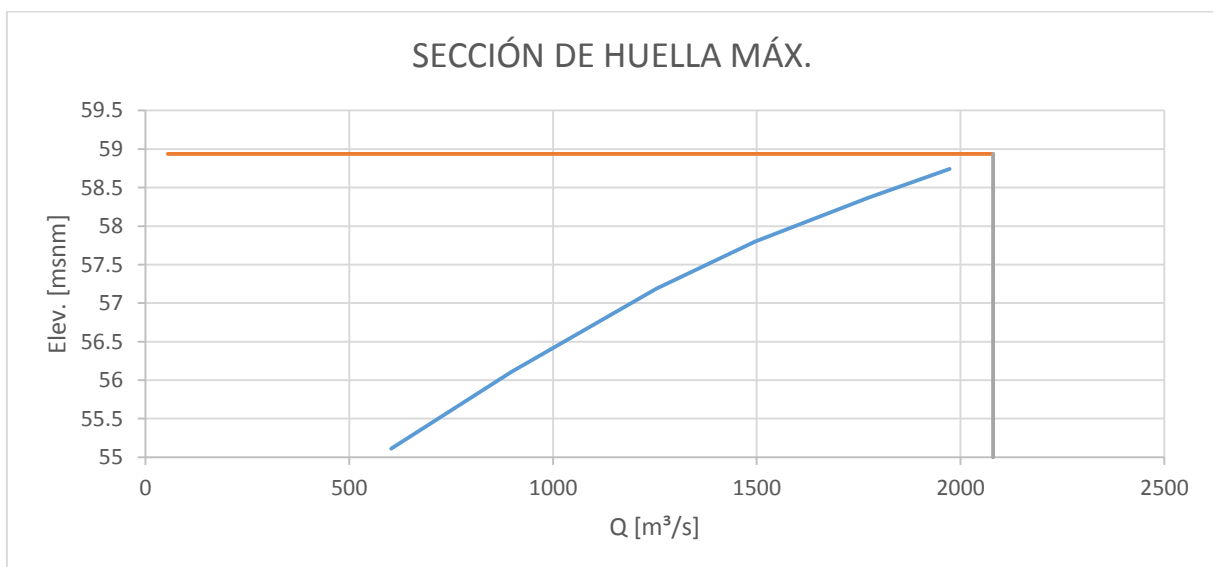




#### 4.2.2.3. DETERMINACIÓN DE GASTO Y PERIODO DE RETORNO ASOCIADO A LA HUELLA MÁXIMA DE INUNDACIÓN.

Para la determinación del gasto y periodo de retorno al cual corresponde el evento máximo registrado en la zona de estudio, el cual es conocido como Huella Máxima de Inundación, se realizó un análisis de curva Elevación-Capacidad a la sección topográfica utilizada para la generación del modelo en condiciones de proyecto que se encontrara con mayor cercanía a la misma, dicha sección de análisis es aquella que se encuentra en el cadenamiento 1+480.00 sobre el eje de cauce propuesto. A continuación se muestra una gráfica en donde se expone la variación de nivel de agua de dicha sección con respecto a los gastos modelados y la intersección del nivel de dicha huella máxima de inundación que se encuentra ubicada en la cota 58.939 msnm con dicha gráfica la cual fue empleada para la obtención de dicho gasto, para probar la validez de este ajuste se modelará en HEC-RAS dicho gasto obtenido, el cual tendrá que arrojar la elevación de huella máxima de inundación conocida. Para la obtención del periodo de retorno se obtuvo una interpolación de la tabla de gastos extrapolados el cual se muestra en la sección 3.4.

#### CURVAS DE CAPACIDAD-ELEVACIONES PARA LA SECCIÓN 1+480.00



#### DETERMINACIÓN DE GASTO.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



$$S_Q = \frac{Q_{TR=100} - Q_{TR=50}}{E_{TR=100} - E_{TR=50}} = \frac{1973.02 - 1773.73}{58.74 - 58.37} = 538.622 \left[ \frac{m^3/s}{m} \right]$$

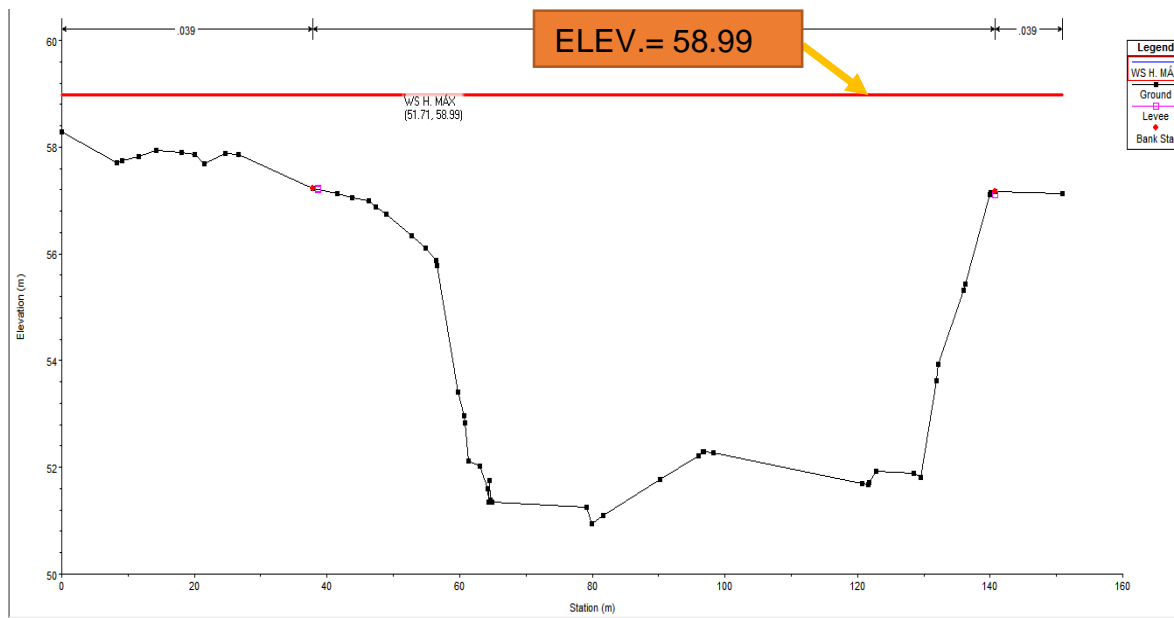
$$Q_{H.MÁX} = Q_{TR=50} + [(E_{H.MÁX} - E_{TR=50}) * S_Q] = 1773.73 + [(58.939 - 58.37) * 538.622]$$

$$Q_{H.MÁX} = 1773.73 + (0.059 * 586.147) = 2080.206 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

