



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ESTUDIO DE OBRAS DE PROTECCIÓN DE
CAUCES Y RIBERAS DEL RIO CABRIALES SECTOR
JARDÍN BOTÁNICO, MUNICIPIO NAGUANAGUA,
ESTADO CARABOBO.**

Autor: Bolívar R. Haessler R.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego

Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



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

**ESTUDIO DE OBRAS DE PROTECCIÓN DE CAUCES Y RIBERAS DEL
RIO CABRIALES SECTOR JARDÍN BOTÁNICO, MUNICIPIO
NAGUANAGUA, ESTADO CARABOBO.**

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

Autores: Bolívar Haessler
C.I.23.700.144
Tutor Académico: Ing. Ángel Medina

San Diego, Noviembre 2020



EL-L -012-2020-2CR (TG)

Valencia, 16 de octubre de 2020

Ciudadanos:
Bolívar R., Haessler R
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° **05-2020** de fecha **27-07-2020** aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***ESTUDIO DE OBRAS DE PROTECCIÓN DE CAUCE Y RIBERAS DEL RIO CABRIALES SECTOR JARDÍN BOTÁNICO, MUNICIPIO NAGUANAGUA, ESTADO CARABOBO*** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Ángel Medina C.I: 15.299.274 como Tutor Académico que los asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Dra. Zaida Osto

Decana (E) de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

Zo/a.a.




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

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ing. Ángel Medina portador de la cédula de identidad N° 15.299.274 en mi carácter de tutor de trabajo de grado presentado por el ciudadano Bolívar R Haessler R, portador de la cédula de identidad N° 23.700.144 titulado **“ESTUDIO DE OBRAS DE PROTECCIÓN DE CAUCES Y RIBERAS DEL RIO CABRIALES SECTOR JARDÍN BOTÁNICO, MUNICIPIO NAGUANAGUA, ESTADO 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 26 días del mes de octubre del año 2020.


Ángel J Medina P
C.I. V-15.299.274
C.I.V 149.464

Ing. Ángel Medina.

C.I: 15.299.274

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, por guiar en todo momento cada uno de mis pasos; por proveerme de abundante entendimiento, pasión y mucha paciencia a lo largo de este camino.

A mis Padres, Raúl y Rocío, por la confianza y la Fe que tienen en mí, sin ustedes esto hubiera sido muy cuesta arriba, que bendición tenerlos como los pilares fundamentales de este logro y en definitiva por ser mis modelos a seguir, por esa búsqueda insaciable de hacer las cosas lo mejor posible, compartiendo su conocimiento y aprendiendo de los demás, siempre con la humildad que tanto los caracteriza.

A mis Hermanos, Gustavo, Alejandro y Jorge, por siempre estar presente y transmitir ánimo e interés por mis logros con sus personalidades tan características y únicas.

A Francelys Hidalgo, por su apoyo incondicional y por estar a mi lado en cada instante durante la materialización de este logro.

A Dulce Villanueva y a mis niñas Victoria y María Antonieta quienes siempre fueron parte de este sueño, portando de alguna u otra forma su granito de arena.

A mis compañeros y ahora amigos para toda la vida, por compartir este viaje conmigo y mantenerse firme cuando las cosas se tornaron difíciles, fueron de gran apoyo y una fuente constante de conocimiento.

A mi tutor Ing. Ángel Medina, por ser un guía, fuente de inspiración y ejemplo a seguir en el ejercicio de la Ingeniería Civil

A todos, muchas gracias

Haessler Bolívar

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
Planteamiento del Problema	3
Formulación del Problema.....	5
Objetivos de la Investigación.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Justificación de la Investigación	5
Alcance	5
Delimitación.....	6
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO	8
Antecedentes de la investigación.....	8
Bases Teóricas	10
Cuenca hidrográfica	11
Río.....	12
Cauce.....	13
Flujo hidráulico	14
Confluencia	16
Dinámica fluvial.....	18
Erosión	18
Sedimentación.....	20

Avenida	27
Socavación	28
Obras hidráulicas.....	29
Obras de protección de cauces y riberas	30
Bases legales.....	42
Definición de términos básicos.....	46
CAPÍTULO III.....	49
MARCO METODOLÓGICO.....	49
Tipo de Investigación	49
Diseño de la investigación.....	50
Nivel de la investigación.....	50
Población y Muestra	51
Población.....	51
Muestra.....	51
Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	51
Observación directa.....	52
Entrevista	52
Revisión documental.....	52
Lista de cotejo	53
Cuestionario	53
Gloogle Maps	53
Google Earth	53
Técnicas de análisis de datos	53
Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (Matriz FODA).	
54	
3.7. Fases metodológicas	55
CAPÍTULO IV	56
RESULTADOS.....	56

Diagnosticar la situación actual del tramo en estudio.	56
Matriz FODA	56
Municipio Naguanagua	56
Río Cабriales	63
Determinar los parámetros básicos y valores críticos para la implementación y diseño	67
Tramo en estudio	67
Estudio de suelos	69
Estudio hidrológico	71
Evaluar factibilidad técnica, económica y social de las obras de protección. 74	
Calculo del Remanso	75
Calculo de socavación general	85
Calculo de socavación local en estribos	90
Diseñar obras de protección de cauce y riberas del Río Cабriales.....	93
Diseño de dique de aproximación	93
CAPITULO V	
Conclusiones	99
Recomendaciones.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS	
Anexo A: Memoria fotografica de la zona en estudio.....	105
Anexo B: Socavación local en estribos	111
Anexo C: Diques de encauzamiento	113

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO

Figura 1: Zona de estudio.....	7
Figura 2: Cuenca hidrográfica.....	11
Figura 3: Representación del cauce principal	12
Figura 4: Zona hidrodinámica en confluencias	17
Figura 5: Dirección del Flujo, Corrientes Secundaria, celdas helicoidales y capa de cizalladura	18
Figura 6: Procesos del transporte de sedimentos en canales.....	21
Figura 7: Clasificación del sedimento según el tamaño de la partícula	22
Figura 8: Forma de la partícula	22
Figura 9: Clasificación según la textura.....	23
Figura 10: Esquema de estructuras de láminas aluminica y silícica	24
Figura 11: Esquema de la composición de una partícula de suelo.....	25
Figura 12: Socavación en aleta de entrada de un puente.....	28
Figura 13: Presa de azolves.....	31
Figura 14: Presa de rompe-picos.....	32
Figura 15: Presa de almacenamiento.....	32
Figura 16: Disipador de canal rápido.	33
Figura 17: Disipador de graderías.	34
Figura 18: Barra de sedimentos.....	34
Figura 19: Dique de piedra.....	35
Figura 20: Dique de mampostería hidráulica	36
Figura 21: Dique de postes impregnados y sacos de tierra	36
Figura 22: Disposición de espigones.....	37
Figura 23: Formas de espigones.....	38
Figura 24: Gavión.	39
Figura 25: Dique marginal.	41
Figura 26: Encorado de protección.	42
Figura 27: Municipio Naguanagua.....	58
Figura 28: Centro comercial Sambil Valencia.	59

