



**ESTUDIO DE SOCAVACIÓN Y
ANÁLISIS DE CRECIDAS EN
PUENTE UBICADO EN TRAMO AV.
ALAMEDA CENTRAL – AV.
SESQUICENTENARIO, MUNICIPIO
VALENCIA EDO. CARABOBO**

Autores:
Guédez C. Gabriel G.
Marvez S. Oswaldo I.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono (0241) 8714240 (máster)



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DE SOCAVACIÓN Y ANÁLISIS DE
CRECIDAS EN PUENTE UBICADO EN TRAMO
AV. ALAMEDA CENTRAL – AV. SESQUICENTENARIO,
MUNICIPIO VALENCIA EDO. CARABOBO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

Autores: Guédez Gabriel
C.I.: 24.293.071
Marvez Oswaldo
C.I.: 24.327.085
Tutor: Ing. Medina Ángel
C.I.: 15.299.274

San Diego, 2017



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-TG-2017-1CR-002

Valencia, 14 de Julio de 2017.

Ciudadano:
Gúédez Gabriel.
C.I. 24.293.071.
Marvez Oswaldo.
C.I. 24.327.085
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 2-2017 de fecha 14/07/2017 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **"ESTUDIO DE SOCAVACIÓN Y ANÁLISIS DE CRECIDAS EN PUENTE UBICADO EN TRAMO AV. ALAMEDA CENTRAL – AV SESQUICENTENARIO, MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO."**. Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Ángel Medina C.I. 15.299.274 y la Ing. Alicia Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutotes Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. José Gregorio Díaz.
Decano de la Facultad de Ingeniería



c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (2).
Archivo.

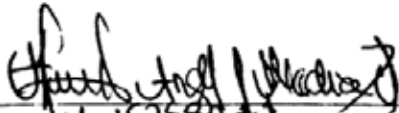


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Ángel Medina portador de la cédula de identidad N° 15.299.274, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Guédez Gabriel, portador de la cedula de identidad N° 24.293.071, y Marvez Oswaldo, portador de la cédula de identidad N° 24.237.085, titulado **ESTUDIO DE SOCAVACIÓN Y ANÁLISIS DE CRECIDA EN PUENTE UBICADO EN TRAMO AV. ALAMEDA CENTRAL – AV. SESQUICENTENARIO, MUNICIPIO VALENCIA EDO. CARABOBO**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 09 días del mes de junio del año 2017.


Ing. Medina Angel.
C.I.: 15.299.274





REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Ángel Medina portador de la cédula de identidad N° 15.299.274, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Guédez Gabriel, portador de la cedula de identidad N° 24.293.071, y Marvez Oswaldo, portador de la cédula de identidad N° 24.237.085, titulado **ESTUDIO DE SOCAVACIÓN Y ANÁLISIS DE CRECIDA EN PUENTE UBICADO EN TRAMO AV. ALAMEDA CENTRAL – AV. SESQUICENTENARIO, MUNICIPIO VALENCIA EDO. CARABOBO**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 09 días del mes de junio del año 2017.

Ing. Medina Ángel.
C.I.: 15.299.274



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

San Diego, 06 de abril de 2017

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **“ESTUDIO DE SOCAVACIÓN Y ANÁLISIS DE CRECIDA EN PUENTE UBICADO EN TRAMO AV. ALAMEDA CENTRAL – AV. SESQUICENTENARIO, MUNICIPIO VALENCIA EDO. CARABOBO”** ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Medina Ángel _____
Tutor Académico Firma Fecha

Ing. Yanéz de Pizzella Alicia _____
Tutor Metodológico Firma Fecha

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Justificación de la Investigación.....	5
1.5 Alcance y Delimitaciones de la Investigación.....	6
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación.....	8
2.2 Bases teóricas	10
2.2.1 Puentes en Venezuela	10
2.2.2 Tipos de Puentes	11
2.2.3 Consideraciones Generales de un Puente	11
2.2.4 Fallas en Puentes	13
2.2.5 El Comportamiento Fluvial	16

2.2.6 Aspectos Hidráulicos en el Diseño de Puentes.....	16
2.2.7 Socavación.....	18
2.2.8 Factores que Influyen en la Socavación	19
2.2.9 Tipos de Socavación	21
2.2.10 Cálculo de la Socavación en Puentes	28
2.2.11 Método de Lischtván-Levediev	30
2.3 Bases Legales	34
2.4 Definición de Términos Básicos.....	35

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación	37
3.2 Diseño de la Investigación.....	37
3.3 Nivel de la Investigación	38
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	38
3.5 Fases Metodológicas.....	39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Recopilar toda la data correspondiente al cauce.....	41
4.1.1 Estudios Hidrológicos.....	41
4.1.2 Estudios Hidráulicos.....	45
4.1.3 Información Topográfica	46
4.1.4 Estudio Geotécnico	47
4.2 Efectuar el estudio de la crecida del cauce.....	51
4.2.1 Transporte	53
4.2.2 Relación de Apertura de Puente	54

4.2.3 Coeficiente de Energía Cinética	55
4.2.4 Coeficiente de Perdidas	55
4.2.5 Tipo de flujo	61
4.2.6 Estimación del Remanso	63
4.2.7 Propuestas de rediseño a nivel de todo el eje del cauce	65
4.2.8 Análisis del comportamiento de las crecidas transitadas.....	82
4.3 Evaluar una posible propuesta de canalización del cauce.	83
4.3.1 Propuesta de canalización.....	84
4.4 Efectuar los análisis y cálculos de socavación general y local.....	94
4.4.1 Socavación General	94
4.4.2 Socavación Local.....	98
4.5 Proponer un análisis hidráulico de factores que afectan al puente ..	100
4.5.1 Introducir un puente a HEC-RAS:.....	100
4.5.2 Altura mínima del tablero de la estructura del puente:.....	104
CONCLUSIÓN.....	106
RECOMENDACIONES.....	108
BIBLIOGRAFÍA.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO

FIGURA	Pp.
1: Partes de un Puente.	11
2: Estudio Sobre el Origen de las Principales Fallas en Puentes.....	14
3: Falla Típica de una Pila.	14
4: Depósito de Materiales en el Fondo de un Río.	20

5: Daños en la Estructura Debido al Arrastre de Sedimentos..	21
6: Socavación General.....	22
7: Sistema de Vórtices Durante la Socavación en un Estribo.	26
8: Socavación Local en Pilas.....	28
9: Socavación Local en Estribos.	29
10: Sección Transversal del Cauce.....	30
11: Nomenclatura Típica para el Cálculo de la Socavación.....	31
12: Factor de Corrección por Contracción del Cauce.	33
13: Puntos de cálculo de los caudales máximos en la cuenca del río.....	42
14: Estructura de la simulación hidrológica original.....	43
15: Estructura de la simulación hidrológica modificada.	44
16: Variables usadas en el estudio hidrológico.	44
17: Hidrogramas para diferentes períodos de retorno.	45
18: Caudales máximos para diferentes períodos de retorno.....	45
19: Topografía del terreno.	47
20: Zona del puente en estudio.....	48
21: Divisoria topográfica de la cuenca.	48
22: Ubicación satelital del área de estudio.	49
23: Perfil probable del suelo.....	49
24: Litología de la perforación.	50
25: Líneas de corriente que configuran la repartición del caudal.....	52
26: Tipos de flujo.	53
27: Ábaco para hallar el coeficiente de coriolis (

36: Creación de archivo en HEC-RAS.....	65
37: Curvas de nivel.....	67
38: Superficie de curvas de nivel.	67
39: Eje del río con sus progresivas.....	68
40: Abrir formato de AutoCAD Civil 3D.	69
41: Vista de planta de la sección exportada del AutoCAD Civil 3D.	70
42: Ventana de introducción del coeficiente de Manning.....	70
43: Introducción del coeficiente de Manning.....	70
44: Ventana para la interpolación.....	71
45: Introducción de datos para la interpolación.	71
46: Vista de planta del cauce con sus progresivas.....	72
47: Perfil longitudinal del cauce.....	72
48: Ventana de introducción de data hidráulica.	73
49: Introducción de condiciones de borde.....	73
50: Selección de plan.....	74
51: Aprobación de cálculos.	75
52: Vista en tercera dimensión del cauce $Tr=100$	76
53: Mancha de inundación ($Tr=100$) respecto a curvas de nivel.	77
54: Mancha de inundación ($Tr=100$) con fondo satelital de Google Earth.	77
55: Perfil hidráulico ($Tr=100$).	78
56: Ventana para medición de datos.....	78
57: Tabla de datos hidráulicos para $Tr=100$	79
58: Vista en tercera dimensión del cauce ($Tr=50$).	80
59: Mancha de inundación respecto a curvas de nivel ($Tr=50$).	81
60: Mancha de inundación con fondo satelital de Google Earth ($Tr=50$)... ..	81
61: Perfil hidráulico ($Tr=50$).	82
62: Tabla de datos hidráulicos ($Tr=50$).	83
63: Sección transversal de la progresiva 0+175 ($Tr=100$).	83
64: Sección transversal de la progresiva 0+175 ($Tr=50$).	84
65: Sección transversal de la canalización.	85
66: Identificación de tramos y puntos en el perfil longitudinal.....	86

67: Herramientas para medición de longitud y pendiente.....	87
68: Creación de proyecto de canalización.....	89
69: Elaboración del eje del río.....	89
70: Sección transversal del canal.....	90
71: Ventana para copiar sección.....	91
72: Diferencia de alturas.....	91
73: Perfil hidráulico del canal.	93
74: Sección transversal del canal con fluido.	93
75: Vista tridimensional de la canalización.....	94
76: Tabla para el cálculo del coeficiente	95
77: Tabla para la obtención del coeficiente K.....	96
78: Perfil socavado de la sección transversal bajo el puente.....	97
79: Gasto interceptado por los estribos.	98
80: Perfil de socavación del estribo.....	98
81: Dimensionamiento del tablero.	101
82: Dimensiones del estribo.	102
83: Dimensionamiento de zapata.....	102
84: Cotas a distintos niveles del estribo.	103
85: Perspectiva tridimensional del canal con puente.....	104
86: Sección transversal del cauce natural con el puente.....	105
87: Sección transversal del cauce canalizado con el puente.....	105
88: Vista general del puente.	105

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO

CUADRO Pp.

1: Casos de Puentes y Viaductos Afectados por Acciones Hidráulicas.....	15
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO

TABLA	Pp.
1: Calculo de tipo de flujo.	63
2: Iteración para el cálculo de remanso.	65
3: Pendientes por tramos.....	87
4: Distancias por tramo.....	87
5: Profundidad de socavación.....	97
6: Coeficiente correctivo Pa.	99
7: Coeficiente correctivo Pq.	99
8: Coeficiente correctivo Pr.....	99



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DE SOCAVACION Y ANÁLISIS DE CRECIDA EN
PUENTE UBICADO EN TRAMO AV. ALAMEDA CENTRAL – AV.
SESQUICENTENARIO, MUNICIPIO VALENCIA EDO. CARABOBO**

Autores: Guédez Gabriel
Marvez Oswaldo
Tutor: Ing. Medina Ángel.
Fecha: abril, 2017

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como finalidad desarrollar un análisis hidráulico de socavación y crecida del cauce de un puente, consiguiendo así asegurar y controlar el mismo, siguiendo los resultados obtenidos en este estudio. Para el desarrollo de este trabajo se hará uso de un software, así como también el método para socavación en puentes conocido como Lischvan Levediev, el cual será aplicado y analizado para el puente ubicado en la Av. Paseo Valencia tramo Av. Alameda Central – Kayson – Av. Sesquicentenario, Municipio San José, Estado Carabobo, Venezuela. Permitiendo así con los resultados arrojados, hacer reflexiones y conclusiones para poder brindar y ofrecer seguridad a todo aquel que por el transite. Todos los lineamientos teóricos para la creación de este trabajo de grado serán consignados como normas, leyes y demás que sean lo más acertadas posible con el fin de abarcar todos los puntos principales a analizar en un puente en cuanto a su análisis hidráulico e hidrológico de socavación. Se hará uso de toda la data topográfica, hidrológica y de suelo, correspondiente al cauce que atraviesa dicho puente. Esta estructura es de cierta importancia para la vialidad del estado Carabobo, dando como resultado, la aplicación de un correcto análisis hidráulico de socavación, donde se logre concientizar que es de suma importancia el correcto estudio del mismo, ya que la falla en puentes, principalmente viene asociada a problemas hidráulicos.

Descriptor: Socavación, Análisis de Crecidas, Método de Lischvan Levediev para suelos granulares.

INTRODUCCIÓN

Los recursos fluviales y su explotación, han tenido un papel de bastante importancia en el desarrollo de cualquier región. Para aprovechar al máximo este recurso, el hombre ha tenido que verse obligado a elaborar desde grandes hasta pequeñas obras hidráulicas, donde su primer obstáculo es vencer la corriente de un cauce y es aquí donde entra en juego un puente, cabe destacar que es de suma importancia tener un amplio conocimiento de la geología, morfología y los procesos hidrodinámicos del cauce y/o corriente aluvial, permitiendo así desarrollar un adecuado plan de manejo de los diseños hidráulicos e hidrológicos de dicho cauce. Entre los procesos fluviales, principalmente se destacan 3, los cuales son: la erosión, el transporte y la disposición de sedimentos. Esto trae como consecuencia de que, en los puentes, las pilas y estribos, provocan un aumento de la velocidad de la corriente del cauce, trayendo, así como consecuencia un gran arrastre de sólidos, los cuales suelen producir socavación, que afectan al tránsito del mismo, así como también pone en riesgo la estabilidad del puente. Un puente más que permitir el paso vehicular a través de él, requiere tener buena estabilidad, seguridad y ser duradero, sabiendo que existe una amplia interacción entre el río y el puente, donde uno trata de influir sobre el otro, siendo el río connaturalmente dinámico.

A lo largo del tiempo, los puentes han sido una excelente herramienta que permiten vencer obstáculos que se les presenta a los seres humanos, es por esto que el ser humano en busca de obtener la mejor forma de moverse y crecer en su entorno, recurrió al uso de este tipo de estructura, la cual brinda una forma segura de trasladarse en zonas con accidentes topográficos. Desde comienzos de la humanidad el ser humano ha buscado distintas formas de vencer estos impedimentos utilizando rocas de ríos, troncos de árboles, entre otros. Hasta hoy en día que se han generado grandes proyectos de ingeniería que brindan más seguridad y modernización a los puentes.

En la presente investigación se busca dar a conocer que la mayoría de las fallas que han ocurrido en puentes, se han producido por problemas hidráulico-fluviales y no

exclusivamente por problemas estructurales, ya que incluso en muchas ocasiones estos derivan de una previa falla hidráulica, de esta forma se demuestra la importancia que hay en este tipo de estudio en un contexto más amplio y real.

Con el avance de la tecnología se han desarrollado distintos modelos matemáticos que permitan predecir de una manera más sistemática el comportamiento real de un flujo y su interacción con un puente. En este trabajo de grado se empleó el método conocido como Lischvan Levediev para suelos granulares, el cual permite estimar el valor medio de la socavación en una contracción producida por la presencia de las pilas de un puente. A su vez se pueden implementar distintos softwares que nos permitan realizar el estudio hidráulico en la zona del puente haciendo cálculos de profundidades de socavación en pilas y en estribos.

El caso de estudio propuesto en este trabajo de grado se ubicó en la Avenida Paseo Valencia, tramo Avenida Alameda Central - Kayson - Av. Sesquicentenario, Municipio San José, Estado Carabobo, Venezuela. Es así que esta investigación tiene como principal objetivo analizar cualquier tipo de problema hidráulico e hidrológico en dicho puente, permitiendo hacer reflexiones sobre el comportamiento del río y su interacción con el mismo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La explotación de recursos fluviales, ha tenido un papel de suma importancia en el desarrollo de cualquier región. Para el aprovechamiento de este recurso, el hombre ha tenido que construir desde grandes hasta pequeñas obras hidráulicas y en el caso de las obras de vialidad, unos de los principales obstáculos a vencer, es el atravesar la corriente de un cauce, para esto es de suma importancia tener un amplio conocimiento de los procesos hidrodinámicos y morfológicos de la corriente aluvial, lo que a su vez nos permite desarrollar un adecuado plan de manejo de los diseños hidráulicos que se lleven a cabo en dicho cauce. Entre los procesos fluviales, se destacan tres, tales como: la erosión, el transporte y la deposición de sedimentos. Por lo que un objeto externo en el curso del cauce, como lo son las pilas y estribos de un puente, provocan un aumento en la velocidad de la corriente y en consecuencia una mayor capacidad de arrastre de sólidos y efectos de socavación, que afectan la seguridad del tránsito sobre el mismo, y a su vez, la propia estabilidad del puente. Por la amplia interacción existente entre el río y el puente, en la que uno trata de influir sobre el otro, el puente necesita la estabilidad y permanencia en el tiempo, mientras el río, en cambio, por su propia naturaleza, es esencialmente dinámico (Rocha, 2010).

En Venezuela la red vial es el principal medio de intercomunicación, es el medio de transporte, en sí, más desarrollado; de ahí la principal importancia en conocer como interviene el entorno con respecto al puente siendo este el eslabón más débil de dicha red y cuya falta pudiera paralizar significativamente el progreso del país, esto aunado a la falta o la poca realización de procesos de mantenimiento o inspección en general, que nos permitan conocer el estado actual de la estructura, nos demuestran que se debe garantizar

la estabilidad y seguridad del mismo desde los análisis y estudios previos a su construcción, ya que un mal estudio de las condiciones del cauce merma significativamente al puente a nivel estructural. (Rocha, 2010) Indica que prácticamente la mayoría de las fallas ocurridas en puentes se han producido por problemas hidráulico-fluviales y no por problemas estructurales, de allí la importancia de su estudio en un contexto más amplio y real.

Así pues, por la complejidad del proceso y el avance de la tecnología se han desarrollado modelos matemáticos que permiten predecir de una manera más sistemática el comportamiento real de un río (flujo y sedimentos) y su interacción con el puente ante la presencia de avenidas (García, Brufau, Murillo, & Zorraquino, 2003). A su vez se pueden implementar distintos softwares que nos permiten realizar la hidráulica en la zona del puente y hacer cálculos de profundidades de socavación local en pilas y en estribos, las dimensiones de canales en lecho móvil y sirve para simular y predecir cambios en el perfil del lecho resultantes de procesos de sedimentación y/o degradación a lo largo de períodos moderados de tiempo, típicamente años, aunque también son posibles simulaciones para crecientes independientes.

El caso de estudio propuesto en este trabajo se ubica en la Av. Paseo Valencia tramo Av. Alameda Central – Kayson – Av. Sesquicentenario, Municipio San José, Estado Carabobo, Venezuela. Es así que este trabajo tiene como objetivo principal analizar el problema hidráulico en dicho puente y hacer reflexiones sobre el comportamiento del río y su interacción con el mismo.

1.2 Formulación del problema

En concordancia con lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente interrogante, ¿Cómo se pueden predecir el comportamiento del puente ubicado en la Av. Paseo Valencia tramo Av. Alameda Central – Kayson – Av. Sesquicentenario, Municipio San José, Estado Carabobo, Venezuela ante las crecidas efectuando los cálculos y procesos necesarios para evitar la falla del mismo?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un análisis hidráulico de socavación y crecida del cauce en un puente y su aplicación en el puente ubicado en la Av. Paseo Valencia tramo Av. Alameda Central – Kayson – Av. Sesquicentenario, Municipio San José, Estado Carabobo, Venezuela.

1.3.2 Objetivos Específicos

Recopilar toda la data correspondiente al cauce como base de estudio para la presente investigación.

Efectuar el estudio de la crecida del cauce, mediante distintas formulaciones usando como apoyo un software especializado en cálculos tanto hidráulicos como hidrológicos, para delimitar posibles propuestas de rediseño a nivel de todo el eje del cauce.

Evaluar una posible propuesta de canalización del cauce, protegiendo las áreas adyacentes al punto de implantación del puente, para minimizar problemas derivados en caso de ocurrencia de crecidas.

Efectuar los análisis y cálculos de socavación general y local en puntos sensibles del puente, tales como, estribos mediante distintos procesos y formulaciones para garantizar la seguridad y estabilidad del mismo.

Proponer un análisis hidráulico de factores que afectan al puente, para el estudio de la vialidad a nivel constructivo, considerando primordialmente los factores de seguridad y estabilidad.

1.4 Justificación de la Investigación

Toda nación tiene como necesidad conservar la comunicación a lo largo de su vialidad y en todos sus sectores, sin el correcto funcionamiento de estas obras civiles, se pueden llegar a incomunicar áreas que se interconectan de suma importancia para un correcto desarrollo y crecimiento de una población. Asimismo, algunos sectores de la vía, presentan ciertas condiciones que complican la correcta conexión entre dichos sectores, como puede ser una quebrada, un río, un lago, entre otros. Por consiguiente, en estos casos, para lograr una buena conexión entre distintas zonas, se pudiese implementar el uso de un puente, el cual facilita y brinda una mayor seguridad al usuario que lo transite.

Los puentes suelen ser afectados por ciertos factores, los cuales perjudican el funcionamiento del mismo, como lo son, la erosión, transporte y deposición de sedimentos. La socavación es un aspecto importante que siempre se debe tomar en cuenta al momento del estudio hidrológico e hidráulico de los puentes, la cual no es más que la erosión natural

del fondo en cauces naturales producida por un incremento del caudal líquido, sea por crecidas naturales o inducidas, donde la estimación de su profundidad es un tema de gran importancia en ingeniería fluvial, especialmente útil para la toma de decisiones en el diseño de obras de cruce a través del cauce, tales como puentes, tuberías, túneles subfluviales, etc. (Farias, Pilán, & Pece, 2003).

Para lograr el correcto análisis hidráulico, se requiere de una recopilación o compilación de toda la data, presentando así cualquier tipo de alternativa o solución en caso de que ocurra socavación en el puente, se evaluara si se requiera la elaboración de un sistema de canalización o embaulamiento del cauce, que atraviese el puente en estudio, en caso de que este hecho ocurra, la geometría del puente se verá comprometida a ser modificada.

El cálculo de la profundidad de socavación en un puente suele ser inquietante para los diseñadores, atrayendo así la atención por investigar en este tema. Donde uno de los factores fundamentales para estimar la profundidad de socavación en cualquier tipo de cauce natural, es el tipo de material del lecho que conforma el cauce y su exposición a las fuerzas erosivas de la corriente.

Dicho esto, el estudio hidráulico tiene como objetivo principal obtener un modelo que represente una aproximación, por un lado, las condiciones reales del comportamiento natural de los niveles de un río. A través de la recopilación de la data se podrá tener información de los niveles de dichas aguas, dando uso de un software que permita estimar los niveles y parámetros hidráulicos de una corriente con base en las características geométricas de las secciones transversales del cauce en estudio. Este estudio va dirigido al puente ubicado en la Av. Paseo Valencia tramo Av. Alameda Central – Kayson – Av. Sesquicentenario, Municipio San José, Estado Carabobo, Venezuela.

1.5 Alcance y Delimitaciones de la Investigación

El presente trabajo de grado se basa en el estudio hidráulico e hidrológico de un puente ubicado en la Av. Paseo Valencia tramo Av. Alameda Central – Kayson – Av. Sesquicentenario, Municipio San José, Estado Carabobo, Venezuela, dicho estudio va de la mano con el uso de un software que permita hacer un correcto estudio hidráulico e hidrológico del puente, con el fin de obtener todos los lineamientos que caractericen el buen funcionamiento del puente. Este trabajo de grado se limitará solo al estudio hidráulico

e hidrológico del puente antes mencionado, para así evaluar sus resultados y los cambios que haya que hacer en el cauce del río o en la geometría del puente, en caso de que haya socavación. Escapa del estudio de esta investigación todo lo referente a la construcción y análisis estructural del puente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo abarca lo concerniente a definiciones, conceptos, especificaciones que le dan fundamento a la investigación, en relación a lo que significa el fenómeno de la socavación en puentes. Para la comprensión de dicho fenómeno es importante tener en cuenta todas las partes del puente para entender realmente que está siendo comprometido al momento de la socavación y como se debe tratar existen diversas fuentes bibliográficas como el tomo de “Introducción a la hidráulica de las obras viales” Rocha, 2010, entre otros, que se han encargado de investigar lo referente a socavación tomando en cuenta diversos parámetros. Además, en este capítulo, están planteados los antecedentes al presente trabajo de grado, los cuales aportan gran información relacionada a los estudios que se realizaran. Por consiguiente, se desarrollaron los fundamentos teóricos de los cuales está basada la investigación, cuya información y base de datos fueron tomadas de diferentes autores.

2.1 Antecedentes de la investigación

En la investigación realizada por Aguado Alejandro (2012) en su trabajo de grado titulado “**Estimación de la socavación en puentes para su uso en el cálculo del riesgo físico**” realizado en la Universidad Nacional Autónoma de México, de forma general, trata de demostrar la importancia de tratar el fenómeno de la socavación y como esta pudiera tener una relación con las características del puente, realizando una clasificación de las principales características de los puentes del país (México) y se analizan para poder determinar cuál de estas características puede afectar de forma importante en la socavación del puente. Tener presente esta investigación es de gran importancia pues ayuda a ver qué factores externos al cauce como tal pueden a su vez influir directamente en un fenómeno siempre ha sido única y estrictamente ligado a las propiedades del cauce.

Por otra parte, Borges María (2008) en su trabajo de grado titulado **“Socavación al pie de muros longitudinales”** realizado en Universidad de los Andes, cuyo objetivo fundamental es desarrollar una ecuación que permita determinar la magnitud de dicha socavación. Con tal fin se construyó un modelo físico que recrea las condiciones en las que se produce la socavación tomando en cuenta parámetros, tales como, la pendiente del río, el tamaño de los sedimentos, el caudal, y la longitud y el espesor del muro. Esto le permitió definir la ecuación, y además sirvió para confrontar los resultados obtenidos con los que proporcionaron las ecuaciones ya establecidas para estribos en ríos, pues existen similitudes geométricas entre muros longitudinales y estribos, lo que permite el uso de dichas fórmulas cuando se desea estimar la profundidad de socavación en muros, estos son aportes de gran valor para la investigación puesto que nos muestra el cálculo para la socavación en estribos.

Así como, Arenas Germán & Vega Daniel (2013) en su trabajo de grado titulado **“Propuesta metodológica para la evaluación de la susceptibilidad y socavación de puentes apoyada en un Sistema de Información Geográfico”** realizado en Pontificia Universidad Javeriana, se busca desarrollar una metodología para la priorización del riesgo ante la socavación que se puede presentar a la infraestructura de los puentes apoyados en un sistema de información geográfica y para lograr esto dividen dicha metodología en distintas fases en las que se involucran amenazas, riesgo y vulnerabilidad, esto es de gran importancia puesto que muestra un orden a la hora de trabajar y clasificar una cantidad de puentes para priorizar el nivel de amenaza que genera la socavación en cada puente de estudio.

Por último, la investigación realizada por Rocha (Rocha, 2010) en el presente trabajo titulado **“Erosión en pilares y estribos de puentes”** realizado en Perú. Cuyo objetivo fundamental se centra en mostrar la importancia social innegable de los puentes y como estos cuando cruzan un río deben ser considerados como una estructura hidráulica debido a la profunda interacción que se ejercen mutuamente, para esto propone diversas metodologías de cálculo a fin de minimizar las perturbaciones posibles generadas en el escurrimiento fluvial y conseguir la profundidad de socavación generada en estribos y pilas, e incidir en los conceptos fundamentales que sirven para establecer dichos cálculos. De tal manera esta investigación se puede considerar una base, un punto de partida para realizar una apropiada evaluación del efecto de la socavación.

2.2 Bases teóricas

Un puente se puede definir como una obra civil que tiene como propósito permitir el paso de una vía de comunicación sea vial, férrea, de servicios, etc. por un accidente topográfico u obstáculo. (Rodríguez Serquen, 2016). Los puentes tienen una importancia social innegable, pues su esencia es la de unir lo que está separado, sin ellos se vería obstaculizado el tránsito lo que repercutiría de forma directa para el avance y crecimiento de cualquier ciudad, estado, país o simplemente de una sociedad. Dichas estructuras pueden tener distintas formas, disposiciones, capacidades, etc. Las cuales se definen al momento de su diseño, mas sin importar cual sean estas características todos por igual deben ser concebidos para soportar los distintos fenómenos climáticos que ha estos pueda afectar su entorno a fin de garantizar una estabilidad y permanencia en el tiempo objetivo en general de toda obra civil.

2.2.1 Puentes en Venezuela

Venezuela siendo un país con bastante diversidad topográfica a lo largo de toda su planicie requiere de vías de comunicación para lograr la conexión entre los estados, ciudades y pueblos, es por esto que Venezuela posee gran cantidad de puentes en su vialidad, siendo los puentes la principal red de comunicación vial dentro de los distintos tipos de redes de comunicación que existen. En Venezuela la vialidad es antigua, donde en pocos lugares del territorio se han hecho modificaciones, siendo los puentes una red vial con distintas complicaciones, en ellos puede haber sobrecarga de tránsito, construcciones aledañas que afecten el flujo del tránsito, entre otras, donde estos son de principal importancia para el correcto funcionamiento de la vialidad. En Venezuela existen diversidad de tipos de puentes, los puede haber de losa maciza, puentes de losa hueca, puentes de losa prefabricada, puentes de viga maciza, puentes tipo losa cajón, entre otros. Los mismos podrían tener más de 50 años de antigüedad, como también puede haber puentes más recientes, abriendo así una gran diversidad para su estudio y análisis. Cabe destacar que Venezuela siendo un país ubicado en el trópico suramericano presenta precipitaciones con vientos ascendentes y las presiones atmosféricas bajas provocan un elevado caudal de lluvias tropicales en ríos, siendo el caudal del mismo irregular, aumentando llamativamente el mismo en estaciones húmedas.

2.2.2 Tipos de Puentes

Los puentes tienen un avance progresivo en conjunto al de la sociedad misma ya que se van amoldando a las necesidades de avance de la población, este crecimiento continuo ha llevado a la creación, diseño y construcción de distintos tipos de puentes en su forma, estructura, materiales, resistencias, longitudes y más, que permiten sortear los obstáculos que la topografía de los terrenos generan. Los puentes se pueden caracterizar por la naturaleza de la vía soportada sea carretera, canal, ferrocarril o acueducto. Además los puentes se pueden diferenciar por el material constitutivo como lo pueden ser el concreto, el acero, la madera o incluso una combinación de varios materiales. También se pueden clasificar según si el tablero es fijo o móvil y por su funcionamiento mecánico. Cada uno puede presentar distintas configuraciones y materiales para poder resistir las cargas que se le aplicaran.

2.2.3 Consideraciones Generales de un Puente

Los puentes constan o están formados principalmente por dos partes, la superestructura esta es la parte del puente donde actúa la carga móvil, y está constituida por el tablero, las vigas longitudinales y transversales, aceras y pasamanos, la capa de rodadura, entre otras instalaciones, y la subestructura que es aquella parte del puente que se encarga de transmitir las solicitaciones al suelo de cimentación y está constituida por lo que serían los pilares, estribos, fundaciones, etc. Además de cumplir que “El puente debe estar integrado completamente al desarrollo del proyecto geométrico de la carretera, tanto en planta como en perfil.” (E.I.R.L., 2010). (Ver figura 1)

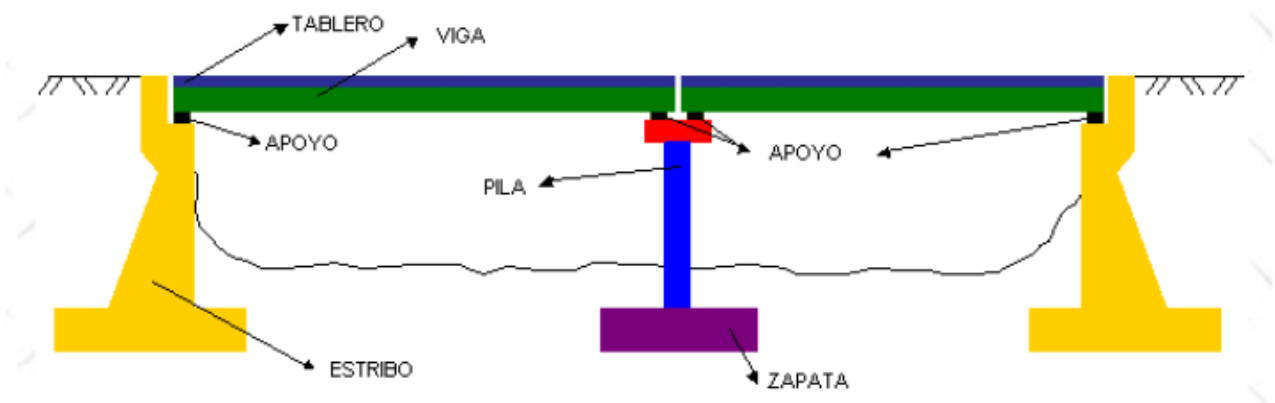


Figura 1: Partes de un Puente.

Fuente: Villarino Alberto, 2015.

Elementos de la Superestructura:

La superestructura del puente es de alta importancia, ya que tiene como función absorber y transmitir las cargas que se le apliquen a la misma, siendo estos los más proclives a sufrir deterioro en un tiempo menor, debido a que se encuentran en contacto directo con el flujo vehicular, comprometiendo así su estética. La superestructura viene constituida por las vigas longitudinales y transversales, tablero, aceras y pasamanos, capa de rodadura, otras instalaciones.

Las vigas longitudinales y transversales son los elementos que permiten salvar el vano, transmitir las cargas hacia los apoyos y proporcionar rigidez al puente, pudiendo tener una gran variedad de formas como con las vigas rectas, arcos, pórticos, retículas, etc.

El tablero soporta directamente cargas en movimiento o dinámicas, como lo es el tráfico, que por medio de las armaduras transmite sus tensiones a estribos y pilas que, a su vez, las hacen llegar a los cimientos, donde se disipan hacia el suelo. Sobre el tablero, dando continuidad a la rasante de la vía, viene la capa de rodadura. Estos tableros van complementados por los bordillos, los cuales son el límite del ancho libre de la calzada y su misión es evitar que los vehículos suban a las aceras que van destinadas al paso peatonal, finalmente al borde del tablero se encuentran los postes y pasamanos.

Elementos de la Subestructura:

Es la parte que le da soporte o sustentación a un puente, transmitiendo todas las cargas aplicadas al suelo, son las capaces de soportar y generar una base a distintas distancias de los accidentes topográficos. La infraestructura viene formada por los estribos, muros de vuelta, muros de ala, protección de taludes, pilas o pilares, fundaciones, entre otros.

Las pilas son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos, los mismos deben soportar la carga permanente y sobrecargas, ser insensibles a la acción de los agentes naturales como viento, lluvia, etc.

Los estribos o cargaderos son las estructuras que se encuentran en cada extremo del puente, siendo estas una combinación entre un muro de contención y cimentación, soportando un extremo de la superestructura del puente y a su vez transmiten las cargas de la cimentación al suelo, las mismas también sirven para sostener el relleno o talud que sostenga la losa de ascenso, generando una protección ante la erosión del mismo.

Los apoyos son los elementos a través de los cuales el tablero transmite las acciones que le solicitan a los estribos y pilas o pilares. Siendo el más común de estos el apoyo neopreno zunchado, el cual se constituye por un caucho sintético que lleva intercaladas unas chapas de acero completamente recubiertas por el material elastómero, el mismo tiene impedido el movimiento vertical.

La zapata o encepado son las estructuras principalmente de concreto reforzado que se encuentra debajo de las pilas y estribos, tienen como función recibir todas las solicitaciones que presente el puente en su superestructura y subestructura, resistirlas y transmitir las al suelo distribuyéndola para el soporte del mismo.

2.2.4 Fallas en Puentes

El estudio de las fallas que ocurren en las estructuras es una fuente importante de conocimiento. Para intentar responder a la pregunta de por qué fallan los puentes es conveniente presentar información estadística. Afortunadamente, se dispone de diversas investigaciones sobre las causas de las fallas más comunes ocurridas en puentes de diversos tipos en varios países. Las causas varían mucho según el tipo de puente y de río, sin embargo, nos sirven como un marco referencial. Las causas que se mencionan más adelante pueden ocurrir aislada o simultáneamente. Diversos estudios señalan de un modo general que entre las causas más comunes de fallas de puentes están principalmente las siguientes:

Choque de cuerpos extraños (embarcaciones u otros cuerpos extraños).

Comportamiento fluvial (socavación y dinámica fluvial).

Acción del viento.

Sismos

En un estudio muy detallado titulado “Bridge failures” realizado por (Smith, 2015) sobre el número de fallas, de acuerdo a su origen, ocurridas en 143 puentes de todo el mundo obtuvo los siguientes resultados. (Ver figura 2)

Se observa que según la investigación de Smith prácticamente el 50% de las fallas (70) tuvo su origen en las grandes crecidas presentadas. Cuando los fenómenos externos actuantes son lo suficientemente grandes como para afectar la estabilidad de un puente se les llama eventos extremos. Según estudios de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) publicados en 1994 la mayor parte de los puentes que han fallado, en USA y en todo el mundo, ha sido debido a la socavación.

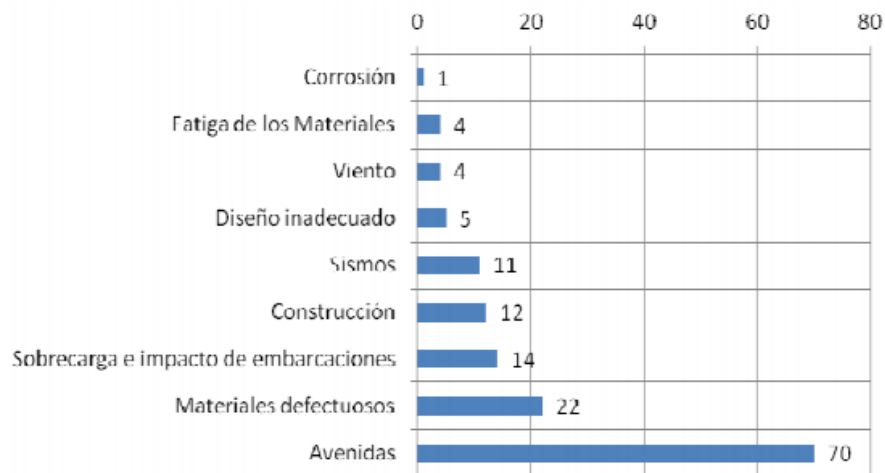


Figura 2: Estudio Sobre el Origen de las Principales Fallas en Puentes. Fuente: Smith, 2015.

Estudios de 1000, de los 600 000 puentes existentes en Estados Unidos, que habían fallado a lo largo de un periodo de 30 años demostraron que el 60% de las fallas se originó por problemas de socavación (Shirole & Holt, 1991). A su vez se realizó un análisis de 500 fallas ocurridas entre 1989 y el 2000 en 500 puentes de los Estados Unidos y encontraron que el 53% se debió a las avenidas y a la socavación (Wardhana & Hadipriono, 2003). Por lo tanto, Debe tenerse presente la habitual minimización de las tareas hidráulicas por parte de los responsables de la ingeniería vial. En general las autoridades viales nacionales y provinciales siempre han menospreciado los aspectos hidráulicos por lo que puede ser interesante hacer notar la importancia de los problemas que causa el agua sobre las estructuras viales. (Ver figura 3)

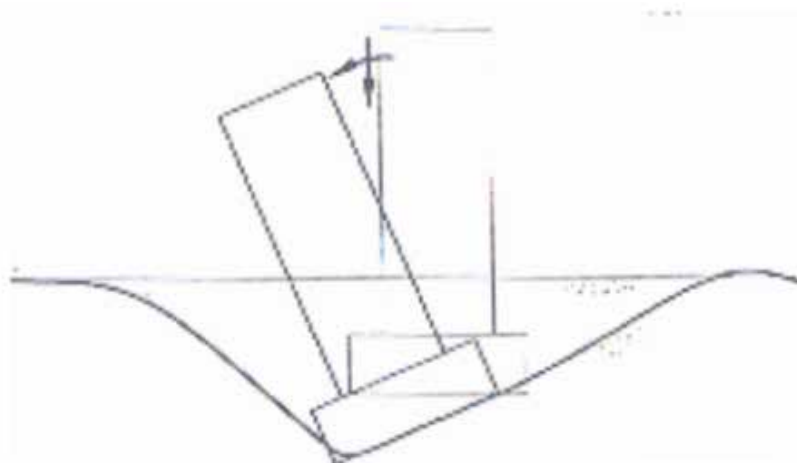


Figura 3: Falla Típica de una Pila. Fuente: Vide Martin, 2010.