### DETERMINACIÓN DE PERIODO DE RETORNO.

$$TR_{H.MAX} = 50 + \left[ (Q_{H.MAX} - Q_{TR=50}) * \left( \frac{50}{Q_{TR=100} - Q_{TR=50}} \right) \right] = 126.892 \text{ [años]}$$

Después de obtenido el gasto y el periodo de retorno al cual pertenece la huella máxima registrada se procede a determinar si dicho análisis fue lo suficientemente preciso tomando como margen de error 5 centímetros de tolerancia, razón por la cual se modelo dicho gasto y se obtuvo el nivel de agua que se presenta en la sección de análisis, comparándolo con el nivel deseado dicho valor de muestra a continuación en la figura 4.2.1.3.1.

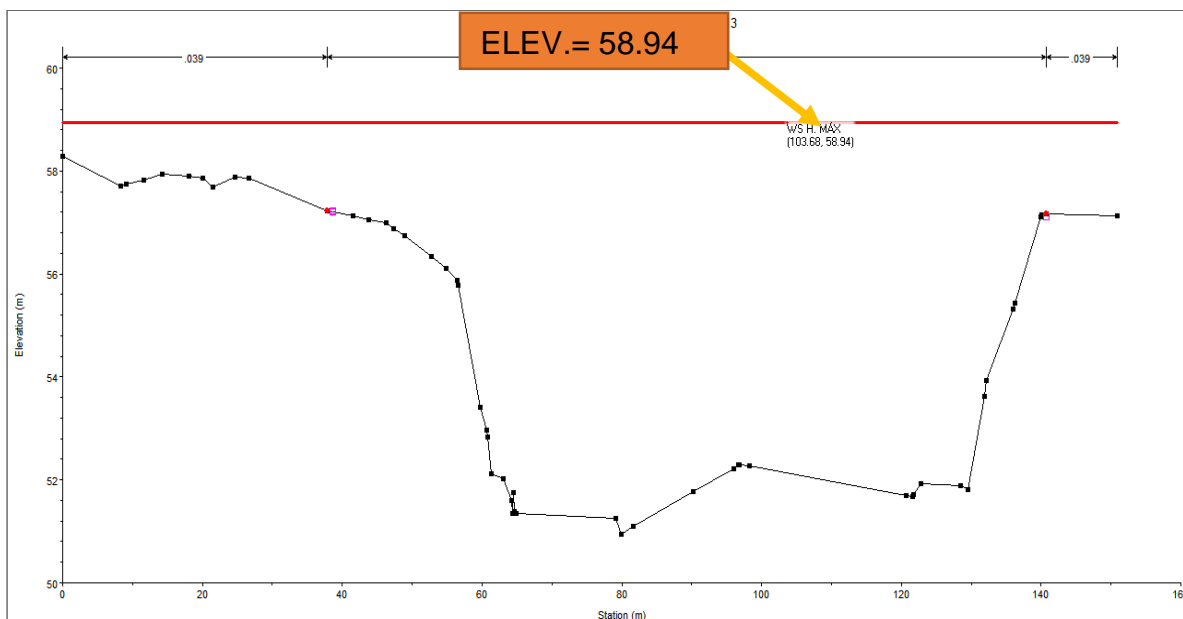




## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



La anterior modelación muestra que existe una diferencia de 6 cm mayor a la tolerancia aceptada por lo cual el anterior análisis demuestra que la aproximación realizada no es suficiente razón, por la cual se itero el gasto hasta encontrar aquel que correspondiera a dicha elevación con el menor grado de error posible, después de realizadas dichas iteraciones se encontró que el gasto con mayor aproximación era aquel con magnitud de 2,050.00 m<sup>3</sup>/s el cual corresponde a un periodo de retorno de 119.313 años. A continuación se muestra la sección de análisis transitando un gasto de 2,050.00 [m<sup>3</sup>/s].



Para este análisis se puede observar en los resultados hidráulicos mostrados que los niveles de agua correspondientes al gasto formativo anteriormente calculado disminuyen, razón por la cual se procedió a realizar un análisis similar al mostrado con anterioridad para determinar el gasto formativo y el periodo de retorno al cual corresponde con las nuevas condiciones de proyecto, como se estipuló con anterioridad en el apartado 4.2.1, la sección crítica de interés es aquella que posee la menor capacidad dentro del tramo de estudio y que además se encuentre cercana