Figura 29: Hotel Hesperia WTC Valencia.	59
Figura 30: Parque el Samán.	60
Figura 31: Mapa topográfico de Naguanagua	61
Figura 32: Jardín Botánico de Naguanagua	62
Figura 33: Río Cabriales	63
Figura 34: Sistema hidrológico de la cuenca del Río Cabriales.....	65
Figura 35: Puente sobre la Av.168 Salvador Feo la Cruz Este-Oeste.....	67
Figura 36: Área en estudio	68
Figura 37: Topografía de la zona	68
Figura 38: Cuenca contribuyente al punto de estudio.	72
Figura 39: Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta la Av. Salvador Feo la Cruz del esquema de simulación hidrológica.....	73
Figura 40: Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre la av. Valencia y av. Salvador Feo la Cruz.....	74
Figura 41: Caudales picos, tiempos al pico y volúmenes generados para la tormenta de tipo avanzada y distintos periodos de retorno en la Av. Salvador Feo la Cruz.....	74
Figura 42: Estrechamiento del cauce por la presencia de un puente.....	75
Figura 43: Abaco de coeficiente de coriolis.....	77
Figura 44: Abaco de coeficiente básico de remanso.	78
Figura 45: Luz, estribos, aletas y galibo del puente	78
Figura 46: Representación grafica de excentricidad en el cruce y ábaco de excentricidad.	79
Figura 47: Distribución de líneas de corriente en sección simétrica.....	80
Figura 48: Abaco para estimación de efecto de esviaje	81
Figura 49: Tipos de flujos.	82
Figura 50: Ábaco coeficiente de remanso.	84

Figura 53: Profundidad de socavación en la sección del cauce, método de Lischtvan-Levediev.....	88
Figura 54: Profundidad de socavación en la sección del cauce, método de Straub. ..	89
Figura 55: Grafica comparativa de los métodos Lischtvan-Levediev y Straub.	90
Figura 56: Vista de planta del puente sobre la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz Este-Oeste	90
Figura 57: Vista lateral del puente sobre la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz Este-Oeste.....	91
Figura 58: Representación gráfica del método de Laursen.	92
Figura 59: Dimensionamiento de dique de encauzamiento.	94
Figura 60: Gráfico para la verificación de la estabilidad.	95

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO

Tabla 1: Características morfométricas de la cuenca.....	66
Tabla 2: Coordenadas de poligonal establecida.	67
Tabla 3: Nomenclatura.....	69
Tabla 4: Perforación 8.....	70
Tabla 5: Perforación 9.....	70
Tabla 6: Perforación 10.....	71
Tabla 7: Iteración de valores de remanso total para flujo Tipo I	83
Tabla 8: Iteración de valores de remanso total para flujo Tipo II.....	85
Tabla 9: Profundidad de socavación en la sección del cauce.....	88
Tabla 10: Profundidad de socavación en la sección del cauce, método de Straub.	89
Tabla 11: Profundidad de socavación local en estribos método de Laursen.....	92



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

**ESTUDIO DE OBRAS DE PROTECCIÓN DE CAUCE Y RIBERAS DEL RIO
CABRIALES SECTOR JARDÍN BOTÁNICO, MUNICIPIO NAGUANAGUA,
ESTADO CARABOBO**

Autor: Bolívar Haessler

Tutor: Ing. Ángel Medina.

Fecha: Octubre, 2020

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en el municipio Naguanagua, Estado Carabobo, específicamente en el tramo del Río Cabriales comprendido entre el puente sobre la Avenida 97 Salvador Feo La Cruz Norte-Sur y el puente en la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz Este-Oeste, en el cual se presentó un diseño de obras de protección de cauce y riberas para el tramo mencionado.

El objetivo fue, generar un diseño de obras de protección para mitigar las acciones de la hidrodinámica fluvial que se presentan en el sitio de estudio, que dicho sea de paso tiene un comportamiento peculiar producto de la presencia de una confluencia entre el canal de drenaje de aguas pluviales el sector La Granja y el cauce del río Cabriales, la cual deriva en esfuerzos cortantes que someten a las riberas de dicho cuerpo de agua a un proceso erosivo constante pudiendo generar un aumento considerable en la sección del cauce o incluso comprometer la integridad de las cimentaciones de los puentes presentes en la zona de estudio. Evidenciando en los resultados, la presencia de socavación general por contracción en el cauce el Río Cabriales y socavación local en los estribos del puente de la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz Este-Oeste, para una creciente centenaria además de la formación de remanso producto de un efecto de estrangulación del flujo. Derivando en el diseño de 2 diques de encauzamiento aguas arriba del puente evitando así los efectos erosivos estimados para la creciente ya mencionada.

Descriptor: Obras de Protección, Hidrodinámica, Socavación, Ingeniería de ríos.

INTRODUCCIÓN

Con el transcurso del tiempo, el natural y continuo desarrollo de las ciudades ha evidenciado un acelerado ritmo de crecimiento, con lo cual un evento meteorológico que desencadene precipitaciones extremas que podrían acarrear inundaciones en áreas, lo cual implica mayores riesgos para sus habitantes, así como para la infraestructura residencial, vial, el parque industrial, de telecomunicaciones y zonas agrícola de dichos centros urbanos. El constante aumento de la población, tiene como uno de sus derivados la explotación de los espacios, y los márgenes de los ríos no escapan a esta realidad, esta injerencia en las cercanías de fenómenos complejos relacionados con la hidrodinámica fluvial, que hoy en día aún son objeto de estudios y debates al nivel internacional, de cómo enfrentar los riesgos que supone aprovechar, proteger y controlar dichos recursos fluviales.

El presente trabajo de investigación contempla el estudio para evaluar la forma de mitigar los problemas en los márgenes de los ríos, implementando obras de protección como una solución adaptada a las condiciones del área en estudio. La presente investigación está conformada por un total de cinco capítulos distribuidos de la siguiente manera:

Capítulo I comprendido por, planteamiento y formulación del problema, así como, el objetivo general y específicos que se llevarán a cabo, incluyendo la justificación y el alcance de la investigación.