Mientras que algunas investigaciones realizadas en Venezuela, demuestran que hay unos 6125 puentes en servicio con una longitud total de 93,3 kilómetros. El 66% de los puentes tienen más de 40 años de servicio y el 22 % más de 50 años. El cambio drástico de los trenes de carga en el territorio nacional. En efecto, del total de puentes los análisis hechos revelan que el 17% (1061) tienen una alta probabilidad de presentar una condición crítica; es decir, una condición que requiere reparación urgente (Torres, 2006). En base a esto se han identificado un conjunto de casos de puentes y viaductos afectados por acciones externas, (ver cuadro 1) que van desde 1820 hasta 2005. Algunos han sido reparados o rehabilitados, otros han sido pérdida total.

Cuadro 1: Casos de Puentes y Viaductos Afectados por Acciones Hidráulicas en Venezuela.

Año	Breve Descripción
1820	El puente que daba acceso a Valencia viniendo de Caracas fue destruido por socavones de las crecientes del río. En 1904 fue reedificado con el nombre de Puente de La Restauración; las nuevas fundaciones se hicieron de concreto.
1847	Dstrucción del puente San Pablo, construido el siglo XVIII, por arrastres torrenciales de la quebrada Caroata; el área urbana de El Silencio quedó incomunicada hasta 1852.
1877	El río Guarenas sufrió una extraordinaria crecida que arruinó el puente sobre la quebrada Turumo, así como la carretera desde Caucagüita hasta Guarenas.
1878	El Puente Nuevo, construido en 1835, fue arrastrado por las crecientes de la quebrada Caroata.
1880	Una creciente del Guaire dañó 15 pilares del puente Regeneración. Reparación a cargo del Ingeniero Manuel Dibble.
1883	Arrastres torrenciales en la quebrada Tócome, Este de Caracas, destruyeron el puente de la línea de ferrocarril construida un año antes.
1892	Caudales excepcionales del río Guaire, dañan el puente Regeneración y el puente Constitución aguas abajo. Este último fue sustituido por el puente Sucre pocos años después. Al volcar este puente represó las aguas y el río se salió de su cauce. Esta crecida generó una situación de emergencia en el ferrocarril Central de Venezuela y, para cruzar el río Guaire, en 1895 se trasladó el conocido viaducto El Rosario. Aguas abajo del mismo río, hacia la estación Arenaza, la creciente destruyó estaciones y arrastró varios puentes del Ferrocarril Central de Venezuela en construcción para esa fecha.

1927	Puente sobre el río Monaicito, estado Trujillo. Destrucción del puente por arrastres torrenciales.
1938	El puente sobre el río Chama, construido en 1923, fue dañado por la última gran crecida del río.
1951	Las lluvias pertinaces generaron deslaves en la costa del actual estado Vargas. En Macuto, el río del mismo nombre se llevó puentes y tramos del acueducto.
2005	Para ilustrar la vulnerabilidad, Torres R. (2006, p 275) señala que durante las lluvias pertinaces de febrero-marzo del año 2005: “colapsaron 68 puentes, desde la vaguada de febrero en Mérida, Táchira, Trujillo, Guárico, Vargas, Caracas y Miranda, lo cual tiene un impacto terrible en el desarrollo nacional”.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Es, pues, indudable que la experiencia nacional y mundial indica que la acción del agua es la causa principal de las fallas que ocurren en los puentes que interactúan con ríos. Esto es evidente, puesto que las grandes avenidas intensifican los conflictos entre las funciones naturales de un río y las acciones humanas. En consecuencia, los Estudios Hidráulicos resultan sumamente importantes para la prevención de fallas de puentes en Venezuela y en todo el mundo.

2.2.5 El Comportamiento Fluvial

Un río tiene fundamentalmente tres funciones naturales: evacuar el agua generada en la cuenca como consecuencia de la precipitación, evacuar los sólidos producto de la erosión de la cuenca y evacuar el hielo en los lugares en que éste se presenta. Podría añadirse una función adicional que sería el comportamiento del mismo tras las acciones humanas las cuales se manifiestan de muchas maneras, una de ellas es construyendo estructuras y otra muy frecuente en nuestro país es la de generar desperdicios, basura, troncos de árboles, ramas, animales muertos, palizadas, bolsas, botellas de plástico y otros cuerpos extraños, los cuales a su vez el cauce busca evacuar. La presencia de dichos cuerpos extraños aumenta notablemente las descargas de los ríos, especialmente en sus cursos bajos.

2.2.6 Aspectos Hidráulicos en el Diseño de Puentes

En el diseño de puentes es, pues, importantísimo realizar un estudio de Hidráulica Fluvial lo suficientemente profundo como para prever y controlar los efectos de una avenida. De acá que sea necesario examinar a continuación, aunque sea

someramente, algunos aspectos hidráulicos del diseño de puentes. Son numerosos los aspectos que deben tenerse en cuenta en el diseño de un puente y, en especial, en el cálculo de la profundidad de cimentación de pilares y estribos. No obstante, la profundidad del estudio hidráulico tiene que depender de ciertas características del puente en particular, como podrían ser: su importancia dentro de la red vial, consecuencias de su falla, costo, tipo de estructura, riesgos aceptables, etc. A las que debe añadirse las correspondientes al río. Los alcances del estudio no pueden ser los mismos para un puente de pocos metros de luz, sobre un pequeño río, en una carretera muy poco transitada, que un puente de gran luz, estructura compleja, que cruza un río de grandes caudales y que forma parte de una importante vía.

El Conocimiento del Río

El conocimiento del río en el que se va a construir una obra es fundamental. Lo primero debe ser la determinación del tipo de río de que se trata. Es así como puede haber ríos casi rectos, con meandros y entrelazados, cada uno de los cuales ofrece dificultades propias. Debe entenderse que la expresión tipo de río se refiere al tramo fluvial comprometido. Un río, a lo largo de su recorrido, tiene varios tramos cada uno de los cuales posee sus peculiaridades. La estabilidad del tramo fluvial asociado al puente es fundamental para la seguridad de la estructura. Es imposible que un puente sea estable si no lo es el tramo fluvial comprometido. El río es por naturaleza esencialmente móvil y cambiante. El puente y el río interactúan: el puente es para el río un elemento extraño y, en ocasiones, reacciona violentamente.

La Avenida de Diseño

La Avenida de Diseño para un puente está asociada al comportamiento del tramo fluvial comprometido, a la sección en la que está el puente, a las socavaciones respectivas y, ciertamente, a la importancia y costo de la obra, pues, esta implica la aceptación de un riesgo y, por consiguiente, de una falla.

El Emplazamiento del Puente

El emplazamiento del puente tiene que determinarse considerando tanto las necesidades viales como las hidráulicas. La importancia de los aspectos de la morfología fluvial, el alineamiento del río, las variaciones del cauce fluvial en el tiempo, el material constituyente del lecho y de las márgenes, los costos del eventual

encauzamiento y, ciertamente, las características hidrológicas, así como la longitud del puente, los problemas de expropiaciones, los costos de mantenimiento, los procedimientos de construcción y muchos otros más. Tanto los aspectos hidráulicos como los viales pueden dar lugar a varias alternativas de las que se escogerá, con ayuda de un análisis económico, la más conveniente.

La Alineación del Puente Respecto de la Corriente

La corriente fluvial tiene por lo general una dirección predominante. Los pilares deben estar alineados en esa dirección de modo que el ángulo de ataque sea cero. Sin embargo, ocurre eventualmente que la dirección de la corriente cambia. Esta posibilidad debe ser tomada en cuenta en el diseño. La influencia del ángulo de ataque sobre la erosión local en el pilar es muy grande y ha sido estudiada experimentalmente. Su fuerte influencia es una de las razones para preferir pilares circulares, cuya socavación es independiente del ángulo de ataque.

Luz y Altura del Tablero

No siempre una avenida muy grande es la más desfavorable. Debe verificarse que con avenidas menores, con las que pudiera no haber una socavación tan grande, exista la suficiente capacidad de descarga. Las avenidas deben poder transitar con el pelo de agua debajo del tablero. La presencia de cuerpos extraños, pueden dar lugar a la falla del puente por lo que debe considerarse su posibilidad en el momento de determinar la luz y altura del tablero.

2.2.7 Socavación

La socavación es una forma de erosión, que ocurre cuando la capacidad erosiva del agua como resultado de acontecimientos naturales o efectos antropogénicos, son superiores a la capacidad de los materiales de la tierra para resistir sus efectos. Esta hace referencia a la pérdida del material del lecho y márgenes de un cauce, debido a la capacidad de transporte asociada a un evento hidrológico. La reducción de este nivel respecto a un nivel de referencia es denominada profundidad de socavación y depende del tipo y tamaño de las partículas que conforman el lecho y la magnitud y duración del evento hidrológico. La determinación de la profundidad de este tipo de erosión, es un tema sumamente importante, pues, al construir un puente usualmente se reduce el cauce natural del sitio lo que causa el incremento en la velocidad de la corriente, por lo tanto, existe un mayor acarreo de partículas sólidas. Así la profundidad de desplante resulta ser menor que la original.

“En el diseño de puentes es necesario considerar la acción de este tipo de erosión debido a que cualquier error de cálculo podría llevar al daño total o parcial de la estructura o a procedimientos que requieran excavaciones profundas que compliquen el proceso constructivo y eleven el costo de la obra” (Akan, 2006).

2.2.8 Factores que Influyen en la Socavación

Existen factores que pueden alterar de diferentes maneras la profundidad de socavación en los puentes (Melville & Coleman, 2000). En mención a algunos de estos factores, se encuentran, características del río, material del fondo o material arrastrado, el flujo que lleva el río, también el tipo de estructura que interviene en el cauce, como se habla de puentes, por ejemplo la forma y dimensiones de las pilas, de los estribos, longitud del puente, etc.

Factores Geomorfológicos

Los factores geomorfológicos hacen referencia a las características de la cuenca y el río analizado. Dentro de las características de la cuenca se incluyen los factores climáticos y los usos y tipos de suelos, elementos de primera importancia para determinar las tasas de erosión y transporte en el sitio de interés. Las características de mayor interés son la pendiente, la geometría de la sección transversal, su forma en planta, las características del material del lecho y las condiciones de borde del canal.

La caracterización del material del lecho incluye la distribución del sedimento, la gradación, la estratificación de capas en el lecho y la presencia de materiales cohesivos. Los sedimentos no cohesivos son aquellos cuyo movimiento depende solamente de las propiedades de las partículas que los componen y de la posición relativa entre las mismas. Dentro de este grupo se encuentran las arenas y gravas. Los sedimentos cohesivos, por el contrario, son aquellos cuyo movimiento inicial depende de la compleja interacción físico-química entre las partículas coloidales y los efectos de la presión de poros. La socavación en lechos de material cohesivo es un fenómeno mucho más complejo y no puede ser evaluado según las características del tamaño de la partícula. Otra característica importante son los controles geológicos, pues determinan los límites probables de erosión.

Factores de Transporte

Los factores de transporte se relacionan con el transporte tanto de agua como de sedimentos. Las características del flujo, como la velocidad, duración, caudal y

frecuencia, así como las tasas de transporte y tipo de sedimento transportado durante tales eventos, son necesarias para estimar la profundidad de socavación.

Avenida

Cuando se genera una avenida, el agua tiene la capacidad de arrastrar material sólido del fondo levantándolo y manteniéndolo suspendido por cierto tiempo, pero también es capaz de transportar materiales ya suspendidos. Si se trata de una avenida extraordinaria, el agua se lleva todo a su paso y cuando toma su nivel normal, los materiales del fondo que ya se desplazaron empiezan a sedimentarse. Si hay mucho material depositado en una sección donde exista algún puente, la capacidad hidráulica de éste se puede ver afectada, pues la capa de material del fondo aumenta, haciendo que los tirantes tengan diferente elevación. (Ver figura 4)

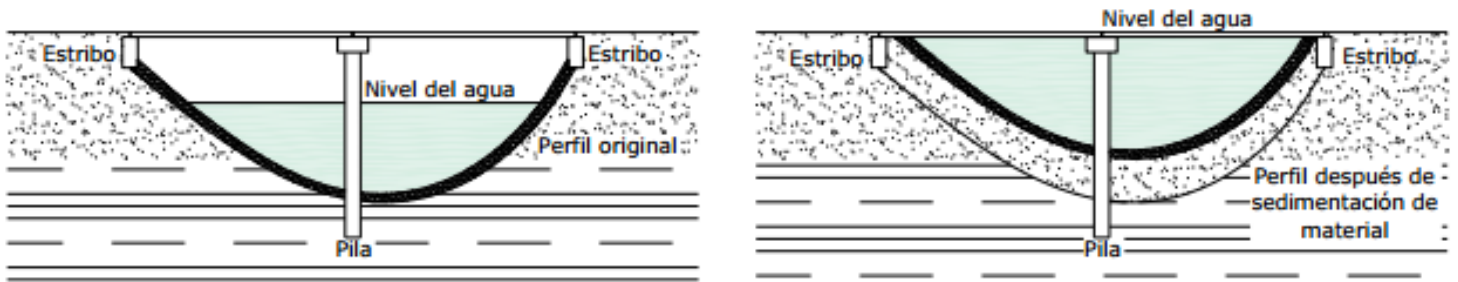


Figura 4: Depósito de Materiales en el Fondo de un Río.

Fuente: Melville & Coleman, 2000.

Material de Fondo

El tamaño de las partículas que existen en el lecho de un cauce es importante, pues determina con qué facilidad el agua es capaz de moverlas. Generalmente esta situación es importante en suelos arenosos, pues en roca si se generara una avenida capaz de mover las rocas, se moverían por el fondo del canal generando otro tipo de problemas como golpeteo del puente o abrasión de las pilas o estribos. (Ver figura 5)

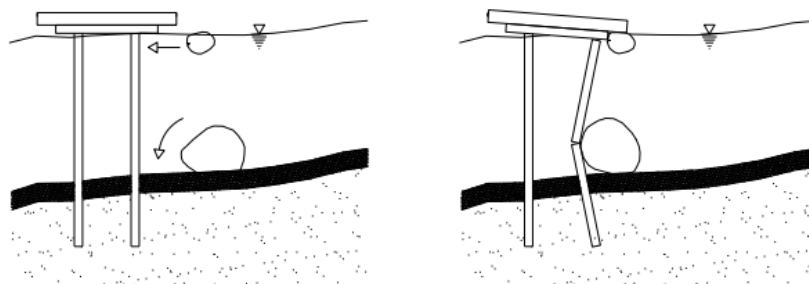


Figura 5: Daños en la Estructura Debido al Arrastre de Sedimentos. **Fuente:** Melville & Coleman, 2000.

Geometría del Puente

La geometría del puente influye considerablemente en el fenómeno de la socavación pues siempre que se tenga un puente sobre la corriente, habrá contracción del flujo por la restricción del área, por lo que la posición de las pilas y los estribos es importante, pues al disminuir el área de flujo, se incrementará la velocidad, produciendo un incremento en el transporte de material.

2.2.9 Tipos de Socavación

Socavación General

Consiste en una disminución generalizada del nivel del fondo como consecuencia del incremento de la capacidad del flujo, al presentarse una creciente y es debido al aumento de la capacidad de arrastre de material sólido que en ese momento adquiere la corriente, en virtud de su mayor velocidad para transportar material durante las avenidas. Este es un fenómeno de proceso natural que puede ocurrir a todo lo largo del río donde no interviene la mano del hombre puede ser a corto o largo plazo, refiriéndose a corto plazo cuando viene una inundación y al poco tiempo ocurre otra o a largo plazo cuando el tiempo entre avenidas es de años. La erosión del fondo de un cauce definido por el cual discurre una corriente es una cuestión de equilibrio entre el aporte sólido que pueda traer el agua a una cierta sección y el material que sea removido por el agua de esa sección; en avenida, aumenta la velocidad del agua y, por lo tanto, la capacidad de arrastre.

La posibilidad de arrastre de los materiales de fondo en cada punto se considera, a su vez, dependiente de la relación que existe entre la velocidad media del agua y la velocidad media requerida para arrastrar las partículas que constituyen el fondo en cuestión. Para suelos sueltos, esta última no es la velocidad que inicia el movimiento de algunas partículas de fondo, sino la velocidad, mayor, que mantiene un movimiento generalizado; en suelos cohesivos, será aquella velocidad capaz de ponerlos en suspensión. La primera velocidad mencionada depende de las características hidráulicas del río: pendiente, rugosidad y tirante; la segunda depende de las características del material del fondo y del tirante. Como característica del material se toma el diámetro medio, en el caso de suelos no cohesivos y el peso específico seco, en el caso de los suelos cohesivos, mientras que en suelos friccionantes se suele considerar el mismo

peso específico a todas las arenas y gravas, por lo que esta propiedad no puede usarse para diferenciarlas.

La erosión general puede llegar a producirse inclusive cuando el lecho del río es rocoso, con tal de que la velocidad de la corriente sea superior a la necesaria para producir el desgaste de la roca. (Ver figura 6)

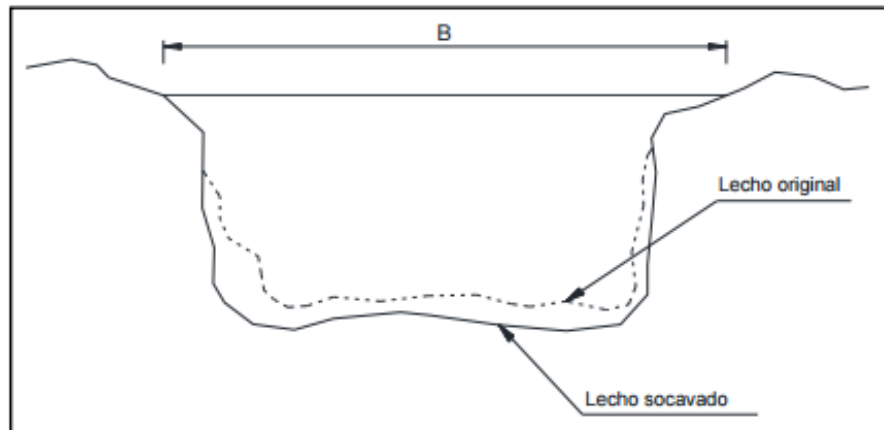


Figura 6: Socavación General.

Fuente: Díaz, 2012.

Socavación en Estrechamiento

Se entiende por socavación en estrechamientos la que se produce por el aumento en la capacidad de arrastre de sólidos que adquiere una corriente cuando su velocidad aumenta por efecto de una reducción de área hidráulica en su cauce. El efecto es muy importante en puentes, donde por lo común y por razones de economía suelen ocurrir las mencionadas reducciones, si bien puede presentarse en otros lugares del curso del río, en que un estrechamiento más o menos brusco tenga lugar.

Los cambios que la presencia de un puente impone a la corriente son principalmente los siguientes:

Cambio de la velocidad del flujo del agua en el cauce principal y en el de las avenidas.

Cambio en la pendiente de la superficie libre del agua, hacia arriba y hacia abajo del puente. Cuando ocurre una avenida, aumenta la velocidad y, como consecuencia, la capacidad de transportar sedimentos. Esto origina un mayor arrastre del material del fondo en la sección del cruce y, cuando ello es posible, un ensanchamiento del cauce, hasta que éste aumento en el área hidráulica asemeje otra vez la sección del cruce con cualquier otra del

río y restablezca el equilibrio de la corriente. Como quiera que por la presencia de los terraplenes de acceso, a veces protegidos, no suele ser posible que la sección del cruce gane área hidráulica por ensanchamiento, se sigue que la presencia del puente es de por sí un incentivo a la socavación de fondo, por lo menos hasta que la corriente restablezca el equilibrio de áreas hidráulicas entre la sección del cruce y las demás del río.

Socavación Transversal

La reducción del ancho de la sección de un cauce ocasionada en forma natural o como consecuencia de una obra civil, es compensada por un incremento en la profundidad hasta el punto en el cual se alcanza la capacidad necesaria en la sección.

Socavación en Curvas

Se genera en el fondo cercano al lado cóncavo de la curva o talud exterior debido al flujo helicoidal que se forma cuando el río cambia de dirección, esto se debe a la sobre elevación del nivel del agua en esta zona producida por la fuerza centrífuga, a caminar más aprisa que los situados más hacia el interior; como consecuencia, la capacidad de arrastre de sólidos de los primeros es mayor que la de los segundos y la profundidad de erosión es mayor en la parte del cauce exterior a la curva que en la interior. El efecto es importante y ha de ser tenido en cuenta en la construcción de puentes en curvas de río o en el diseño de enrocamiento de protección en los mismos lugares y tiene gran influencia en la divagación de corrientes, pues al disminuir la velocidad en el intradós de la curva aumenta el depósito en esta zona y, por ello, disminuye la zona útil para el flujo del agua, en tanto que en el extradós, al aumentar la profundidad y el área hidráulica, aumenta el gasto. Generalmente la profundidad máxima se observa en el tramo de la mitad de la curva hacia aguas abajo, sin embargo y por su posición dependerá de la dirección del flujo a la entrada y su trayectoria a lo largo de la curva.

Socavación en Márgenes

Es la erosión que las aguas de una corriente producen en los materiales térreos deleznales o solubles que forman sus orillas; el efecto es especialmente peligroso en crecientes, por el aumento de poder erosivo de la corriente a causa de su mayor velocidad. La erosión de márgenes es causa de divagación y si el ataque se produce en estratos susceptibles situados bajo otros que no lo son, producirá embovedamientos

causantes de inestabilidades en los taludes de la propia margen. El fenómeno se presenta en ríos encañonados y también en las corrientes marinas que bordean zonas costeras altas.

Socavación Aguas Abajo en Grandes Presas

Consiste en el descenso gradual del fondo inducido por la interrupción del transporte de sedimentos de aguas arriba, ocasionando, a su vez, por la presencia de la cortina de la presa en donde se requiere la mayor parte del sedimento que entra al vaso, lo anterior permite el incremento de la capacidad de transporte de partículas del fondo en el tramo aguas abajo, las cuales, además, no pueden ser remplazadas. Este tipo de socavación es generalmente por las descargas de las presas casi libres de sedimentos; esto ocasiona que las partículas que son erosionadas y transportadas de las primeras secciones cercanas a la presa no sean reemplazadas por otras que proceden de aguas arriba, ello ocurre en el primer tramo. La erosión es mayor en las primeras secciones y disminuye paulatinamente a medida que se alejan hacia aguas abajo, hasta una sección que se puede considerar no alterada o estable, cuando el material del fondo contiene boleas tiene a acorazarse, es decir, quedan en la superficie las partículas de mayor diámetro, las cuales protegen a las que se encuentran debajo.

Socavación al Pie de Obras de Excedencia y Deflectores de Carga

Se produce en secciones bajo descargas sin obras de protección y se debe a la gran energía del flujo en estas zonas, la cual se disipa generando turbulencias, esto facilita que las partículas sean suspendidas, al incrementar la erosión el tirante del agua aumenta amortiguando su caída, hasta una profundidad en que las partículas sólidas ya no pueden ser levantadas.

Socavación Bajo Tuberías

Se produce en tuberías sumergidas debido a la turbulencia generada por el flujo alrededor de un tubo cuando éste se encuentra al descubierto del fondo del cauce. Además bajo la tubería se produce erosión, que por lo general es mayor, aguas debajo de ella. Para cruzar un río, las tuberías de agua, oleoductos y gasoductos deben pasar bajo el fondo del cauce. Al producirse la erosión general durante una avenida puede suceder que la tubería quede parcialmente descubierta, lo cual induce una socavación local bajo la tubería. La socavación ocurre cuando más de la mitad del diámetro de la tubería queda descubierta y el número de Froude es mayor a 0.1.

Socavación en Pilas de Puentes

La excavación adicional a la propia de la corriente producida al pie de las pilas de los puentes es debida a las modificaciones de las condiciones hidráulicas de escurrimiento que la presencia de la propia pila produce. En efecto, basta la desviación lateral de la corriente, causada por el obstáculo, para que aquélla adquiriera un impulso en dirección vertical que, combina con el movimiento de avance da lugar a trayectorias descendientes que atacan el fondo, incrementando mucho la capacidad de arrastre de material sólido en la zona aguas arriba de la pila. En la cavidad así creada se produce un vórtice de eje horizontal que aumenta la erosión, hasta el punto en que se alcanza un nuevo perfil de equilibrio en el fondo del cauce.

La profundidad afectada por esta socavación varía con muchos factores que se refieren tanto a la corriente, como al cauce y a la propia pila. Las principales de estas características son el tirante y velocidad del agua, el tipo de suelo que forma el fondo del cauce la forma de la pila, su ancho y su inclinación con respecto a la dirección principal de la corriente.

Socavación en Estribos de Puentes

Los estribos son, igual que los pilares, elementos extraños dentro de la corriente e implican generalmente una reducción del ancho del río. Esta circunstancia debe ser tomada en cuenta cuidadosamente. Durante las grandes avenidas los ríos tratan de adquirir el ancho que les corresponde y entonces pueden ocurrir graves fallas en los puentes. (Ver figura 7)

Es muy frecuente, desgraciadamente, que para “economizar” en el costo del puente se acorte su longitud, lo que implica el aumento de la longitud de los terraplenes de acceso, los que, en realidad, resultan ubicados dentro del cauce fluvial, constituyendo lo que se llama una invasión, esto es común en los llamados ríos de llanura. En general, la erosión en estribos se ha estudiado menos que la de los pilares. En un estudio realizado por la administración de Carreteras de los Estados Unidos en 383 puentes, el 25% de las fallas se originó en los pilares y el 72% en los estribos. Una forma de interpretar estos resultados es que los cálculos relativos a los estribos tienen menor confiabilidad que los de los pilares. Entre los principales factores que determinan la socavación en estribos están:

La distribución granulométrica.

El tamaño de los granos.

El flujo.

- La longitud del estribo (es muy importante)
- La inclinación del estribo con respecto a la corriente.
- La relación ancho/longitud del estribo.

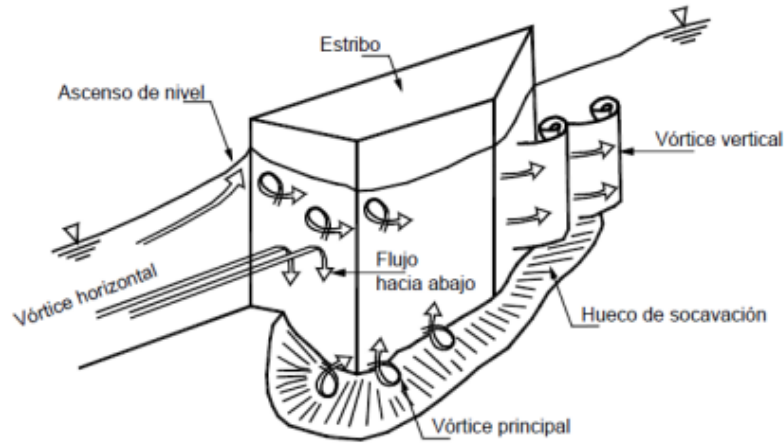


Figura 7: Sistema de Vórtices Durante la Socavación en un Estribo.
Fuente: Suárez, 2001.

Socavación Local

Para describir el proceso consideramos en primer lugar la velocidad del flujo, a velocidades muy pequeñas la corriente es incapaz de mover el material de fondo, al aumentar la velocidad se alcanza una velocidad a partir de la cual se inicia el arrastre de los sólidos, aunque solamente en el entorno del obstáculo (pilas o estribos), permaneciendo en reposo el resto del lecho, cuando la velocidad es lo suficientemente alta para provocar el movimiento de las partículas del lecho, en las proximidades del obstáculo llega el material transportado desde aguas arriba y el fondo evoluciona en función al balance de sólidos hasta que este se haga nulo y alcance una nueva configuración de equilibrio. Se puede desprender entonces que la socavación local es la que produce el descenso del lecho adyacente a una estructura (pilas, estribos, diques); esta profundidad originada es medida desde el fondo del cauce que ya ha sido sometido a los demás tipos de socavación posibles y está producida además por los cambios bruscos de turbulencia, aceleración del flujo, y los vórtices inducidos por la obstrucción del flujo.

Existen dos clases de socavación local: cuando esta ocurre bajo condiciones de agua clara o en lecho móvil, en la primera es un proceso con arrastre de material circundante al obstáculo sin suministro de sedimento hasta al pozo desde aguas arriba, es decir, no hay reincorporación de sedimentos del lecho aguas arriba hacia el hoyo

socavado. Esta se estabiliza cuando la magnitud es tal que en todos los puntos los esfuerzos tangenciales coincidan con los críticos de comienzo de arrastre y cesa por ello el movimiento de los sólidos, mientras que, en la segunda, se produce cuando el sedimento es continuamente suministrada al pozo desde aguas arriba, es decir, parte de los sedimentos transportados del lecho aguas arribas se retienen en el hoyo socavado. La profundidad de equilibrio es obtenida cuando hay un balance nulo entre el sedimento aportado y el extraído del hueco de socavación.

Este tipo de socavación es de los más estudiados, pues los análisis de socavación se realizan, en su mayoría, para conocer el diseño de cimentaciones de obras que están en contacto directo con el cauce, ya que son obras de importancia en la subestimación de la socavación podría conllevar a la destrucción total de la estructura, o la sobreestimación llevaría a adoptar profundidades de cimentación que hacen extremadamente costosa la obra.

Socavación Local en Pilas de Puentes

Se presenta al pie de las estructuras interpuestas a las corrientes, sumergidas o que emergen de la superficie del agua, como resultado de la deflexión de las líneas de flujo, la turbulencia y la verticidad provocada por la presencia de obstáculos. Cuando se coloca una pila de puente en la corriente de un río se produce un cambio en las condiciones hidráulicas de ésta, y, por lo tanto, en su capacidad para producir arrastre sólido. Si la capacidad de arrastre supera localmente el aporte del gasto sólido del río, ocurrirá en la pila una socavación local. Es evidente que el conocimiento de la profundidad a que puede llegar este efecto erosivo es de fundamental importancia en el diseño de cimentaciones poco profundas para puentes, pues una falla seria de juicio en esta cuestión conlleva la destrucción total de la estructura o la adopción de profundidades antieconómicas y excesivas, que complican seriamente los procedimientos de construcción. (Ver figura 8)

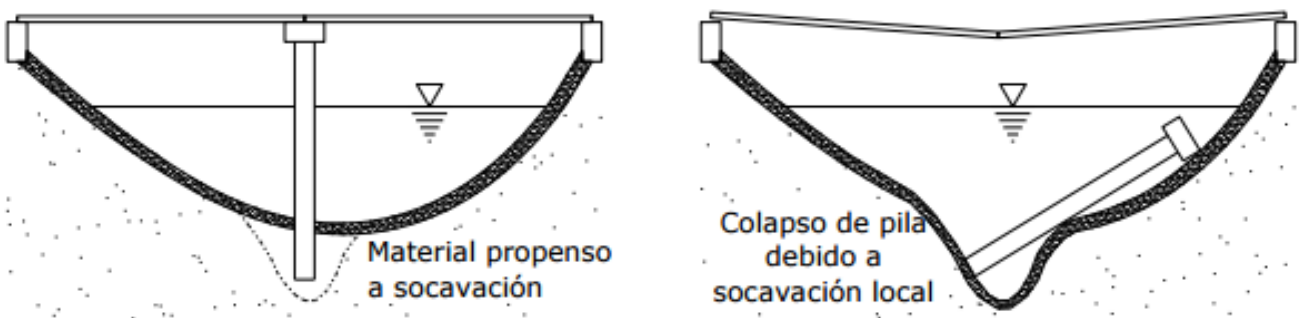


Figura 8: Socavación Local en Pilas.
Fuente: Melville & Coleman, 2000.

Socavación Local en Estribos de Puentes

Desde el punto de vista de definición, la socavación local en estribos es análoga a la que se presenta en las pilas de los puentes, que ya ha sido tratada en el inciso anterior. Se la distingue, sin embargo, por existir algunas diferencias en los métodos teóricos y aun experimentales para su evaluación, no obstante, para presentar una definición propia se puede considerar como la creación de una obstrucción y perturbación del estado de equilibrio y transporte de sedimentos en un río aluvial por el avance del estribo de un puente en el canal principal. El flujo se acelera y se separa en la cara de aguas arriba del estribo a medida que pasa por él, creando un vórtice de estela que se mueve aguas abajo en dirección aproximadamente perpendicular a la estructura y como resultado el lecho alrededor de la estructura es erosionado. Una vez se ha formado el pozo de erosión, el mecanismo erosivo es dominado por el sistema de vórtices y el chorro descendente asociado, causado por el gradiente de presión de estancamiento, el cual se desarrolla a la cabeza de la estructura, actúa como un chorro vertical chocando y erosionando el sedimento del lecho. El sistema de vórtices y el chorro descendente, junto al sistema de turbulencias son las principales causas de erosión local. La forma final del pozo de erosión se parece a un cono invertido alrededor de la punta de la estructura. (Ver figura 9)

2.2.10 Cálculo de la Socavación en Puentes

El cálculo de la profundidad de socavación en un puente ha inquietado a los diseñadores por mucho tiempo y ha atraído considerable interés por la investigación en este campo. El enfoque dado al cálculo de las máximas profundidades de socavación en la actualidad, parte de suponer que ésta depende de variables que caracterizan al flujo, al material del lecho en el cauce y a la geometría del puente, para terminar con una ecuación empírica de tipo determinístico.

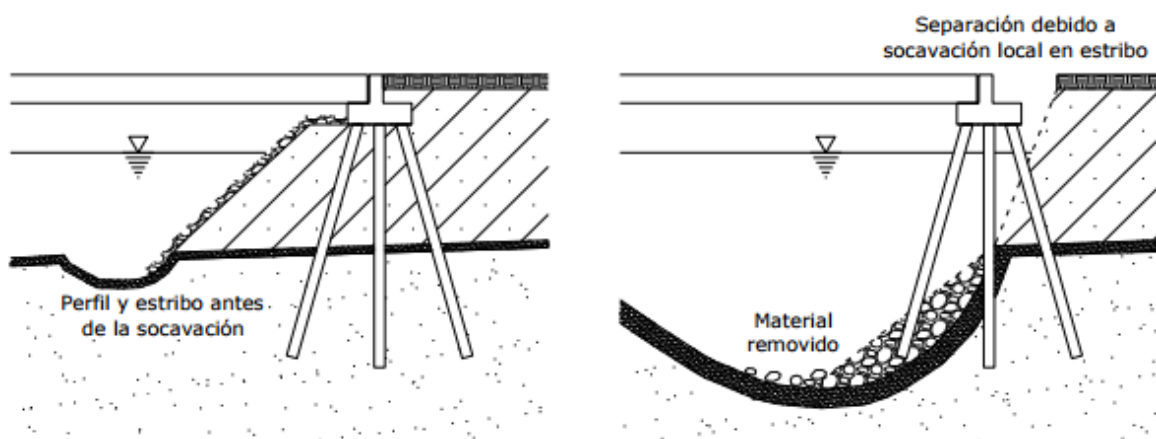


Figura 9: Socavación Local en Estribos.

Fuente: Melville & Coleman, 2000.

Existen muchas ecuaciones para calcular la profundidad de socavación en pilas, pero, solo hay algunas aplicables para el caso de estribos y la socavación general por contracción u otras causas. Sin embargo, no existe una obvia similitud entre las ecuaciones, ni en su apariencia ni en sus resultados, y además, se tiene poca verificación de su aplicabilidad con información de campo. Por ende hay mucha incertidumbre sobre el uso de las ecuaciones y sobre cuál representa mejor las condiciones reales del río y del puente. Esto hace difícil establecer una sola ecuación que sea lo suficientemente precisa y segura para estimar las profundidades de socavación debido al alto grado de incertidumbre existente y a las muchas variables involucradas en el problema como son: flujo no permanente, caudal de diseño, geometría de las estructuras, turbulencia, tamaño y distribución del sedimento, características hidráulicas durante crecientes, ángulo de ataque del flujo, presencia de basuras y tiempo de duración de la creciente. Poca información existe sobre modelos teóricos para estimar la socavación.

Es evidente que el flujo alrededor de una pila es muy complejo para ser analizado teóricamente y es muy variado para sacar conclusiones de unas pocas investigaciones experimentales. Es así como debido a la complejidad de todas las variables involucradas en la socavación no existe todavía una solución teórica válida, por lo que toca recurrir a los resultados de investigaciones experimentales de laboratorio basadas en análisis dimensional, que como se ha anotado, arrojan resultados muy dispares y en algunos casos contradictorios. Las ecuaciones disponibles hasta la fecha son envolventes a resultados obtenidos de modelos físicos de laboratorio y muchas veces las profundidades de socavación son exageradas especialmente para el caso de estribos y estas dan solo un orden de magnitud para saber alrededor de qué valor va a estar la profundidad máxima de socavación real. La socavación es en resumen, la combinación de varios factores, unos a largo plazo y otros transitorios durante crecientes. Aunque la mayoría de los fallos de puentes ocurren durante las crecientes no se pueden desestimar los otros. La decisión final sobre la cimentación de la estructura de un puente y/o sus medidas de protección, debe basarse no solo en los resultados que las ecuaciones

arrojen, sino también, en el buen criterio, experiencia y conocimiento de las variables involucradas en el problema por parte del ingeniero. (Ver figuras 10 y 11)

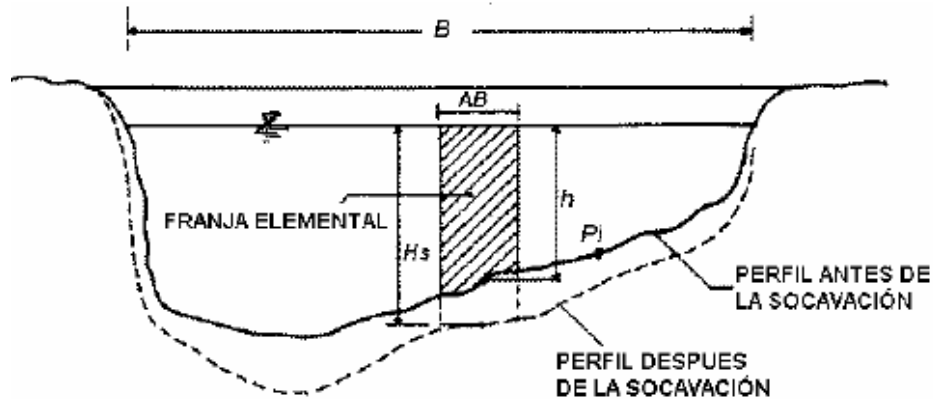


Figura 10: Sección Transversal del Cauce.

Fuente: Badillo & Rodríguez, 1992.

2.2.11 Método de Lischtvan-Levediev

Este es un método que permite el cálculo de la socavación general del cauce durante crecientes independientemente de que exista o no un puente. Si el método se aplica para la zona de un puente, quiere decir que se está considerando también el efecto de la contracción, y por lo tanto, éste no debe adicionarse. El método propuesto por Lischtvan-Levediev se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente y la velocidad media erosiva. La velocidad erosiva no es la que da inicio al movimiento de las partículas en suelos sueltos, sino la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material del fondo. Si el suelo es cohesivo, es la velocidad que es capaz de levantar y poner el sedimento en suspensión. La velocidad erosiva es función de las características del sedimento de fondo y de la profundidad del agua. La velocidad real está dada principalmente en función de las características del río: pendiente, rugosidad y tirante o profundidad del agua.

El método se basa en suponer que el caudal unitario correspondiente a cada franja elemental en que se divide el cauce natural (ver figura 10) permanece constante durante el proceso erosivo y puede aplicarse, con los debidos ajustes, para casos de cauces definidos o no, materiales de fondo cohesivos o friccionantes y para condiciones de distribución de los materiales del fondo del cauce homogénea o heterogénea.