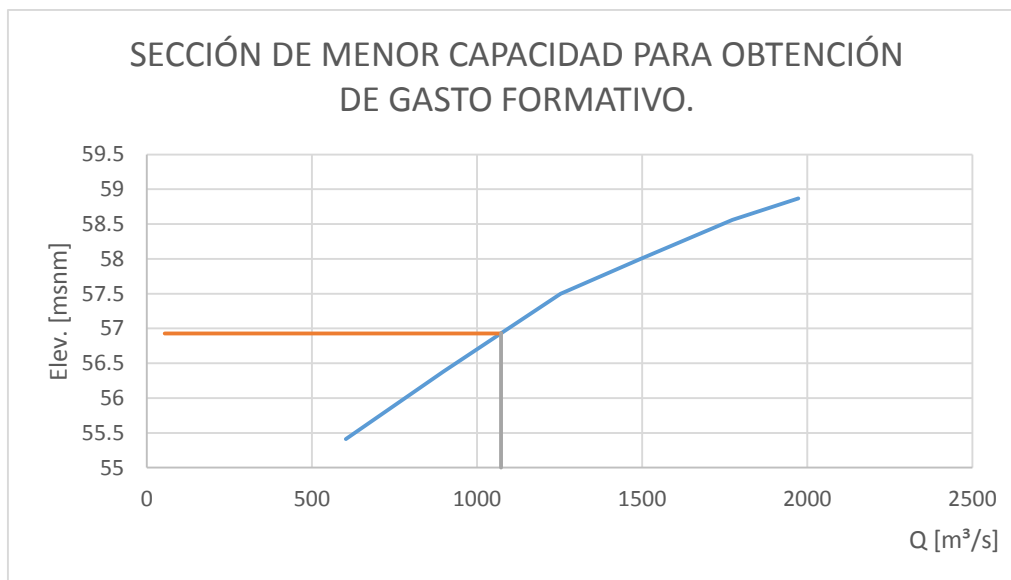


## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



a la zona en donde se encuentra la población, razón por la cual la sección de análisis es aquella ubicada en el cadenamiento 1+520.00 del eje de cauce trazado

Cadenamiento	Periodo de Retorno	Q Total	ELEVACIÓN DE AGUA
		(m <sup>3</sup> /s)	(m)
1520	2	603.18	55.41
1520	5	898.36	56.38
1520	10	1253.53	57.5
1520	20	1495.7	58
1520	50	1773.73	58.56
1520	100	1973.02	58.87



### DETERMINACIÓN DE GASTO.

$$S_Q = \frac{Q_{TR=10} - Q_{TR=5}}{E_{TR=10} - E_{TR=5}} = \frac{1253.53 - 898.36}{57.50 - 56.38} = 317.116 \left[ \frac{m^3/s}{m} \right]$$

$$Q_{FORM} = Q_{TR=5} + [(E_{HOMBRO} - E_{TR=5}) * S_Q] = 898.36 + [(56.93 - 56.38) * 317.116]$$

$$Q_{H.MÁX} = 898.36 + (0.07 * 366.155) = 1072.774 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

### DETERMINACIÓN DE PERIODO DE RETORNO.

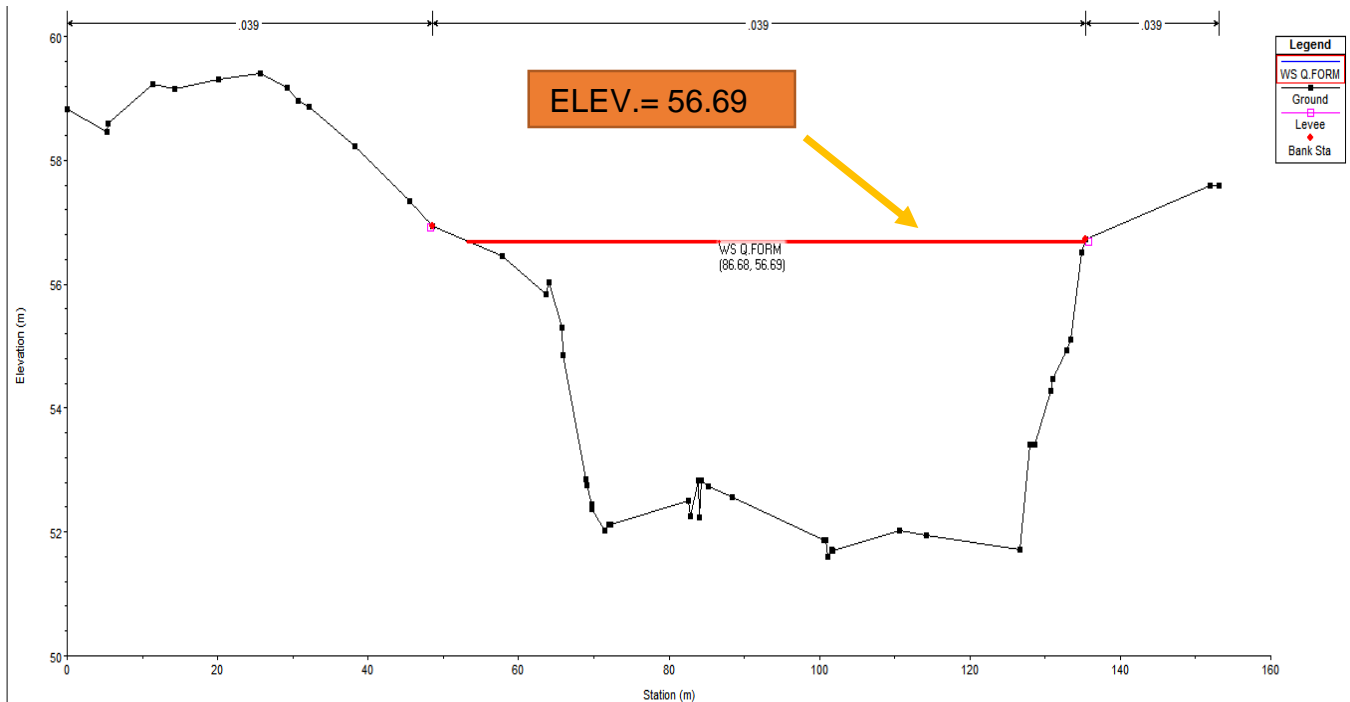
$$TR_{FORM} = 5 + \left[ (Q_{FORM} - Q_{TR=5}) * \left( \frac{5}{Q_{TR=10} - Q_{TR=5}} \right) \right] = 7.455 \text{ [años]}$$



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Para la validación del anterior gasto obtenido se procede a generar una modelación de dicho gasto el cual corroborará que se presenta inmediatamente antes de desbordar en la sección crítica de análisis.



Esto indica una diferencia de 24 centímetros muy superior a la tolerancia aceptada de 5 centímetros en cuanto al nivel estimado, razón por la cual no se toma el análisis como válido y no se acepta el gasto estimado, para esto se procede a iterar los gastos de forma ascendente tomando como pivote el anteriormente calculado. Después de realizar dichas iteraciones, se encontró que el valor adecuado de gasto formativo para el tramo de análisis es aquel que corresponde a una magnitud de  $1145.00 \text{ m}^3/\text{s}$  y que corresponde a un periodo de retorno de 8.47 [años].