Capítulo II, que describe el Marco Teórico, se presenta los antecedentes en el cual se fundamenta la presente investigación, además de las bases teóricas que sustentan al trabajo, así como, las bases legales aplicables y los términos básicos.

Capítulo III, en el cual se presenta el Marco Metodológico donde se detalla el Tipo, Diseño y Nivel de la investigación, también contempla la definición de la población y muestra, junto a las técnicas e instrumentos de recolección de datos, para finalizar con las fases metodológicas a desarrollar.

Capítulo IV, se explica cómo se desarrollaron las fases metodológicas para llevar a cabo el presente trabajo de grado, las cuales guardan estrecha relación con los objetivos específicos que permitieron en su finalidad cumplir con el objetivo general de la investigación, diseñando una propuesta que le dé solución al problema planteado.

Por último, en el capítulo V se exponen las conclusiones y recomendaciones derivadas del proceso investigativo llevado a cabo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

Desde el surgimiento de las primeras civilizaciones de las que se tiene registro alguno, el hombre ha tenido muy en claro el valor de los ríos para la subsistencia y desarrollo de las mismas, he aquí donde radica la importancia de un buen manejo de los cuerpos de agua; ejemplo de ello es el Río Nilo que fue encausado empleando canales con el fin de fomentar la agricultura y potenciar la economía del antiguo Egipto. Civilizaciones como China, India y la antigua Mesopotamia también deben su desarrollo al manejo de los recursos hídricos aprovechables para la época.

No obstante, históricamente este intento de modificar la dinámica fluvial ha presentado un riesgo para los asentamientos poblacionales que se encuentran en zonas aledañas, quienes han sido testigo de cómo el cauce de un río sufre constantes modificaciones debido a la erosión tanto del cauce como las riberas del mismo, eso sumado a las posibles inundaciones producto de avenidas. Para lo cual, actualmente a nivel mundial se han desarrollado distintos mecanismos de control para mitigar los efectos asociados a dichos fenómenos.

En base a los lineamientos de una gestión adecuada de los recursos hídricos se puede citar a Venezuela, que de acuerdo a cifras suministradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) contabiliza un total de 157 ríos cuyas cuencas abarcan más de 1.000,00 km², entre ellos se pueden mencionar ríos como el Orinoco, Uribante, Apure, Caroní, Meta, entre otros, los cuales han contribuido con el desarrollo en diferentes ámbitos en su área de influencia. Sin embargo, no todo ha sido beneficioso, la presencia de ríos distribuidos en el ámbito espacial del país lo ha enfrentado a lo largo de su historia a constantes fenómenos de

diferente naturaleza que derivaron en lamentables pérdidas de vidas humanas, decenas de damnificados y poblaciones enteras afectadas, generando en muchos casos cuantiosas pérdidas materiales.

Según el informe *The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995-2015* del Centro de Investigación sobre la Epidemiología de Desastres (CRED) publicado en 2015, Venezuela es la segunda nación del mundo con mayor número de muertes por millón de habitantes debido a tragedias relacionadas con el clima, atribuibles en su mayoría a un incorrecto manejo de cauces y riberas, además del desarrollo y proliferación de asentamientos sin ningún tipo de control en áreas susceptibles de sufrir anegaciones por su cercanía a los cuerpos de agua.

En base a lo antes expuesto, se presenta como caso de estudio el Río Cabriales, importante curso de agua que cruza la ciudad de Valencia y gran parte del Estado Carabobo, objeto de este estudio específicamente en las cercanías del Sector Jardín Botánico del Municipio Naguanagua del Estado Carabobo, presentando una particularidad que en este tramo se ubica un canal de drenaje de aguas de lluvia del Sector La Granja el cual descarga al cauce del Río Cabriales, situación que genera una hidrodinámica compleja con rápidos cambios en los flujos, zonas de estancamiento y zonas de esfuerzos cortantes que juegan un papel fundamental en la modificación de las geometrías fluviales que son el resultado de la socavación del cauce y modificaciones en la riberas del mismo, esto aunado al mal estado o en ocasiones la inexistencia de obras de protección en el tramo de estudio puede degenerar en agravar los efectos de los fenómenos descritos anteriormente.

Lo antes expuesto sumado a la presencia de puentes de gran importancia para la circulación vehicular y peatonal de la zona, genera una modificación del cauce que podría afectar la cimentación de los mismos, de igual manera las zonas aledañas pueden verse alterada por estos fenómenos. Por otra parte, se evidencia la presencia de desechos sólidos y vegetación que interfiere con el flujo del agua generando otro tipo de dinámica fluvial y disminuyendo el volumen efectivo del cauce pudiendo derivar en inundaciones en caso de una avenida en el río en estudio.

Formulación del Problema

En concordancia con el punto central de la presente investigación se plantea la siguiente interrogante:

¿Cómo mitigar las acciones de la hidrodinámica sobre el cauce y riberas del Río Cabriales en el tramo en estudio?

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Diseñar obras de protección de cauce y riberas del Río Cabriales sector Jardín Botánico, Municipio Naguanagua, Estado Carabobo.

Objetivos Específicos

Diagnosticar la situación actual del tramo en estudio.

Determinar los parámetros básicos y valores críticos para la implementación y diseño.

Evaluar factibilidad técnica de las obras de protección

Diseñar obras de protección de cauce y riberas en el tramo de estudio

Justificación de la Investigación

Como se evidencia, se hace imperiosa la necesidad de una propuesta viable de obras de protección que permitan mitigar los daños de la hidrodinámica presente en la zona o de una posible crecida que derive en una inundación, en el mismo orden de ideas controlar las posibles modificaciones en el cauce y de esta forma salvaguardar la estabilidad de las estructuras que se encuentren dispuestas en el mismo.

De igual forma este estudio sirve de modelo para futuros proyectos de investigación acerca de obras de protección incluso en proyectos para el diseño de las mismas, reestructuración de normativas y una fuente de concientización a la comunidad.

Como contribución en el aspecto técnico, este estudio permite la activación y aplicación de la ingeniería de ríos en el país, así como también poder ser extrapolado a otros tramos del río.

Económica y socialmente, representa un punto de partida en cuanto a la obtención de data, lo cual permite una reducción en gastos atribuibles a la realización de ensayos o estudios, un instrumento para evitar los costos asociados a una reparación del puente, derivada de la afectación estructural del mismo, disminuyendo la posibilidad de inundación en la adyacencias del punto de estudio, generando confiabilidad y tranquilidad a la comunidad.