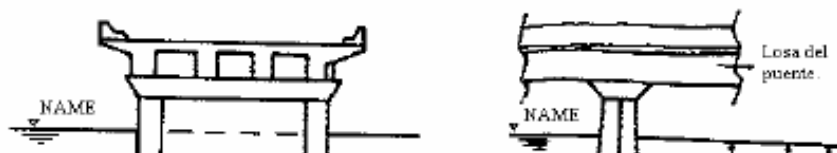
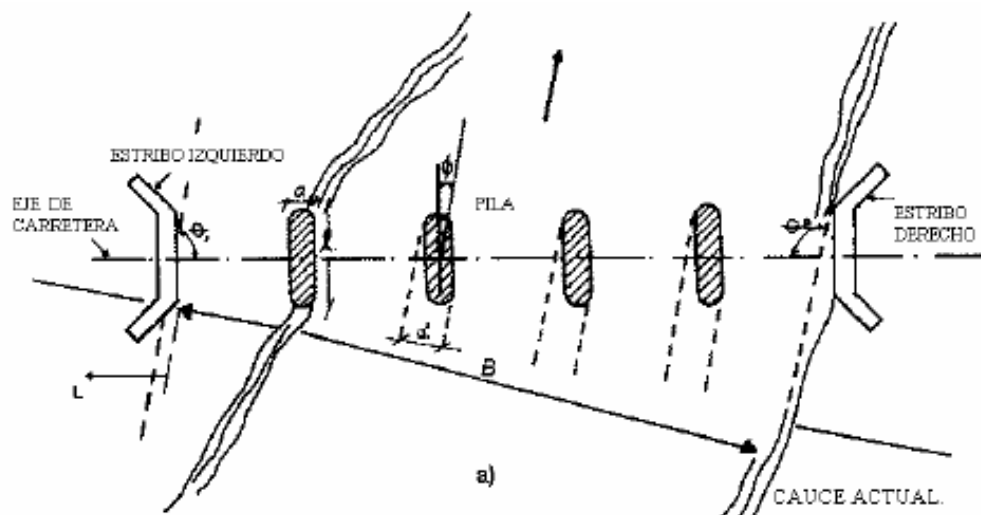
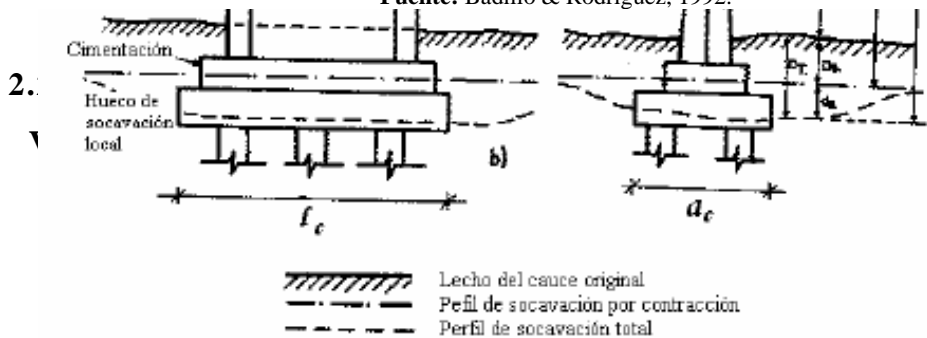
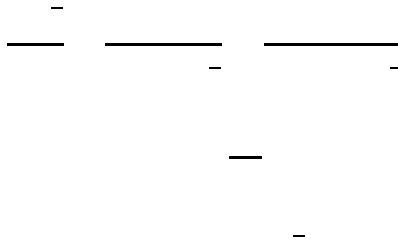


Figura 11: Nomenclatura Típica para el Cálculo de la Socavación Según su Vista.

Fuente: Badillo & Rodríguez, 1992.



, asumiendo que el perímetro mojado es igual al ancho libre de la superficie del agua, lo cual es válido para canales muy anchos.



Considerando que el caudal permanece constante antes y después de ocurrida la socavación, se tiene:



La condición de equilibrio se logra cuando la velocidad real y la velocidad erosiva son iguales.

Velocidad Erosiva para Suelos Granulares

La velocidad erosiva es la que levanta y mantiene el material en movimiento.

Siendo:

Velocidad Erosiva para Suelos Cohesivos

La velocidad erosiva es la que es capaz de poner las partículas en suspensión.

Siendo:

γ_m = Peso específico del sedimento t/m^3

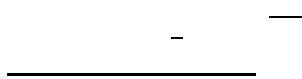
x = Exponente volumétrico que depende del peso volumétrico del material cohesivo seco.

Determinación de la Profundidad de Socavación en Suelos Homogéneos

La profundidad de socavación en cualquier punto de la sección transversal se obtiene cuando la velocidad media del cauce iguala a la velocidad erosiva ($V_r = V_e$). Conocido el perfil transversal de la sección bajo el puente antes del paso de la avenida, se escogen algunos puntos en cuyas verticales se desea conocer la profundidad de socavación. Uniendo estos puntos se obtiene el perfil de socavación. Considerando que la hipótesis del método es que el gasto en cada franja del cauce permanece constante durante el proceso erosivo, la profundidad de socavación será igual a 0 en las orillas, por lo que no se permite estimar ninguna erosión lateral de las márgenes.

Las siguientes expresiones asumen que los suelos son homogéneos y que la rugosidad del cauce es constante.

a) Suelos Granulares



La anterior expresión no considera el efecto de la contracción del flujo debida a estribos y pilas, ni el peso específico del agua durante la creciente, por lo que debe corregirse mediante unos factores de ajuste cuando se trata de evaluar un puente.

de la profundidad de socavación. (Ver figura 12)

Para puentes de una sola luz, la luz libre es la distancia entre estribos. Para puentes de varias luces, la luz libre es la mínima distancia entre dos pilas consecutivas, o entre pila y estribo más próximos.

V (m/s)	Luz libre (m)												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
<1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.0	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.0	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.0	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
>4.0	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Figura 12: Factor de Corrección por Contracción del Cauce.

Fuente: Badillo & Rodríguez, 1992.

Adicionalmente, el efecto del peso específico del agua durante la creciente se igual que la unidad y su efecto es reducir la profundidad de socavación.

La ecuación final para el cálculo de la socavación considerando los coeficientes de corrección por contracción y peso específico del agua, es la siguiente:

$$\frac{\gamma_w}{\gamma_{sat}}$$

b) Suelos Cohesivos

$$\frac{\gamma_w}{\gamma_{sat}}$$

Determinación de la Profundidad de Socavación en Suelos No Homogéneos

En el caso de suelos estratificados, la profundidad de equilibrio arriba de la cual los sedimentos son arrastrados físicamente por el agua, se puede obtener analíticamente por tanteos. Escogido un punto Pi (ver figura 10), para el cual se desea calcular la posible socavación y conocida la estratigrafía bajo la sección, se procede por estratos a aplicar las mismas ecuaciones que para suelos homogéneos granulares. El cálculo se inicia para el estrato superior y se continúa hacia las capas más profundas. Se suspenden los tanteos cuando se llega a un estrato en donde se cumpla que la profundidad Hs calculada cae dentro de él. Esto mismo debe repetirse para varios puntos de la sección que al unirlos darán el perfil teórico del fondo socavado.

2.3 Bases Legales

Ley de aguas, Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 35.595.

Esta ley tiene por objeto establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado.

Plan de desarrollo urbano local.

Es un instrumento de planificación para organizar el entorno urbano, propiciando un desarrollo articulado, coherente y concentrado, que refleje el equilibrio entre la localización de actividades y los servicios requeridos. Su objetivo principal es plantear

un que oriente el desarrollo del Municipio para las generaciones futuras, de acuerdo a lineamientos estratégicos enfocados en elevar la calidad de vida de la comunidad. Al elaborar un PDUL, es posible diseñar un crecimiento armónico del municipio, integrando en la planificación el desarrollo de los servicios de redes, vialidad y equipamientos urbanos, considerando las necesidades de la población y su proyección a futuro.

Ley orgánica de ordenación urbanística, Gaceta Oficial de La República Bolivariana de Venezuela N° 38.868

La presente ley tiene por objeto la ordenación del desarrollo urbanístico en todo el territorio nacional con el fin de procurar el crecimiento armónico de los centros poblados. El desarrollo urbanístico salvaguarda los recursos ambientales y la calidad de vida en los centros urbanos, la misma comprende el conjunto de acciones y regulaciones tendentes a la planificación, desarrollo, conservación y renovación de los centros poblados.

Ley orgánica para la ordenación del territorio, Gaceta Oficial de La República Bolivariana de Venezuela N° 3.238 Extraordinario.

La presente ley tiene por objeto establecer las disposiciones que regirán el proceso de ordenación del territorio en concordancia con la estrategia de Desarrollo Económico y Social a largo plazo de la Nación. Se entenderá por ordenación del territorio de regulación y promoción de la localización de los asentamientos humanos, de las actividades económicas y sociales de la población, así como el desarrollo físico espacial, con el fin de lograr una armonía entre el mayor bienestar de la población, la optimización de la explotación y uso de los recursos naturales y la protección y valorización del medio ambiente, como objetivos fundamentales de desarrollo integral.

2.4 Definición de Términos Básicos

Avenidas: Elevación del nivel de un flujo de agua notoriamente mayor que el caudal medio del mismo. También conocida como crecidas.

Canalización: Tipo de construcción con el fin de transportar fluidos, los cuales son generalmente utilizados para agua, a diferencia de las tuberías, este es abierto a la atmosfera. También puede ser utilizado como vías artificiales de navegación.

Cauce: Lugar físico por donde mana el agua en su curso de un arroyo o rio, es decir, a la depresión del terreno que contiene al agua.

Caudal: Volumen de un determinado fluido que circula por el área de una sección por unidad de tiempo.

Embaulamiento: Tipo de construcción que abarca los flujos que transcurren en canales naturales como ríos, quebradas, arroyos, etc.

Erosión: Proceso en el cual el suelo y las partículas que lo componen son separadas por agua.

Escurrimiento pluvial: Lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje.

Estiaje: Nivel más bajo o menor caudal de un río, arroyo o quebrada en una determinada época del año.

Manchas de Inundación: Alturas alcanzadas en distintas zonas por el agua del cauce perteneciente al río, quebrada o arroyo durante el periodo de aguas altas.

Socavación: Resultado de la acción erosiva del flujo de agua que arranca o acarrea material de lecho y de las bancas de un cauce, convirtiéndose en una de las causas más comunes de falla en puentes.

Precipitación: Resultado de la condensación del vapor de agua atmosférico, el cual se deposita en la superficie de la tierra.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La siguiente investigación consiste en el estudio hidráulico - hidrológico del puente ubicado en la Av. Paseo Valencia tramo Av. Alameda Central – Kayson – Av. Sesquicentenario, Municipio San José, Estado Carabobo, Venezuela; el presente capítulo pretende explicar de qué manera se llevara a cabo lo antes expuesto y como se ha de concretar, entendiéndose que el marco metodológico representa el “cómo se realizará la investigación, muestra el tipo y diseño de la investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, validez, confiabilidad y las técnicas para el análisis de datos” (Finol de Franco & Camacho, 2008).

3.1 Tipo de Investigación

Un proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales según lo expresa (Libertador, 2002), en este sentido ya que el objetivo de esta investigación es desarrollar un análisis hidráulico de socavación y crecida del cauce en un puente y su aplicación en el puente ubicado en la Av. Paseo Valencia tramo Av. Alameda Central – Kayson – Av. Sesquicentenario, Municipio San José, Estado Carabobo, Venezuela; se considera que la misma es del tipo de proyecto factible ofreciendo como resultado una solución al tema de la inspección a los puentes en Venezuela.

3.2 Diseño de la Investigación

“Es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental” (Arias, 2006). El diseño de investigación señala la forma de conceptualizar un problema de investigación y la manera de colocarlo dentro de una estructura que sea guía para la experimentación (En el caso de los diseños experimentales) y de recopilación de datos. La estrategia adoptada en la presente investigación para la resolución de la problemática inicia a través de la recolección de toda la data existente y

necesaria para hacer el estudio o análisis hidráulico a través de un software, pronosticando la posibilidad de socavación del puente en estudio y evaluar posibles soluciones en caso de que ocurra dicho fenómeno. Es importante destacar que en esta investigación los datos serán extraídos directamente del puente en estudio, lo cual corresponde a un diseño de investigación de campo, en el cual “los datos de interés se recogen en forma directa de la realidad, mediante el trabajo concreto del investigador y su equipo. Estos datos, obtenidos directamente de la experiencia empírica, son llamados primarios, denominación que alude al hecho de que son datos de primera mano, originales, producto de la investigación en curso sin intermediación de ninguna naturaleza” (Sabino, 1992).

3.3 Nivel de la Investigación

“El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto en estudio”. (Arias, 2006). De acuerdo con esto, el nivel del presente trabajo corresponde al descriptivo, definido según (Tamayo y Tamayo, 2003) como aquel que comprende la “descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente”, de igual forma (Sabino, 1992) expresa que “en una investigación de nivel descriptivo, su preocupación primordial radica en describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos. Las investigaciones descriptivas utilizan criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionado de ese modo información sistemática y comparable con la de otras fuentes”. En relación a esto, la actual investigación pretende profundizar en cuanto al estudio hidráulico del puente en estudio, con su respectivo análisis de socavación y la evaluación de una posible solución o recomendación para estos resultados.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

“Se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información” (Arias, 2006). El ser humano desde el principio de los tiempos ha utilizado la observación, a través de sus sentidos de percepción para recolectar la información que considera importante en su aprendizaje y desarrollo, de la misma forma, el “percibir activamente de la realidad exterior con el propósito de obtener los datos que, previamente, han sido definidos como de interés para la investigación”

(Sabino, 1992) constituye la mejor aplicación para la recolección de datos que en el marco teórico del presente trabajo, se han constituido como los aspectos influyentes y determinantes en el estudio hidráulico para el puente en estudio. Ahora bien, en función a la técnica, aparecer los instrumentos de recolección de datos necesarios para manejar y administrar la información obtenida, siendo estos definidos como “cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital, que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (Arias, 2006). En función a esto, la información que se maneja en el presente trabajo ha sido adquirida por medio de recursos físicos de carácter bibliográfico, así como también datos obtenidos en campo; por otro lado, los dispositivos de manejo y administración de la información corresponden a medios digitales y tecnológicos como lo son aquellos programas de almacenamiento de información y administración de datos.

3.5 Fases Metodológicas

Con el fin de llevar a cabo una correcta metodología en la investigación, que permita al lector entender de manera secuencial y ordenada los pasos necesarios a seguir para la ejecución y consumación del objetivo principal del presente trabajo, se señalan a continuación, las fases en las que se desarrollara el tema en estudio:

Fase I: Recopilación de toda la data correspondiente al cauce como base de estudio para la presente investigación.

En el presente trabajo de grado es indispensable el uso de la data correspondiente al cauce con los equipos y herramientas adecuados para realizar el análisis hidráulico al puente en estudio de la manera adecuada.

Fase II: Estudio de la crecida del cauce, para delimitar posibles propuestas de rediseño a nivel de altura del puente.

A través del estudio de la crecida del cauce, podremos obtener las conocidas manchas de inundación y de esta manera poder hacer posibles propuestas en cuanto al nuevo diseño del puente, tomando como referencia una determinada cota con un margen de seguridad en relación a la altura del puente.

Fase III: Análisis de socavación en puntos sensibles del puente, tales como, en estribos y pilas, mediante distintos procesos y formulaciones para garantizar la seguridad y estabilidad del mismo.

Es de suma importancia conocer la profundidad a la que pueda llegar la socavación, ya que es relevante para diseñar la cimentación de los puentes. De esta forma se busca garantizar la correcta trabajabilidad, estabilidad y seguridad del puente.

Fase IV: Evaluación de una posible canalización de las áreas adyacentes al punto de implantación del puente, mediante una propuesta de embaulamiento para minimizar problemas derivados en caso de ocurrencia de crecidas.

En esta fase luego de obtener resultados previos en cuanto al crecimiento del cauce, se evaluará la posibilidad de un sistema de canalización del mismo. Brindando así la mayor seguridad en tiempos de lluvia para las áreas adyacentes al punto de implantación del puente.

Fase V: Proponer un análisis hidráulico de factores que afectan al puente, para el estudio de la vialidad a nivel constructivo, considerando primordialmente los factores de seguridad y estabilidad.

Al estudiar un puente no se puede pasar por alto la vialidad que circula a través de él, es por esto que se propondrá un análisis hidráulico para dicha vialidad a nivel de construcción, el cual brinde seguridad, estabilidad y confiabilidad para los que por el transiten.

CAPÍTULO IV

RECURSOS

Luego de haber planteado el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo, haber realizado la investigación teórica y metodológica del mismo, es oportuno presentar el registro de los resultados obtenidos producto del desarrollo de cada fase definida durante el análisis metodológico del trabajo especial de grado.

4.1 Recopilar toda la data correspondiente al cauce como base de estudio para la presente investigación.

Siempre resulta complejo recolectar la información necesaria para hacer estudios de socavación y crecidas en puentes ya sea que estén construidos o por construir, y por lo general, nunca se está satisfecho con la suficiencia y calidad de ella. Es necesario recolectar información de oficina y de campo desde el punto de vista hidrológico, hidráulico, topográfico y de suelos. Para poder realizar los cálculos necesarios expresados en capítulos previos, se crearon diferentes bases de datos, en éstas se encuentra la información de las características de la zona del puente, los valores de gastos máximos y velocidad media obtenidos de los estudios previamente mencionados. A continuación se detallan las características de cada una de las bases de datos que se emplean y generan en esta tesis, de igual forma se dará a conocer la principal importancias de cada uno de estos para la presente investigación.

4.1.1 Estudios Hidrológicos

Los estudios hidrológicos llevan a determinar el caudal de diseño por ser éste uno de los parámetros que más influyen en la selección de la abertura del puente y en la evaluación de la socavación. Algunos de los siguientes parámetros que deberán ser evaluados durante el estudio son:

Hidroclimática:

Para la caracterización del régimen de precipitación mensual y anual, su distribución espacial y el análisis de las lluvias extremas, se recopiló y analizó los registros de precipitación de estaciones climatológicas ubicadas en las adyacencias del sitio del proyecto. La identificación, ubicación y otras características de las estaciones se presentan la referencia Valencia, F (2012)

Estudio de la Amenaza de Inundaciones en un Tramo del Río Cабriales en el estado Carabobo. UCV – Caracas.

Descripción del sistema de drenajes bajo estudio:

El punto de análisis se encuentra ubicado en la intersección del río Cабriales y la avenida Paseo Valencia, donde se tiene previsto construir un puente para el paso vehicular y peatonal. El río Cабriales es una cuenca de rocas sedimentarias detríticas, con un área de 148,21 km², con una longitud total del cauce de 36,81 km, el cual fluye hacia el sur. El sitio del puente en cuestión está ubicado en el kilómetro 29,49 del dicho cauce. Es por ello que debe realizarse una estimación de los caudales máximos de diseño en ese punto.

Caudales máximos de diseño

En la referencia Estudio de la Amenaza de Inundaciones en un Tramo del Río Cабriales en el estado Carabobo, se desarrolla de manera extensa y científica la estimación de los caudales máximos para diferentes períodos de retorno en puntos escogidos de forma estratégica, los cuales se presentan en la Figura 13.

ESTACIÓN -	Progresiva (km)	Área Cuenca (km ²)
Río Cабriales en confluencia con río Retobo	10,36	62,29
Río Cабriales en puente Av. Valencia	11,89	71,22
Río Cабriales en puente Av. Salvador Feo La Cruz	16,59	93,30
Río Cабriales en puente Av. San José de Tarbes (Dist. El Trigal)	20,00	106,00
Río Cабriales en puente Av. Rojas Queipo (Dist. Las Chimeneas)	21,09	117,43
Río Cабriales en Desparramadero El Palto	36,81	148,21

Figura 13: Puntos de cálculo de los caudales máximos en la cuenca del río.

Fuente: FyV Construcciones, 2016

En este caso, el punto del análisis se ubica en la progresiva 29,49 km, lo cual no coincide con ninguno de los puntos analizados en la referencia. En tal sentido, se tomó la estructura de la simulación realizada, modificando las variables tales como área, longitud del cauce, suelo y uso de la tierra, para estimar el caudal en dicho punto. En las figuras 14 y 15 se muestra la estructura del análisis hidrológico original y modificado, respectivamente. Las variables a modificar y sus suplementos se muestran en la figura 16, mientras que en las figuras 17 y 18 se muestran los caudales máximos generados en el sitio del puente para los distintos periodos de retorno.

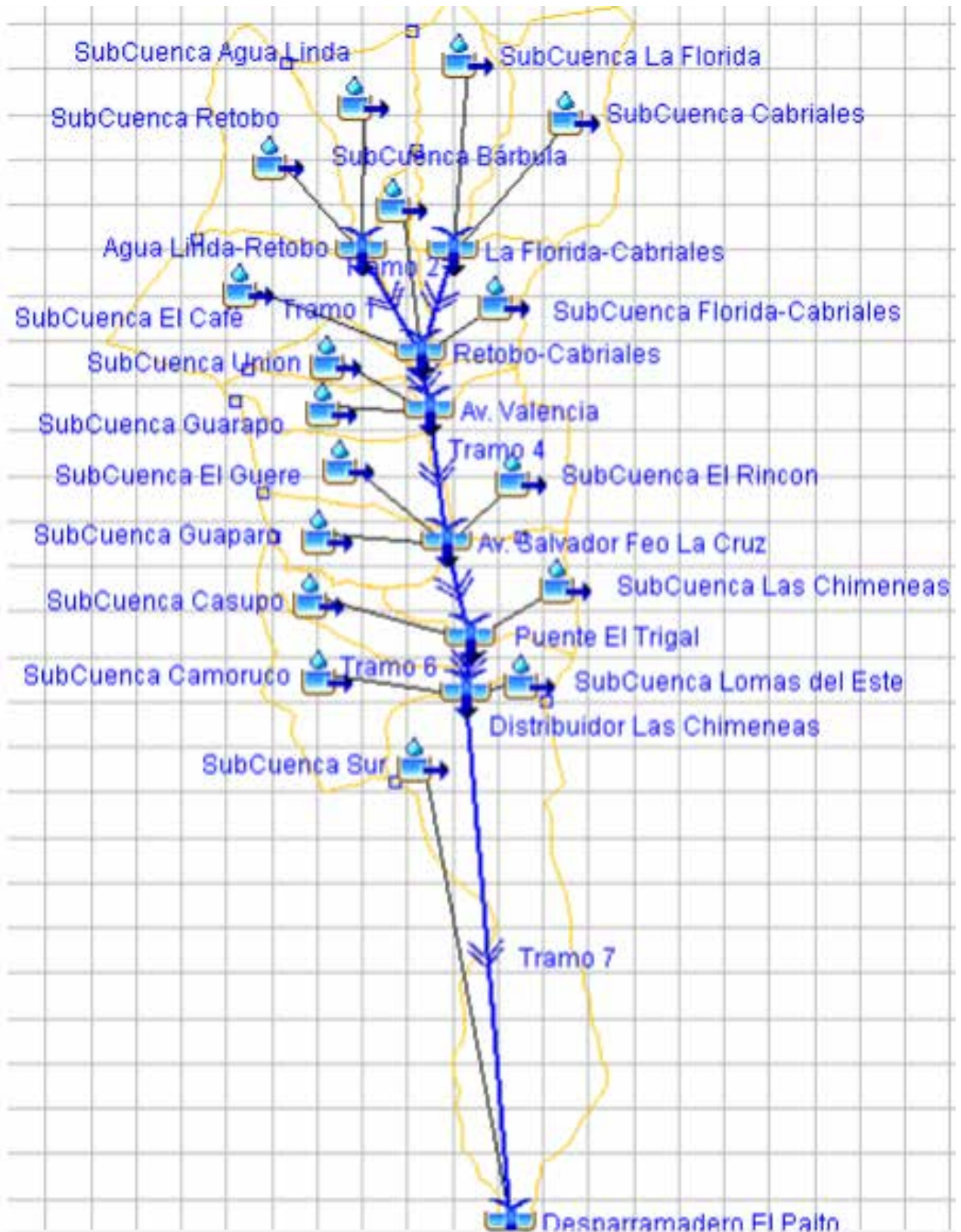


Figura 14: Estructura de la simulación hidrológica original.

Fuente: FyV Construcciones, 2016

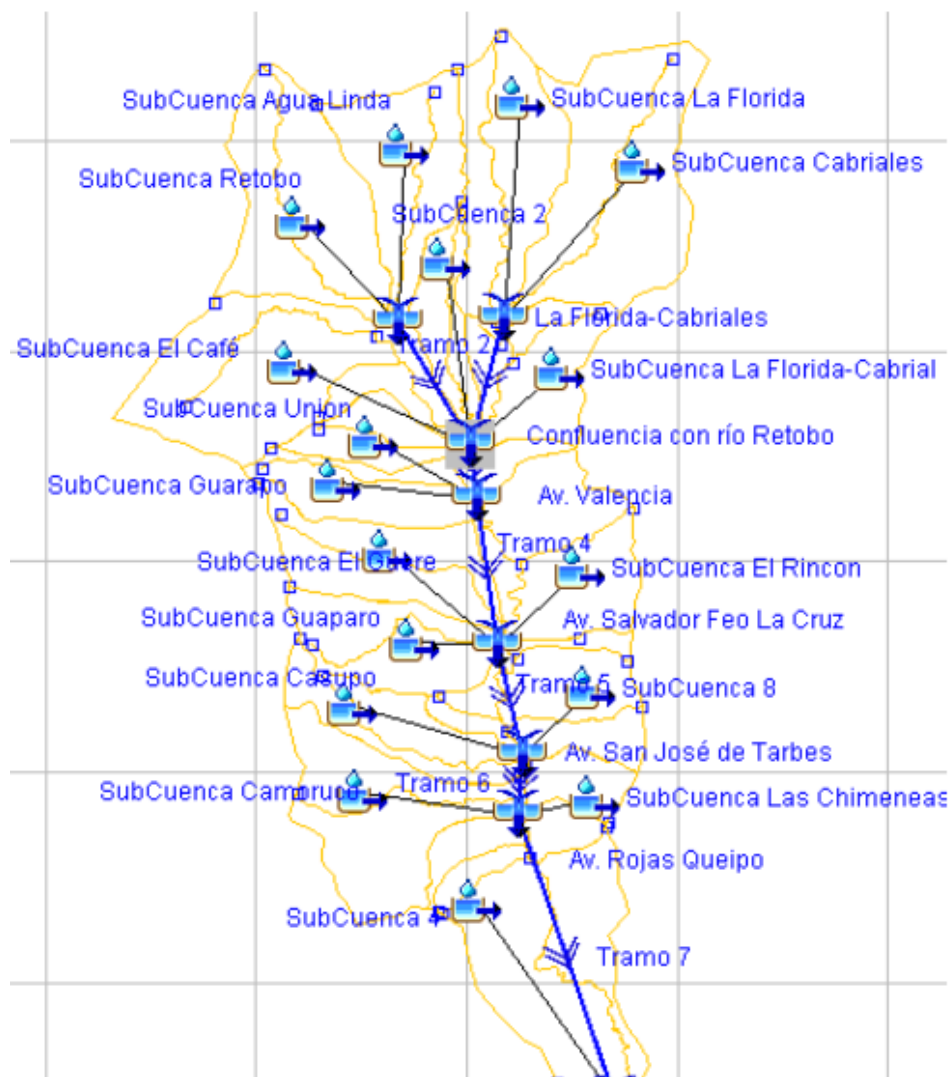


Figura 15: Estructura de la simulación hidrológica modificada.

Fuente: FyV Construcciones, 2016

Variables	Original	Modificada
Longitud del cauce de la subcuenca Sur (km)	15,71	8,40
Longitud del cauce hasta sitio de puente (Km)	-	29,49
Área de la cuenca Sur (Km ²)	30,43	16,13
Área de la cuenca del Río Cabriales hasta el sitio de puente (Km ²)	-	133,91

Figura 16: Variables usadas en el estudio hidrológico.

Fuente: FyV Construcciones, 2016

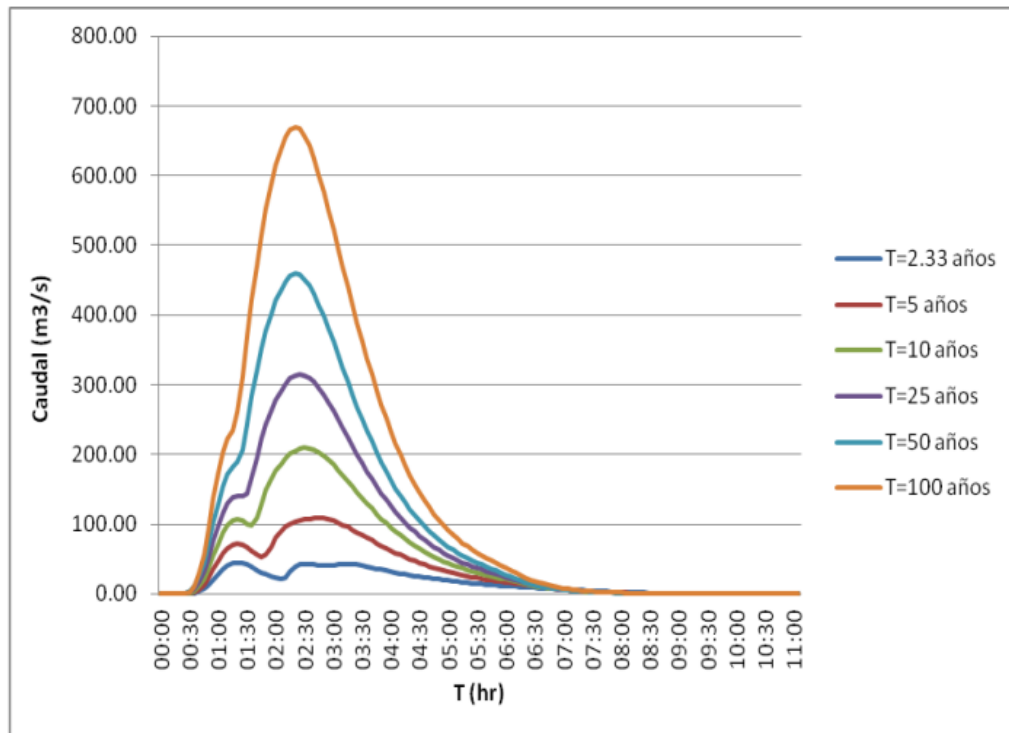


Figura 17: Hidrogramas para diferentes períodos de retorno en el sitio del puente.
Fuente: FyV Construcciones, 2016

Periodo de Retorno (Años)	Caudal (m ³ /s)
2.33	43,00
5	106,60
10	209,50
25	315,30
50	458,90
100	670,00

Figura 18: Caudales máximos para diferentes períodos de retorno en el sitio del puente.
Fuente: FyV Construcciones, 2016

4.1.2 Estudios Hidráulicos

Los estudios hidráulicos llevan a determinar los parámetros necesarios para calcular y evaluar la socavación en puentes para lo que usualmente se requiere contar con información como la siguiente:

Nivel del diseño hidrológico

El grado de protección de un proyecto, llamado período de retorno, depende del tipo de función del sistema, el uso de la tierra, el tipo de vía terrestre, el tipo de instalaciones tales como cuerpos policiales, estaciones de bomberos, entre otras.

Por estar en presencia de un proyecto de vialidad y ubicado a las adyacencias de un cauce de corriente continua, el cual pudiera ocasionar daños al puente y ocasionar inundaciones, se adoptan los períodos de retorno de diseño de 50 y 100 años (Tr).

Características geométricas e hidráulicas del cauce

Las características hidráulicas del cauce considerando flujo lento corresponde a un coeficiente de pérdida por rozamiento de 0,030, la pendiente de fricción (Sf) en la progresiva 0+000 es de 0,008 y a la salida del tramo de evaluación en la progresiva 0+375 es de 0,0338. El tipo de flujo considerado en el análisis y la simulación es uniforme. El valor dado para el coeficiente de pérdida por rozamiento se seleccionó sobre la base de las características de vegetación y suelo.

. 4.1.3 Información Topográfica

El objetivo de un levantamiento topográfico es la determinación, tanto en planimetría como en altimetría, de puntos del terreno necesarios para la obtener la representación fidedigna de un determinado terreno natural a fin de: realizar los trabajos de campo que permitan elaborar los planos topográficos, proporcionar información de base para los estudios de hidrológica e hidráulica, geología, geotecnia, de impacto ambiental, y posibilitar la definición precisa de la ubicación y las dimensiones de los elementos estructurales. Es apropiado dividir un levantamiento topográfico en los siguientes trabajos:

Trabajos de Campo

Los trabajos de campo están constituidos por el conjunto de observaciones que se realizan directamente sobre el terreno para realizar las mediciones requeridas por el proyecto, de acuerdo con las normas aplicables. Los cálculos y comprobaciones de campo se considerarán como parte integral de las observaciones, se hacen inmediatamente al final de las mismas.

Trabajo de Gabinete

Los cálculos de gabinete proceden inmediatamente a la etapa anterior y están constituidos por todas aquellas operaciones que en forma ordenada y sistemática, calculan las correcciones y reducciones a las cantidades observadas y determinan los parámetros de interés mediante el empleo de criterios y fórmulas apropiadas que garanticen la exactitud requerida.

La información topográfica relativa a la planimetría y altimetría de la zona en estudio, incluyendo calle y canales de aguas fue.

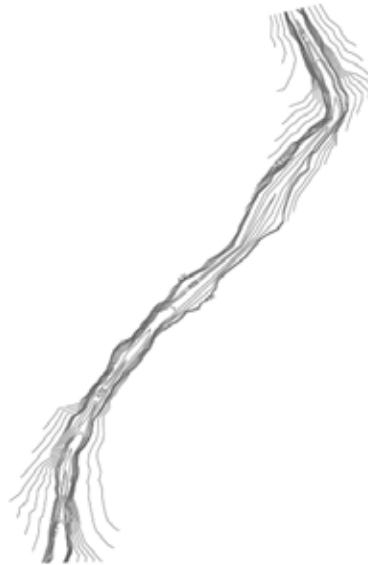


Figura 19: Topografía del terreno.

Fuente: Asociación Cooperativa-Ingeniería y Topografía JASEM, 2016

Información Cartográfica

Para la descripción del sistema hidrográfico del área bajo estudio y la realización del estudio hidrológico se utilizó la siguiente carta geográfica N° 6547-II-SE, 6647-III-SO, 6546-I-NE, 6646-IVNO, 6546-I-SE, 6646-IV-SO, 6546-II-NE y 6646-III-NO a escala 1:25.000. En la figura 20 se presenta el mapa de la ubicación del proyecto y en la figura 21 la divisoria topográfica de la cuenca en estudio.

4.1.4 Estudio Geotécnico

Los estudios de suelos pueden ser tan generales o detallados como el tipo de cauce lo requiera. Ríos bien definidos y con lecho poco erosionable requieren poco detalle en la información, en tanto que ríos inestables en cauces indefinidos o trezados, requieren que se preste la máxima atención a los estudios geológicos. Se necesita usualmente hacer perforaciones, apiques o sondeos para determinar las condiciones de los suelos en la zona del puente. Por esto, se busca comprobar los parámetros geotécnicos del suelo, mediante ensayos específicos de laboratorio y campo referidos a las muestras de suelo resultantes de la ejecución del programa exploratorio de campo, en el área dispuesta para la construcción. Un informe geológico para hacer estudios de cimentación de un puente debe incluir información sobre:



Figura 20: Zona del puente en estudio.
 Fuente: FyV Construcciones, 2016

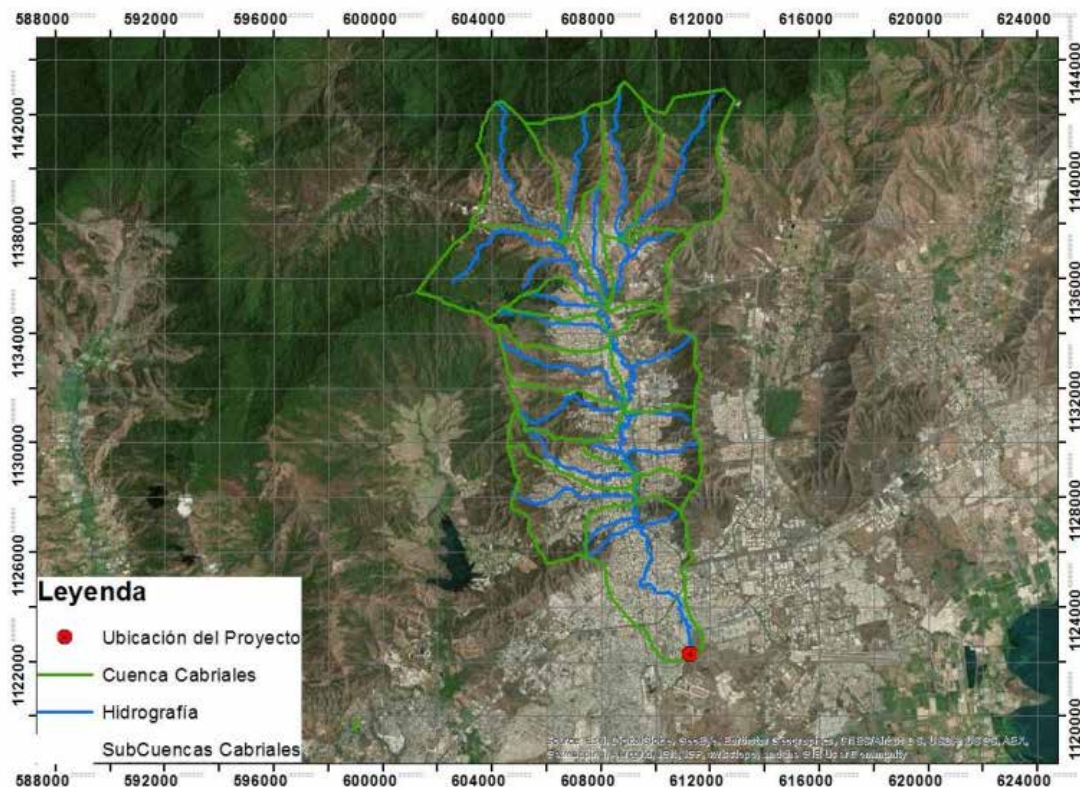


Figura 21: Divisoria topográfica de la cuenca.
 Fuente: FyV Construcciones, 2016

Descripción del Suelo Obtenido de las Perforaciones

Las muestras disponibles sobre el material presente en el área del sitio de puente se tomaron de perforaciones realizadas sobre el alineamiento de la vía en proyecto como se muestra en la figura 22. Puesto que ninguna de las perforaciones se ubica en el lecho del río en el sitio de puente, se establecieron las perforaciones 3 y 4, como la más representativa. Las características de la misma indican suelos tipo arcilla de baja plasticidad con arena, de El peso específico de $1,75 \text{ t/m}^3$. La curva granulométrica, extraída del estudio geotécnico muestra, el diámetro medio de las partículas del lecho del río son $0,07\text{mm}$.



Figura 22: Ubicación satelital del área de estudio.