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.

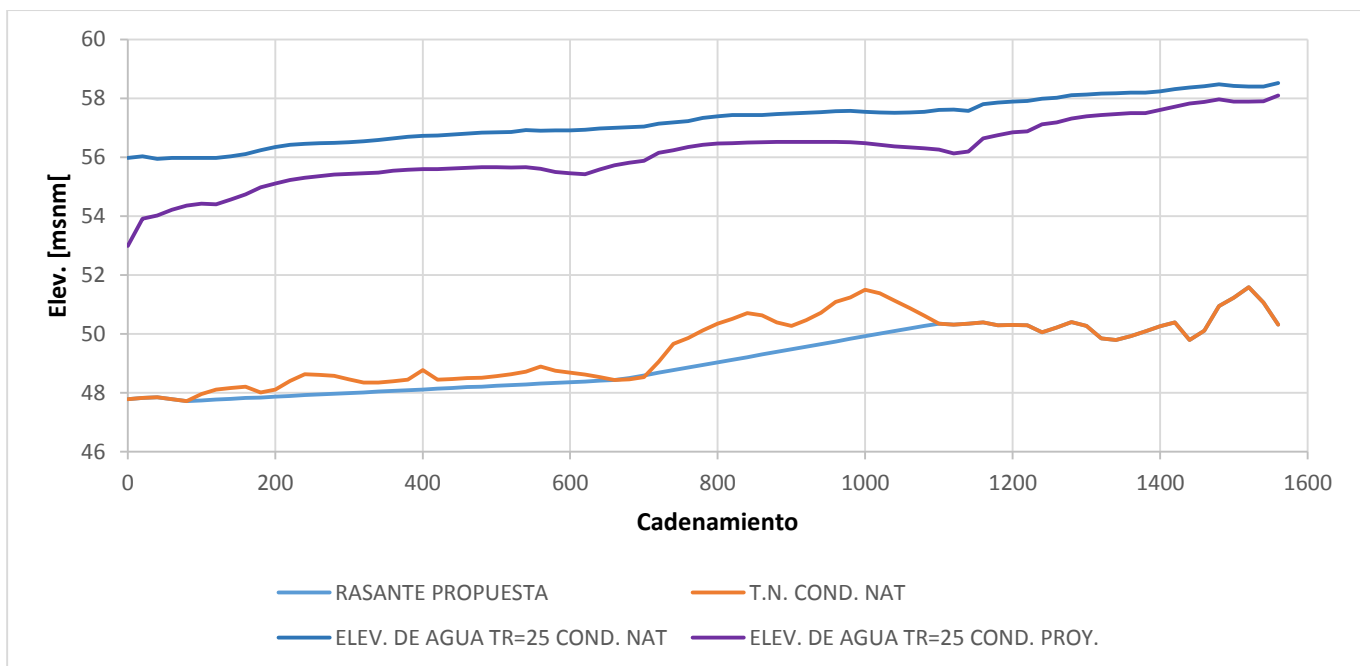


### 4.2.2.4. DIFERENCIAS DE NIVELES DE AGUA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO (TR=25 AÑOS, TR=50 AÑOS Y TR=100 AÑOS).

Aquí se muestra la variación de niveles de agua presentados en el tramo de estudio, tomando los anteriores gastos como referencia; debido a que dichos gastos son los más comunes para el diseño de obras de protección contra inundaciones.

Para la estimación del gasto que corresponde a un Periodo de Retorno de 25 años se realizó una interpolación basada en la extrapolación de gastos realizada en el apartado 3.4 de este documento, quedando el mismo con un valor de 1542.038 [m<sup>3</sup>/s].

#### PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS.

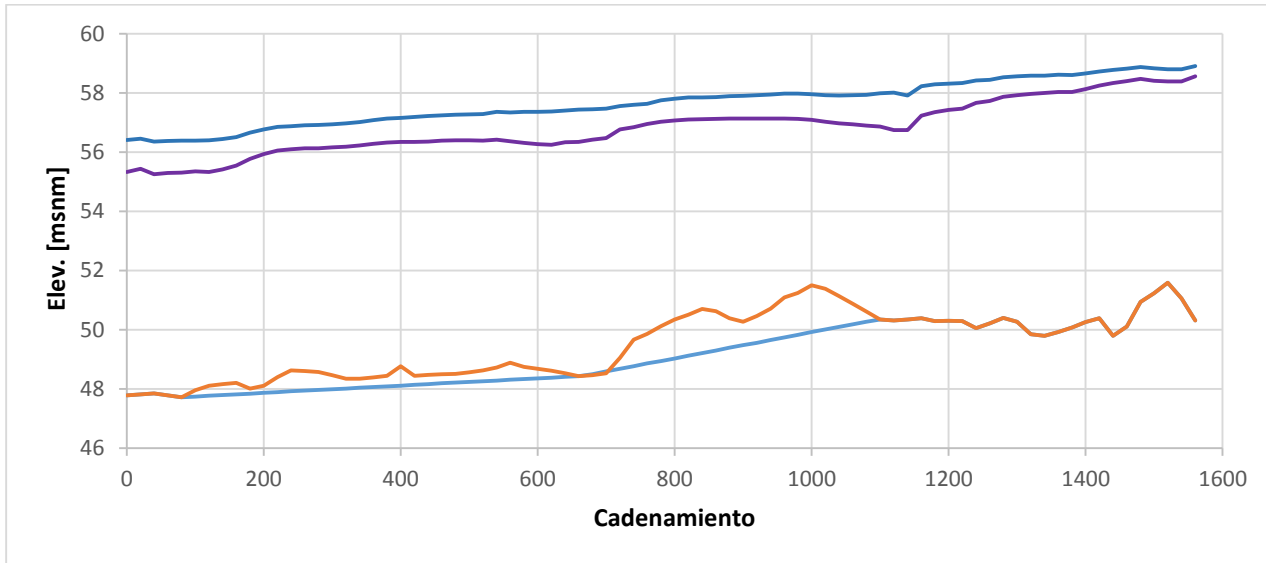




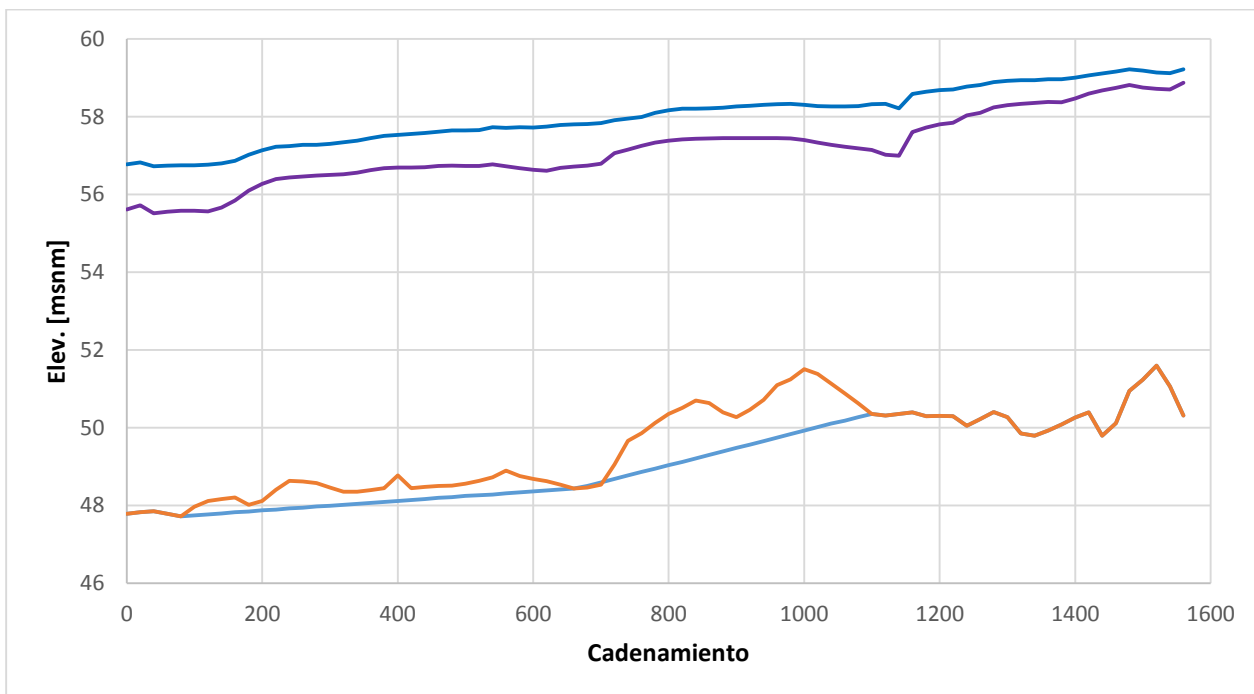
# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.



PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.







## 5. PROCESO CONSTRUCTIVO, CATÁLOGO DE CONCEPTOS Y PRESUPUESTO.

Se muestran los elementos que habrán de integrar la ejecución de este proceso constructivo, además de los conceptos y presupuestos de los que consistirá.

### PROCESO CONSTRUCTIVO.

#### 5.1 TRAZO Y NIVELACIÓN DE ELEMENTOS ESTABLECIENDO EJES Y REFERENCIAS.

##### DEFINICIÓN

Este concepto comprende todos los trabajos que se requieran para ubicar en el terreno físicamente, ejes y puntos de referencia necesarios para el correcto inicio y ejecución de la obra; se deberán colocar cuantas veces sea necesario, además se deberán utilizar materiales y equipo adecuado.

##### ALCANCES.

Limpieza del terreno donde se va a señalar el trazo, colocar estacas, bancos de nivel y colocar mojoneras de concreto necesarias.

Se deberá contar con personal especializado para la correcta ejecución de este concepto, tales como: ingeniero, topógrafo, aparatero, estadalero y cadenero etc.

##### REQUISITOS DE EJECUCIÓN.

Se deberán realizar trabajos de medición y nivelación que se tengan que llevar a cabo para ubicar puntos de referencia tanto en vertical como en horizontal.

Se deberán revisar las cotas de proyecto y verificación del perfil del terreno natural, previo al inicio de las excavaciones.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Se deberá llevar un control necesario en la excavación realizada buscando la correcta ejecución de la obra.

Se requiere que se cuente con el equipo necesario para la realización de estos trabajos.

Trazo de los lados de la sección de corte (empleando cal para marcar), con mediciones de cinta perpendiculares al eje de construcción.

El trazo y nivelación se medirá tomando como unidad el metro cuadrado con aproximación de un décimo (0.1).

Las cantidades de obra ejecutada con cargo a este concepto se medirán en el sitio de ejecución, estando limitadas entre las líneas que indiquen el proyecto o las modificaciones ordenadas por el ingeniero. Estas cantidades se expresarán en metros cuadrados para su pago.

No se contemplarán volúmenes de trabajo que excedan las líneas de proyecto.

Los criterios de aceptación y rechazo para la recepción de dicho concepto serán los siguientes:

- Trazo de los ejes de construcción a partir de los puntos de referencia con equipo topográfico (debidamente calibrado); efectuar registro en libreta de campo y registro en hojas de cálculo computarizado para entregar a la supervisión.
- Adecuado estacado sobre los ejes, que consiste en el traslado de las líneas de los ejes y los niveles de los planos del contrato al terreno en donde se desplantará la cubeta por medio de marcas que generalmente son mojoneras para los trazos horizontales y bancos de nivel para los posiciones verticales.
- El equipo utilizado para el trazo y nivelación deberá contar con su correspondiente certificado de calibración si así se requiere.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



### 5.2 DESMONTE, DESHIERBE Y LIMPIA DEL TERRENO EN ZONA DE DESASOLVE.

#### DEFINICIÓN

Conjunto de operaciones para efectuar la eliminación de vegetación, restos de cultivos, basura y desperdicios existentes en el área de excavación.

#### ALCANCES.

Desmonte, deshierbe y limpia de terreno comprende las operaciones siguientes:

La roza, que consiste en cortar y remover con todo y raíz la hierba, maleza y restos de cultivos.