Alcance

En cuanto al alcance de esta investigación, quedó limitada a realizar una propuesta de obras de protección de cauce y riberas del Río Cabriales en el tramo entre el puente en la Avenida 97 Salvador Feo La Cruz Norte-Sur y el puente en la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz Este-Oeste de Naguanagua, con el fin de evitar las consecuencias de la particular hidrodinámica que prevalece en el lugar. Con ciertos inconvenientes, producto de la pandemia que actualmente acusa a la población mundial, imposibilidad de realizar un estudio de impacto social y económico dejando cabida solo al estudio técnico. Durante esta investigación no se realizaron ensayos de ningún tipo debido al costo de los mismos.

Delimitación

La investigación corresponde al cauce del Río Cabriales en el sector Jardín Botánico de Naguanagua – Estado Carabobo, más específicamente en el tramo entre el puente en la Avenida 97 Salvador Feo La Cruz Norte-Sur y el puente en la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz Este-Oeste. (Ver Figura 1)



Figura 1: Zona de estudio
Fuente: Google Maps

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes de la investigación

Los antecedentes de la investigación se refieren a la revisión de trabajos previos sobre el tema en estudio, que aportan información relevante al estudio, “Un marco referencial bien estructurado tiene que estar cotejado con el conocimiento previamente elaborado. A esto se le llama antecedentes de la investigación”. (Bavaresco, 2006; 10)

Rodas M. (2018) presento el trabajo de investigación **“Estudio Técnico para Rectificación y Protección de márgenes del Río Tarqui”**, como requisito previo al título de Ingeniero Civil de la Universidad De Cuenca, Ecuador. Con un enfoque principal basado en aportar a la identificación e implementación de soluciones para encauzamiento y protección de márgenes en ríos de montaña mediante la adaptación y combinación de métodos reportados en la literatura técnica.

En el presente trabajo, se realiza un estudio técnico exploratorio para identificar soluciones de encauzamiento y protección de márgenes en un tramo del Río Tarqui, provincia del Azuay. El río presenta varios procesos morfodinámicos y erosivos, hecho que pone en riesgo la estabilidad de sus márgenes y la seguridad de obras existentes. Para el estudio, se ha procedido con la caracterización de los principales procesos fluvimorfológicos presentes en el cauce, así como, con el análisis del comportamiento hidráulico del río mediante el modelamiento bidimensional con la herramienta computacional Iber para la identificación de zonas críticas. Finalmente se plantean, a nivel de prefactibilidad, el dimensionamiento de obras de encauzamiento y protección de las márgenes basadas en el fortalecimiento de las mismas y técnicas

de bioingeniería. A través del estudio, se da un importante aporte al entendimiento y aplicación de técnicas para diseño de obras de intervenciones y control de flujo en ríos de montaña.

Para efectos de esta investigación el estudio de Rodas M. sirvió de referencia para la escogencia de un método para la estimación de socavación general y local en estribos, como el método Lischtván-Levediev, método de Straub y el método de Laursen.

Álvaro L. y Henríquez L. (2014) **“Diseño Hidráulico y Estructural de Defensa Ribereña del Río Chicama tramo Puente Punta Moreno – Pampas de Jagüey Aplicando el programa river”**, para optar el título profesional de Ingeniero Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, Perú. Contemplando como objetivo general realizar el proyecto de diseño hidráulico y estructural de defensa ribereña del Río Chicama, tramo Puente Punta Moreno – Pampas de Jagüey Aplicando el programa River.

El desarrollo de esta investigación surge con el objetivo de dar seguridad y protección a las áreas de cultivo emplazadas a lo largo del margen izquierdo del Río Chicama, así como para proteger la carretera que discurre por este mismo margen. La infraestructura vial, tiene un recorrido paralelo al cauce del Río Chicama, la misma que se encuentra expuesta a los efectos erosivos, por el incremento del caudal del Río Chicama, debido a ello, tal vialidad se encuentra en riesgo del colapso, trayendo como consecuencia la interrupción del tráfico vehicular, tanto de pasajeros como de carga con el consecuente aislamiento de la población por lo que ocasionaría cuantiosas pérdidas en la actividad económica, la propiedad y grandes riesgos de pérdidas de vidas humanas. Por tal motivo se pretende dar una propuesta con el diseño de defensa ribereña del río Chicama en el tramo Punta Moreno, Pampas de Jagüey de acuerdo a los estudios básicos de ingeniería que se deben realizar y las metodologías existentes para estos diseños aplicando el programa RIVER en base a los conocimientos adquiridos en la universidad.

En lo que a este estudio compete, la investigación hecha por Álvaro L. y Henríquez L. fue de gran utilidad para la obtención de diferentes alternativas de obras de protección y aclarar el panorama respecto de la influencia económica y ambiental de las mismas.

Por otra parte, Colina O. y Luzardo J. (2011) desarrollaron la investigación **“Propuesta para mitigar el Impacto Hidráulico en el Río Retobo debido al paso del ferrocarril Ezequiel Zamora”**, para optar por el título de Ingeniero Civil de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Tiene como objetivo general proponer obras de mitigación del impacto hidráulico en el Río Retobo debido al paso del Ferrocarril Ezequiel Zamora.

El enfoque principal de la investigación se inclina a dar respuesta a la implantación de un cajón triple celda, producto de las obras correspondientes al Ferrocarril Ezequiel Zamora que produciría una contracción del flujo debajo del mismo, alterando el comportamiento natural del cauce lo que derivaría en fallas en los márgenes del río. La antes mencionada respuesta se basa en obras protección del fondo y laderas del cauce que contribuyen a la estabilidad de las márgenes y evitan la socavación en la base del cajón, se plantean también muros de concreto y muros de gaviones con la cara recubierta a fin de minimizar las pérdidas de finos. Finalmente, se propuso algunas técnicas de revegetación, las cuales además de solventar problemas de erosión e inestabilidad en taludes, representan un impacto positivo para el medio ambiente.

El aporte al presente trabajo de investigación procedente del estudio de Colina O. y Luzardo J. se limita a ser de antecedente consultable en la ingeniería de ríos y comportamiento hidráulico en un radio de 10 km del punto de concentración designado para la actual investigación, teniendo en cuenta los cambios que puede llegar a sufrir la geografía y el tipo de suelo dentro de este radio.

Bases Teóricas

Las bases teóricas constituyen el corazón del trabajo de investigación, pues es sobre estas que se construye todo el trabajo. Su correcta ejecución formará la

plataforma sobre la cual se llevará a cabo el análisis de los resultados obtenidos en el trabajo. “Las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado”. (Arias, 2012; 107).