Fuente: INGEROCA, 2015

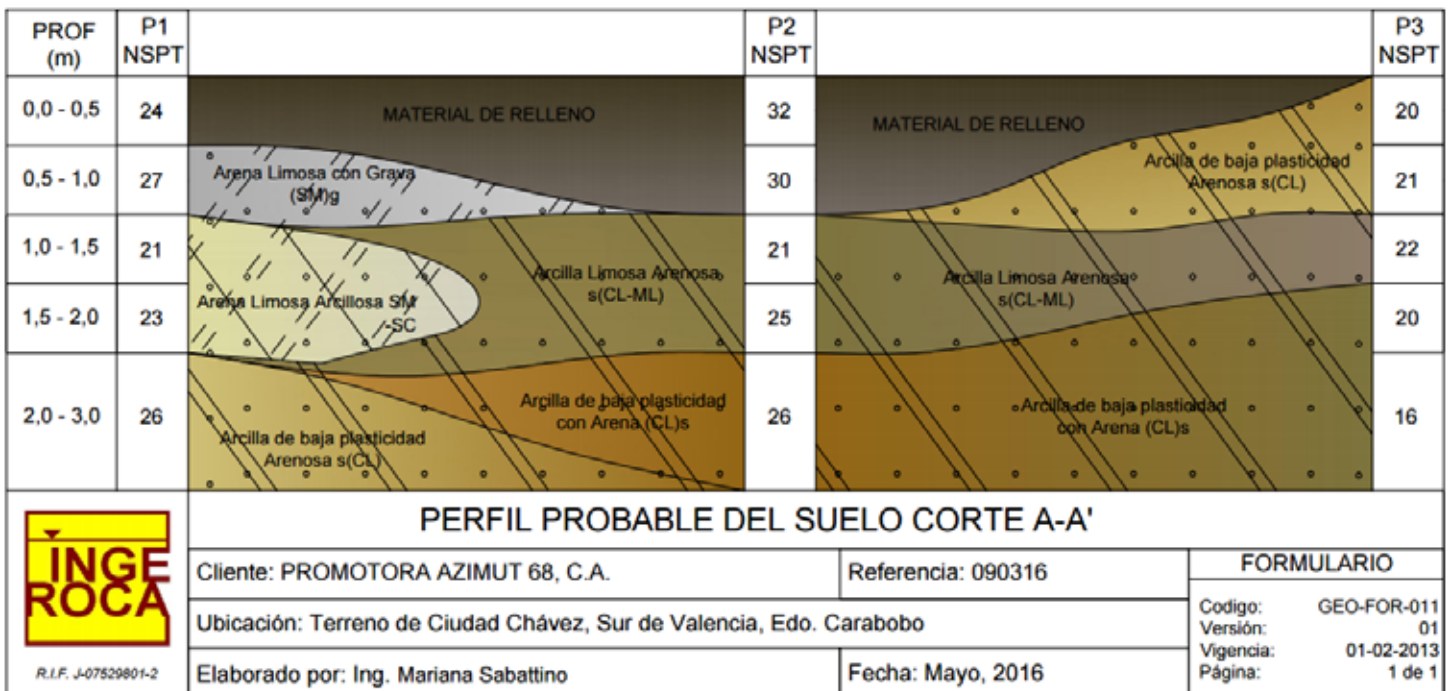


Figura 23: Perfil probable del suelo.

Fuente: INGEROCA, 2015

LABORATORIO DE SUELOS
 LITOLOGIA DE LA PERFORACION

ENCARGADO		LITOMETRO	
FECHA:	INDICIO:	INDICIO:	INDICIO:
INDICIO:	INDICIO:	INDICIO:	INDICIO:
INDICIO:	INDICIO:	INDICIO:	INDICIO:

TIPO DE MUESTRA	N° DE MUESTRA	PROF. (m)	DATOS DE CAMPO	SIMB.	LITOLOGIA	CLASIFICACION SUC.S	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	LIMITE DE CONSISTENCIA			Gs	γ (T/m ³)	Ø'	C (T/m ²)	GRANULOMETRIA	N	GRABO DE N° DE GOLPES VS PROFUNDIDAD	% H	GRABO DE HANDEDAD VS PROFUNDIDAD
										LL	LP	LP									
S	1	0,00-0,50			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD ARENOSA	s(CL)	3,44	38,06	57,50	26,66	18,92	7,73		1,6				20	0 20 40 60 80 100	5,45	0 20 40 60 80 100
S	2	0,50-1,00			ARCILLA LIMOSA ARENOSA	s(CL-ML)	0,00	47,08	52,92	24,85	20,51	4,34		1,7	14	2,5		21	0 20 40 60 80 100	7,31	0 20 40 60 80 100
S	3	1,00-1,50			ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA	(CL)s	2,74	14,95	82,31	26,80	18,65	7,95		1,7	8	3		22	0 20 40 60 80 100	9,43	0 20 40 60 80 100
S	4	1,50-2,00																20	0 20 40 60 80 100	10,68	0 20 40 60 80 100
S	5	2,00-3,00																16	0 20 40 60 80 100	12,38	0 20 40 60 80 100
LITOLOGIA DE LA PERFORACION																					
DATOS DE LA PERFORACION										LITOLOGIA DE LA PERFORACION											
PESO DEL MARTILLO (kg)		140		INTERVALOS DE MUESTRAS		1		LIMITE LIQUIDO		LL (%)		DATOS DE LA PERFORACION									
ALTURA DE CAIDA (m)		0,75		MUESTRA SECA		S		LIMITE PLASTICO		LP (%)		FECHA:									
TIPO DE SACAMUESTRAS		CS		MUESTRA LAVADA		L		INDICE DE PLASTICIDAD		P (%)		PERFORACION N°:									
SACAMUESTRAS		1 1/2"		MUESTRA ROTADA		R		GRABADO ESPECIFICA		G _s (%)		HORA N°:									
FORROS		2 1/2"		MUESTRA NO REALIZADA		NR		PESO UNITARIO SECO		γ T/m ³		CLIENTE:									
BRODUS				MUESTRA NO RECUPERADA		NO		ANGULO DE FRICCION INTERNA		Ø'		PROMOTORA AZMUT 88 C.A.									
CLOQUIA ESTANUAR		CS		NO POSEE MUESTRA		NP		COHESION		C T/m ²		OBJETO: ESTUDIOS GEOTECNICO PARA PROYECTO DE VIALIDAD EN PASAD VALENCIA COMPLEO HABITACIONAL CIUDAD CHANEZ.									
DIMANITE		D		CONDICIONES DE CAMPO				NUMERO DE GOLPES		N golpes/h		UBICACION: TERRENO DE CIUDAD CHANEZ, SUR DE VALENCIA EDO CARABOBO.									
MINOTA		W		NIVEL FREATICO		▲		% DE GRABA		%		REFERENCIA: 090316									
CANCEL		C		AGUAS DE INTRUSION		~		% DE ARENA		%		OBSERVACIONES:									
				AGUAS SUPERFICIALES		~		% DE FINOS		%		REALIZADO POR:									
COORDENADAS		ESTE		NORTE								REVISADO POR:									

Figura 24: Litología de la perforación.

Fuente: INGEROCA, 2015

4.2 Efectuar el estudio de la crecida del cauce, mediante distintas formulaciones usando como apoyo un software especializado en cálculos tanto hidráulicos como hidrológicos, para delimitar posibles propuestas de rediseño a nivel de todo el eje del cauce.

Los diseñadores estructurales son muy conscientes de la importancia de realizar un buen diseño a nivel económico, y en puentes esto se refleja limitando las longitudes en general del mismo. Por otra parte, el papel de la hidráulica en el establecimiento o toma de decisión con respecto a la longitud y la separación vertical de un puente e incluso el donde se debe colocar, es menos tomado en cuenta como factor determinante. Además, confinar indebidamente el agua de las inundaciones puede provocar un remanso y por consiguiente un daño excesivo en tierra aguas arriba y en la parte superior de la vía o incluso poner en peligro al puente en si debido a socavación en zonas sensibles del mismo, tales como, pilas o estribos. Un puente demasiado largo puede generar una inversión de capital adicional o hasta excesiva a la realmente justificada por las condiciones del puente y el cauce. En algún punto intermedio está el diseño que complace el aspecto económico y por sobretodo la seguridad y estabilidad el mismo para el público durante un largo período de tiempo. En el presente trabajo de grado se pretende proporcionar, un medio para calcular efecto que causa la obstrucción de un puente sobre el flujo en una corriente.

Naturaleza del Remanso del Puente

Donde las condiciones permitan, los terraplenes de aproximación se realizan para reducir los costos, reconociendo que, al hacerlo, los terraplenes obstruirán el flujo de la corriente durante las crecidas, esta es una práctica aceptable, no obstante, la constricción del flujo puede dar lugar a daños en el puente, lo cual a futuro deriva en mantenimientos costoso, o incluso contribuir a la pérdida total del puente o los terraplenes de aproximación. La manera en que se contrae el flujo al pasar a través de una constricción de canal donde el lecho se resiste a la fuga se puede apreciar en la figura 25.

Dicha constricción del flujo produce una pérdida de energía, y esta se refleja en un aumento en la superficie de agua y en la línea de energía aguas arriba del puente. Esto se encuentra mejor ilustrado por un perfil a lo largo del centro de la corriente, como se muestra en la figura 26.

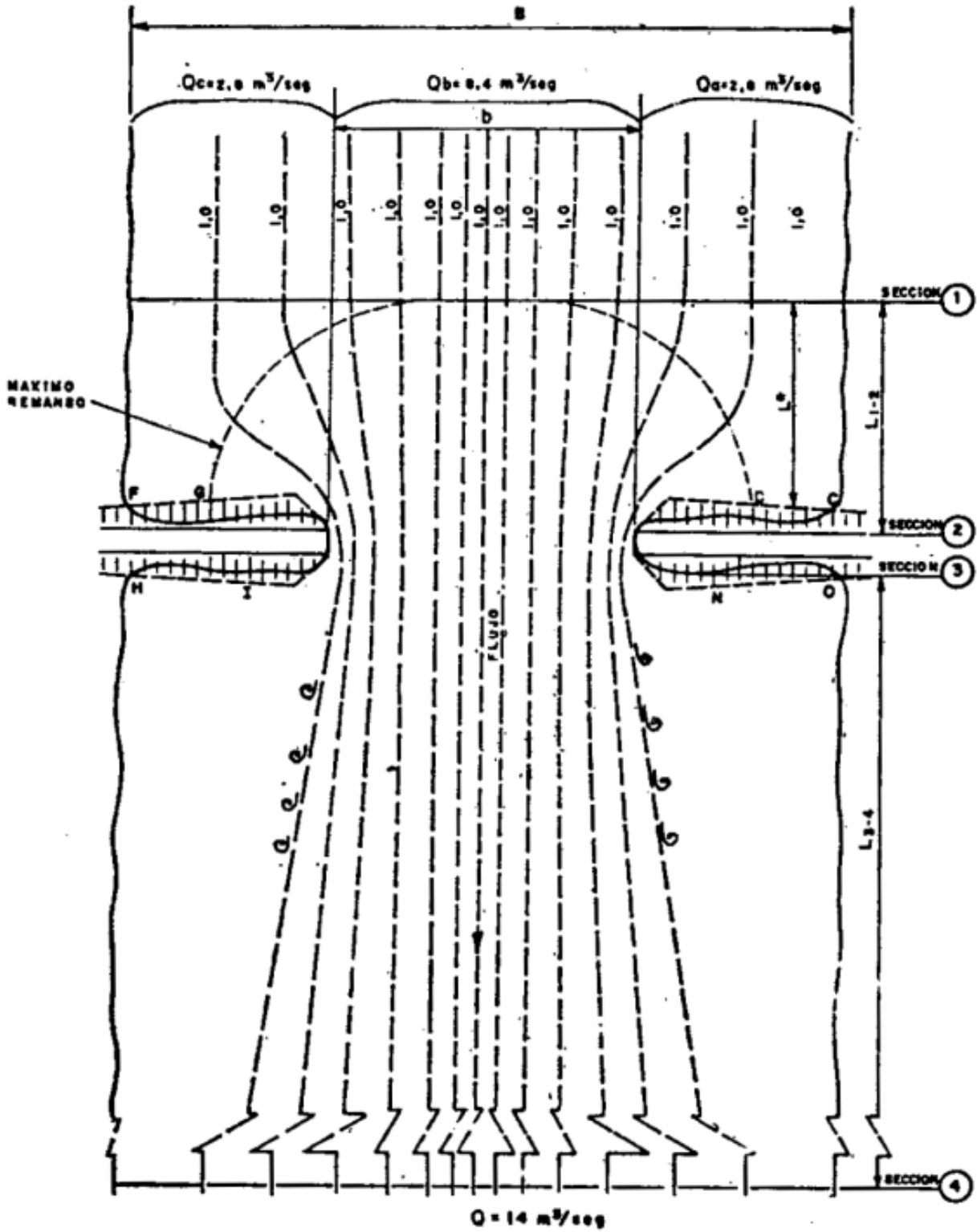


Figura 25: Líneas de corriente que configuran la repartición del caudal.
Fuente: Luis Franceschi, 1984

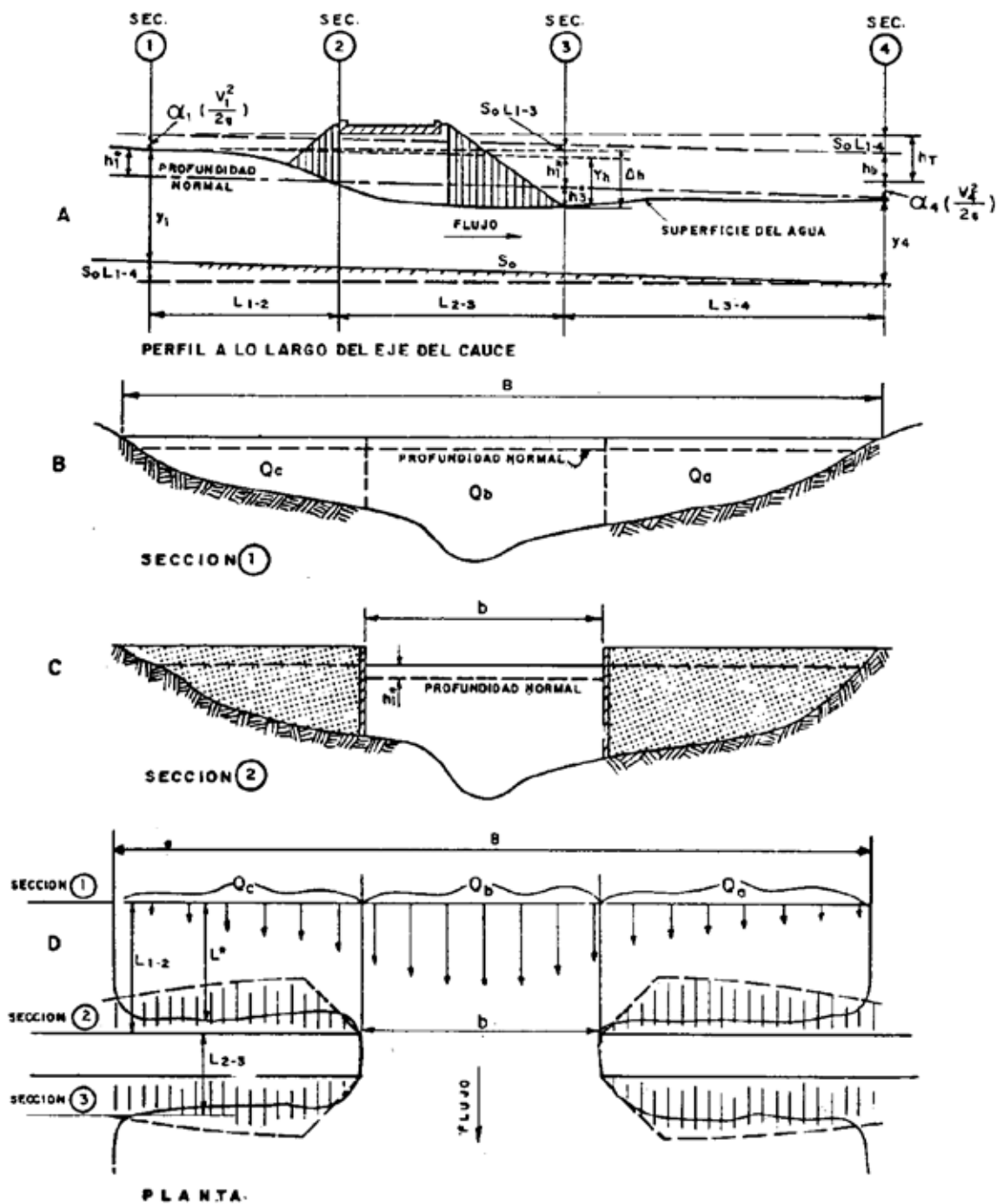


Figura 26: Tipos de flujo.
Fuente: Luis Franceschi, 1984

4.2.1 Transporte

El transporte es una medida de la capacidad de un canal para propiamente dicho, transportar el flujo. En las corrientes de sección transversal irregular es necesario dividir el área de agua en subsecciones más pequeñas pero más o menos regulares, asignando

un factor de retardo apropiado a cada uno y computando la descarga para cada subdivisión por separado. La descarga en una subsección de un canal es:

Por ecuación de Chezy-Manning:

—

Para pendientes constantes, se ajusta:

—

Donde k es el transporte de la subsección. Por lo tanto, el transporte puede expresarse en términos de factores de flujo o de factores estrictamente geométricos. En los cálculos de vías fluviales de puente, el transporte se utiliza como un medio para aproximar la distribución del flujo en el río natural. Canal aguas arriba de un puente.

4.2.2 Relación de Apertura de Puente

La sección irregular en cursos naturales y la variación de la rugosidad, resulta en una variación en la velocidad en la sección transversal del río: Expresada en función de caudales:

————— —

Siendo los caudales de cada subsección de la figura 25, debido a la sección transversal irregular común en las corrientes naturales ya la variación en la rugosidad límite dentro de cualquier sección transversal, la descarga no es uniforme a través de un río. La relación de apertura del puente M es la fácilmente explicable en términos de descargas, pero por lo general se determina a partir de las relaciones de transporte. Dado que el transporte es proporcional a la descarga, suponiendo que todas las subsecciones tengan la misma pendiente, M puede expresarse también como:

————— —

En el presente caso de estudio para el trabajo de grado se realizó dicho cálculo expresado en función del caudal, estos seleccionados previamente por los estudios hidráulicos y apoyados en el software HEC-RAS, los mismos son, un caudal de diseño $Q=458,9$ para un periodo de retorno $Tr=50$ años y un caudal que pasa por la apertura del puente de $Q_b= 392,9$ resultando la relación de apertura en:

—

4.2.3 Coeficiente de Energía Cinética

Como la distribución de la velocidad en un río varía de un máximo en la parte más profunda del canal a esencialmente cero a lo largo de los bancos. Un valor medio ponderado de la energía cinética se obtiene multiplicando la cabeza de velocidad media, por encima, definida como:

$$\frac{\int v^3 dy}{\int v dy} = 1$$

El procedimiento para aplicar la ecuación del coeficiente de energía cinética consiste en realizar una tabla para descomponer o subdividir una sección transversal del cauce de acuerdo a la forma y distintos coeficientes de rugosidad de Manning. No obstante en el presente trabajo de grado se trabajara un dato único de coeficiente de rugosidad en base a la data del estudio hidráulico (ver sección 4.2.2) y con dimensiones de la sección obtenidas del software de cálculo y dimensionamiento hidráulico HEC-RAS para un periodo de retorno de 50 años, siendo todos los datos los siguientes:

- Área (A): 118,62 m²
- Radio hidráulico (Rh): 2,79
- Coeficiente de Manning (n): 0,03

$$\frac{\int v^3 dy}{\int v dy} = 1$$

A su vez en la sección de la contracción se obtiene el valor α_2 , ingresando al siguiente ábaco (ver figura 27) con los valores anteriormente obtenidos de grado de contracción (M=0,85) y coeficiente de energía cinética ($\alpha_1=1$) se obtuvo un $\alpha_2=1$.

4.2.4 Coeficiente de Perdidas

El coeficiente de perdidas K*, consiste en un coeficiente de curva de base Kb, al que se añaden coeficientes incrementales (K) para tener en cuenta el efecto de los muelles, la excentricidad y la inclinación. Dicho valor de K* depende principalmente del grado de constricción del flujo (M), pero también cambia a un grado ilimitado con los otros factores, tomando esto en cuenta la ecuación del coeficiente de perdidas es la siguiente:

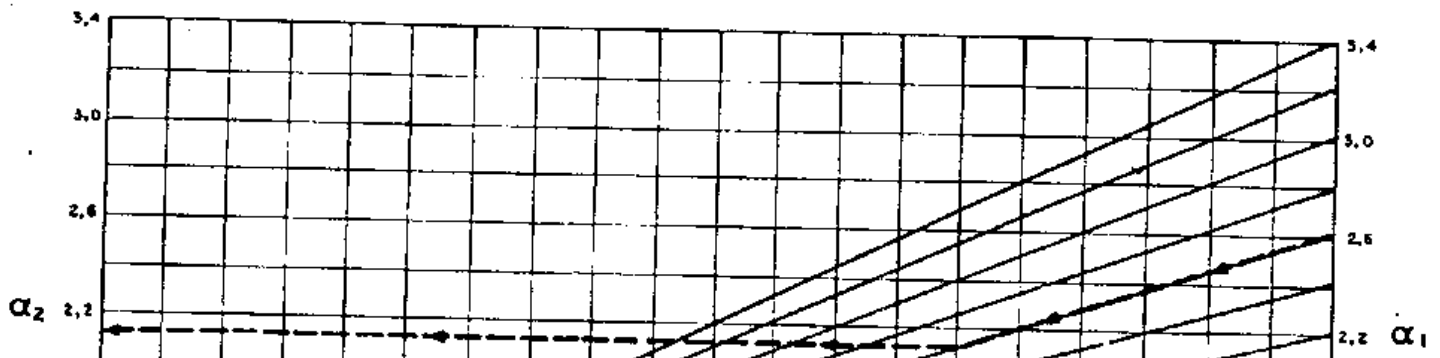


Figura 27: Ábaco para hallar el coeficiente de coriolis (α).

Fuente: Luis Franceschi, 1984

Coefficiente Básico de Remanso

Dicho coeficiente se obtiene mediante la figura 28, en función a el grado de contracción M previamente definido, la curva de base para el coeficiente de remanso K_b , se encuentra representada gráficamente con respecto a la relación de apertura M , para varios pilares de pared de ala y un tipo de pared vertical. Obsérvese cómo el coeficiente K_b aumenta con la contracción del canal (M). Las diversas curvas representan diferentes ángulos de pared de ala como pueden ser identificados por los bocetos adjuntos, las curvas inferiores, por supuesto, representan las mejores formas hidráulicas.

Para puentes de longitud mayor a 60 m, independientemente de la forma del estribo, se utiliza la curva más baja, porque la geometría del estribo tiene menos importancia cuando la luz del puente aumenta, en nuestro caso para un $M=0,85$ y una longitud de puente menor a 60m con 30° se obtiene un $K_b=0,2$.

Efecto de Pilas

El efecto que las pilas generan en el remanso depende de la relación entre el área ocupada por las pilas y el área bruta de la sección contraída, representándose dicha relación como un valor J .

—

Siendo:

A_p = Área total de pilas proyectada normal al flujo

A_{n2} = Área total normal al flujo de la sección natural bajo el puente

En el caso de los cruces en esviaje, el efecto de las pilas se trata similar al normal, excepto para el cálculo de, A_{n2} puesto que estas deben considerarse en sentido normal al flujo como se muestra en la figura 29 tomando el ancho del cauce como $b \cos(\)$ (este incluye el área ocupada por las pilas) y A_p obsérvese cómo se mide la anchura la pila (B_p) cuando esta no es paralela a la dirección general de flujo.

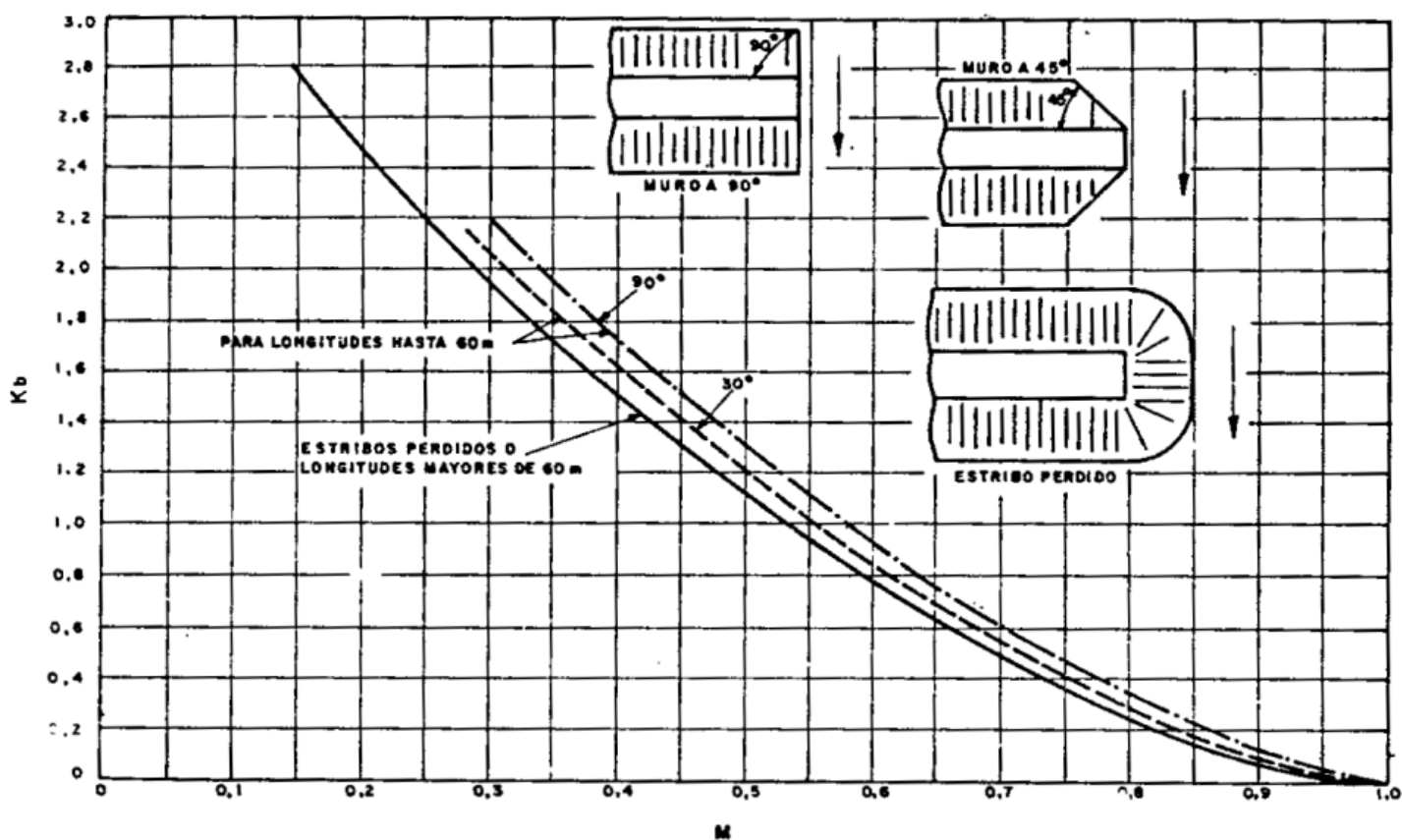


Figura 28: Ábaco para estimar el coeficiente de remanso (K_b).

Fuente: Luis Franceschi, 1984

Al obtener el valor de J de entre los casos anteriormente expuestos, se procedea ingresar en el grafico del factor del efecto de las pilas (ver figura 30).No obstante, el puente en estudio de la presente investigación no posee pilas por ende este es un valor despreciable, por lo tanto $K_p=0$.

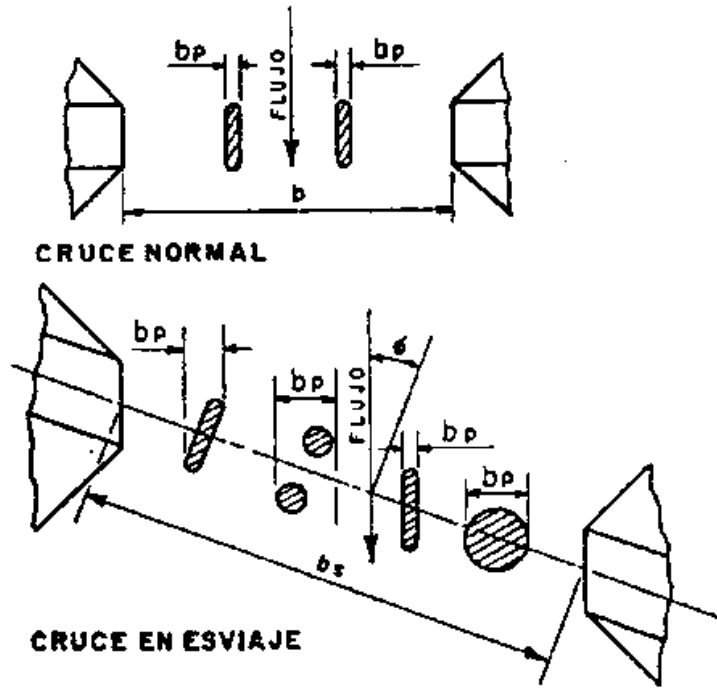


Figura 29: Sentido a tomar en las pilas dependiendo del cruce.
Fuente: Luis Franceschi, 1984

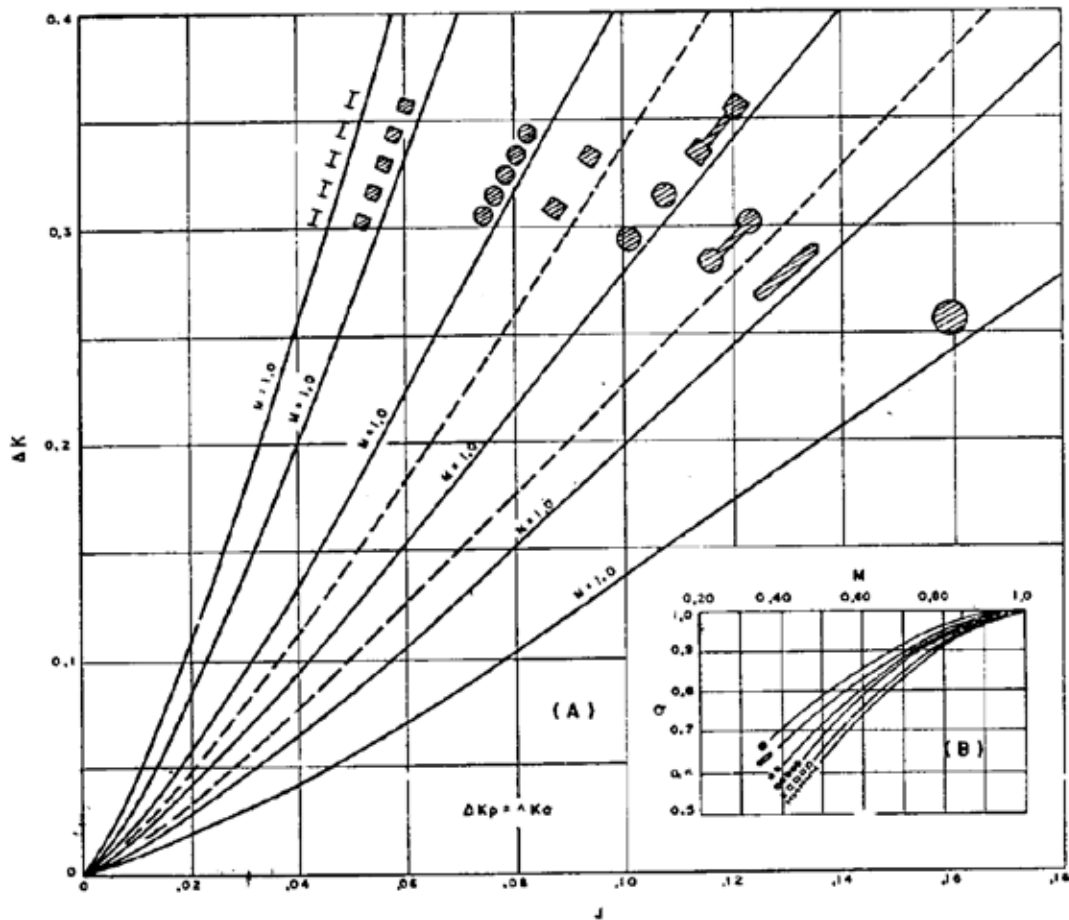


Figura 30: Ábaco de incremento por efecto de las pilas.
Fuente: Luis Franceschi, 1984

Efecto de Excentricidad

Haciendo referencia a lo observado en la figura 25, el caudal total se ve dividido o seccionado en $Q = Q_a + Q_b + Q_c$, siendo Q_b el valor del gasto que pasa por toda la abertura del puente, entiéndase entonces Q_a y Q_c como los gastos interceptados por el terraplén de la vía, entonces si la sección transversal bajo el puente es extremadamente asimétrica de modo que $Q_a > Q_c$ o viceversa, se debe analizar el incremento K_e que afecta al coeficiente de remanso. La excentricidad se define como:

Si $Q_c < Q_a$:

—

Si $Q_a < Q_c$:

—

Posteriormente, se ingresa al ábaco en la figura 31, para hallar el valor K_e .

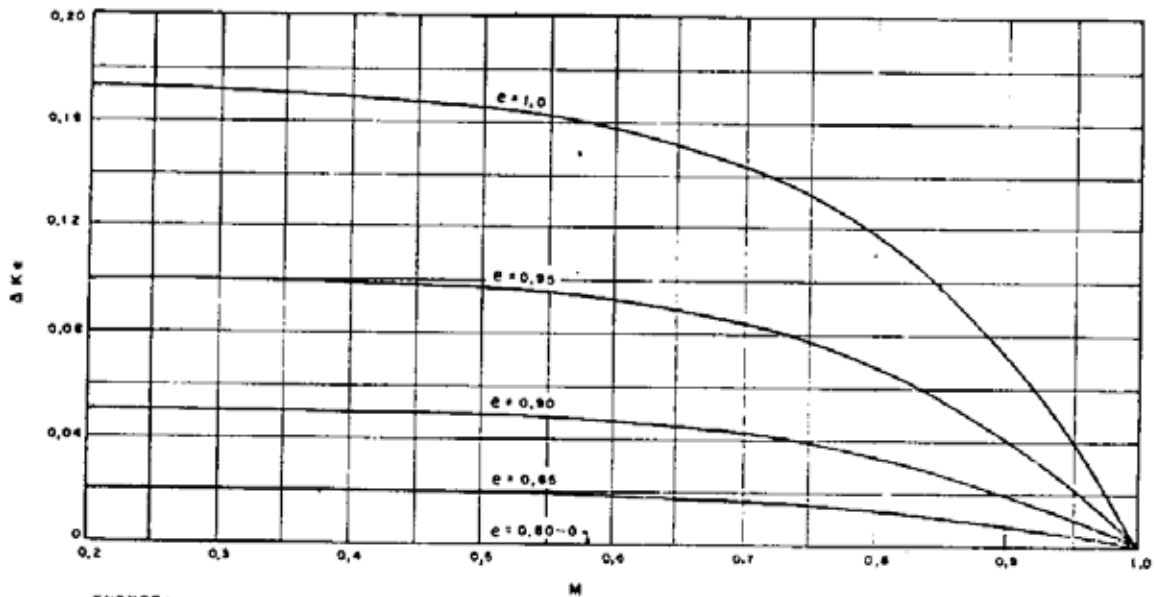


Figura 31: Ábaco para estimar el incremento por excentricidad.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

En el presente caso de estudio el puente presenta una sección simétrica a nivel de estribos por ende $K_e = 0$.

Efecto de Inclinación

El método de cálculo para los cruces de inclinación o con esviaje difiere del de los cruces normales en los siguientes aspectos:

- La relación de apertura del puente M se calcula sobre la longitud proyectada del puente en lugar de sobre toda la longitud.

- La longitud se obtiene proyectando el puente que se abre hacia arriba paralelo a la dirección general del flujo de inundación, como se ilustra en la figura 32.
- La longitud de la abertura contraída es $b_s \cos \theta$, por lo tanto el área A_{n2} se basa en esta longitud y a su vez la velocidad V_{n2} .

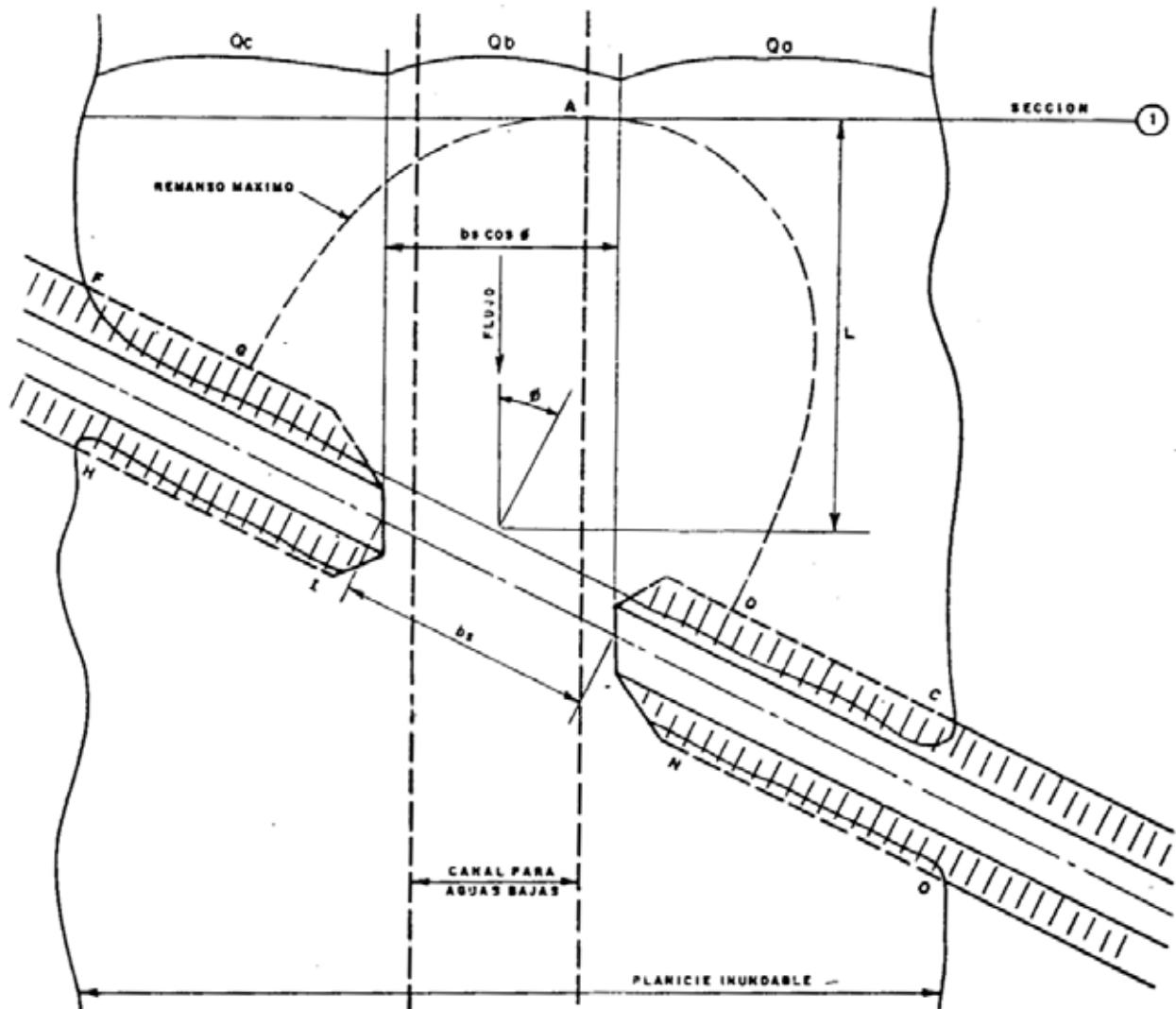


Figura 32: Proyección del puente en esviaje, con respecto al flujo normal.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

El coeficiente incremental varía con la relación de apertura M , y el ángulo de inclinación del puente con la dirección general del flujo de inundación y la alineación de las caras de tope, como indican las curvas en la figura 33. El coeficiente de retroceso K_s , puede ser tanto negativo como positivo, y estos son agregados algebraicamente a K_b .