La limpia, que consiste en retirar de las superficies en que se haya efectuado la roza, el producto de la misma, específicamente la basura y desechos no reutilizables para posteriormente colocarlos en el sitio y con la disposición que ordene el ingeniero.

Reutilización, que consiste en la clasificación del material producto de la roza para su posterior empleo en el arropo del bordo contra inundaciones propuesto.

#### REQUISITOS DE EJECUCIÓN.

El contratista deberá emplear los procedimientos y equipos propuestos en el concurso, sin embargo, puede poner a consideración de la dependencia para su aprobación cualquier cambio que justifique un mejor aprovechamiento de su equipo y mejora en los programas de trabajo; pero en caso de ser aceptado no será motivo para que pretenda la revisión del precio unitario establecido en el contrato.

El deshierbe y limpia se ejecutara en las áreas y dentro de las líneas y niveles que señale el proyecto.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Los trabajos de deshierbe y limpia deberán efectuarse tomando todas las precauciones necesarias para evitar que las estructuras existentes sufran daños.

Se tomarán las precauciones necesarias para que el material producto del deshierbe no sea acarreado por la acción de las lluvias a los sitios ya deshierbados y limpios o a depósitos y corrientes de agua para riego o para abastecimiento de agua potable.

Los daños y perjuicios por los trabajos de deshierbe y limpia ejecutados indebidamente dentro o fuera de las áreas marcadas en el proyecto, serán de la exclusiva responsabilidad del contratista, por lo que deberá cubrir a sus expensas todas las reclamaciones que por tal motivo se presenten. Las escalatorias que se generen se harán de acuerdo a lo estipulado en la ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas y su reglamento y demás normatividad aplicable en la materia. El desmonte, desenraice deshierbe y limpia se medirá tomando como unidad la hectárea con aproximación de un décimo (0.1).

Los trabajos de deshierbe y limpia se medirán en los sitios de ejecución.

El área que se estimara para pago, será la que resulte de considerar la proyección horizontal de la superficie que haya sido deshierbada y limpiada a entera satisfacción del ingeniero y de la dependencia, tomando como base las cantidades de proyecto, haciendo las modificaciones que resulten necesarias por los cambios autorizados.

En ningún caso la dependencia hará más de un pago por el deshierbe y limpia ejecutado en una misma superficie, por lo que, el contratista procurara efectuarlo en la fecha más conveniente para que el terreno se conserve limpio hasta el momento que inicien los trabajos subsecuentes.

No se medirá el deshierbe y limpia que el contratista ejecute fuera de las superficies señaladas en el proyecto.

No se medirán los deshierbes y limpias que el contratista ejecute para facilitar sus



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



operaciones.

Para los fines de medición y pago, los precios unitarios de los conceptos de trabajo relacionados con esta norma incluyen lo que corresponda por el uso de herramientas, materiales, mano de obra y todo lo necesarios para ejecutar debidamente las operaciones de desmonte, desenraice, deshierbe y limpia, así como el acarreo libre antes referido.

### **5.3 EXCAVACIÓN PARA RÍOS EN CUALQUIER MATERIAL EXCEPTO ROCA, INCLUYE AFINE DE CUBETA PROPUESTA Y ACARREO LIBRE DE 200 MTS.**

#### **DEFINICIÓN.**

Conjunto de operaciones para efectuar el afloje, extracción, remoción y traspaleo de material extraído, para la correcta ejecución del afine de taludes y corte; de acuerdo a lo indicado en las líneas de proyecto.

#### **ALCANCES.**

El trabajo consistirá en efectuar las excavaciones necesarias para conseguir el afine de taludes y corte dicha actividad se realizara según el proyecto y/u órdenes del ingeniero, incluyendo las operaciones necesarias para amacizar o limpiar la plantilla y taludes de las mismas; así mismo, la remoción del material producto de tal excavación, su colocación a las márgenes del río disponiéndolo de tal forma que no interfiera con el desarrollo normal de los trabajos y la conservación de dichas excavaciones por el tiempo que se requiera para la ejecución satisfactoria de la obra.

El ingeniero está facultado para suspender total o parcialmente las obras cuando considere que el estado de las excavaciones no garantiza la seguridad necesaria para las obras y/o los trabajadores, hasta en tanto no se efectúen los trabajos de ademe o apuntalamiento si éstos fueran necesarios.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



El criterio constructivo del contratista será de su única responsabilidad y cualquier modificación no será motivo de cambio en el precio unitario, deberá tomar en cuenta que sus rendimientos propuestos sean congruentes con el programa y con las restricciones que pudiesen existir.

Dentro de esta actividad queda comprendida la excavación correspondiente en cualquier material excepto roca fija, para la formación de la cubeta propuesta y el cual se clasificará como material tipo i.

### **MATERIAL I**

Son los materiales fácilmente excavables con pala de mano sin necesidad de emplear el zapapico aunque este se use para aumentar los rendimientos. También los que son fácilmente excavables con equipo mecánico ligero, como draga de arrastre, cargador frontal o retroexcavadora montados en tractores de oruga con cuchillas angulables o arado desgarrador para aflojar el material, aun cuando el contratista los utilice para aumentar sus rendimientos.

Se consideran en esta clasificación materiales tales como: suelos agrícolas, arcilla blanda, toba dendrítica (tepetate) poco compacta, arenas y gravas sueltas o poco cementadas.

También se consideran en esta clasificación fracciones de roca, piedras sueltas o peñascos que cubiquen aisladamente menos de cero punto setenta y cinco (0.75) metros cúbicos, que no excedan con un volumen total mayor de veinticinco (25) por ciento del volumen de una sección media entre dos estaciones.

### **REQUISITOS DE EJECUCIÓN.**

Según la naturaleza de los materiales de que se trate, el contratista empleará procedimientos manuales o mecánicos para realizar tal actividad, sin embargo, puede poner a consideración de la dependencia contratante para su aprobación cualquier cambio que justifique un mejor aprovechamiento y mejora en los programas de trabajo, pero



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



En caso de ser aceptado no será motivo para que pretenda la revisión del precio unitario establecido en el contrato.