Cuenca hidrográfica

Se entiende por cuenca hidrográfica, el terreno o superficie que aporta sus aguas de escorrentía a un mismo punto de desagüe o punto de cierre. La escorrentía la constituyen las aguas que fluyen por la superficie terrestre, cuando tras producirse un evento de precipitación o cualquier otro aporte de agua (deshielo), el agua comienza a desplazarse por causa de la pendiente del terreno natural hacia puntos de menor altura como consecuencia de la gravedad. Una cuenca está formada por un entramado de ríos, arroyos y quebradas que conducen los flujos de agua hacia un cauce principal. (Ver Figura 2)

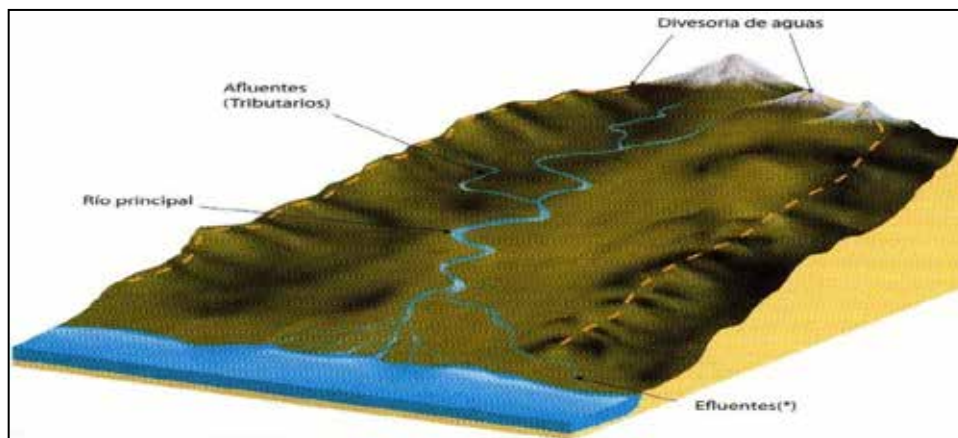


Figura 2: Cuenca hidrográfica

Fuente: <https://mundogeografia.com/cuenca-hidrografica/>

Clasificación de las Cuencas

Generalmente se pueden identificar tres tipos de cuencas hidrográficas:

Cuencas exorreicas: en las cuales se drenan las aguas hacia el mar o el océano. Ejemplo de ellas son: la cuenca del Amazonas, del río de la Plata, en Sudamérica, del Missisipi en Norteamérica, entre otras.

Cuencas endorreicas: son aquellas cuyo sistema de drenaje no tienen conexión con el mar, es decir desembocan en lagos, lagunas o salares. Por ejemplo, la cuenca del Lago de Valencia

Las cuencas arreicas: que se forman cuando las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Por ejemplo varios de los ríos que transcurren por el departamento de Ica en el Perú formarían cuencas de este tipo.

Cauce principal

El cauce principal de la cuenca hidrográfica es aquél que pasa por el punto de salida de la misma y el cual recibe el aporte de otros cauces, de menor envergadura o tributarios y comúnmente suelen ser de mayor longitud. (Ver Figura 3)

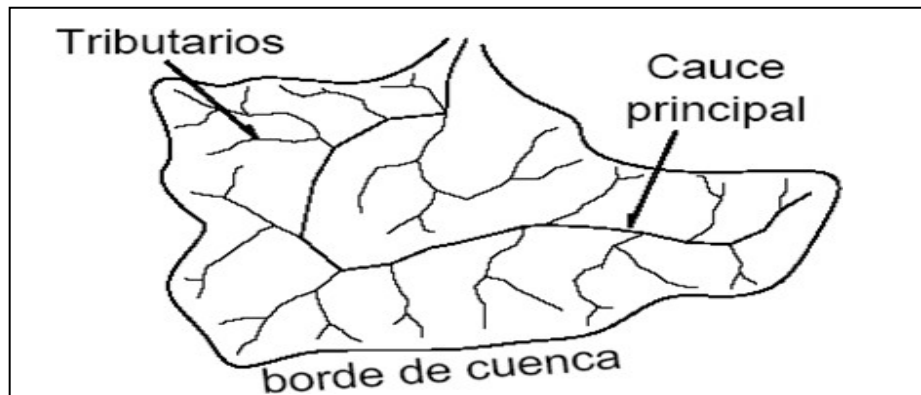


Figura 3: Representación del cauce principal

Fuente: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/la-cuenca-hidrografica/>

Río

Un río o flujo de agua es una corriente natural de agua que fluye con continuidad por un cauce de tierra. Posee un caudal determinado, rara vez es constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura.

Clasificación de los ríos

Los ríos pueden ser clasificados desde diversos puntos de vista, entre los que se destacan:

Según período de actividad, en ríos perennes, estacionales, transitorios, o alóctonos.

Según su geometría o morfología, pueden clasificarse un río o un determinado trecho, en las siguientes categorías: rectilíneo, sinuoso, meándrico, anastomosado, con islas, en estuarios, en pantanos o manglares, en deltas.

Según su edad, se clasifica en: ríos jóvenes, maduros o viejos.

Según su condición de estabilidad, puede considerarse un tramo de cauce con estabilidad estática, dinámica, con inestabilidad dinámica, o con estabilidad morfológica.

Sus tramos pueden ser clasificados como de: alta montaña, montaña, falda de montaña, intermedio, y de planicie.

Según sus grados de libertad, puede clasificarse como teniendo uno, dos o tres grados de libertad.

Según el material de las márgenes y del fondo, pueden considerarse como materiales cohesivos, no cohesivos, acorazados, bien graduados o con granulometría extendida, mal graduados o de granulometría uniforme.

Según las condiciones del transporte sólido, puede considerarse tres tipos de cauces: estable, erosionable y depositante.

Cauce

El cauce o lecho fluvial es la parte de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confín físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas.

Riberas

estado o comportamiento del flujo en un canal abierto es gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad relativa a las fuerzas de inercia del flujo.

Flujo hidráulico

El estado o comportamiento del flujo en un canal abierto es gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad relativa a las fuerzas de inercia del flujo.

Efecto de viscosidad

Dependiendo del efecto de la viscosidad relativa a la inercia, el flujo puede ser laminar, turbulento o de transición.

El **flujo es laminar** si las fuerzas viscosas son tan fuertes comparadas con las fuerzas de inercia, que la viscosidad juega un papel importante para determinar el comportamiento del flujo. En flujo laminar, las partículas del fluido parecen moverse en recorridos calmados definidos, o líneas de corriente, y las capas infinitésimamente delgadas del fluido parecen deslizarse sobre las capas adyacentes.

El **flujo es turbulento** si las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia. En el flujo turbulento, las partículas del fluido se mueven en recorridos irregulares, los cuales no son ni calmados ni determinados pero en su conjunto todavía representan el movimiento hacia adelante de la corriente total.