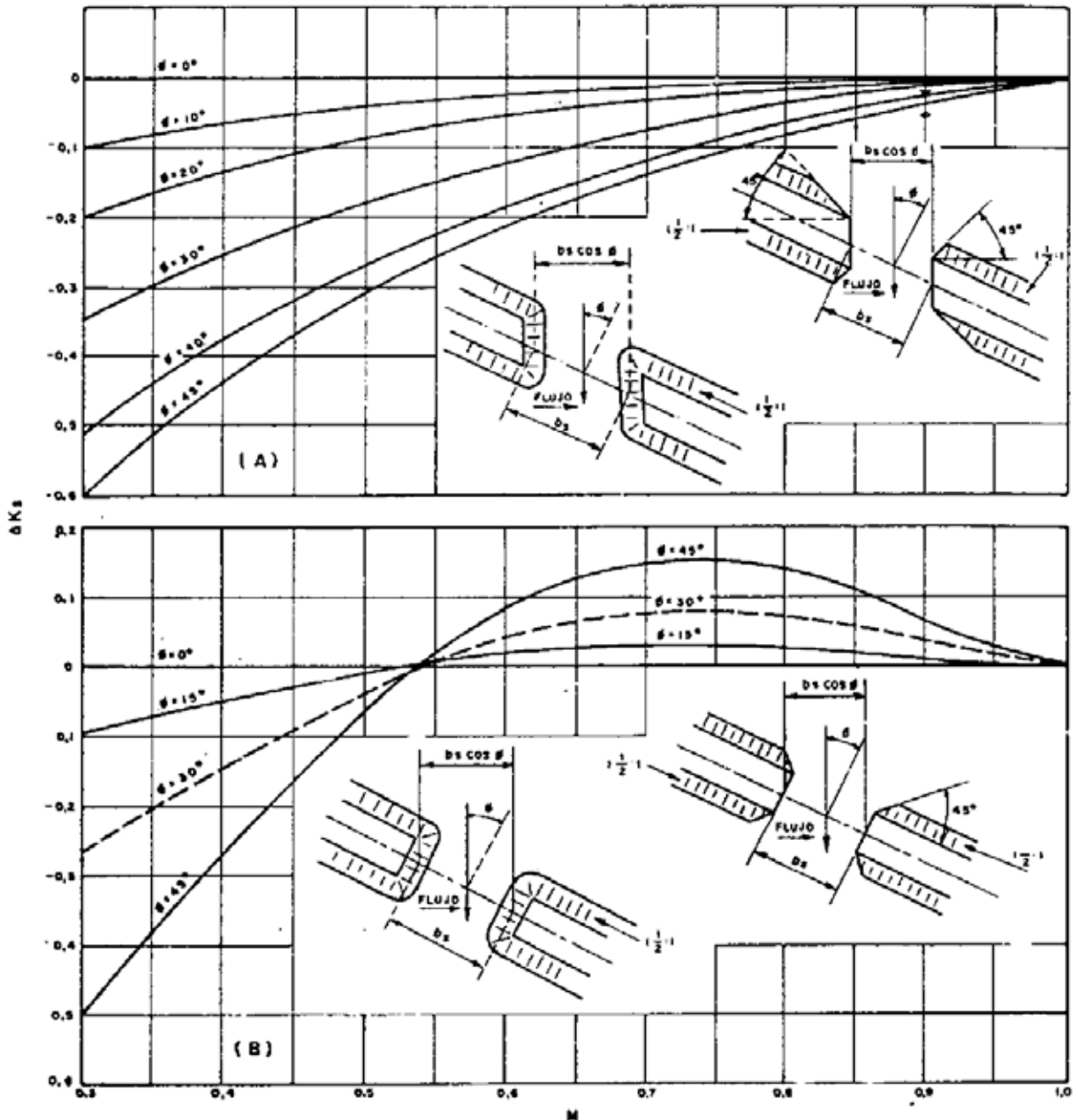


Figura 33: Ábaco para la estimación del incremento producto del esviaje.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

Para un $M=0,85$ y un $\theta=33^\circ$, $K_s=0,5$ del grafico B.

4.2.5 Tipo de flujo

Según las condiciones topográficas e hidráulicas y de acuerdo con la contracción producida por el puente, se pueden encontrar tres tipos de flujos (ver figura 34). El primero, identificado como tipo I, corresponde a régimen subcrítico sobre todo el tramo en consideración. El tipo II se presenta cuando la sección contraída del puente sirve de control y el tipo III corresponde a régimen supercrítico a todo lo largo del tramo.

Para determinar el tipo de flujo que corresponde al tramo en estudio, se realizaron las siguientes pautas:

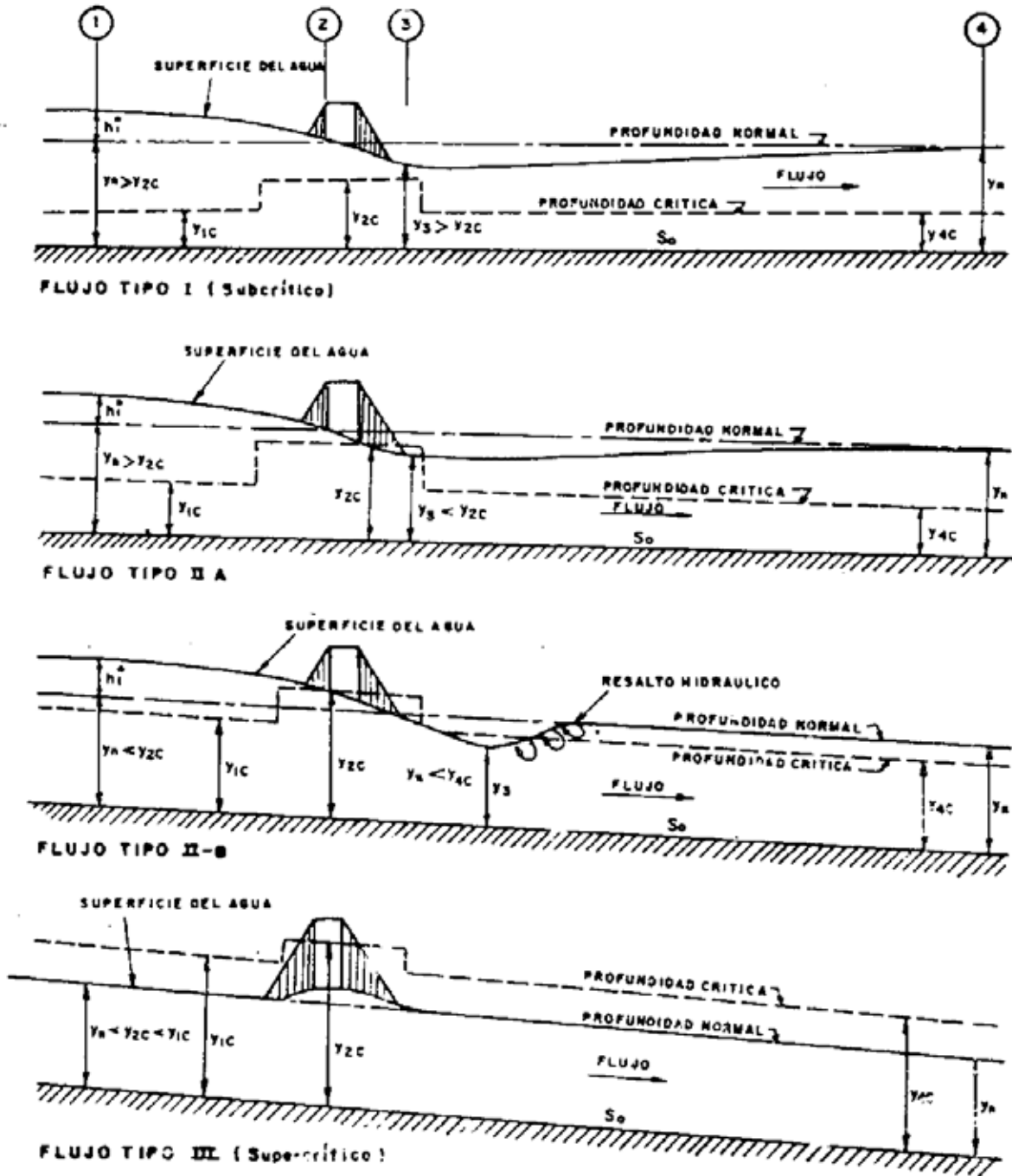


Figura 34:Tipos de flujo.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

- Se determinó la energía mínima (crítica) en la sección contraída, mediante la siguiente ecuación:

- Se estimaron las pérdidas de energía entre las secciones aguas arriba y aguas abajo del puente (C_b) mediante la gráfica de relación con el grado de contracción (ver figura 34).
- Se calculó la pérdida en la sección 1 del tramo en estudio, la cual viene dada por la ecuación:

—

- Luego se comparó la energía en la sección 1, con la crítica bajo el puente más las pérdidas, ya que mediante esta comparación si $E_{min2} + C_b > E_1$ el flujo clasifica como Tipo II, mientras que si, $E_{min2} + C_b < E_1$ el flujo es Tipo I.
- El Flujo sería Tipo III siempre que el número de Froude sea mayor a 1.

El flujo en estudio clasifica según las formulaciones anteriormente expuestas como flujo tipo I.

Tipo de Flujo	
E_{min1}	6,8428186
E_{min2}	6,5537513
Flujo	Tipo I

Tabla 1: Calculo de tipo de flujo.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

4.2.6 Estimación del Remanso

Para la estimación del remanso que se produce en el tramo es un proceso iterativo dependiente del tipo de flujo del tramo del cauce en estudio.

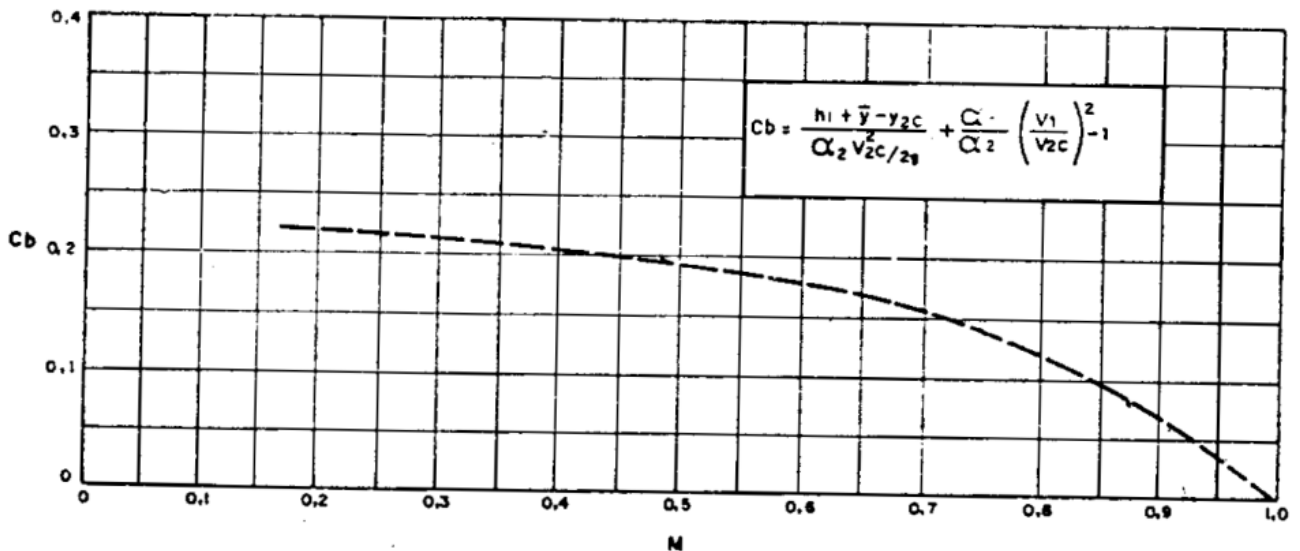


Figura 35: Ábaco para la estimación de las pérdidas.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

Para Flujo Tipo I

Estimación de un h_1^* mediante la ecuación

—

Se calculó un valor de A en función al h_1^* anteriormente calculado, lo cual no es más que tomar el área de la sección y agregarle el área del tentativo remanso, multiplicando dicho valor por el ancho de la superficie de la sección transversal, quedando la expresión:

Al obtener el valor de A_1 , se calculó el valor h_1^* real mediante:

— — —

Se comparan los valores de h_1^* estimado y real, estos no deben diferir más de un 0,5% y en caso de estos no ser iguales el valor real pasa a ser un nuevo estimado sobre el cual empezara todo el proceso sucesivamente hasta cumplir la condición previa dicho proceso se muestra en la tabla 2.

Para Flujo Tipo II

Para el caso de un flujo tipo II el proceso iterativo es igual en los primeros dos pasos, es decir, calcular el h_1^* estimado y A_1 .

Luego se procede a estimar una V_1 mediante la ecuación de continuidad en función a la A_1 anteriormente calculada, resultando el cálculo:

—

En base a valores estimados anteriormente se prosiguió a estimar el valor de remanso para un flujo tipo II, mediante la siguiente ecuación:

— —

Igualmente para el flujo tipo II los valores de h_1^* deben coincidir y en caso contrario repetir continuamente el proceso hasta que se cumpla la condición.

Como se estimó anteriormente el flujo del tramo en estudio clasifica como tipo I, por ende se procedió a aplicar las ecuaciones respectivas a dicho flujo con los datos adquiridos previamente en secciones anteriores del presente trabajo de grado, se usó como base de apoyo el programa Excel para la realización del proceso iterativo anteriormente expuesto dando como resultado un remanso $h1^*=0,30m$ como se muestran en la tabla.

Calculo de Remanso - Flujo Tipo I			
h1* (aprox)	A	h1* (calc)	Resultado
0,400395	124,6259251	0,317684	NO CUMPLE
0,3176837	123,3852554	0,303719	NO CUMPLE
0,3037192	123,1757878	0,30132	NO CUMPLE
0,3013198	123,1397966	0,300906	CUMPLE

Tabla 2: Iteración para el cálculo de remanso.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

4.2.7 Propuestas de rediseño a nivel de todo el eje del cauce haciendo uso del programa HEC-RAS:

En las siguientes ilustraciones se muestra el desarrollo del presente trabajo de grado a través de los criterios y normas empleadas por el programa HEC-RAS versión 5.0.3, realizando una modelación hidráulica, la cual sirve para simular todas las propiedades hidráulicas del tema en estudio.

La estructura de datos para realizar una simulación hidráulica a través de HEC-RAS, consiste en una serie de pasos, los cuales, se van generando los archivos que definen tanto la geometría, como las condiciones de frontera del sistema hidráulico. En general los principales pasos son:

- Crear un nuevo proyecto.
- Ingresar datos geométricos.
- Ingresar datos del flujo y condiciones de frontera.
- Ejecutar cálculos hidráulicos.
- Ver y analizar resultados.

Creación de un nuevo proyecto en HEC-RAS:

El primer paso para modelar un sistema hidráulico, es crear un nuevo proyecto (ver figura 36), donde primeramente se debe establecer el directorio en que se desee trabajar. Dicho esto, todos los demás pasos serán respaldados en este nuevo proyecto.

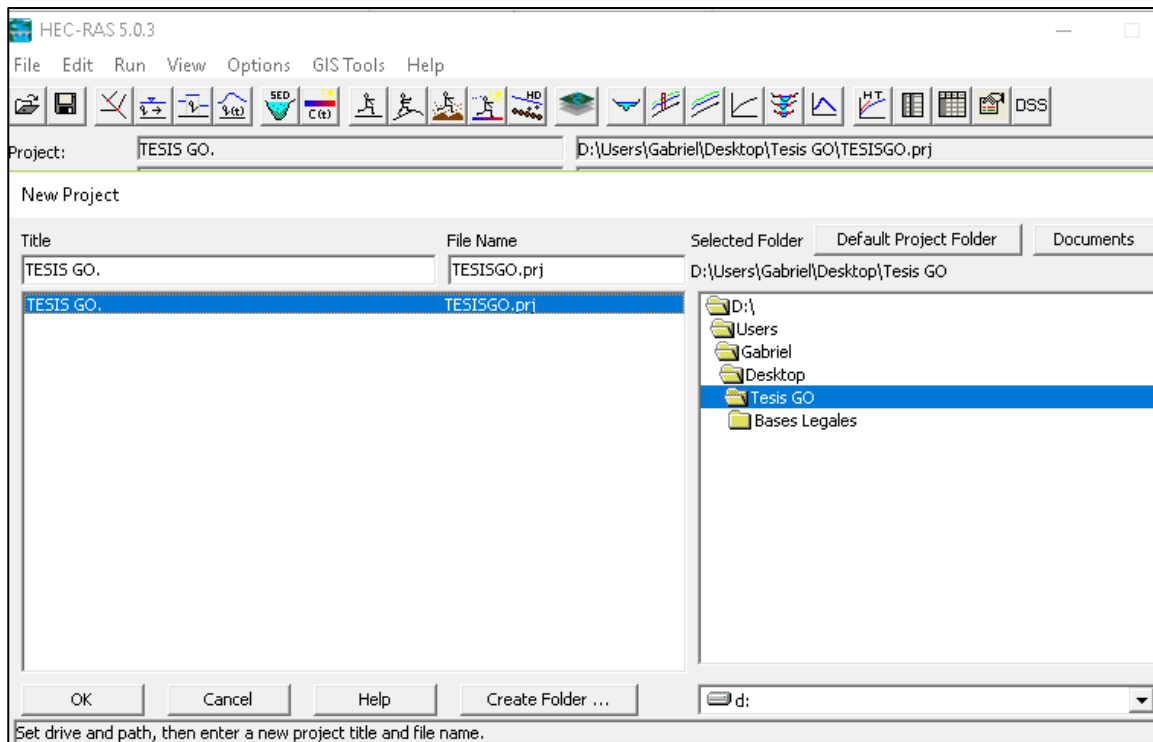


Figura 36: Creación de un nuevo proyecto.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Establecimiento de datos geométricos en HEC-RAS:

En la presente investigación se empleó una herramienta de trabajo del programa AutoCAD CIVIL 3D, conocida en inglés como “EXPORT TO HEC RAS” y en español “EXPORTAR AL HEC RAS” la cual sirve para cargar una superficie de un terreno hacia el HEC RAS, la cual es de mucha utilidad para facilitar cálculos, y a su vez estos dan con mayor exactitud.

La elaboración de la superficie a raíz de las curvas de nivel consiste en tomar dichas curvas del terreno del cauce por donde transita el río en estudio y crear una superficie del terreno entre ellas, a través de ciertas herramientas del AutoCAD CIVIL 3D. A continuación, se mostrarán las respectivas curvas de nivel del tramo en estudio(ver figura 37) y posteriormente se mostrarán todas como una superficie en conjunto(ver figura 38).

A continuación, se mostrará la superficie de las curvas de nivel con las diferentes progresivas del cauce a cada 20 metros en base al eje central o center line del cauce, con sus respectivos tramos(ver figura 39), las cuales deben escribirse en sentido contrario del flujo del río, ya que al ser exportadas hacia el HEC-RAS, se trabajan de manera contraria al AutoCAD CIVIL 3D.

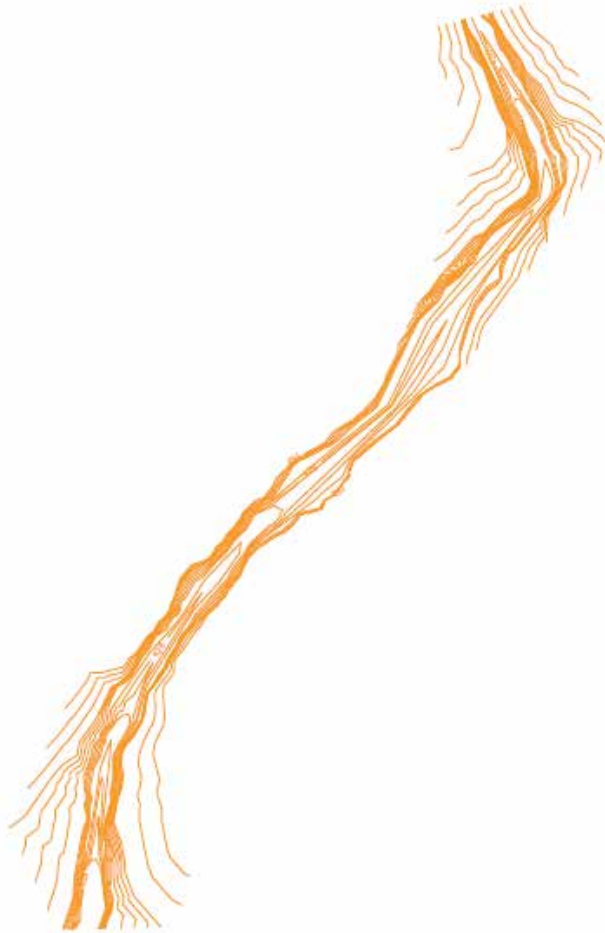


Figura 37: Curvas de nivel.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

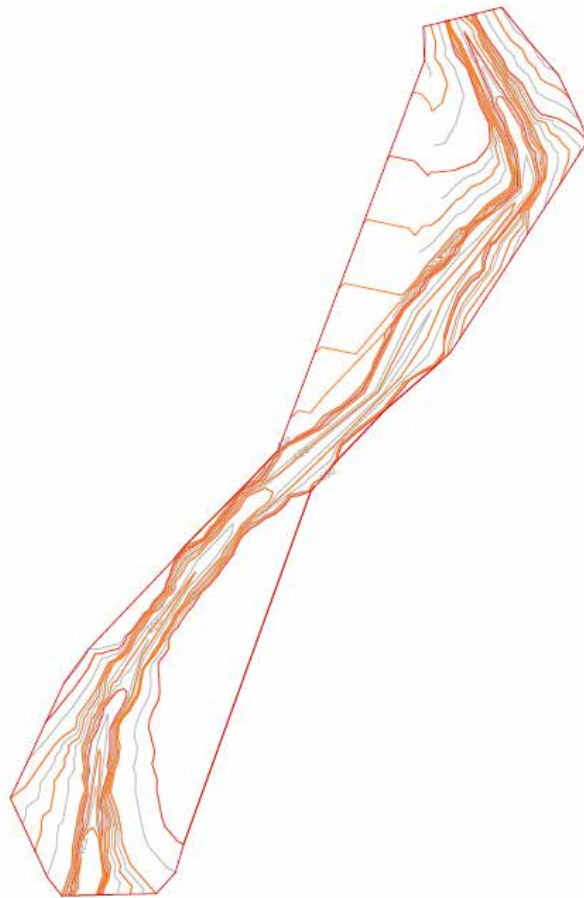


Figura 38: Superficie de curvas de nivel.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Una vez cumplidos estos pasos, se procede a colocar las progresivas en cada orilla del río en estudio, delimitándolo y lograr posteriormente introducir las condiciones de contorno o de borde en el programa HEC-RAS.

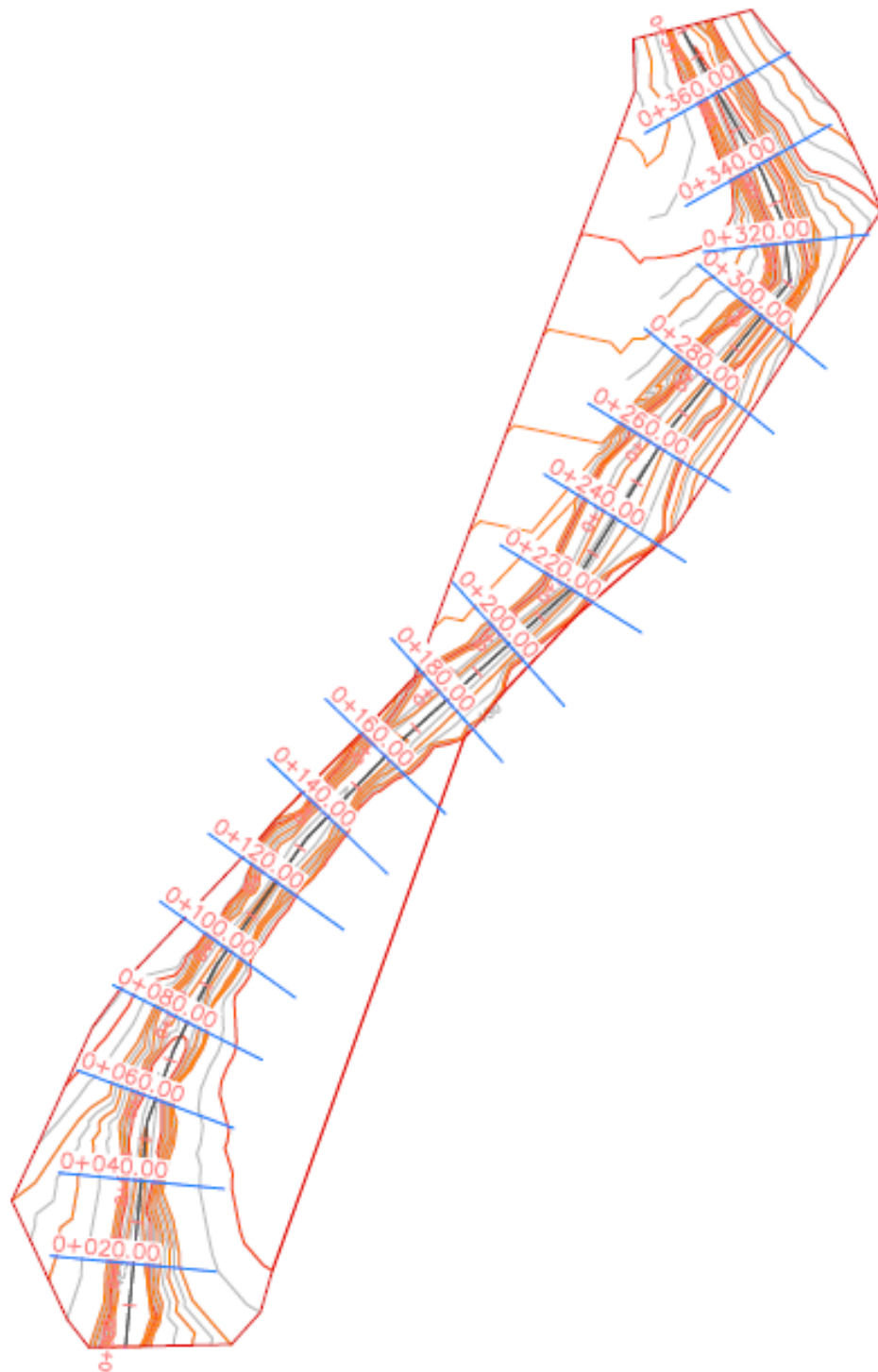


Figura 39: Eje del río con sus progresivas.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Introducción de datos geométricos hacia HEC-RAS:

Al tener todos estos datos ya colocados en el AutoCAD CIVIL 3D, se procede a exportar la superficie hacia HEC-RAS, presionando la opción de “OutPut” en inglés o su traducción en español “Salida” y próximamente buscar la pestaña de “Export to HEC-RAS” en inglés o su traducción en español “Exportar to HEC-RAS”. Una vez hecho esto, se procede a introducir o cargar esta geometría (ver figura 40) a través de la opción “File” (Paso 1) de la barra principal de la ventana “Geometric Data”, luego presionar “Import Geometry Data” (Paso 2) y por ultimo (Paso 3) presionar la opción de “GIS Format”, donde se busca la geometría guardada del programa AutoCAD CIVIL 3D, como se explicará más adelante este proceso, una vez hecho esto automáticamente se abrirá la sección(ver figura 41), vista desde un plano de planta, sin condiciones hidráulicas aun colocadas, luego en la figura 42se muestra el procedimiento para realizar la entrada de los valores del coeficiente de Manning, a través de la opción de “Tables” de la barra principal de la ventana “Geometric Data”, luego se procede a colocar los coeficientes de Manninga lo largo de todos los tramos(ver figura 43), el cual resultado 0,03 en el estudio hidráulico por todas las características del cauce. Una vez realizado esto se procede a efectuar una interpolación, a través de la opción de “Tools” de la barra principal de la ventana “Geometric Data”, como se muestra en la figura 44, de los valores comprendidos entre las progresivas 20m y 360m(ver figura 45), a cada 5m, para así lograr obtener las secciones más detalladas y fáciles de manejar.

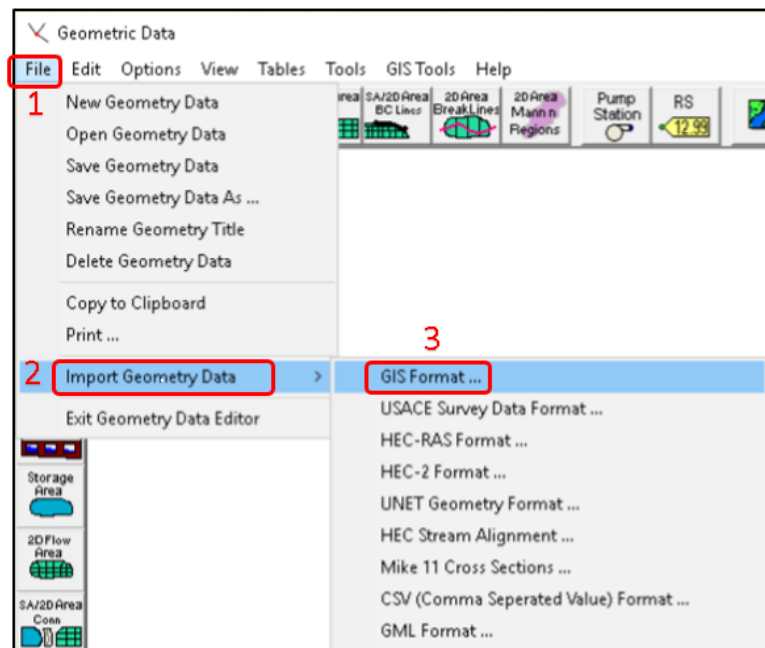


Figura 40: Abrir formato de AutoCAD Civil 3D.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

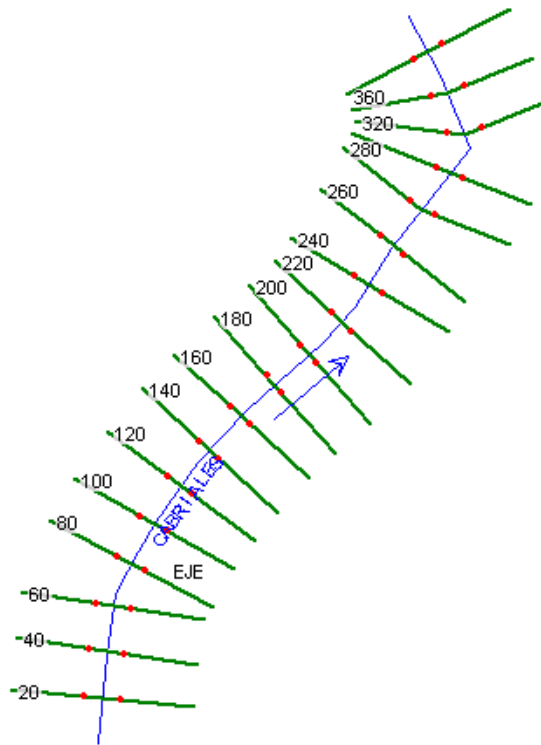


Figura 41: Vista de planta de la sección exportada del AutoCAD Civil 3D.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

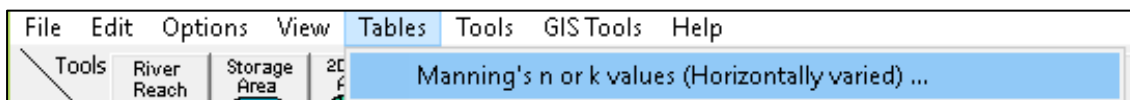


Figura 42: Ventana de introducción del coeficiente de Manning.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Edit Manning's n or k Values

River: CABRIALES Edit Interpolated XS's Channel n Values h a light green background

Reach: EJE All Regions

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... **Set Values ...** Replace ... Reduce to L Ch R

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	360	n	0.03	0.03	0.03
2	340	n	0.03	0.03	0.03
3	320	n	0.03	0.03	0.03
4	300	n	0.03	0.03	0.03
5	280	n	0.03	0.03	0.03
6	260	n	0.03	0.03	0.03
7	240	n	0.03	0.03	0.03
8	220	n	0.03	0.03	0.03
9	200	n	0.03	0.03	0.03
10	180	n	0.03	0.03	0.03
11	160	n	0.03	0.03	0.03
12	140	n	0.03	0.03	0.03
13	120	n	0.03	0.03	0.03
14	100	n	0.03	0.03	0.03
15	80	n	0.03	0.03	0.03
16	60	n	0.03	0.03	0.03
17	40	n	0.03	0.03	0.03
18	20	n	0.03	0.03	0.03

Figura 43: Introducción del coeficiente de Manning.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017



Figura 44: Ventana para la interpolación.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

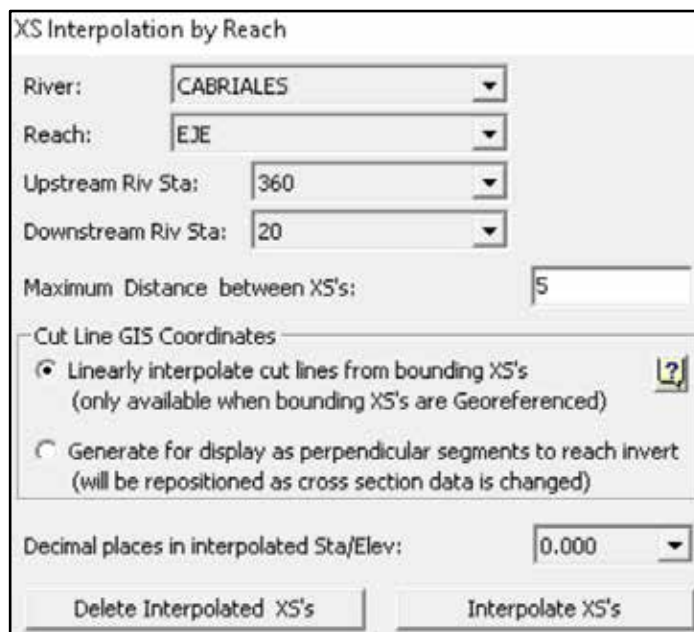


Figura 45: Introducción de datos para la interpolación.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Finalmente se obtuvo una vista de planta del cauce desde el programa HEC-RAS con sus respectivas progresivas a cada 5 metros, como se muestra a continuación. Estos pasos son necesarios para poder obtener el perfil geométrico y longitudinal del cauce. Una vez hecho esto se busca en la ventana principal del programa HEC-RAS el símbolo que indique “View Profile”, para encontrar el perfil longitudinal del cauce en estudio (ver figura 46).

Ingresar datos de flujo y condiciones de frontera:

En esta sección, se define el gasto o los gastos, según sea el caso, luego se selecciona el periodo de retorno analizado para la determinada obra hidráulica, en esta investigación se trabajó con 100 años como periodo de retorno, el cual cubre un gasto de 670 m³/s, a su vez se definen las condiciones iniciales y las condiciones de frontera, para iniciar se selecciona “Steady Flow Data” del menú “Edit” que se encuentra en la ventana principal del programa HEC-RAS, apareciendo la figura 47.

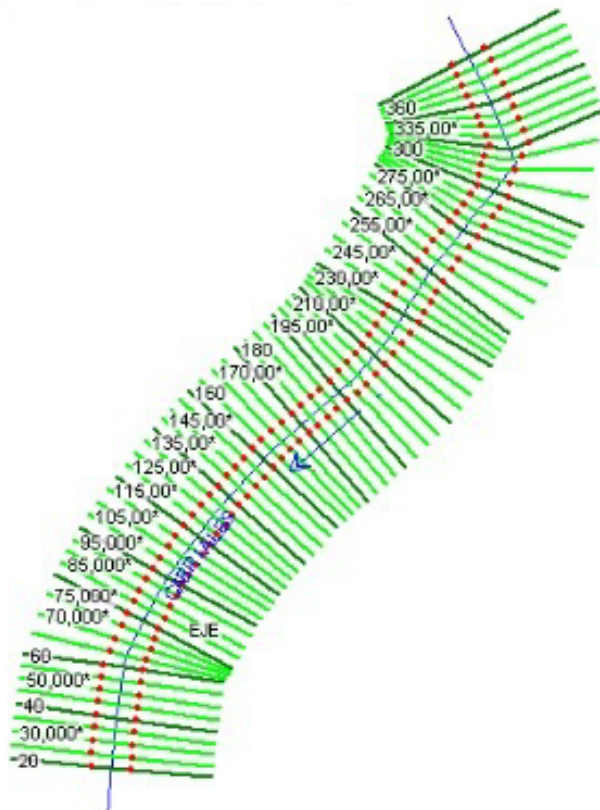


Figura 46: Vista de planta del cauce con sus progresivas.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

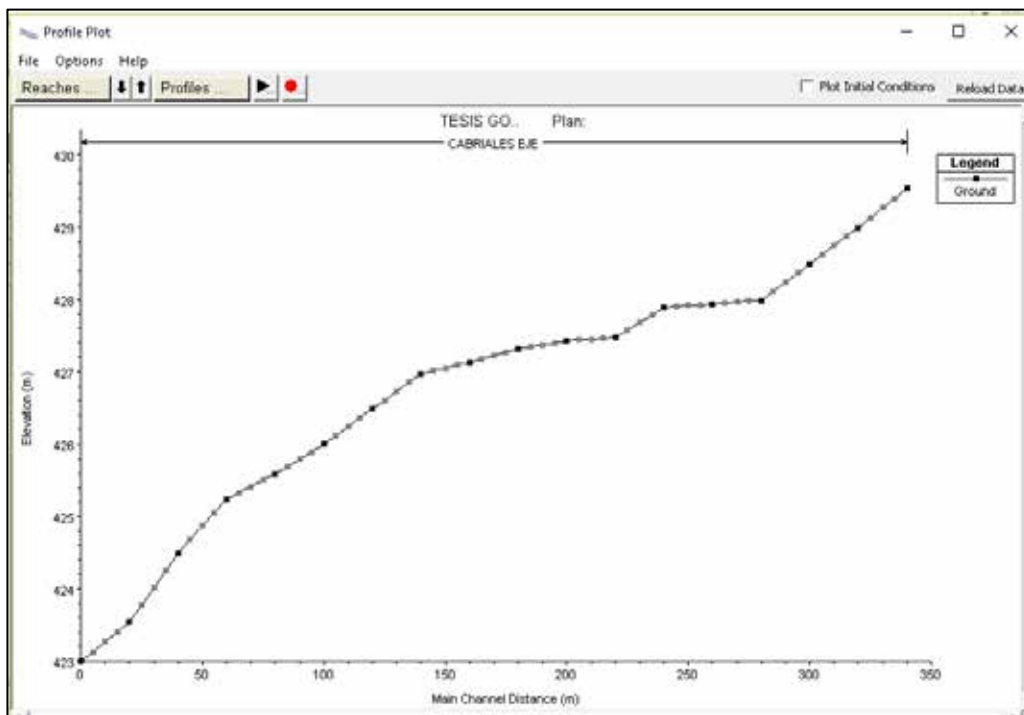


Figura 47: Perfil longitudinal del cauce.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

En esta ventanase especifica el número de perfiles a calcular, en esta investigación se tomarán dos tipos de perfil, ya que se habla de dos periodos de retorno (Paso 1), los cuales son de 100 años y 50 años, con su respectivo caudal (Paso 2), de manera tal de

hacer una comparación entre ambos casos, donde predomine el caudal con el periodo menor, por norma, el cual se utilizará para diseño final del puente. Para definir las condiciones de frontera se oprime el botón “Reach Boundary Conditions” (Paso 3) y aparece la ventana de “Steady Flow Boundary Conditions” (ver figura 48), en la que se dispone de las siguientes opciones: “Known W.S”, “Critical Depth”, “Normal Depth” o “Rating Curve” en inglés o en español se tiene: Nivel de agua, tirante crítico, tirante normal o curva de elevaciones de gasto respectivamente.