Los trabajos de excavación se realizarán en dos etapas, como se estipula en el proyecto.

Los trabajos de excavación para el afine de taludes, los realizará el contratista de acuerdo con los datos del proyecto y/o las órdenes del ingeniero, y podrán comprender algunas de las operaciones siguientes: afloje previo, extracción, remoción, traspaleo, carga y descarga; así mismo todas las excavaciones se ejecutarán y afinarán dentro de las líneas y niveles que indique el proyecto, por lo que se ejecutarán cuidando la geometría propuesta para la cubeta de desazolve.

El material producto de las excavaciones podrá ser utilizado según el proyecto y/o las órdenes del ingeniero en rellenos u otros conceptos de trabajo en cualquier lugar de las obras, sin compensación adicional al contratista cuando este trabajo se efectúe dentro de la zona del acarreo libre de hasta doscientos (200) metros, en forma simultánea al trabajo de excavación y sin ninguna compensación adicional a las que correspondan a la colocación del material en el banco de desperdicio.

No será motivo de compensaciones adicionales ni de modificaciones de los precios unitarios estipulados en el catálogo, el hecho de que las cantidades de obra se incrementen o disminuyan en cualquier porcentaje, ni la circunstancia de que se efectúen las operaciones que se han detallado en cualquier forma y con el equipo que el contratista considere adecuado.

Para fines de medición y pago de los conceptos de trabajo relacionados con estos conceptos incluyen lo que corresponda por equipo, herramienta, materiales y la mano de obra necesaria para excavar, carga, descarga y acarreo libre de hasta 200 m. De los mismos al lugar de depósito.





## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Para los efectos de medición de este concepto de trabajo, se tomará como unidad de medida el metro cúbico, entendiéndose como tal, la excavación necesaria hasta los niveles de proyecto y/u ordene el ingeniero para desplante y afine de los taludes del río en material común, realizada por el contratista en el lugar y con las características que indique el proyecto y ordene el ingeniero, conforme a la presente especificación, entregado a entera satisfacción de la dependencia, con visto bueno del área de supervisión, y su costo total será la suma de precios unitarios de cada uno de los conceptos realizados por el contratista.

No se medirán las excavaciones que el contratista ejecute fuera de las líneas y niveles del proyecto y las partes afectadas serán reparadas o repuestas por el contratista a sus expensas en el momento y forma que ordene el ingeniero.

### **5.4 ACARREO DEL MATERIAL EXTRAIDO EN EL CONCEPTO 5.3 AL PRIMER KILOMETRO.**

Transporte de materiales correspondientes a las excavaciones ejecutadas para desazolve del cauce producto de segunda etapa de excavación dentro de la zona de las obras objeto del contrato, efectuado de acuerdo a lo señalado en el proyecto; entendiéndose por “zona de la obra” el área ocupada por la obra en sí.

El material a que se refiere esta especificación es producto de las excavaciones realizadas para el desazolve del cauce en su segunda etapa y que no serán reutilizados en la ejecución de las obras que son objeto de este contrato.

El contratista empleará procedimiento y equipo propuesto en el concurso, sin embargo, puede poner a consideración de la dependencia, para su aprobación, cualquier cambio que justifique un mejor aprovechamiento de su equipo y mejora en los programas de trabajo; en caso de ser aceptado, esto no será motivo para que pretenda la revisión del precio unitario establecido en el contrato.

El equipo de acarreo podrá ser propiedad del contratista y/o el de las unidades de transportista de la localidad en que se ejecuten las obras. No será motivo de



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



variación del precio unitario si el contratista recurre a la utilización de fleteros habiendo cotizado con equipo propio o viceversa y en caso de que se trate de fleteros serán de su exclusiva responsabilidad los problemas de tipo laboral que se generen con motivo de su utilización.

Los acarreos se efectuarán entre los sitios indicados en el proyecto o los ordenados por el ingeniero y se realizarán siempre, siguiendo la ruta transitable más corta y conveniente.

El acarreo en el primer kilómetro comprende la carga de material en las unidades de transporte, transportar hasta un kilómetro y descargar, se considerará en el análisis de este precio unitario el cargo correspondiente al porcentaje de abundamiento del material. Y la conservación de los caminos para realizar los acarreos dentro de la zona de obra.

El acarreo en el primer kilómetro de los materiales correspondientes a las excavaciones ejecutadas en el concepto 5.3, se medirá en metros cúbicos con la aproximación a la unidad inmediata superior del volumen realmente generado, según el proyecto y/o las órdenes del ingeniero.

El volumen del material acarreado se medirá tomando como unidad el metro cúbico ( $m^3$ ).

Las distancias se medirán siempre por la ruta transitable más corta y conveniente que apruebe el ingeniero entre los centros de gravedad de los sitios de origen y de utilización.

Las actividades relacionadas con esta especificación se pagarán por unidad de concepto terminado al precio unitario que se establezca en el contrato.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



### 5.5 SOBRECARRERO DEL MATERIAL UTILIZADO EN EL CONCEPTO 5.4 EN LOS KILOMETROS SUBSECUENTES AL PRIMERO.

Transporte de materiales correspondientes a las excavaciones ejecutadas para desazolve del cauce dentro de la zona de las obras objeto del contrato, conforme a lo señalado en el proyecto; entendiéndose por zona de la obra el área ocupada por la obra en sí.

El material a que se refiere esta especificación es producto de las excavaciones realizadas para el desazolve del cauce en su segunda etapa y que no serán reutilizados en la ejecución de las obras que son objeto de este contrato.

El contratista empleará el procedimiento y equipo propuesto en el concurso, sin embargo, puede poner a consideración de la dependencia para su aprobación cualquier cambio que justifique un mejor aprovechamiento de su equipo y mejora en los programas de trabajo; en caso de ser aceptado, esto no será motivo para que pretenda la revisión del precio unitario establecido en el contrato.

El equipo de sobrecarreo podrá ser propiedad del contratista y/o el de las uniones de transportistas de la localidad en que se ejecuten las obras.