Entre los estados laminar y turbulento de la corriente, hay un estado mixto o estado de transición.

El efecto de viscosidad relativo al de inercia puede representarse por el número de Reynolds. En la mayor parte de los canales abiertos el flujo laminar ocurre muy raramente. En efecto, el hecho de que la superficie de una corriente aparezca lisa y tersa para un observador no es en ningún modo una indicación de que el flujo sea laminar; más probablemente, ello indica que la velocidad de la superficie es más baja que la requerida para que se formen ondas capilares. El flujo laminar en canales abiertos existe, por ejemplo donde delgadas láminas de agua fluyen sobre el suelo o en canales de laboratorio.

Número de Reynolds

El número de Reynolds () es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido. Su valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento.

El número de Reynolds se define como la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas presentes en un fluido. Éste relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).

Ecuación del número de Reynolds

Dónde:

En problemas donde el fluido considerado es el agua, se ha demostrado mediante experimentación en laboratorio que entre un número de Reynolds de 2.000 a 3.000 se encuentra la etapa de transición laminar-turbulento en el flujo de la capa límite. Sin embargo, para efectos prácticos se considera:

Efecto de gravedad

El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo se representa por una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad. Esta relación es conocida como el Número de Froude.

Número de Froude

El número de Froude () es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido. Debe su nombre al ingeniero hidrodinámico y arquitecto naval inglés William Froude (1810 - 1879).

Ecuación del número de Froude

El número de Froude en canales abiertos nos informa del estado del flujo hidráulico. El número de Froude en un canal se define como:

$$\text{Fr} = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

Dónde:

—

—

En el caso de que:

Sea **Fr > 1** el régimen del flujo será **supercrítico**

Sea **Fr = 1** el régimen del flujo será **crítico**

Sea **Fr < 1** el régimen del flujo será subcrítico

Confluencia

En hidrología, una confluencia fluvial o simplemente, confluencia, es la reunión en uno solo de dos o más cursos de agua, glaciares, o corrientes marinas, así como el punto donde esto ocurre.

Las confluencias son zonas donde convergen dos o más flujos provenientes de canales separados. Esta unión, produce campos hidrodinámicos y una morfodinámica complejos. Los rápidos cambios en los flujos, el transporte de sedimentos y la morfología del canal, ocurren para equilibrar y dar origen a un nuevo cauce que puede o no conservar alguna de las características originales de sus afluentes. En función de su geometría y los campos de hidrodinámica, las confluencias muestran en planta diferentes zonas, tales como: zonas de estancamiento, zona límite de los esfuerzos cortantes, y zonas de recuperación del flujo (Ver Figura 4). En la zona de unión de la confluencia, se genera una capa de cizalladura o cambio brusco en dirección de las velocidades entre los dos flujos (Ver Figura 5). La superficie de esta convergencia genera celdas helicoidales a cada lado de la capa de cizalladura según lo expuesto por Mosley, (1976) y Best, (1987). Estas celdas helicoidales vienen acompañadas por las velocidades secundarias, que se forman por la existencia de las fuerzas desiguales entre el gradiente de presión hidrostático y las fuerzas centrífugas; que son heredadas por la hidrodinámica del río principal y del río tributario.

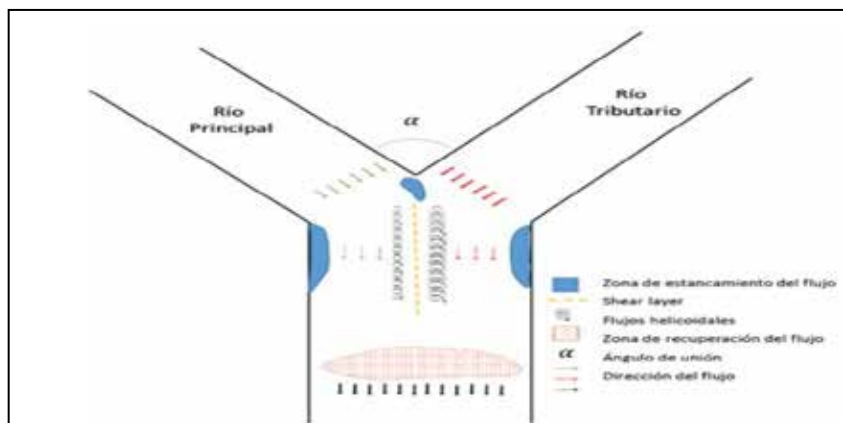


Figura 4: **Zona hidrodinámica en confluencias**

Fuente: https://www.researchgate.net/publication/321114086_CORRIENTES_SECUNDARIAS_EN_UNA_CONFLUENCIA

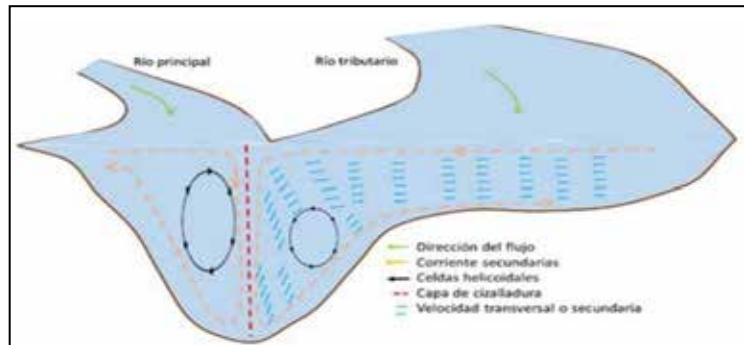


Figura 5: Dirección del Flujo, Corrientes Secundaria, celdas helicoidales y capa de cizalladura

Fuente: https://www.researchgate.net/publication/321114086_CORRIENTES_SECUNDARIAS_EN_UNA_CONFLUENCIA

Dinámica fluvial

La dinámica fluvial es el proceso por el que la acción de los ríos (erosión y sedimentación, principalmente) modifica de alguna manera el relieve terrestre y el propio trazado de los ríos. Es un concepto fundamental en el análisis de la hidrografía e hidrología, en especial, en el estudio de las aguas continentales. Su relevancia se deriva de las consecuencias tan importantes que los procesos involucrados en las aguas fluviales tienen en la planificación de cuencas y en la construcción de obras de infraestructura tanto hidráulicas como de otro tipo (represas, puentes, canales, obras de riego, etc.).

Según Ollero (SF), la dinámica fluvial es un conjunto de procesos complejos activos y metamorfosis de los sistemas fluviales tanto en su componente espacial como en su evolución temporal; así mismo, la morfología fluvial es la subdisciplina de la dinámica fluvial que estudia y analiza las formas fluviales resultantes de los procesos fluviales (principalmente erosión, transporte y sedimentación).