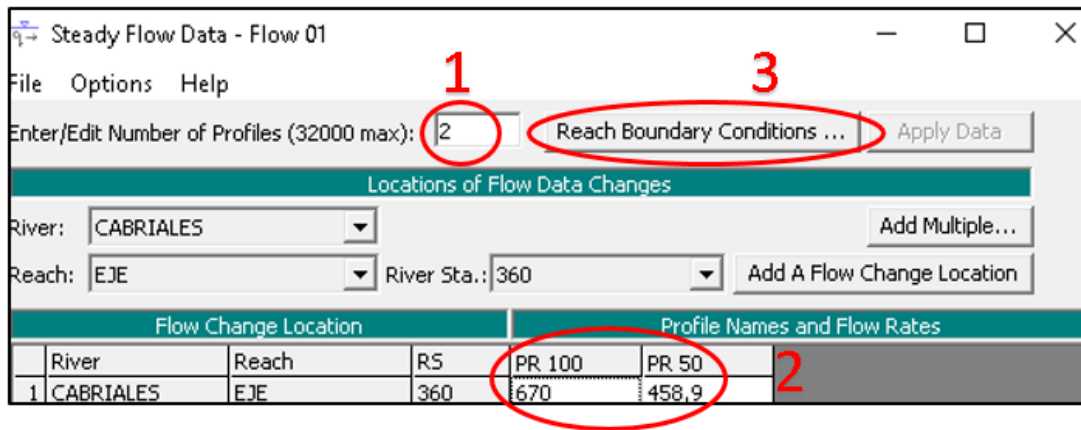


Figura 48: Ventana de introducción de data hidráulica.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

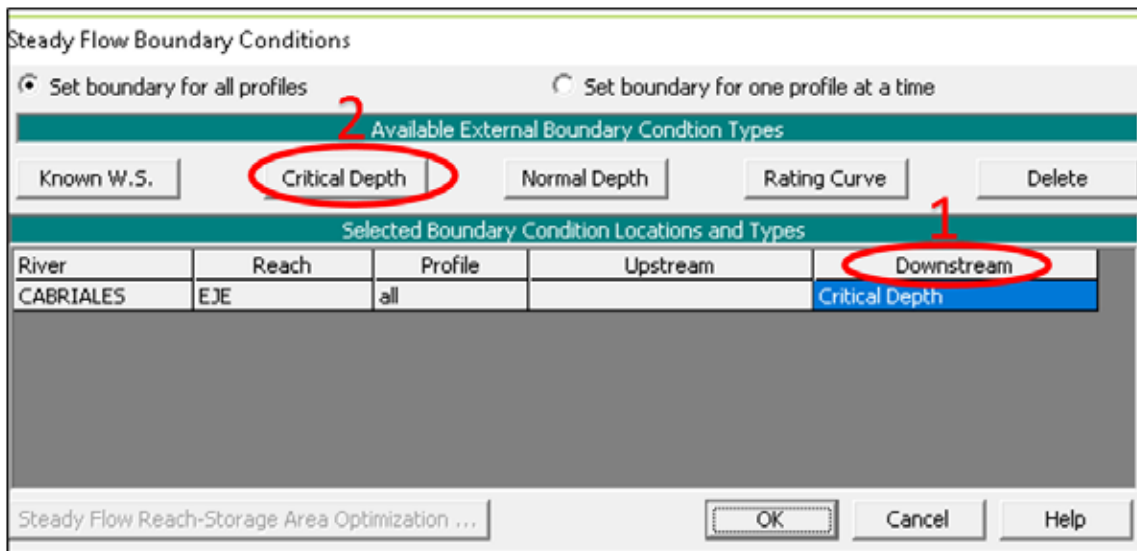


Figura 49: Introducción de condiciones de borde.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

En el presente trabajo de grado, se utiliza el método de socavación conocido como Lischtvan-Levediev, el cual solo funciona para flujos subcríticos, por lo tanto, en el cauce que se modela se sabe que se trabajara con este tipo de régimen. Al presentarse este tipo de régimen en dicho rio, se trabajará en la opción de “Critical Depth” para

aguas abajo (DownStream). Primeramente, se debe seleccionar la opción de “DownStream” (Paso 1), en español aguas abajo y luego se procede a seleccionar la opción “Critical Depth” (Paso 2), en español tirante crítico, luego se selección la opción de “ok”.

Ejecución de cálculos hidráulicos con HEC-RAS:

Una vez definidos los datos geométricos y los hidráulicos, ya es posible realizar la simulación, esta se realiza desde la ventana “Steady Flow Analysis”, la cual se encuentra en la pestaña “Run” del menú principal del programa HEC-RAS. Para realizar la simulación, es necesario establecer un plan que incorpore tanto los datos geométricos como hidráulicos.

Para crear un plan es preciso seleccionar “New Plan” que se encuentra en el desplegado “File” de la ventana “Steady Flow Analysis” (ver figura 49), es necesario asignarle un nombre y un identificador al nuevo plan, así como seleccionar tanto los archivos de datos geométricos como hidráulicos previamente elaborados, además de elegir el régimen de flujo que se espera encontrar ya sea subcrítico, supercrítico o mixto, en la presente investigación se escoge flujo subcrítico como se mencionó anteriormente, por último es conveniente guardar el plan en “Save Plan AS”, del menú “File” de la ventana “Steady Flow Analysis”.

Una vez presionado el botón de “Compute”, se abre la siguiente ventana (ver figura 50) e inmediatamente ya se empiezan a realizar todos los cálculos correspondientes para los valores geométricos e hidráulicos introducidos.

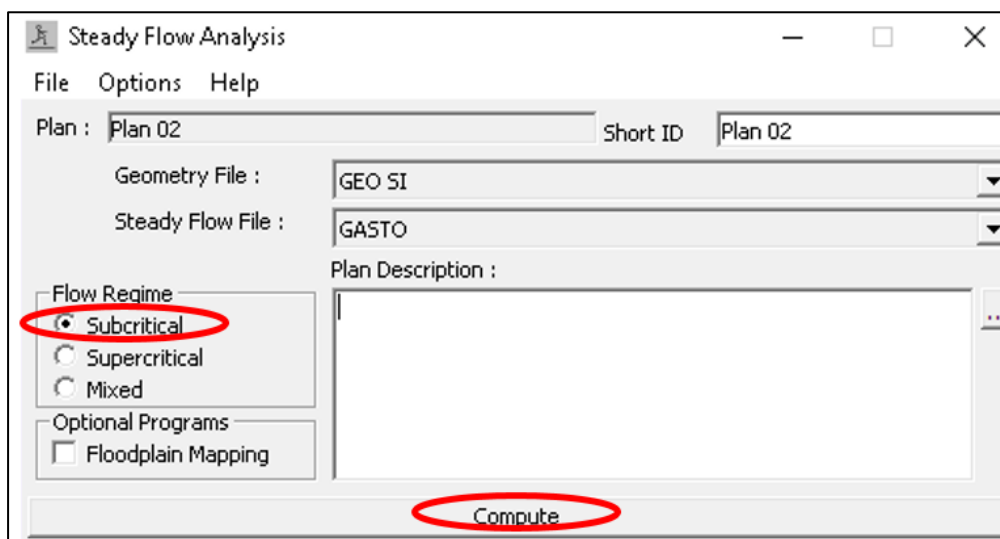


Figura 50: Selección de plan.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Analisis de resultados con HEC-RAS:

El programa HEC-RAS ofrece una gran variedad de formas en las que se pueden analizar los resultados, destacandose los perfiles de la lamina de agua, perfiles transversales de los tramos, dibujos en perspectiva espacial, curvas de elevaciones vs gastos y tablas de resultados tanto de resumen generico como de detalle, entre muchas otras opciones, las cuales son accesibles desde el menu “View” de la ventana principal de HEC-RAS.

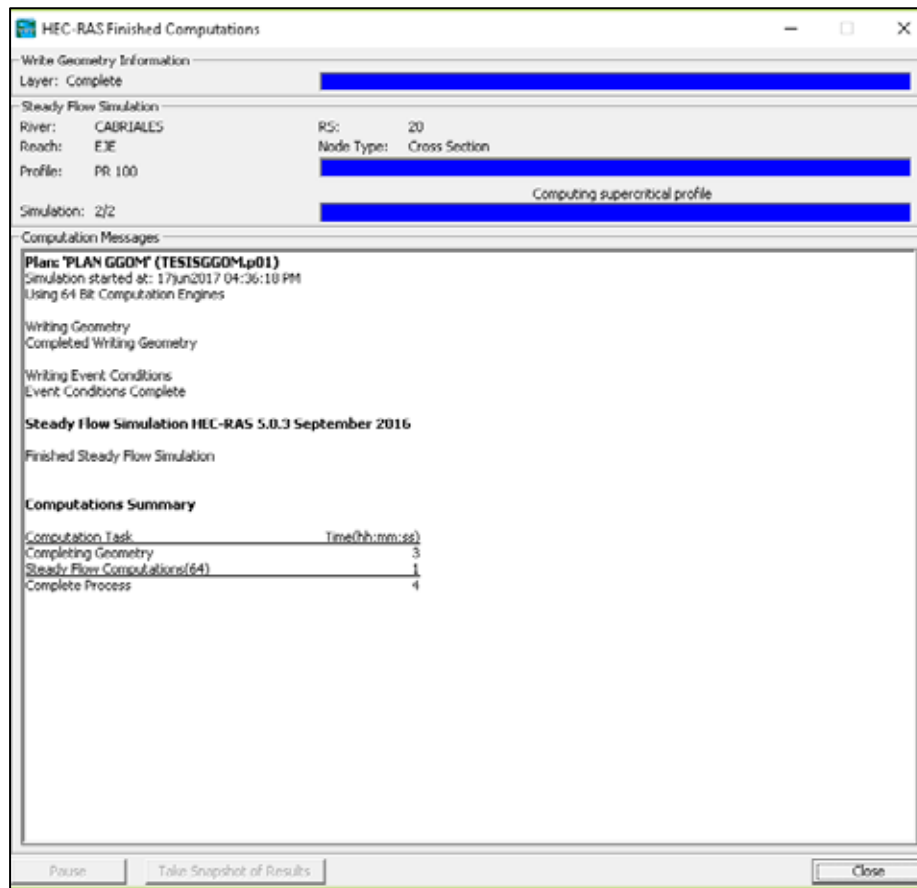


Figura 51: Aprobación de cálculos.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Análisis de resultados para TR=100 AÑOS:

En la figura 51 se muestra el diagrama del canal con perspectiva en tres dimensiones vista desde en HEC-RAS, donde se puede apreciar el comportamiento del fluido a lo largo de toda la longitud de su cauce con el periodo de retorno seleccionado. A su vez en la figura 52 se puede visualizar una representación de las manchas de inundación con respecto a las curvas de nivel visto desde HEC-RAS. También en la figura 53 se puede apreciar otra perspectiva del cauce visto desde HEC-RAS con sus manchas de inundación con respecto a las áreas adyacentes utilizando

como fondo una imagen satelital del sitio. Dicha mancha de inundacion presento un valor de 7,7 metros de altura, produciendo un desbordamiento del fluido sobre sus terrenos aledaños.

En la figura 54 se muestra el perfil hidráulico; la figura incluye la lámina de agua, de izquierda a derecha, el fondo del canal y los puntos de elevación del agua que se establecieron como condiciones iniciales. El trazado en verde indica la línea de energía, la línea azul indica el nivel de agua, mientras que el color rojo indica el fondo del cauce.

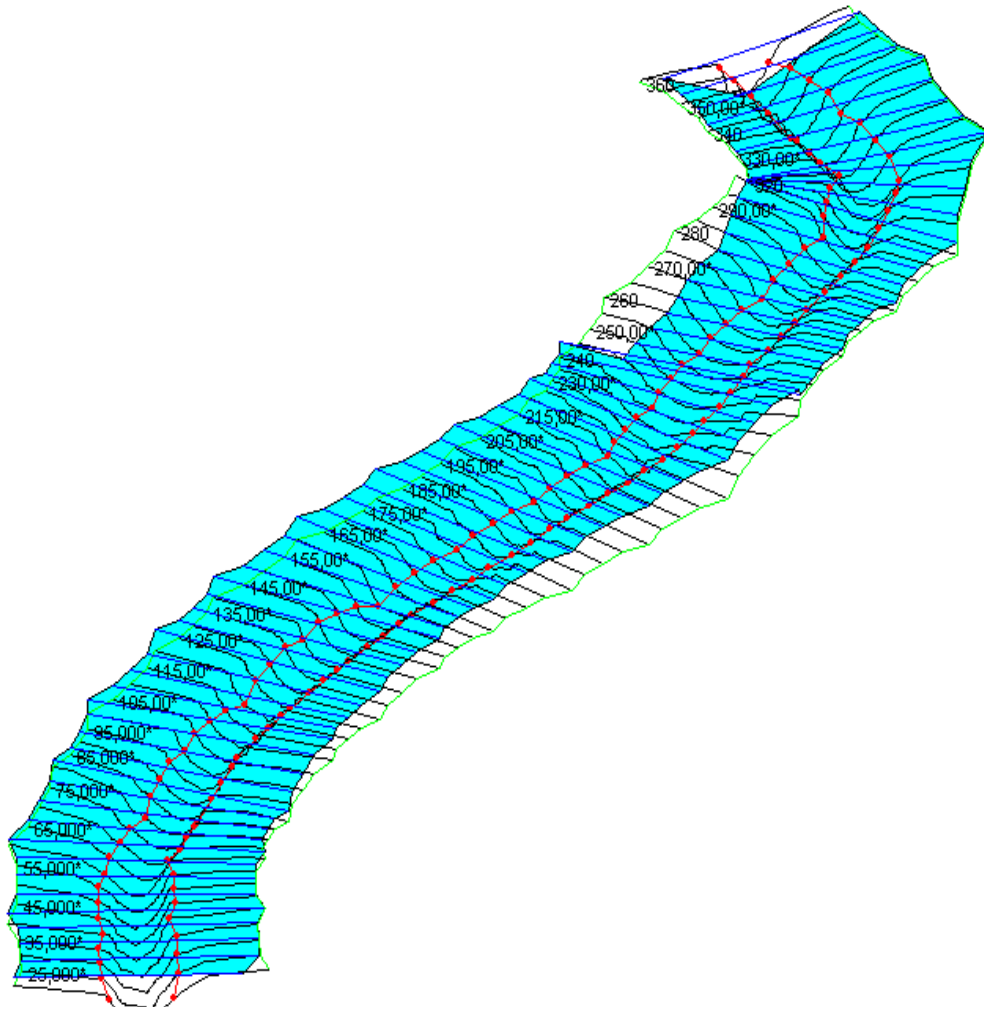


Figura 52: Vista en tercera dimensión del cauce $Tr=100$.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Para conocer el nivel de agua que se alcanza en la progresiva 175m específicamente, debido a que en ese punto se hará la elaboración del puente, se utilizó la siguiente herramienta (ver figura 55):

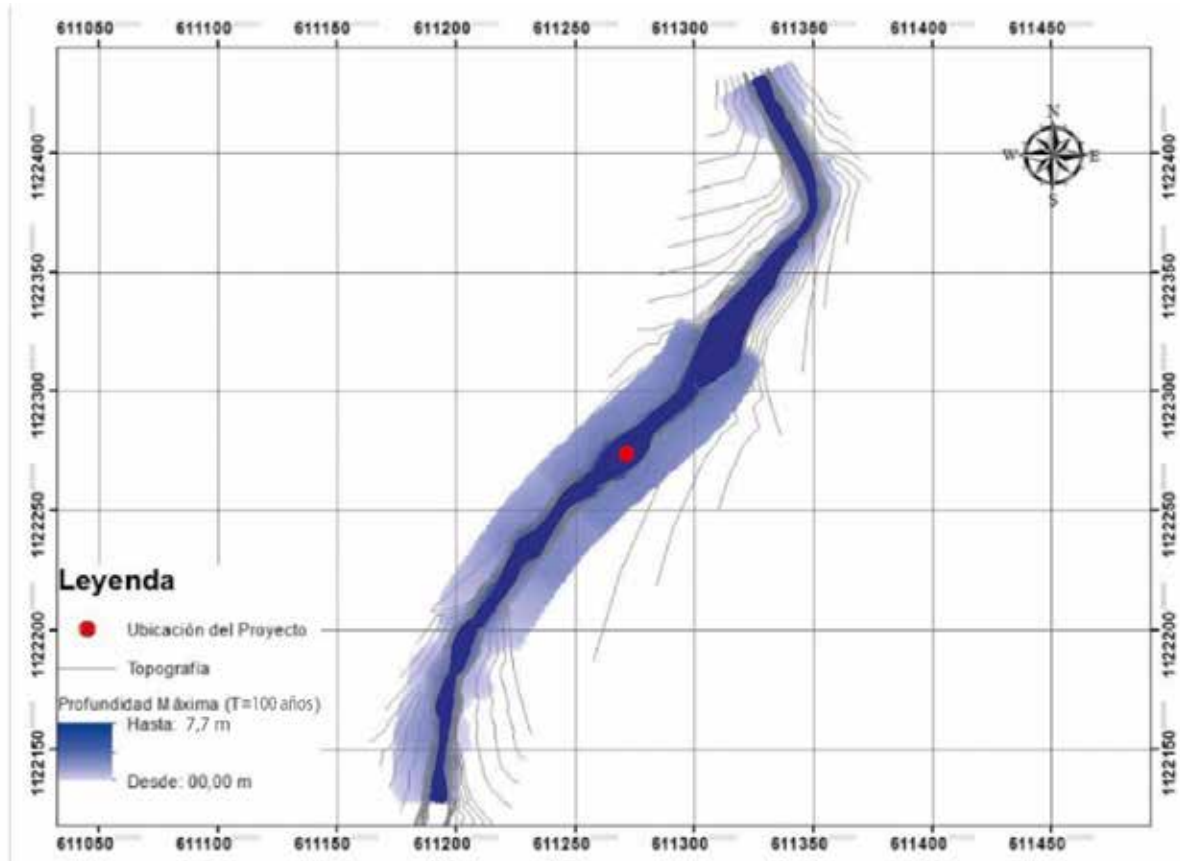


Figura 53: Mancha de inundación (Tr=100) respecto a curvas de nivel.
 Fuente: Guédez & Marvez, 2017

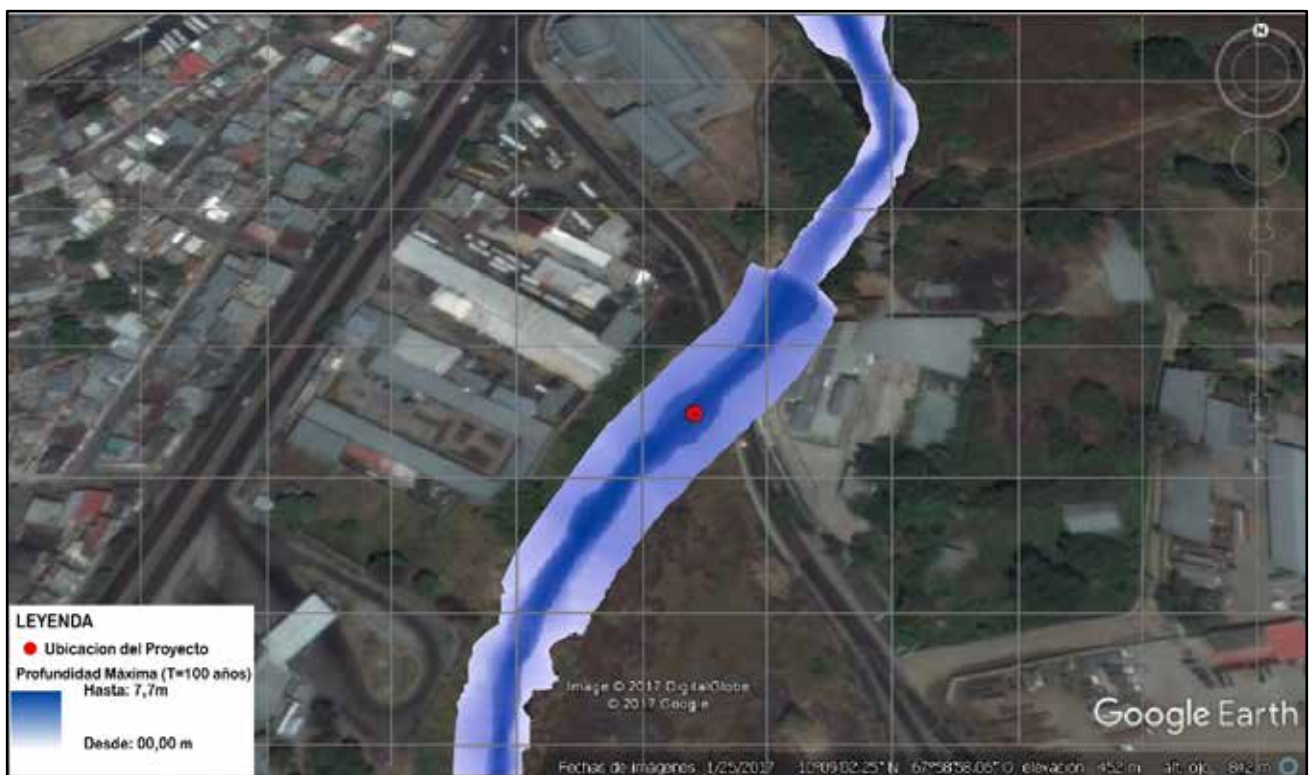


Figura 54: Mancha de inundación (Tr=100) con fondo satelital de Google Earth.
 Fuente: Guédez & Marvez, 2017

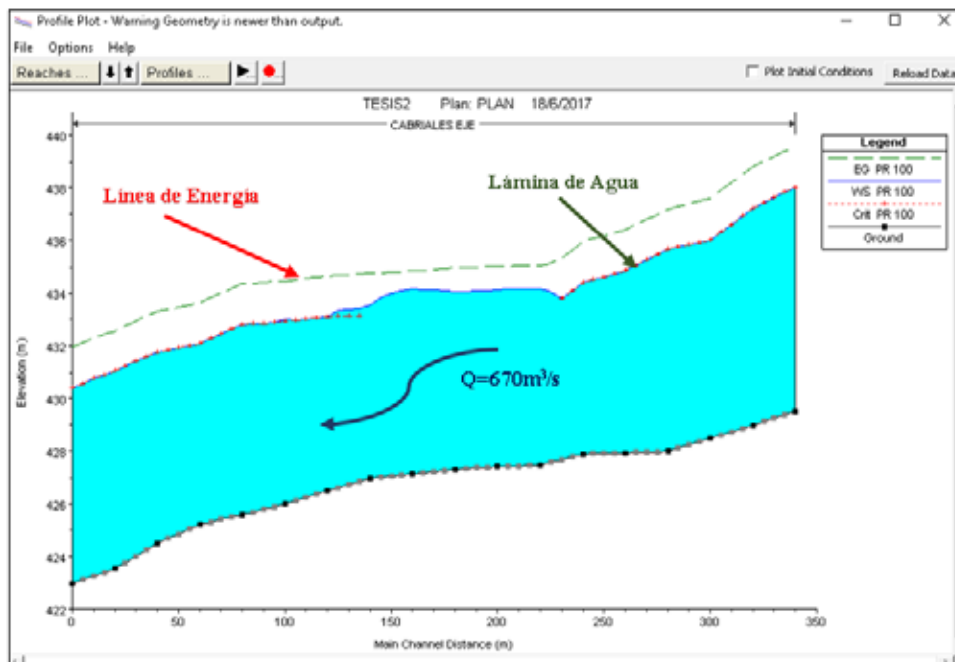


Figura 55: Perfil hidráulico (Tr=100).

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

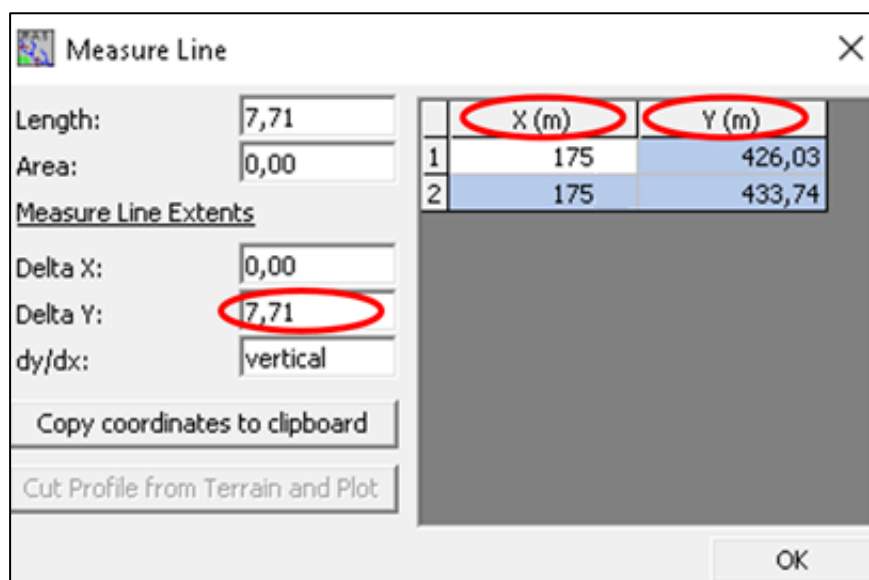


Figura 56: Ventana para medición de datos.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Donde “Delta Y” indica la diferencia de altura entre el nivel máximo (433,74 m.s.n.m) de agua y el fondo del cauce (426,03 m.s.n.m) en la progresiva 175m, el cual resultó ser de 7,71m. De aquí el nivel de flujo de agua alcanza un valor de 433,74 m.s.n.m, en este caso el flujo se desborda provocando inundaciones en sus márgenes como se mostró en imágenes anteriores con las manchas de inundación.

Para validar los resultados obtenidos de la simulación hidráulica con el programa HEC-RAS, es conveniente trabajar los valores mediante una hoja de cálculo. HEC RAS, permite exportar o copiar los resultados obtenidos de una simulación hidráulica. En la opción “Profile Summary Table”, que se encuentra en la pestaña “View” del menú

principal del programa HEC-RAS, se dispone de una tabla que contiene resultados del análisis hidráulico (el gasto, la cota de la base del canal, la elevación del agua, la velocidad, el área hidráulica, etc.). Algunos de estos valores que son necesarios para hacer el análisis de socavación, en la ubicación del puente en estudio, el cual se encuentra en la progresiva 175m, fue señalado para una mayor visualización de estos datos, a continuación se muestra la figura 56 con los datos antes mencionados:

Reach	River Sta	Profile	Vel Total (m/s)	Q Total (m ³ /s)	E.G. Elev (m)	Froude # Chl	W.S. Elev (m)	Area (m ²)
EJE	260	PR 100	4,76	670,00	435,95	0,86	434,39	140,76
EJE	255,00*	PR 100	4,82	670,00	435,64	0,88	434,09	139,04
EJE	250,00*	PR 100	4,88	670,00	435,34	0,89	433,79	137,30
EJE	245,00*	PR 100	4,25	670,00	435,15	0,74	434,03	157,64
EJE	240	PR 100	3,85	670,00	435,07	0,65	434,18	173,99
EJE	235,00*	PR 100	3,88	670,00	435,06	0,66	434,17	172,77
EJE	230,00*	PR 100	3,91	670,00	435,05	0,66	434,16	171,49
EJE	225,00*	PR 100	3,94	670,00	435,04	0,67	434,15	170,10
EJE	220	PR 100	3,98	670,00	435,03	0,68	434,13	168,45
EJE	215,00*	PR 100	3,99	670,00	435,01	0,68	434,10	167,80
EJE	210,00*	PR 100	4,01	670,00	435,00	0,69	434,07	167,13
EJE	205,00*	PR 100	4,02	670,00	434,98	0,69	434,05	166,56
EJE	200	PR 100	4,03	670,00	434,97	0,69	434,04	166,28
EJE	195,00*	PR 100	3,87	670,00	434,93	0,66	434,08	173,10
EJE	190,00*	PR 100	3,73	670,00	434,90	0,63	434,11	179,61
EJE	185,00*	PR 100	3,60	670,00	434,87	0,60	434,14	185,91
EJE	180	PR 100	3,49	670,00	434,85	0,57	434,17	192,07
EJE	175,00*	PR 100	4,11	670,00	434,84	0,61	433,74	163,11
EJE	170,00*	PR 100	3,75	670,00	434,82	0,65	433,98	178,63
EJE	165,00*	PR 100	3,95	670,00	434,79	0,70	433,83	169,53
EJE	160	PR 100	4,31	670,00	434,76	0,79	433,55	155,52
EJE	155,00*	PR 100	4,42	670,00	434,73	0,81	433,45	151,48
EJE	150,00*	PR 100	4,49	670,00	434,71	0,81	433,40	149,37
EJE	145,00*	PR 100	4,53	670,00	434,69	0,81	433,35	147,80
EJE	140	PR 100	4,85	670,00	434,65	0,87	433,11	138,22
EJE	135,00*	PR 100	4,84	670,00	434,61	0,87	433,06	138,44
EJE	130,00*	PR 100	4,82	670,00	434,57	0,87	433,03	138,93

Figura 57: Tabla de datos hidráulicos para Tr=100.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Análisis de resultados para TR=50 AÑOS:

Cumpliendo con un proceso análogo al anterior, se realizó el estudio para el tiempo de retorno de 50 años, el cual cumple con un caudal de 458,9 m³/s, dicho esto, en la figura 58 se muestra el diagrama del canal con perspectiva en tres dimensiones vista desde HEC-RAS, donde se puede apreciar el comportamiento del fluido a lo largo de

toda su longitud del cauce. A su vez en la figura 59 se puede visualizar una representación de las manchas de inundación con respecto a las curvas de nivel visto desde HEC-RAS. También en la figura 60 se puede apreciar el cauce visto desde HEC-RAS con sus respectivas manchas de inundación y su incidencia en las áreas adyacentes, utilizando como fondo una imagen satelital del sitio. Dicha mancha de inundación presento un valor de 7,05 metros de altura, produciendo un desbordamiento del fluido sobre sus terrenos aledaños.

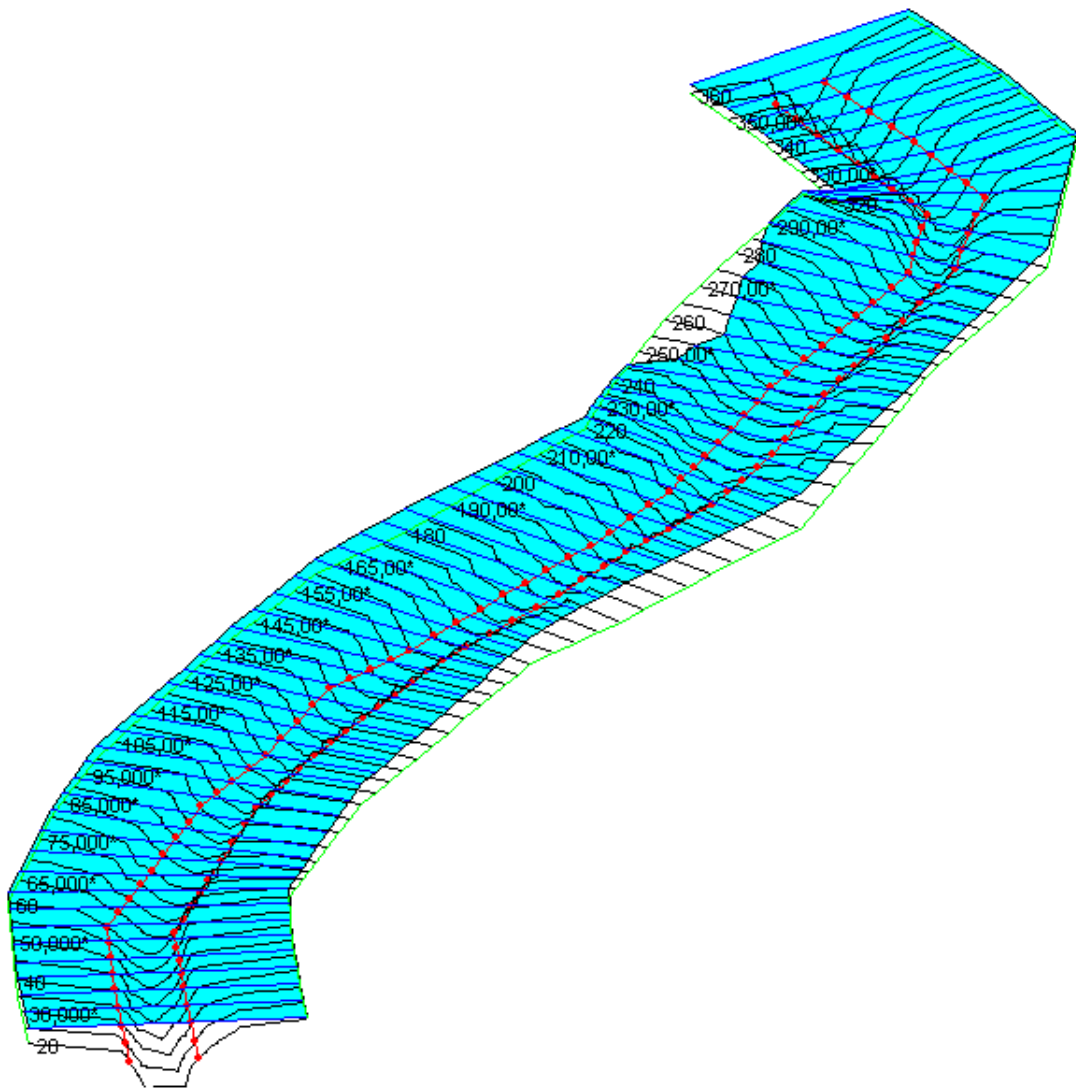


Figura 58: Vista en tercera dimensión del cauce (Tr=50).

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

En la figura 61 se muestra el perfil hidráulico, la figura incluye la lámina de agua, de izquierda a derecha, el fondo del canal y los puntos de elevación del agua que se establecieron como condiciones iniciales. El trazado en verde indica la línea de energía, la línea azul indica el nivel de agua, mientras que el color rojo indica el fondo del cauce.

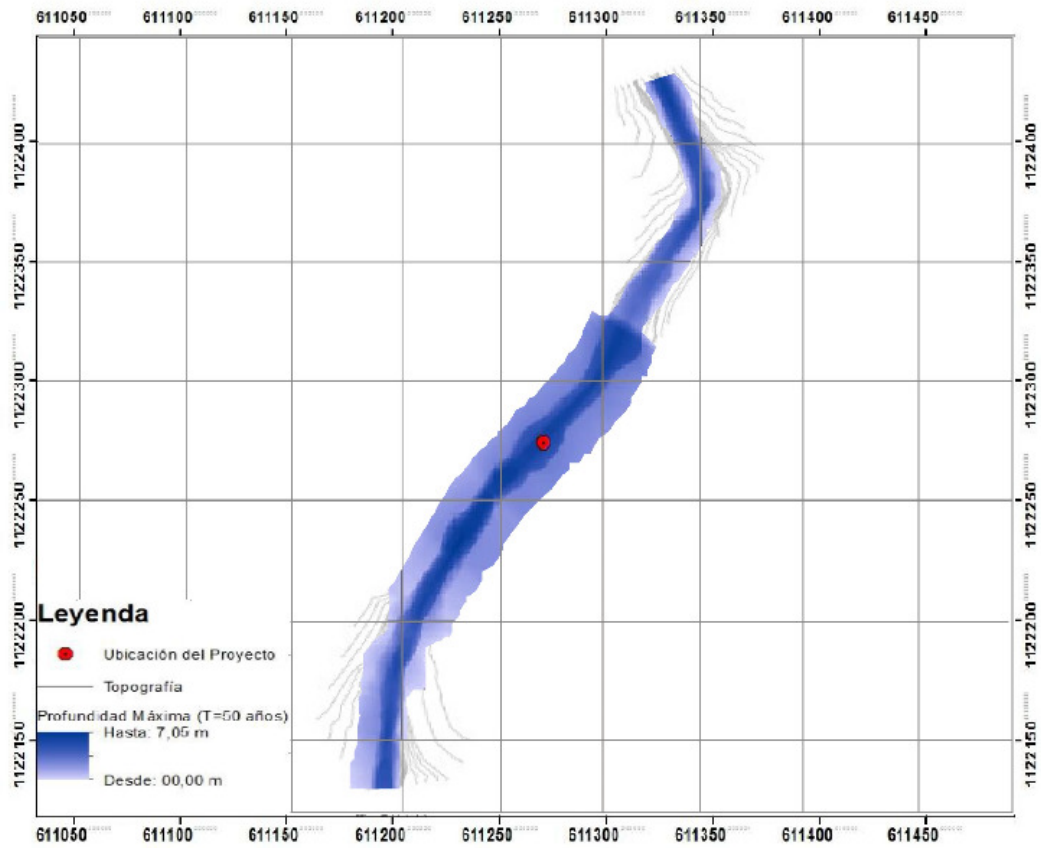


Figura 59: Mancha de inundación respecto a curvas de nivel ($T_r=50$).
Fuente: Guédez & Marvez, 2017



Figura 60: Mancha de inundación con fondo satelital de Google Earth ($T_r=50$).
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

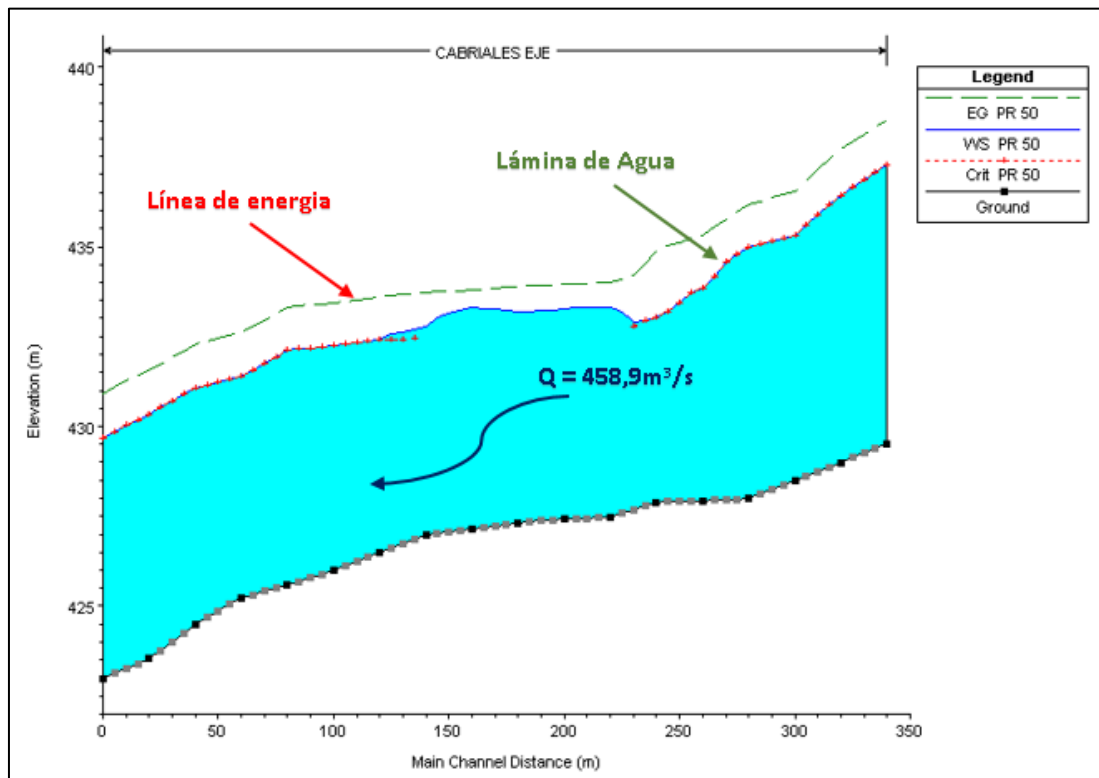


Figura 61: Perfil hidráulico (Tr=50).

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

De los siguientes resultados se obtuvo que el valor de tirante de agua para la progresiva 175m fuera de 7,01m, alcanzando un valor de cota de 432,18 m.s.n.m, en este caso ocurre desbordamiento, provocando inundaciones en sus márgenes como se mostró en figuras anteriores con las manchas de inundación

Para validar los resultados obtenidos de la simulación hidráulica con el programa HEC-RAS, es conveniente trabajar los valores mediante una hoja de cálculo, como se muestra en la figura 62.

4.2.8 Análisis comparativo del comportamiento de las crecidas transitadas:

La cuenca Sur es una hoya hidrográfica con varias quebradas bien definidas que descargan en el río Cabriales aguas arriba del proyecto. En el tramo de análisis, la corriente forma parte del último cuarto de toda la longitud de llanura de dicho río.

Debido al área de la cuenca Sur ($133,91 \text{ Km}^2$) en donde se encuentra el tramo de análisis, las lluvias de diseño de 10 años de periodo de retorno o superiores provocan una acumulación excesiva del flujo, lo cual produce desbordamiento y con esto inundaciones frecuentes. En la figura 63 se puede apreciar el perfil transversal del cauce en la progresiva 175m, para el periodo de retorno de 100 años, donde el trazado verde simboliza la línea de energía y la línea azul indica el nivel de flujo del agua; mostrando de igual forma una altura de 7,7 metros (433,74 m.s.n.m) para la progresiva en estudio. Mientras que en la figura 64 se muestra la sección transversal para la progresiva 175m,

para el periodo de retorno de 50 años, mostrando un tirante de agua de 7.05m (432,18 m.s.n.m).Dicho esto, queda en evidencia una diferencia de altura entre ambos periodos de (433,74m-432,18m) 1.56m. Por lo tanto, por norma se recomienda diseñar para el caudal correspondiente al PR=50 años.