No será motivo de variación del precio unitario para este concepto de trabajo, si el contratista recurre a la utilización de fleteros habiendo cotizado con equipo propio o viceversa y en caso de que se trate de fleteros serán de su exclusiva responsabilidad los problemas de tipo laboral que se generen con motivo de su utilización.

Los sobrecarreos se efectuarán entre los sitios indicados en el proyecto o los ordenados por el ingeniero y se realizarán siempre, siguiendo la ruta transitable más corta y conveniente.

Se entenderá por sobrecarreo, a la operación consistente en transportar este material producto de excavación a una distancia que sobrepase al acarreo de un kilómetro. Así mismo el sobrecarreo del kilómetro 1 en adelante de los materiales



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



correspondientes a las excavaciones ejecutadas en el concepto; 5.3, se medirá para su pago en metro cúbico kilómetro ( $m^3$ -km), con aproximación a la unidad inmediata superior, de los volúmenes generados según el proyecto o las órdenes del ingeniero

Se deberá considerar el cargo correspondiente al porcentaje de abundamiento del material, así como la conservación de los caminos para realizar los sobreacarreos dentro de la zona de la obra.

La distancia entre los sitios de trio es aproximada, por lo que la distancia real de sobreacarreos se medirá desde el centro de gravedad del lugar de obtención hasta el sitio de utilización según la ruta transitable más corta o aquella que autorice el ingeniero utilizando los caminos de acceso o de construcción y descontando el acarreo el primer kilómetro estipulado en el catálogo para los conceptos de trabajos correspondientes.

La distancia de sobreacarreos se medirá tomando como unidad el kilómetro y el volumen de material conforme realmente se haga colocando a líneas de proyecto y/o las indicaciones del ingeniero. No se aceptarán los sobreacarreos que no haya ordenado la dependencia o el ingeniero ni las mayores distancias que el contratista recorra para facilitar sus maniobras.

Los conceptos de trabajo relacionados con esta especificación se pagarán por unidad de concepto terminado al precio unitario que para cada uno de ellos se establezca en el contrato.





# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



Figura 5.5.1 Ruta estimada para sitio de disposición de material producto de excavación.



# TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.



## PRESUPUESTO

Propuesta de desazolve sobre el río Puxcatán, en la zona de estudio ubicada en el Estado de Tabasco entre las coordenadas UTM P1(X1=534368.00Este, Y1= 1930783.00Norte); P2(X2= 533373.00Este, Y2=1930822.00Norte).						
CLAVE ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LOS CONCEPTOS	CANTIDAD DE TRABAJO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO		IMPORTE
				CON NÚMERO	CON LETRA	
<b>DESASOLVE DE RÍO PUXCATÁN</b>						
5.1	TRAZO Y NIVELACIÓN DE ELEMENTOS DE ESTRUCTURAS ESTABLECIENDO EJES Y REFERENCIAS.	1,224.90	M <sup>2</sup>	\$ 8.57	(DIEZ MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y SIETE PESOS 37/100 M.N.)	\$ 10,497.37
5.2	DESMONTE, DESHIERBE Y LIMPIA DEL TERRENO EN ZONA DE DESASOLVE.	0.12	HA	\$ 8,141.87	(NOVECIENTOS NOVENTA Y SIETE PESOS 30/100 M.N.)	\$ 997.30
5.3	EXCAVACIÓN PARA RÍOS PARA CUALQUIER MATERIAL EXCEPTO ROCA, INCLUYE AFINE DE CUBETA PROPUESTA Y ACARREO LIBRE DE 200 MTS.	126,843.43	M <sup>3</sup>	\$ 51.03	(SEIS MILLONES CUATROCIENTOS SETENTA Y DOS MIL OCHOCIENTOS VEINTE PESOS 23/100 M.N.)	\$ 6,472,820.23
5.4	ACARREO DEL MATERIAL EXTRAIDO EN EL CONCEPTO 6.1.K.1.2 AL PRIMER KILOMETRO.	126,843.43	M <sup>3</sup>	\$ 11.97	(UN MILLON QUINIENTOS DIECIOCHO MIL TRESCIENTOS QUINCE PESOS 86/100 M.N.)	\$ 1,518,315.86
5.5	SÓBREA CARREO DEL MATERIAL UTILIZADO EN EL CONCEPTO 5.3 EN LOS KILOMETROS SUBSECUENTES AL PRIMERO.	126,843.43	M <sup>3</sup> -KM	\$ 5.97	(SETECIENTOS CINCUENTA Y SIETE MIL DOSCIENTOS CINCUENTA Y CINCO PESOS 28/100 M.N.)	\$ 757,255.28
<b>PROPOSICIÓN QUE TIENE UN IMPORTE ACUMULADO</b>						\$ 8,759,886.03
<b>I.V.A. (16%)</b>						\$ 1,401,581.76
<b>IMPORTE TOTAL DE LA PROPOSICIÓN</b>						\$ 10,161,467.79
<b>IMPORTE TOTAL DE LA PROPOSICIÓN CON LETRA</b>					(DIEZ MILLONES CIENTO SESENTA Y UN MIL CUATROCIENTOS SESENTA Y SIETE PESOS 79/100 M.N.)	

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La Obra de Desazolve brindará especial beneficio al funcionamiento hidráulico del río, provocando en consecuencia que el evento máximo registrado conocido como Huella Máxima aumente su periodo de retorno de 58.676 a 126.892 años. Se recomienda el adecuado control de las geometrías de excavación realizando un control topográfico adecuado, además de considerar que puede existir una ligera variación en los volúmenes estimados debido al transporte de sedimentos y a la condición variable y aleatoria de la morfología del cauce.



## TESINA PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA.

---



### 7. REFERENCIAS.

REF. 1 HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS, VEN TE CHOW, Mc GRAW HILL, Ed. 1996.

REF. 2 HEC-RAS USER MANUAL, USACE, Ed. 2002.

REF. 3 HIDRAULICA DE CANALES, GILBERTO SOTELO ÁVILA, FACULTAD DE INGENIERÍA, Ed. 2003.

REF. 4 MANUAL DE INGENIERÍA DE RÍOS, CAPITULO 12 “ESTABILIDAD EN CAUCES”, IINGEN, Ed. 1996.