Erosión

La erosión es el desgaste o denudación de suelos y rocas que producen distintos procesos en la superficie de la Tierra. La erosión implica movimiento, transporte del material, en contraste con la alteración y disgregación de las rocas, fenómeno conocido como meteorización y es uno de los principales factores del ciclo

geográfico. Entre los agentes erosivos están la circulación de agua o hielo, el viento, o los cambios térmicos. La erosión produce el relieve de los valles, gargantas, cañones, cavernas y mesas, y puede ser incrementada por actividades humanas.

Erosión fluvial

Las aguas fluviales (o de ríos) constituyen un agente erosivo de primera magnitud. El agua continental fluye, en gran parte, en forma de ríos que discurren sobre la superficie, o de corrientes subterráneas, desgastando los materiales que hay por donde pasan y arrastrando los restos o sedimentos en dirección hacia las partes más bajas del relieve, dejándolos depositados en diversos lugares. Formando terrazas, conos de deyección y, en definitiva, modelando el paisaje. El agua de las corrientes fluviales puede crear cascadas, grutas, desfiladeros, meandros, cañones, deltas, estuarios, entre otros. En ocasiones inunda determinadas regiones más o menos amplias del territorio causando desastres económicos y víctimas, a pesar de lo cual, los seres humanos casi siempre se han asentado en las márgenes de los ríos, lagos o manantiales, con el fin de garantizar un suministro adecuado de agua.

La erosión del suelo y el sedimento resultante en la cuenca (comúnmente expresado en toneladas por km² por año) dependen en gran medida del clima local, la lluvia, el tipo de suelo, la pendiente del suelo y las características de la vegetación. Las cantidades de material erosionado pueden variar de 50 a 500 toneladas por km² por año. No existen fórmulas universales para estimar la erosión. Con base en los datos de una región se pueden desarrollar fórmulas empíricas.

Tipos de erosión fluvial

Erosión general: Se denomina erosión general, al descenso general del lecho debido a un aumento de la capacidad de transporte de una corriente en crecidas. Afecta a tramos largos del cauce y sería la única erosión en un cauce recto, prismático y sin ninguna singularidad. Este fenómeno es todavía poco conocido.

Erosión por estrechamiento del cauce: Este tipo de erosión en las aproximaciones a distintas obras, como por ejemplo a puentes, encauzamientos, etc. Al reducirse el ancho de la sección, la corriente aumenta su velocidad y por ende

aumenta el transporte de sedimentos, el tirante aumenta y puede variar la pendiente del fondo a partir de la contracción.

Erosión por curva del cauce: En las curvas de los cursos de agua se produce una corriente secundaria, a causa de la fuerza centrífuga, que aumenta el poder erosivo en la parte externa de la curva, donde se alcanzan profundidades mayores.

Erosión localizada: La erosión local se explica por la acción de un flujo complejo que requiere consideraciones bidimensionales o tridimensionales de las velocidades. Se presenta asociada a singularidades u obstáculos y no afecta a las condiciones generales del flujo. Posee fuerte turbulencia y puede desarrollar grandes vórtices.

Sedimentación

La sedimentación puede ocurrir debido a procesos geológicos (con escala de tiempo de cientos de años; desplazamiento de márgenes en ríos (escalas de tiempo de décadas), y por la reducción del transporte local (efecto de corta duración).

Cuando una corriente cruza un río la capacidad de transporte decrece, como consecuencia, las partículas del fondo y el material en suspensión se depositan en el río. El proceso de sedimentación es dominante en tramos de flujo desacelerado. En tramos en contra pendiente se produce aceleración de flujo y el proceso dominante es el levantamiento de partículas del fondo hacia el flujo medio, resultando un incremento en las concentraciones del material en suspensión.

Los procesos más relevantes en las regiones de erosión y sedimentación son la convección de las partículas de sedimento horizontal y vertical por la velocidad del flujo, el mezclado por la turbulencia, la sedimentación de las partículas debido a la gravedad y el levantamiento de las partículas del fondo por corrientes u ondas que inducen la producción de esfuerzos cortantes en el fondo. Estos procesos se representan esquemáticamente (Ver Figura 6).

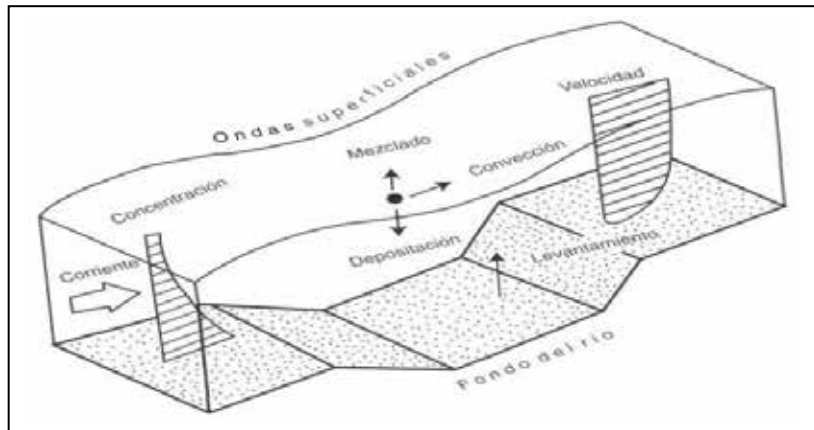


Figura 6: Procesos del transporte de sedimentos en canales.
Fuente: PROTECCIÓN Y CONTROL DE CAUCES CNA-IMTA

Sedimento

Es el material sólido que transportan las corrientes y está conformado por elementos llamados partículas. Los sedimentos son los fragmentos de un material primario producidos por la desintegración física y química de la roca.

Las características de los sedimentos reflejan los procesos de erosión, el transporte y el depósito del material erosionado de la superficie de la cuenca. La densidad, el tamaño, la forma y la velocidad de caída de las partículas influyen determinadamente en las varias etapas del transporte de sedimentos que es de gran interés para el diseño de las obras hidráulicas.