Profile Output Table - Standard Table 1						
File Options Std. Tables Locations Help						
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Flow Area	Froude # Chl	Vel Total
			(m3/s)	(m2)		(m/s)
EJE	245,00*	PR 50	458,90	123,27	0,71	3,72
EJE	240	PR 50	458,90	139,69	0,60	3,29
EJE	235,00*	PR 50	458,90	138,46	0,61	3,31
EJE	230,00*	PR 50	458,90	137,16	0,62	3,35
EJE	225,00*	PR 50	458,90	135,74	0,63	3,38
EJE	220	PR 50	458,90	134,12	0,64	3,42
EJE	215,00*	PR 50	458,90	133,49	0,64	3,44
EJE	210,00*	PR 50	458,90	132,83	0,65	3,45
EJE	205,00*	PR 50	458,90	132,24	0,65	3,47
EJE	200	PR 50	458,90	131,85	0,65	3,48
EJE	195,00*	PR 50	458,90	138,68	0,61	3,31
EJE	190,00*	PR 50	458,90	145,12	0,58	3,16
EJE	185,00*	PR 50	458,90	151,34	0,55	3,03
EJE	180	PR 50	458,90	157,38	0,52	2,92
EJE	175,00*	PR 50	458,90	151,71	0,55	3,02
EJE	170,00*	PR 50	458,90	145,17	0,59	3,16
EJE	165,00*	PR 50	458,90	136,97	0,64	3,35
EJE	160	PR 50	458,90	124,11	0,74	3,70
EJE	155,00*	PR 50	458,90	120,55	0,75	3,81
EJE	150,00*	PR 50	458,90	118,62	0,75	3,87

Figura 62: Tabla de datos hidráulicos (Tr=50).

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

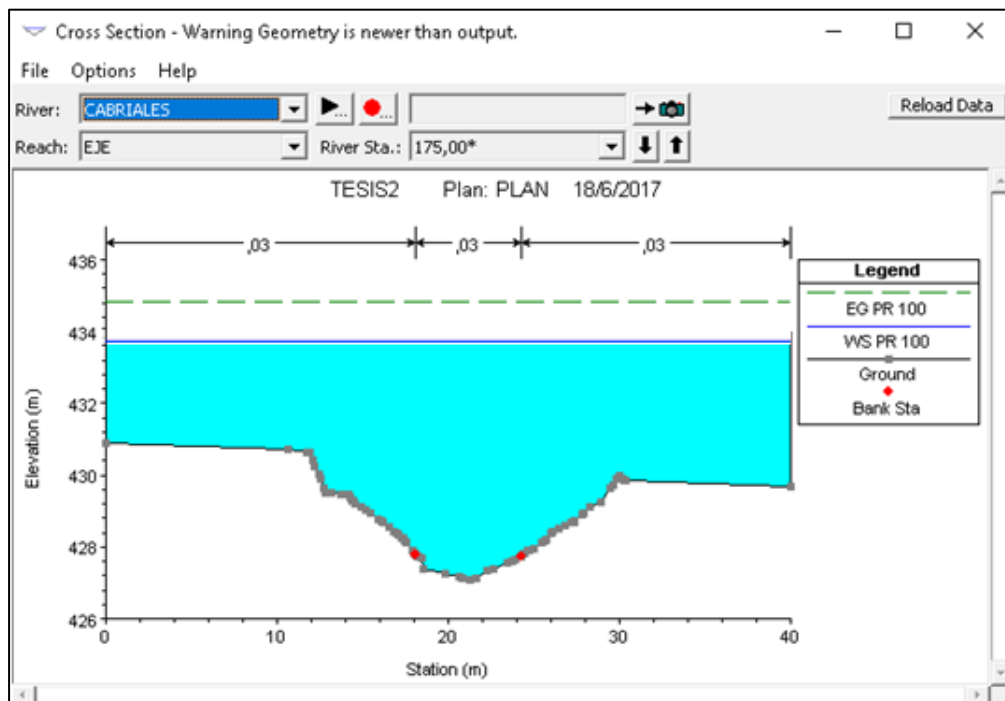


Figura 63: Sección transversal de la progresiva 0+175 (Tr=100).

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

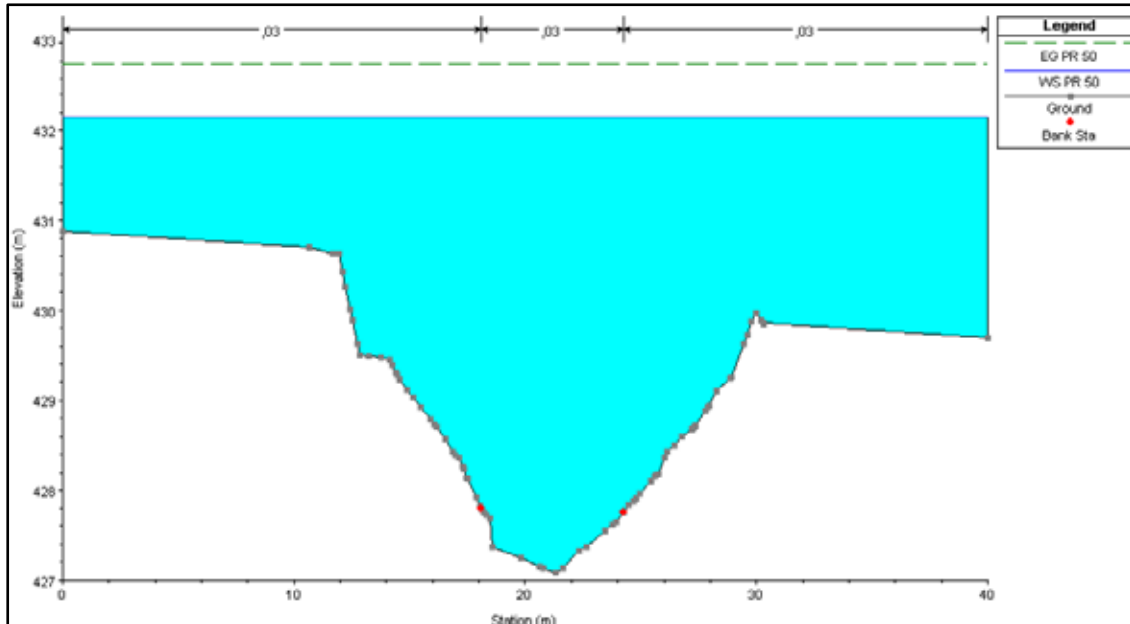


Figura 64: Sección transversal de la progresiva 0+175 (Tr=50).

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

4.3 Evaluar una posible propuesta de canalización del cauce, protegiendo las áreas adyacentes al punto de implantación del puente, para minimizar problemas derivados en caso de ocurrencia de crecidas.

Debido a la sobreelevación del fluido generada por el gasto que transita a través del cauce, produciendo desbordamiento del mismo sobre zonas adyacentes al río, trayendo consigo manchas de inundación, es necesario realizar una propuesta sencilla de canalización, para de esta forma mitigar algún tipo de desastre o problema.

4.3.1 Propuesta de canalización:

Como se mencionó anteriormente se procederá a hacer los cálculos correspondientes al periodo de retorno seleccionado (50 años) en el diseño del canal. En el siguiente punto se establecerá como sistema de canalización el uso de muro de gaviones, el cual tenga una longitud de 70 metros de largo, donde se repartirá 35 metros aguas arriba del puente y 35 metros aguas abajo del mismo, esto con la finalidad de reducir cualquier futuro problema en sus sectores aledaños, como crecidas o efectos de socavación en su sección y estribos.

Para realizar el diseño se requiere conocer el área de la sección, la cual tiene un valor de $151,71\text{m}^2$, partiendo de la siguiente figura 65 como referencia para sus dimensiones.

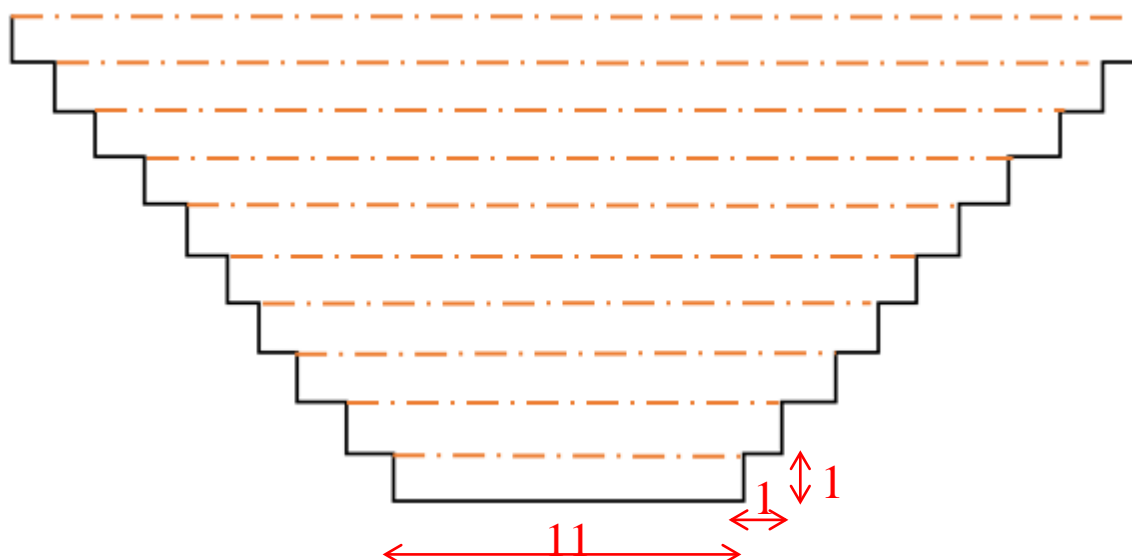


Figura 65: Sección transversal de la canalización.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Teniendo como dato de la topografía del terreno, que el valor de cota para la base de fondo es de 423 m.s.n.m y dicha base es de 11 metros ancho. Se procedió a calcular el área de la figura 66 donde cumpla con un valor mayor o igual al área de la sección ($151,71 \text{ m}^2$), donde en cada rectángulo marcado por las líneas punteadas de color naranja, se tiene un incremento de 2 metros de largo por un metro de alto, dicho esto haciendo los cálculos respectivos se llegó a obtener un canal de muros de gaviones de la forma antes mostrada con un área igual a 171m^2 . Procedimiento:

Para el primer rectángulo se tiene un área de 11 metros de largo por 1 metro de alto (11m^2), para el segundo rectángulo se tiene 13 metros de largo por 1 metro de alto (13 m^2), haciendo procedimientos similares para los demás rectángulos, se obtiene que el ultimo posee un área de 27 m^2 .

Dicho esto es importante resaltar que se debe calcular la pendiente media del cauce, para introducir datos en el programa HEC-RAS, donde se utilizó la fórmula de Taylor Schwartz.

4.3.2 Procedimiento para hallar la pendiente media del cauce a través del método de Taylor Schwartz:

Este método es de gran ayuda para determinar la pendiente media del cauce cuando el perfil longitudinal es irregular. Dicho método consiste en separar el perfil longitudinal en varios tramos, los cuales tengan un valor pendiente parecido, luego se procede a hallar las pendientes por tramo mediante el programa de HEC-RAS y se aplica el método de Taylor Schwartz, entre más tramos se tomen para la ejecución de este método, su resultado será más preciso. En esta investigación se consideró tomar o

fraccionar el perfil longitudinal en siete tramos, este perfil fue obtenido a través del programa HEC-RAS, a su vez los tramos en que se separó este perfil están señalados en la figura 66, la misma muestra la pendiente del tramo 1 (S_1), la cual arrojó un valor de 0,02720, esta se encuentra hallada en la figura 67 mediante el programa HEC-RAS con la nomenclatura de “dy/dx”, dicho esto se hizo un proceso análogo para los demás tramos, cuyos valores están expuestos en la tabla 3. Cabe destacar que a su vez se hallaron las diferentes longitudes de los distintos tramos antes mencionados, la longitud del tramo_{A-B} fue hallada mediante el programa HEC-RAS (ver figura 67), la cual está indicada como “Length” en inglés o en español como “Longitud”, la misma arrojó un valor de 19,85m, se hizo un proceso equivalente para los otros 6 tramos, los cuales se encuentran en la tabla 3, todo esto con el fin de ser utilizado más adelante para el proceso de canalización en HEC-RAS.

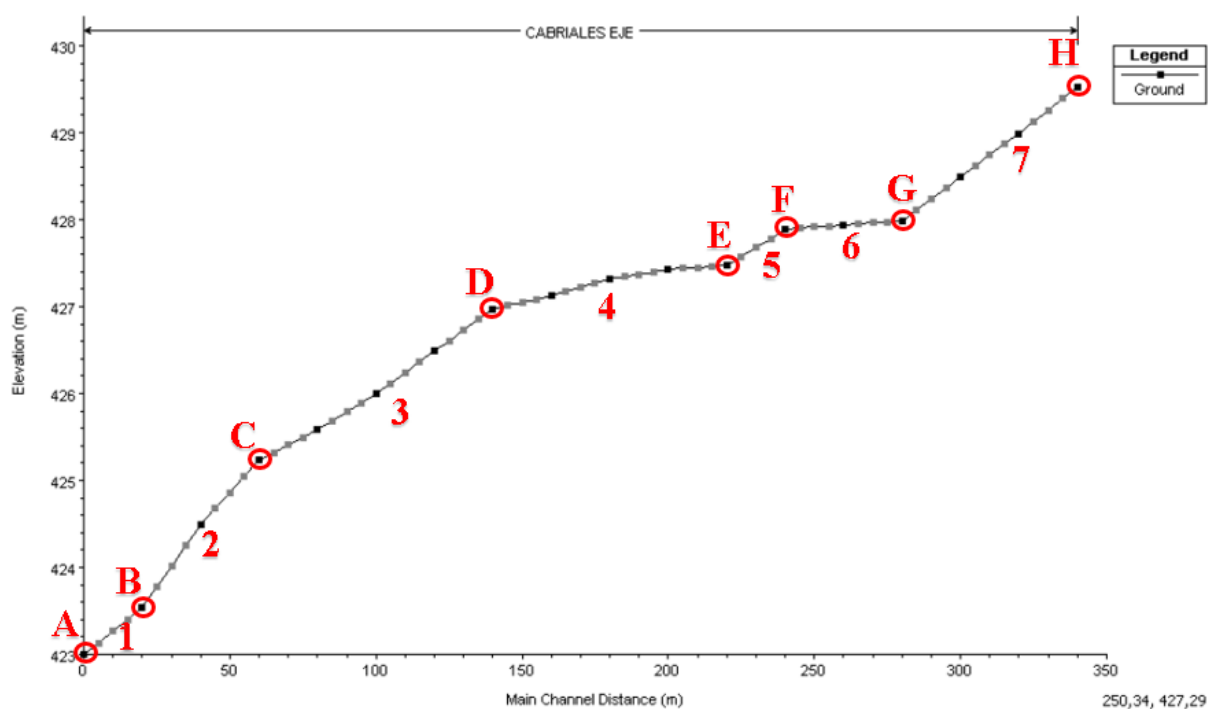


Figura 66: Identificación de tramos y puntos en el perfil longitudinal.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Una vez halladas todas las pendientes de todos los tramos mediante el programa HEC-RAS, se procede a hacer uso de la formula antes mencionada.

Formula de Taylor Schwartz:

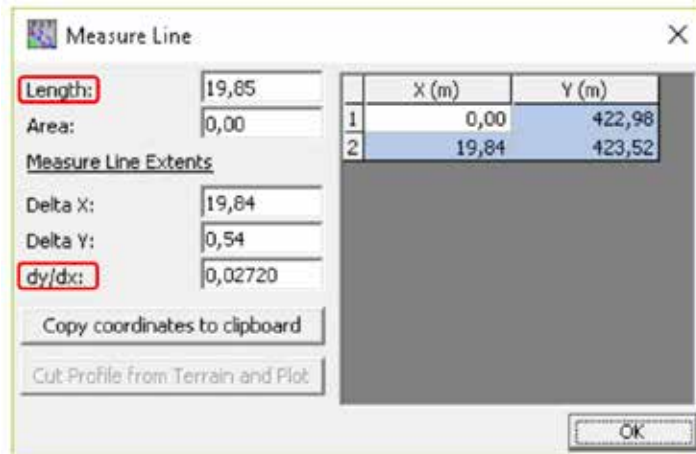


Figura 67: Herramientas para medición de longitud y pendiente

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

S_1	0.02720
S_2	0,04191
S_3	0,02148
S_4	0,00656
S_5	0,0211
S_6	0,00277
S_7	0,02514

Tabla 3: Pendientes por tramos.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Tramo _{A-B}	19,85m
Tramo _{B-C}	39,89m
Tramo _{C-D}	80,01m
Tramo _{D-E}	79,42m
Tramo _{E-F}	20,22m
Tramo _{F-G}	40,43m
Tramo _{G-H}	80,18m

Tabla 4: Distancias por tramo.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Donde:

S_{media} : Pendiente media del cauce.

n: número de tramos

Si: Pendientes por tramos.

Sustituyendo los valores de pendientes expresados en la anterior formula y los demás datos se obtuvo que el valor de pendiente media (S_{media}), el cual fue de 0,012620878.

4.3.3 Introducción de datos para la canalización mediante el programa HEC-RAS:

Para elaborar una canalización mediante HEC-RAS, se debe seguir una serie de pasos:

- Crear un nuevo proyecto.
- Ingresar datos geométricos.
- Ingresar datos de flujo y condiciones de frontera.
- Ejecutar cálculos hidráulicos.
- Ver y analizar resultados.

Creación de un nuevo proyecto:

El primer paso para modelar un sistema hidráulico, es crear un nuevo proyecto; primero se establece el directorio en que se desee trabajar. Para iniciar un nuevo proyecto, se debe ir al menú "File" en la ventana principal del HEC-RAS y seleccionar "New Project"; al hacerlo, aparece una ventana como la que se muestra en la figura 68, donde se especifica la unidad y la ruta para trabajar, además de asignarle un título al proyecto y nombre al archivo, cabe destacar que los demás pasos, serán respaldados en esta misma sección.

Establecimiento de datos geométricos en HEC-RAS:

Los datos geométricos que definen el ejemplo a resolver son: el esquema del canal y secciones transversales. Para ingresar los datos geométricos, se selecciona la opción de "Geometric Data", del menú "Edit" de la ventana principal del programa HEC-RAS, con ello aparece una ventana (ver figura 69), en la cual, se dibuja el esquema del canal, presionando la opción de "River Reach" de la ventana "Geometric Data", el cursor se convierte en un lápiz inmediatamente, con el cual se dibujan los diferentes tramos que

comprenden el canal desde aguas arriba hacia aguas abajo, dicho esto, aparece una ventana en la que el usuario debe ingresar el nombre del río y del tramo.

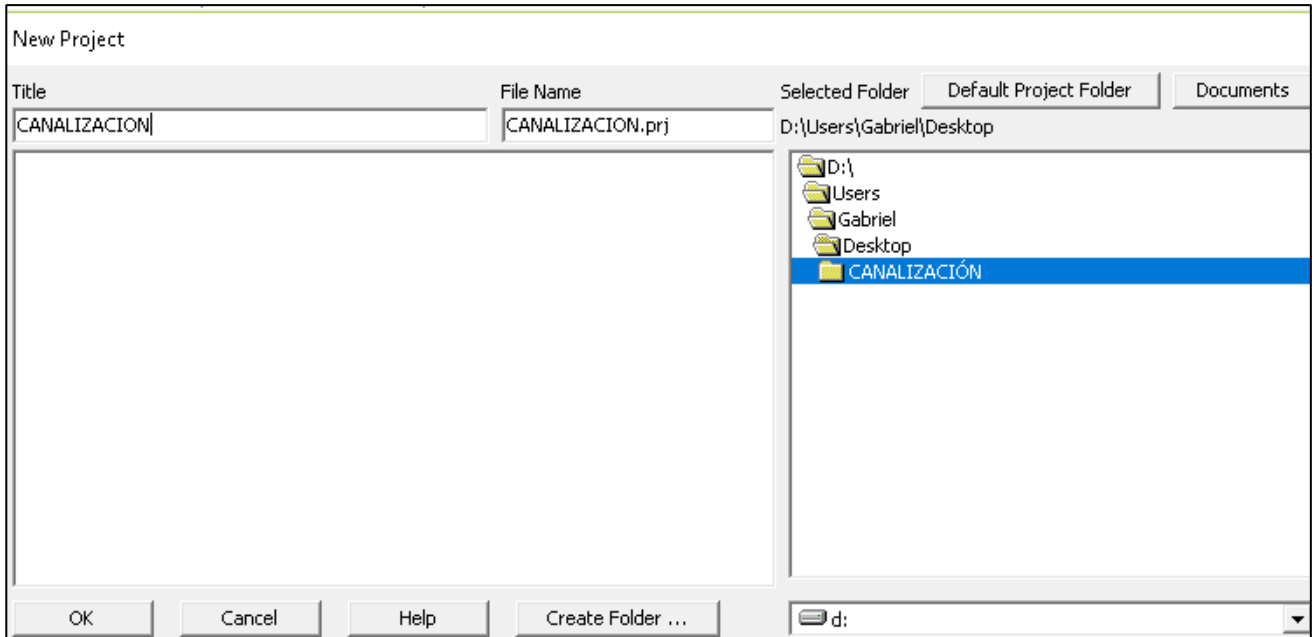


Figura 68: Creación de proyecto de canalización.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

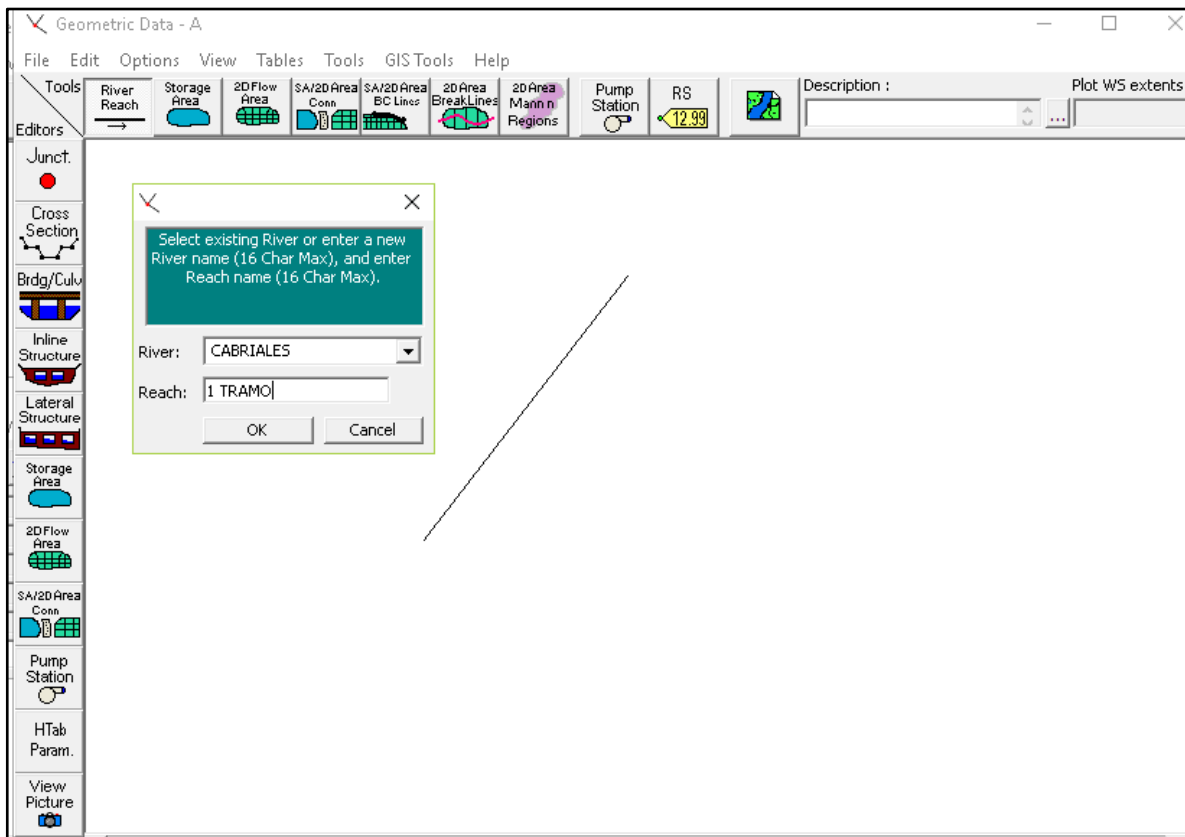


Figura 69: Elaboración del eje del río.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Las secciones transversales que definen la geometría del canal se ingresan presionando la opción de “Cross Section” de la ventana “Geometric Data” con lo que se activa el editor de secciones transversales (ver figura 70), acá no solo se define la geometría de la sección, también se definen las propiedades y coeficientes, tal como el coeficiente de Manning, donde para la presente propuesta tendrá un valor de 0,015, correspondiente al coeficiente para muros de gaviones.

Como se mencionó anteriormente el canal que se modela es de sección uniforme, donde las dimensiones del canal fueron definidas arriba, su sección transversal se ingresa ubicando los puntos que la definen, como si se tratara de un plano cartesiano, suponiendo que el centro de la base del cauce corresponde a las coordenadas (0,0); al tratarse de un canal prismático, dicha sección, servirá para definir todo el canal, por lo que es conveniente asignarle un valor de progresiva 135m como referencia a la opción de “River Station”, que se entiende como progresiva 135m, viéndolo desde aguas abajo hacia aguas arriba, y de esta forma la sección quedara al inicio del canal. En la opción de “Description” se coloca el número de la progresiva donde se encuentra dicha sección, en la pestaña de “DownStream Reach Lengths”, se debe colocar la distancia que existe entre dicha sección y su sección próxima aguas abajo, la cual sería 0, a lo largo de toda su sección, en la opción de “Manning’s Values” se ingresa el coeficiente de Manning, mencionado anteriormente y por último en la pestaña de “Main Channel Bank Stations” se colocan las dos coordenadas en X tanto del lado izquierdo como del derecho, por donde el agua desbordaría en caso de un gasto mayor.

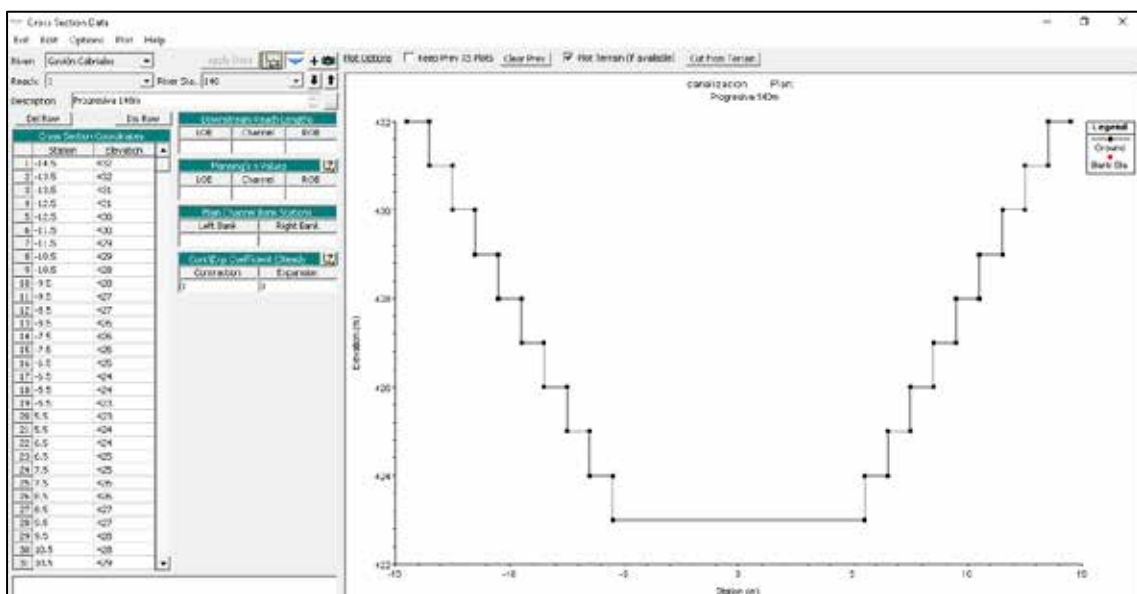


Figura 70: Sección transversal del canal.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

De los datos disponibles de los tramos calculados, es posible definir las longitudes de los tramos en los que se presenta cada uno, delimitando cada uno de ellos con secciones transversales, al tratarse un canal con secciones transversales idénticas en cuanto a sus dimensiones es posible copiar la sección definida inicialmente con la opción de “Copy Current Cross Section” (ver figura 71) del menú “Options”, en el editor de las secciones transversales y definir la distancia a la que se encuentra en relación de la anterior (aguas abajo) en la opción de “River Sta”, en este caso ese valor es de 70m, además de ajustar la elevación por medio de la pendiente entre sección y sección, a través de la selección de “Adjust Elevations”, de la pestaña “Options” en la barra del menú (ver figura 72). Para determinar el valor que se introduce en esa casilla se hace multiplicando la pendiente del tramo con la distancia entre ambos puntos, los cuales tienen un valor de 0,012620878. para la pendiente y de 70 metros para la distancia, resultando un valor de 0,88m

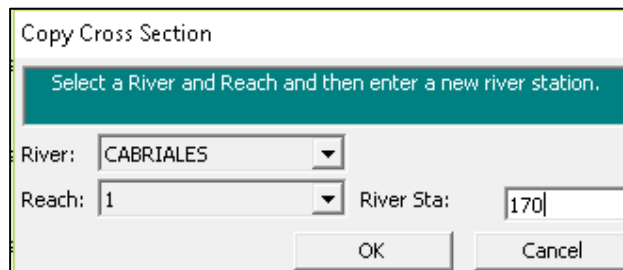


Figura 71: Ventana para copiar sección.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

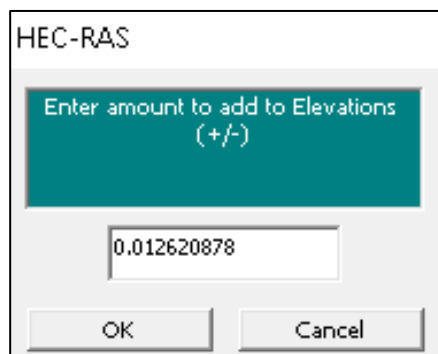


Figura 72: Diferencia de alturas.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Ingresar datos de flujo y condiciones de frontera:

En esta sección, se define el gasto para el que se realizara la simulación hidráulica, las condiciones iniciales y las condiciones de frontera. Para iniciar se selecciona la opción de “Steady Flow Data” del menú “Edit” que se encuentra en la ventana principal del programa HEC-RAS, en ella se especifica el número de perfiles a

calcular, en esta investigación será suficiente un solo tipo de perfil, el cual corresponde a un periodo de retorno de 50 años, donde pertenece un caudal de 458,9 m³/s.

Para definir las condiciones de frontera se oprime el botón de “Reach Boundary Conditions”, y aparece la ventana donde se dispone a seleccionar “Critical Depth”, o tirante crítico en español, como se realizó en el proceso anterior.

Presionando el botón “OK”, quedan por completo definidos los datos hidráulicos y condiciones de frontera, solo restaría guardar la información con “Save Flow Data As” que se encuentra en la pestaña “File” en el menú de “Steady Flow Data”, asignándole un nombre al archivo y una ruta para ser guardado

Ejecución de cálculos hidráulicos con HEC-RAS:

Una vez definidos tanto los datos geométricos como los hidráulicos, ya es posible realizar la simulación, esta se realiza desde la ventana “Steady Flow Analysis”, que se encuentra en la pestaña “Run” del menú principal. Para realizar la simulación, es necesario establecer un plan que incorpore tanto los datos geométricos como los hidráulicos.

Para crear un plan es necesario seleccionar “New Plan” que se encuentra en el desplegado de “file” de la ventana “Steady Flow Analysis”, es necesario asignarle un nombre y un identificador al nuevo plan, así como seleccionar tanto los archivos de datos geométricos e hidráulicos previamente elaborados, además de elegir el régimen de flujo que se espera encontrar (Subcrítico, supercrítico o mixto); en el ejemplo estudiado se escoge subcrítico, por último es conveniente guardar el plan en “Save Plan AS”, del menú File de la ventana “Steady Flow Analysis”.

Por último, se selecciona la opción “compute” de esta última ventana, donde empezará a computar todos los cálculos pertinentes para los datos ingresados.

Análisis de resultados con HEC-RAS:

El programa HEC-RAS ofrece una alta variedad de formas en las que se pueden analizar los resultados, entre ellos: lámina de agua, dibujo en perspectiva espacial, secciones transversales, tabla de resultados, etc. Las cuales son accesibles desde el menú “View” de la ventana principal de “HEC-RAS”.

En la figura 73 se muestra el perfil hidráulico, la figura incluye la lámina del agua, de izquierda a derecha, el fondo del canal y los puntos de la elevación del agua que se establecieron como condiciones iniciales.

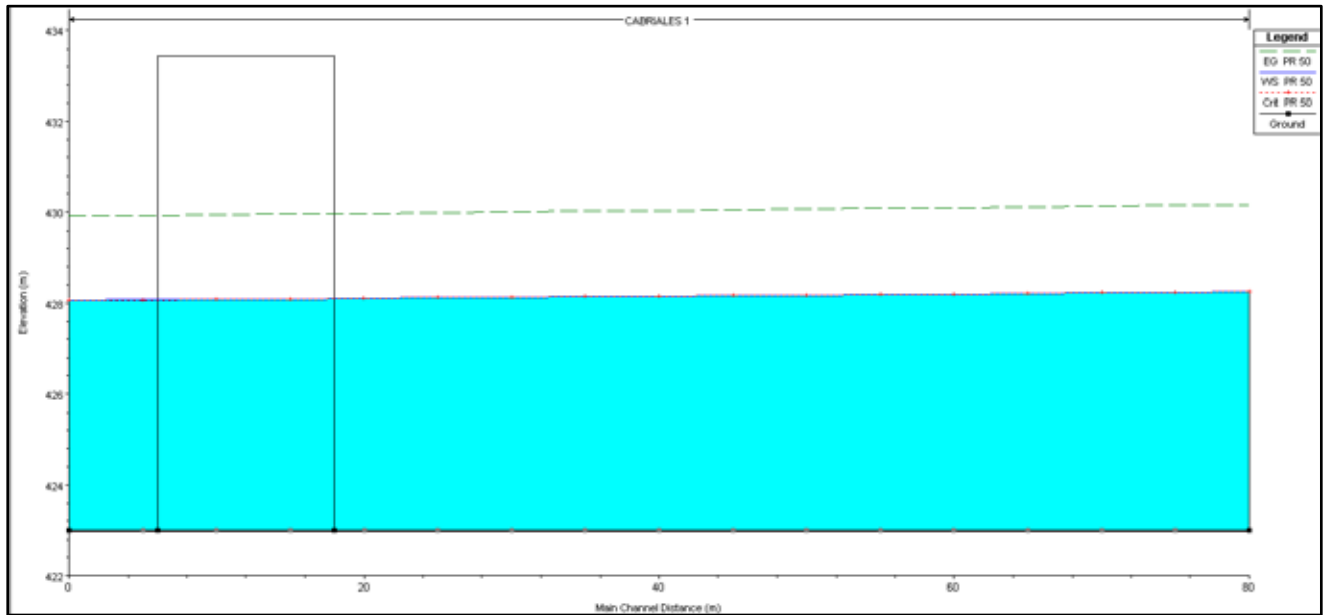


Figura 73: Perfil hidráulico del canal.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

En la figura 74 se muestra la sección transversal del canal en la progresiva 175m, donde la línea verde indica la línea de energía, la roja caracteriza al espejo de agua, y los puntos rojos son los puntos donde principalmente ocurriría el desborde.

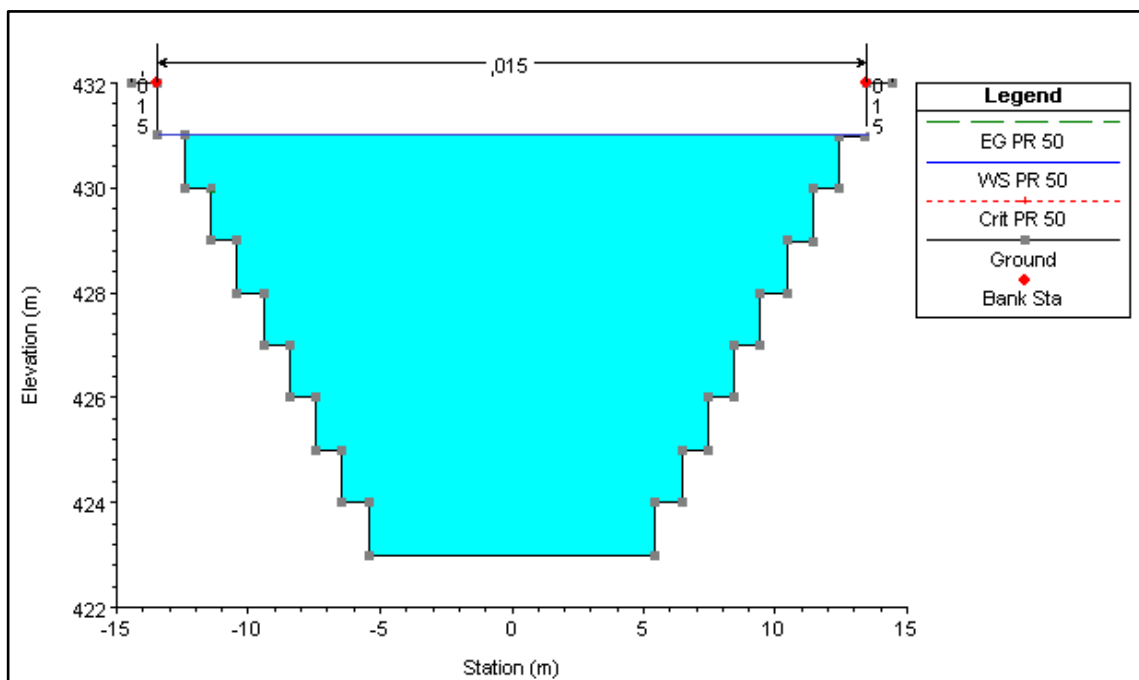


Figura 74: Sección transversal del canal con fluido.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

En la figura 75 se presenta la vista en perspectiva espacial, desde el programa HEC-RAS.

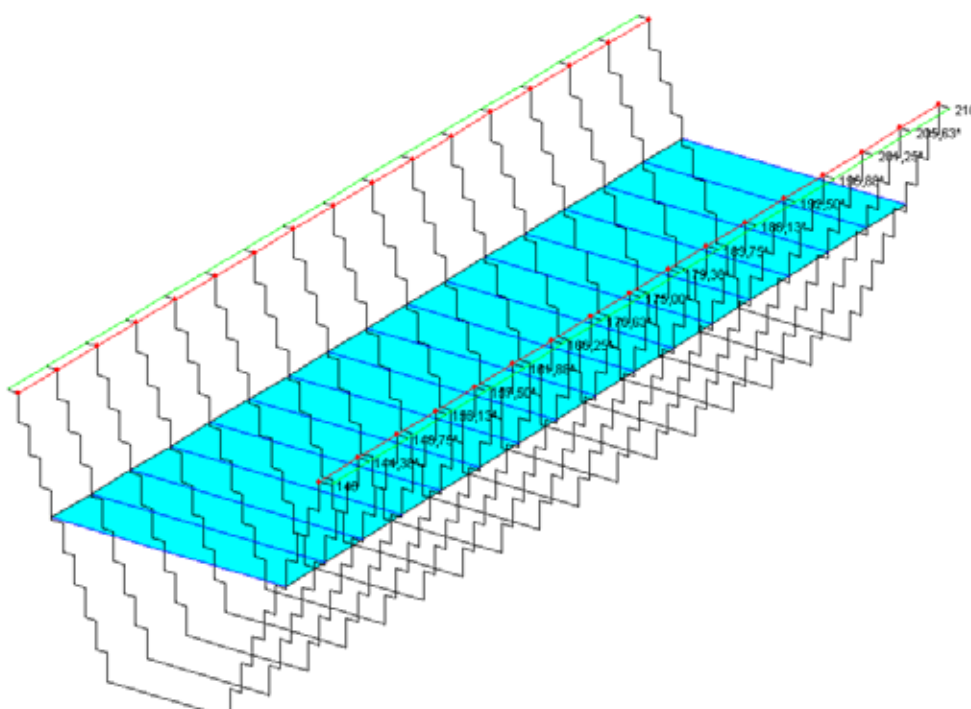


Figura 75: Vista tridimensional de la canalización.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

De estos resultados arrojados por el programa HEC-RAS de la presente propuesta de canalización, se determinó que hay una diferencia entre la cota de desbordamiento del canal y el espejo de agua es de 1 metro, por lo tanto, se puede tomar esta distancia como un factor de seguridad en caso de la presencia de algún fenómeno natural inesperado o algún tipo de construcción a futuro que altere el funcionamiento natural del cauce en el tramo en estudio. Dicho esto, se llegó a la conclusión de hacer una propuesta de ensanchamiento del canal de dicho cauce, el cual cumpla con las dimensiones antes mencionadas.

4.4 Efectuar los análisis y cálculos de socavación general y local en puntos sensibles del puente, tales como, estribos mediante distintos procesos y formulaciones para garantizar la seguridad y estabilidad del mismo.

4.4.1 Socavación General

Se utilizó el Método de Lischvan-Levediev, el cual sirve para la determinación de la erosión general. Este método se basa en encontrar el equilibrio entre la velocidad media de la corriente y la velocidad media del flujo que se requiere para erosionar un material de diámetro y densidad conocidos. Se puede emplear en casos en que el material del subsuelo es homogéneo o heterogéneo o incluso cuando está conformado

por estratos. A continuación se va utilizar el método de Lischvan-Levediev para el cálculo de la socavación general para el puente ubicado en la Av. Paseo Valencia tramo Av. Alameda Central – Kayson – Av. Sesquicentenario, Municipio San José, Estado Carabobo, Venezuela, mediante los siguientes pasos:

- 1) Se obtuvo el caudal máximo de diseño ($Q=670\text{m}^3/\text{s}$) para un periodo de retorno de 100 años, de la data previamente recolectada.
- 2) Ancho efectivo de la sección del cruce ($Be=24\text{m}$).
- 3) Coeficiente de contracción () que se encuentra en la figura 12 (ver capítulo 2), según la longitud libre del puente, en el caso de estudio es entre estribos ($L=24\text{m}$) y la velocidad media de la sección en estudio del cauce obtenida mediante la ecuación de continuidad ($V=4,12\text{m/s}$), considerando los valores expuestos da un coeficiente de contracción $=0,96$.
- 4) Tirante medio de la sección (Hm), se obtuvo dividiendo el área hidráulica de la sección transversal ($A=163,1$) entre el ancho efectivo, resultando:

—

- 5) Cálculo del coeficiente de sección dependiente de las características , mediante la ecuación:

—————

Valores de β	
T_r (años)	β
1	0.77
2	0.82
5	0.86
10	0.90
20	0.94
50	0.97
100	1.00
500	1.05
1000	1.07

Figura 76: Tabla para el cálculo del coeficiente .
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Valores de k		Valores de k	
Suelos cohesivos		Suelos no cohesivos	
γ_s (t/m ³)	k	dm (mm)	k
0.80	0.66	0.05	0.70
0.83	0.66	0.15	0.70
0.86	0.67	0.50	0.71
0.88	0.67	1.00	0.71
0.90	0.67	1.50	0.72
0.93	0.68	2.50	0.72
0.96	0.68	4.00	0.73
0.98	0.69	6.00	0.74
1.00	0.69	8.00	0.74
1.04	0.70	10.00	0.75
1.08	0.70	15.00	0.75
1.12	0.71	20.00	0.76
1.16	0.71	25.00	0.76
1.20	0.72	40.00	0.77
1.24	0.72	60.00	0.78
1.28	0.73	90.00	0.78
1.34	0.74	140	0.79
1.40	0.74	190	0.79
1.46	0.75	250	0.80
1.52	0.75	310	0.81
1.58	0.76	370	0.81
1.64	0.76	450	0.83
1.71	0.77	570	0.83
1.80	0.78	750	0.83
1.89	0.78	1000	0.84
2.00	0.79		

Figura 77: Tabla para la obtención del coeficiente K.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Para proceder con los cálculos de la socavación general se deberá utilizar la ecuación para suelos cohesivos (ver capítulo 2) dado las características presentadas por el estudio geotécnico, y en base a una serie de profundidades las cuales están medida desde la superficie del agua (H_0), y para obtener una altura de socavación con respecto al lecho del río se deben restar ambas profundidades. En base a los valores obtenidos anteriormente se sustituyen en la siguiente ecuación:

.Se estimó un valor de socavación (H_s) para una serie de profundidades (H_o) correspondientes a distintas progresivas o longitudes horizontales respecto de la sección transversal bajo el puente, como se presentan en la tabla 6.

Profundidad de Socavación - Suelos Cohesivos			
Datos		Cálculos	
Prog	H_o	H_s	D
3	6,31	10,990176	4,680176
6	7,14	12,889541	5,7495415
9	7,64	14,065566	6,4255658
12	6,64	11,737175	5,0971755
15	5,64	9,5086053	3,8686053

Tabla 5: Profundidad de socavación.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

El estudio indica la existencia de la erosión del cauce para el caudal de $670 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Tr=100$ años). En base a los valores estimados del descenso (D) del lecho del cauce se presenta un perfil socavado de la sección transversal bajo el puente como se puede observar en la figura 78.

Como ha podido notarse, la teoría expuesta requiere para su aplicación de datos que son relativamente sencillos de obtener, tales como, el gasto Q de diseño escogido para un periodo de retorno previamente seleccionado, el perfil de la sección transversal bajo el puente y características del material de fondo (s o D_m).

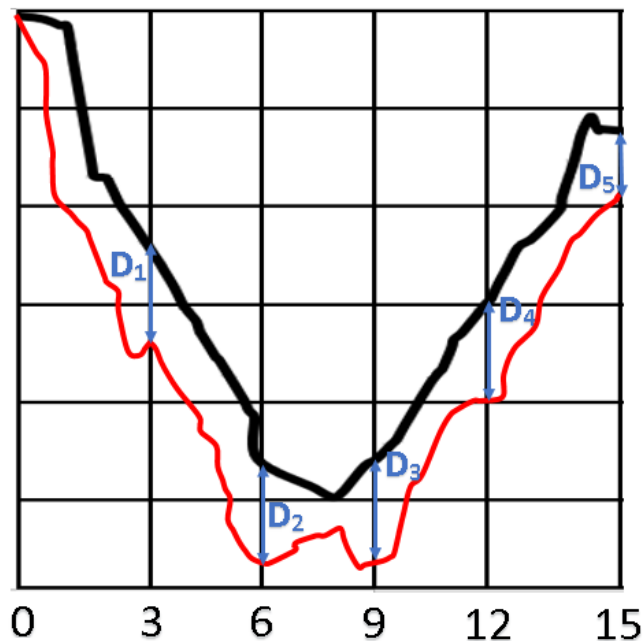


Figura 78: Perfil socavado de la sección transversal bajo el puente.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

4.4.2 Socavación Local

El método que será expuesto se debe a K. F. Artamonov y permite estimar no solo la profundidad de socavación al pie de estribos, sino además al pie de espigones. Esta erosión depende del gasto que teóricamente es interceptado por el estribo, relacionando con el gasto total que escurre por el río, del talud que tienen los lados del estribo y del ángulo que el eje longitudinal de la obra forma con la corriente (ver figura 79).

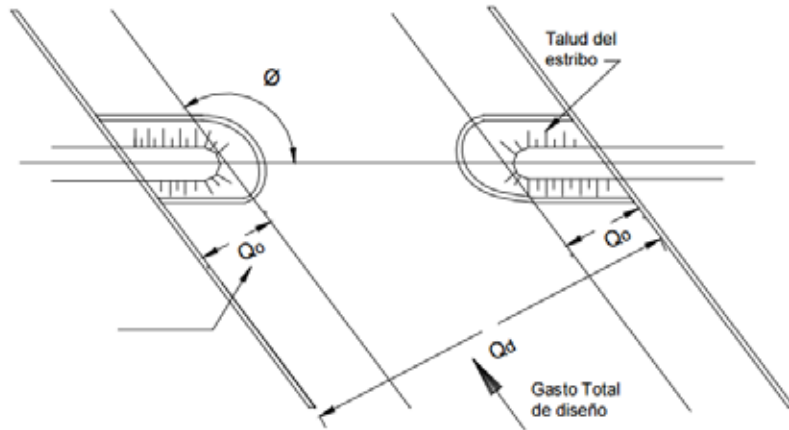


Figura 79: Gasto interceptado por los estribos.

Fuente: Coronado, 2011

El tirante incrementado al pie de un estribo medido desde la superficie libre de la corriente, está dada por:

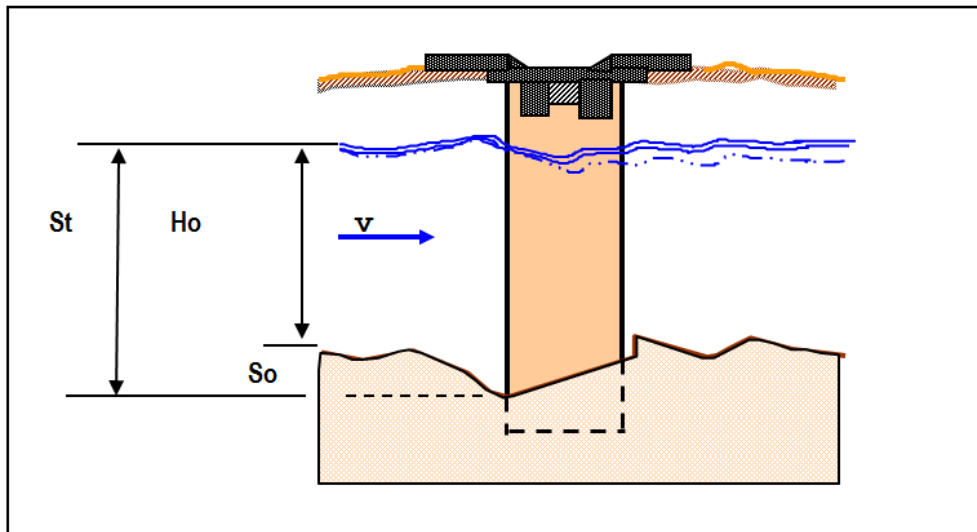


Figura 80: Perfil de socavación del estribo.

Fuente: Coronado, 2011

VALORES DEL COEFICIENTE CORRECTIVO P_a EN FUNCION DE a					
a	30°	60°	90°	120°	150°
P_a	0.84	0.94	1.00	1.07	1.19

Tabla 6: Coeficiente correctivo P_a .

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

VALORES DEL COEFICIENTE CORRECTIVO P_q EN FUNCION DE Q_1/Q								
Q_1/Q	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
P_q	2.00	2.65	3.22	3.45	3.67	3.87	4.06	4.20

Tabla 7: Coeficiente correctivo P_q .

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

VALORES DEL COEFICIENTE CORRECTIVO P_R EN FUNCION DE R						
TALUD R	0	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
P_R	1.00	0.91	0.85	0.83	0.61	0.50

Tabla 8: Coeficiente correctivo P_r .

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Calculo de la socavación local al pie del estribo.

- P_a , coeficiente que depende del ángulo a que forma el eje del puente con la corriente, como se indica en la figura 79; su valor se puede encontrar en la tabla 6, en el caso de estudio el cauce tiene un ángulo con respecto al eje del puente de 123° y mediante interpolación se estimó el valor P_a de:

- P_q , coeficiente que depende de la relación Q_1/Q , en que Q_1 es el gasto que teóricamente pasaría por el lugar ocupado por el estribo si éste no existiera y Q , es el gasto total que escurre por el río. El valor de P_q puede encontrarse en la tabla 8, en base a un caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años de 670m³/s la obstrucción del estribo retiene un Q_1 de 40m³/s, con los datos respectivos se consiguió:

Con el valor de 0,06 se interpolo con la tabla 7 para estimar el valor P_q de:

- P_r , coeficiente que depende del talud que tienen los lados del estribo, su valor puede obtenerse en la tabla 8, dicho talud se estimó mediante el predimensionado propuesto del mismo, en los datos estructurales el cual es presenta una relación 1:0,03 el valor P_r se estimó mediante una interpolación:

- H_o , tirante que se tiene en la zona cercana al estribo antes de la erosión (ver figura 80) el mismo fue obtenido por el dimensionamiento del lecho en HEC-RAS, siendo este 5,25m
- St , es el valor de profundidad resultante desde la superficie de agua hasta el lecho socavado el mismo se estimó mediante los coeficientes correctivos estimados anteriormente y la profundidad del lecho frente al estribo resultando:
- So , valor final que descende producto de la socavación local en el estribo del puente, este viene dado por la diferencia entre el tirante incrementado al pie de un estribo y la profundidad previa a la socavación, resultando:

4.5 Proponer un análisis hidráulico de factores que afectan al puente, para el estudio de la vialidad a nivel constructivo, considerando primordialmente los factores de seguridad y estabilidad.

Para realizar un análisis hidráulico del puente se realizó una serie de métodos en los cuales se hizo uso del programa HEC-RAS, así como también métodos de socavación local y general, donde se determinó que existe un desbordamiento del fluido para el periodo de retorno estudiado, con su respectivo caudal, por lo cual se realizó la propuesta de aumentar la sección del cauce, convirtiéndola de la forma antes estudiada, de esta forma se logra controlar inundaciones en tiempos futuros, las cuales traigan repercusiones tanto al puente como a las zonas aledañas. A su vez los cálculos de socavación generan un impacto en los estribos y en puntos generales debajo del puente. Dicho esto, se hará uso del software HEC-RAS para analizar el comportamiento del cauce con respecto al puente.

4.5.1 Introducir un puente a HEC-RAS:

Para introducir un puente, en la ventana “Geometric Data”, se selecciona el icono de “Brdg./Culv.”, el cual pide el número que indica la posición de la sección

donde se encuentra el puente. En este estudio la realización del puente es sobre la progresiva 0+175m. Hecho esto se abrirá una ventana con las dos secciones transversales más inmediatas, las cuales serían 0+180m y 0+170m.

Los elementos que conforman el puente en estudio son: el tablero (Deck/Roadway), las pilas (Pier) y los estribos (Sloping Abutment).

El puente que se desea introducir contiene tanto estribos como tablero, las dimensiones del tablero de 1,45 metros de espesor se pueden reflejar en la figura 81 y la de los estribos simétricos se evidencian en la figura 82, así como también se tiene la dimensión de la base del estribo en la figura 83.

Las características del tablero se introducen en la ventana “Bridge Culvert Data”, icono “Deck/Roadway”. Se debe introducir:

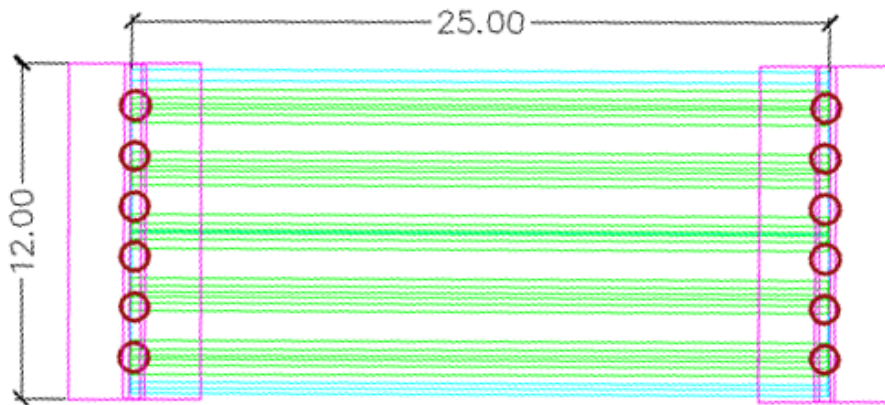


Figura 81: Dimensionamiento del tablero.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

- Distance: Distancia desde la cara de aguas arriba del puente hasta la próxima sección aguas arriba del puente. Es importante que este valor no sea cero y que la suma del ancho del tablero y esta distancia sea mayor que la distancia entre las dos secciones mencionadas anteriormente.
- Width: Ancho del tablero.
- Weir coef: coeficiente de vertedero que se usara para el cálculo de flujo por encima del puente (Se usa 1,44 por defecto).
- High Chord y Low Chord: Cotas superiores e inferiores del tablero a diferentes abscisas (Station).
- U.S Embankment: inclinación del talud de aguas arriba de la carretera en relación de Largo/Alto.
- D.S Embankment: Inclinación del talud aguas debajo de la carretera.

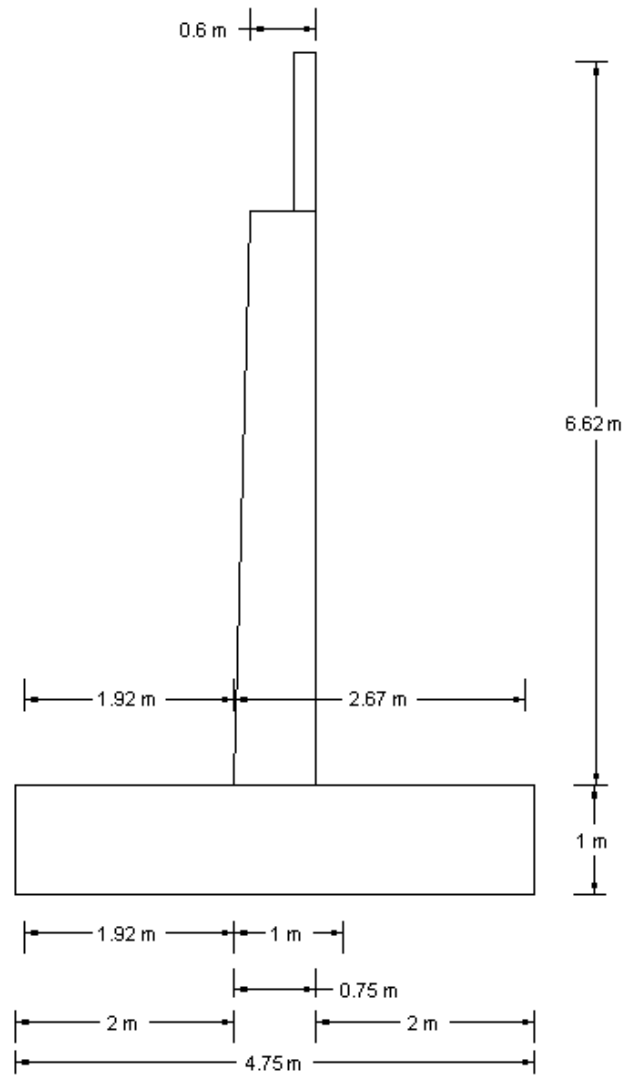


Figura 82: Dimensiones del estribo.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

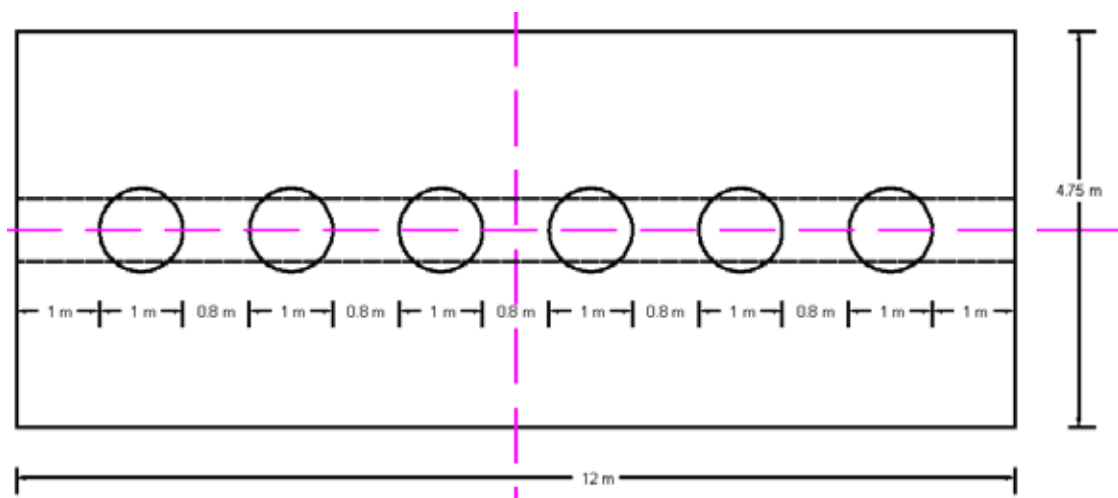


Figura 83: Dimensionamiento de zapata.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

Dicho esto, cabe destacar que las características de los estribos se introducen en la venta “Bridge Culvert Data”, luego el icono “Sloping Abutment”. Donde se introduce:

- Abutment #: Número de estribos.
- Station (abscisa) y Elevation (cota): Coordenadas del estribo.

En la figura 84 se muestra una sección del estribo con sus respectivas elevaciones y partes.

Una vez realizados todos los procedimientos pertinentes para la introducción de un puente en HEC-RAS, se puede analizar sus gráficos y resultados, así como se hizo para la obtención de una vista tridimensional del cauce ya canalizado y con el puente incorporado, a través de la figura 85.

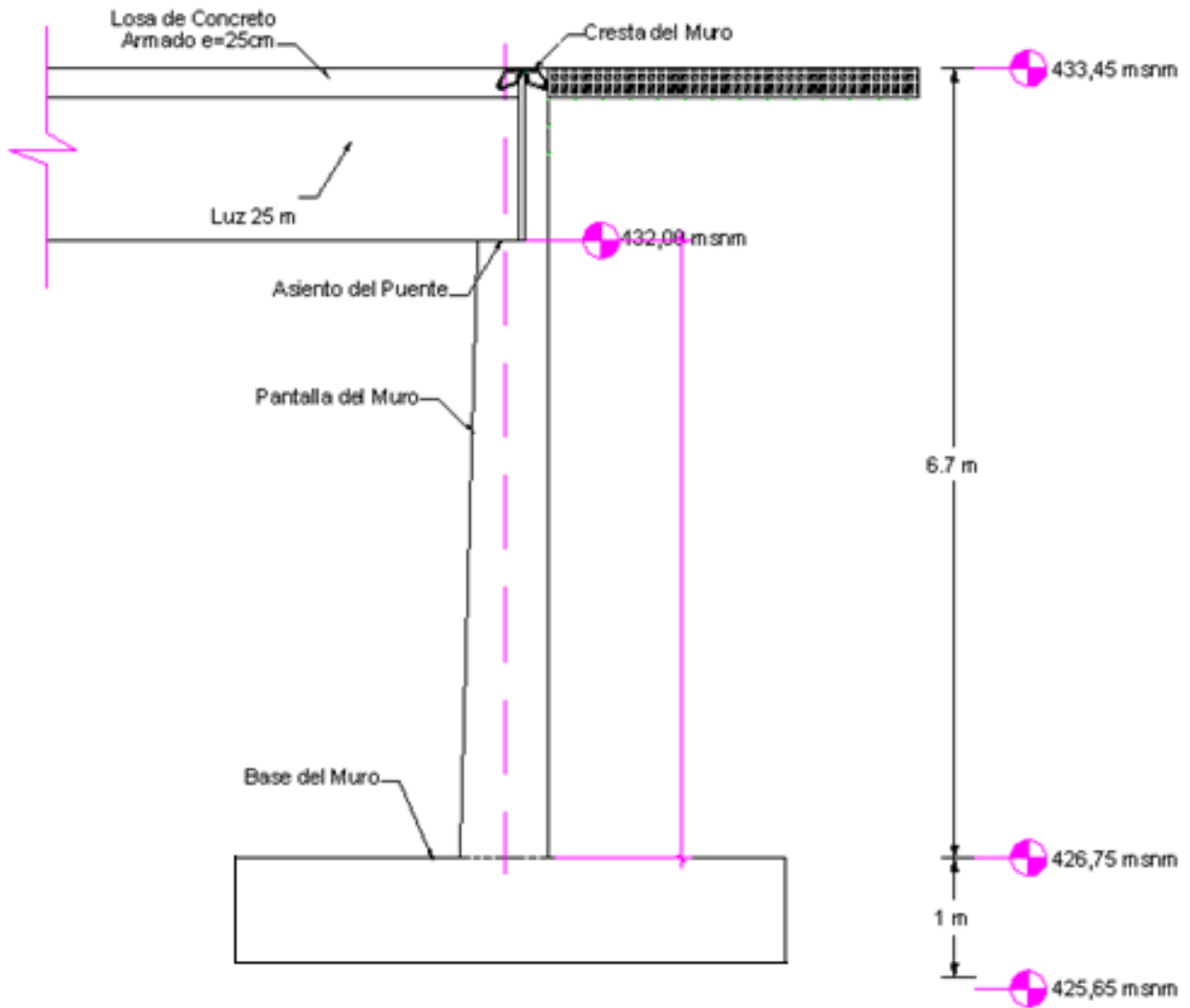


Figura 84: Cotas a distintos niveles del estribo.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

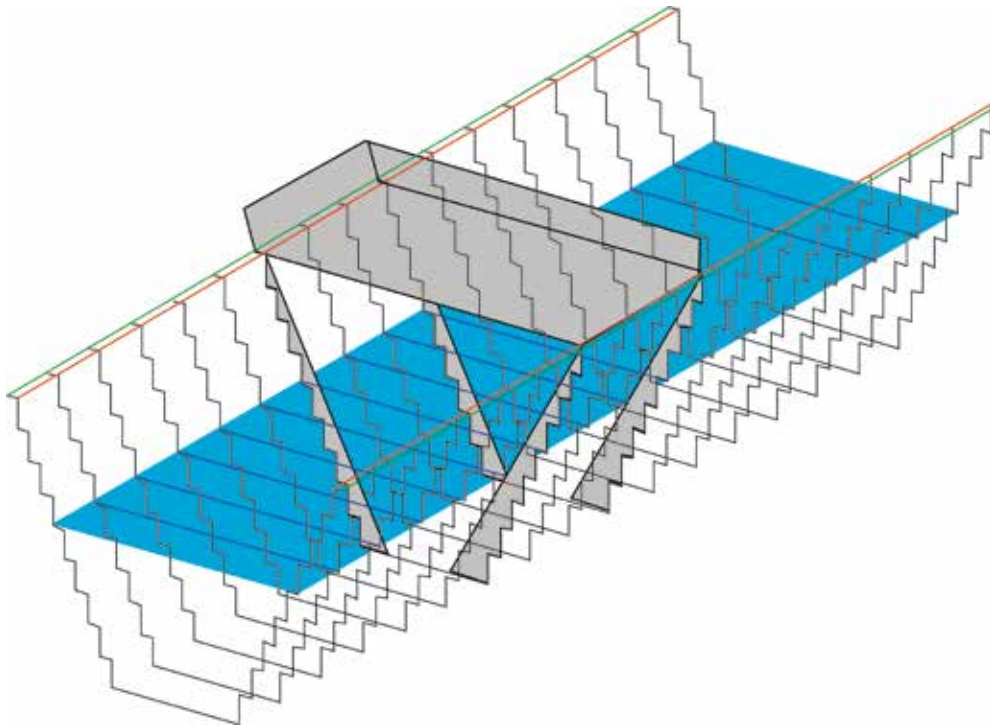


Figura 85: Perspectiva tridimensional del canal con puente.

Fuente: Guédez & Marvez, 2017

4.5.2 Altura mínima del tablero de la estructura del puente:

- **Sección natural del cauce en la progresiva 0+175m:**

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, provoca una inundación cuya cota alcanza 432,18 m.s.n.m. el puente deberá tener una altura, cuya estructura no interfiera con el flujo que transita el caudal de diseño y así preservar la integridad de la misma. En este sentido, la altura recomendada es de 432,7 m.s.n.m.

En la figura 86 se puede apreciar la sección transversal del cauce natural con el puente incorporado visto desde HEC-RAS.

- **Sección canalizada del cauce en la progresiva 0+175m:**

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, evidencia un espejo de cuya cota alcanza 430,63 m.s.n.m. El puente deberá tener una altura, cuya estructura no interfiera con el flujo que transita el caudal de diseño y así preservar la integridad de la misma. En este sentido, la altura debe ser mayor a dicho valor.

En la figura 87 se puede apreciar la sección transversal del cauce natural con el puente incorporado visto desde HEC-RAS.

Vista general del puente con tablero y estribos incorporados (ver figura 88):

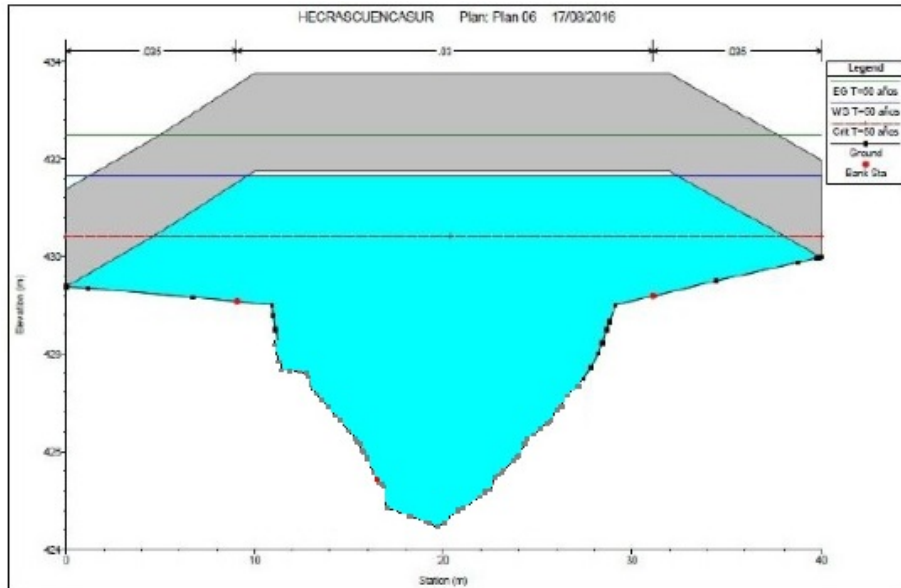


Figura 86: Sección transversal del cauce natural con el puente.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

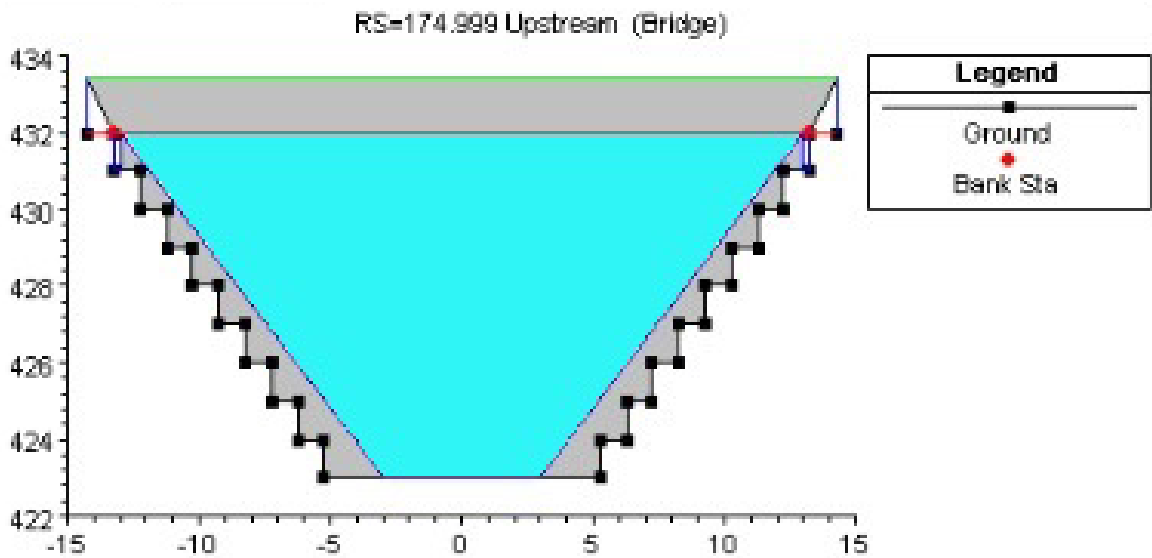


Figura 87: Sección transversal del cauce canalizado con el puente.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

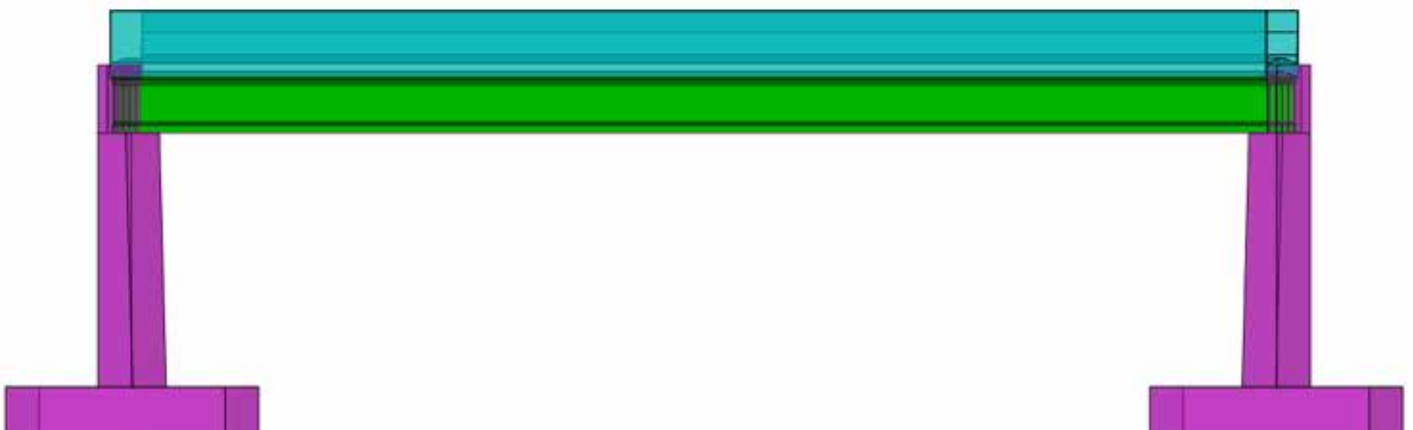


Figura 88: Vista lateral del puente.
Fuente: Guédez & Marvez, 2017

CONCLUSIÓN

Los puentes suelen ser afectados por distintos factores, los cuales perjudican el funcionamiento del mismo, como puede ser la erosión, transporte y deposición de sedimentos. Donde la socavación es un aspecto bastante importante que se debe tomar en cuenta al momento de un estudio tanto hidráulico como hidrológico del cauce para el puente en estudio, la cual no es más que la erosión natural del fondo del cauce, el cual se produce por el incremento del caudal, ya sea por crecidas naturales o por la obstrucción de su corriente nativa, como lo puede ser un puente.

Un correcto análisis hidráulico, requiere primeramente de la recolección de toda la data pertinente para realizar el estudio, en este trabajo de grado se hizo uso de información topográfica, geotécnica, hidráulica y estructural, la cual toda esta sirvió para realizar el presente trabajo investigativo titulado “Estudio de socavación y análisis de crecidas en puente ubicado en el tramo av. Alameda Central – av. Sesquicentenario, municipio Valencia Edo. Carabobo”.

Las precipitaciones máximas ocurridas en la zona del proyecto para los periodos de retorno evaluados y duración estudiada son consideradas de alta intensidad. En este caso y debido a la conformación orográfica del cauce, los gastos máximos estimados representan una peligrosidad media para el proyecto, debido a que provocan desbordamiento. Donde el estudio hidráulico tuvo como objetivo principal obtener un modelo que represente el comportamiento natural del cauce bajo distintas formulaciones y haciendo uso del software HEC-RAS, dichos análisis determinaron el desbordamiento del fluido hacia sus zonas aledañas, creando manchas de inundación en distintos sectores.

Una vez hecho esto se hizo el análisis para la propuesta de canalización, la cual tiene factor de seguridad en caso de la presencia de fenómenos naturales inesperados o algún tipo de construcción a futuro, alterando así el funcionamiento natural del cauce en el tramo en estudio. Dicho esto, se llegó a una solución, la cual es una propuesta del ensanchamiento del canal de dicho cauce, el cual cumpla con las dimensiones ya calculadas.

A su vez se realizó el cálculo de la profundidad de socavación, las cuales suelen ser respetadas por los ingenieros calculistas, ya que es un factor primordial a tener en cuenta a la hora de la toma de decisiones sobre la profundidad a la que se decida colocar las fundaciones del puente, previendo así posibles futuros asentamientos y tomar medidas con obras preventivas para la protección de estribos o pilas en caso de ser estas necesarias por las condiciones del cauce que se estudió. Entre los factores primordiales para estimar la profundidad de socavación en cualquier tipo de cauce natural esta, el tipo de material del lecho que conforma dicho cauce y su exposición a las fuerzas erosivas de la corriente. Los cálculos realizados en análisis de socavación mostraron un comportamiento de inestabilidad y hundimiento del terreno, tanto para la sección transversal bajo el puente como para sus respectivos estribos. Es de gran importancia tomar dichos resultados en consideración para evitar futuros daños estructurales en el puente.

RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda realizar un análisis hidráulico e hidrológico bajo distintos métodos, y con el apoyo de softwares de cálculos hidráulicos, pues estos permiten utilizar una mayor data con la cual trabajar y estimar más detalladamente los efectos del cauce, y a su vez establecer comparativas con los métodos tradicionales de cálculo mediante distintas formulaciones.
- 2) Comparar, mediante distintos métodos de socavación los efectos de cada uno de los tipos de socavación que se puedan presentar en el puente ya que, a pesar, de que un estudio general nos da una buena base para la toma de decisiones, los análisis más profundos o específicos a cada zona permiten minimizar costos y llegar a soluciones optimas y adecuadas.
- 3) Se recomienda establecer el uso de plantillas de cálculos de implementación rápida, y como sustento o estudio preliminar, de referencia que se pueda aplicar en distintos puentes de manera sencilla.
- 4) Implantar una ampliación del cauce en estudio, tanto aguas abajo como aguas arriba del puente, donde se recomienda hacer uso de muro de gaviones para su sistema de canalización, los cuales disminuyan las manchas de inundación sobre zonas aledañas y con ello futuras inundaciones, así como también mitigar los efectos de socavación.
- 5) Se recomienda utilizar para el diseño del nivel de desplante de la estructura del puente, una altura no menor a 431 m.s.n.m.
- 6) Se recomienda diseñar las fundaciones de los estribos del puente, considerando el descenso del lecho del cauce producto de la socavación.
- 7) Se recomienda tomar en consideración el proceso de apilar los estribos producto de la socavación.
- 8) Se recomienda usar enrocado de protección para los estribos del puente.
- 9) Realizar un análisis comparativo de socavación entre el puente actual y el puente que se desea elaborar.

BIBLIOGRAFÍA

- Akan, A. (2006). Oxford, Inglaterra: Elsevier.
- Arias, F. (2006).
Caracas: EPISTEME c.a.
- E.I.R.L., E. E. (2010). Lima, Perú: Macro E.I.R.L.
- Farias, H., Pilán, M., & Pece, F. (2003).
Buenos Aires, Argentina.
- Finol de Franco, M., & Camacho, H. (2008).
Maracaibo: Ediluz.
- García, P., Brufau, P., Murillo, J., & Zorraquino, C. (2003).
Córdoba, España.
- Libertador, U. P. (2002).
Caracas: FEDUPEL.
- Melville, B., & Coleman, S. (2000). U.S.A.: Water Resources Publications,
LLC.
- Rocha, A. (2010). Peru.
- Rodríguez Serquen, A. (2016). Perú: Caracol.
- Sabino, C. (1992). Caracas: Panapo.
- Shirole, A., & Holt, R. (1991). **PLANNING FOR A COMPREHENSIVE BRIDGE
SAFETY ASSURANCE PROGRAM.** (pág.
12). Denver, Colorado, U.S.A.: Transportation Research Board.
- Smith, D. (2015). U.S.A.
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). Mexico DF:
LIMUSA. S.A.

Torres, R. (2006).

Caracas, Venezuela: Consulibris.

Wardhana, K., & Hadipriono, F. (agosto de 2003).