Tamaño

El tamaño es la propiedad que más se utiliza para clasificar al material arrastrado por un río: sin embargo, no puede determinarse con una sola dimensión como podría hacerse si las partículas del sedimento fueran esferas o cubos. Los sedimentos naturales tienen muy diversas formas; por lo tanto, el tamaño de una partícula dependerá de la dimensión que se mida o del método que se utilice para obtener una medida característica. (Ver Figura 7)

TAMAÑO EN MILIMETROS	TAMAÑO EN MICRAS	TAMAÑO EN PULGADAS	ABERTURA APROXIMADA DEL TAMIZ PASOS POR PULGADA		CLASIFICACIÓN
			TYLER	ESTANDAR USA	
4000 - 2000 2000 - 1000 1000 - 500 500 - 250 250 - 130 130 - 64 64 - 32		160 - 80 80 - 40 40 - 20 20 - 10 10 - 5 5 - 2.5			Cantos rotados muy grandes Cantos rotados grandes Cantos rotados medianos Cantos rotados pequeños Bosco grande Bosco pequeño
32 - 16 16 - 8 8 - 4 4 - 2		2.5 - 1.3 1.3 - 0.8 0.8 - 0.3 0.3 - 0.016 0.16 - 0.08	2 1/2 5 Malla 8 9	5 10	Grava muy gruesa Grava gruesa Grava mediana Grava fina Grava muy fina
2.00 - 1.00 (2 - 1) 1.00 - 0.50 (1 - 1/2) 0.50 - 0.25 (1/2 - 1/4) 0.25 - 0.125 (1/4 - 1/8) 0.125 - 0.062 (1/8 - 1/16)	2000 - 1000 1000 - 500 500 - 250 250 - 125	125 - 62	10 32 60 115 Malla 200 250	18 35 60 120 230	Arena muy gruesa Arena gruesa Arena mediana Arena fina Arena muy fina
0.062 - 0.031 (1/16 - 1/32) 0.031 - 0.016 (1/32 - 1/64) 0.016 - 0.008 (1/64 - 1/128) 0.008 - 0.004 (1/128 - 1/256)	62 - 31 31 - 16 16 - 8 8 - 4				Limo grueso Limo medio Limo fino Limo muy fino
0.004 - 0.0020 (1/256 - 1/128)	4 - 2 2 - 1				Arcilla gruesa Arcilla media
0.0020 - 0.0010 (1/128 - 1/1024) 0.0010 - 0.0005 (1/1024 - 1/2048) 0.0005 - 0.00024 (1/2048 - 1/4096)	1 - 0.5 0.5 - 0.24				Arcilla fina Arcilla muy fina

Tomada y adaptada de Rouse, 1970.

Figura 7: Clasificación del sedimento según el tamaño de la partícula

Fuente: PROTECCIÓN Y CONTROL DE CAUCES CNA-IMTA

Forma

Se refiere a la forma geométrica completa de una partícula sin considerar su tamaño o composición. Las partículas de formas geométricas muy diferentes, pero con el mismo volumen y densidad pueden comportarse en forma similar en un fluido, por lo que la forma puede definirse en términos de su comportamiento dinámico.

La forma de las partículas puede ser muy variada y afecta su comportamiento dentro del agua. (Ver Figura 8)

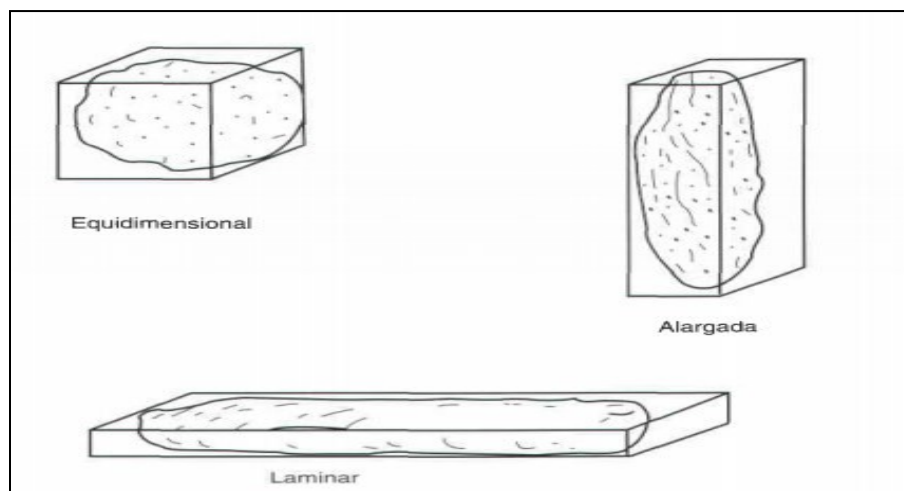


Figura 8: Forma de la partícula

Fuente: PROTECCIÓN Y CONTROL DE CAUCES CNA-IMTA

Textura

La textura de la superficie de las partículas es una propiedad importante en la evaluación de la abrasión a la que han estado expuestas, observándose superficies desde muy pulidas y lisas hasta las que tienen salientes agudas y rugosas.

Las características de la superficie de fragmentos grandes se clasifican en tres categorías: grado de lisura, grado de pulido o brillo, y grado de marcas en la superficie. El pulido o brillo está relacionado con la regularidad de la reflexión; la lisura es la uniformidad de la superficie, y las configuraciones de las estrías pueden ser paralelas, sub paralelas, aleatorias o de rejilla.

La textura de los sedimentos en conjunto, o la apariencia superficial, que depende del tamaño de la partícula, forma, graduación y de su interacción con el flujo, se refiere al grado de fineza o uniformidad del material. De acuerdo con la sensación producida al contacto entre los dedos, es posible determinar el tipo de material que contiene el sedimento de acuerdo con la relación siguiente: (Ver Figura 9)

SENSACIÓN AL TACTO	SEDIMENTO IDENTIFICADO
Rugosa	Arena fina, arena limosa, limo arenoso
Harinosa	Limos
Jabonosa	Arcilla, turbas amorfas
Fibrosa	Turba fibrosa o pseudofibrosa

Figura 9: Clasificación según la textura

Fuente: PROTECCIÓN Y CONTROL DE CAUCES CNA-IMTA

Composición mineral

La composición mineralógica de los sedimentos es importante debido a que ella influye en su densidad y peso específico. Asimismo, tiene una influencia considerable sobre el tamaño y la velocidad de caída de las partículas, a partir de la cual puede estimarse la distancia que el material ha sido transportado.

En las partículas de la fracción gruesa de los sedimentos, los minerales predominantes son los silicatos, principalmente feldespato (de potasio, sodio o

calcio), micas, olivino, serpentina; los óxidos, cuyos principales exponentes son el cuarzo, la limonita, la magnetita y el corindón; los carbonatos, entre los que destacan la calcita y la dolomita; y los sulfatos, cuyos principales representantes son la anhidrita y el yeso.

La fracción fina o muy fina de los sedimentos generalmente está constituida por un solo mineral. Así, las arcillas están compuestas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentándose, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Estos minerales casi siempre tienen una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas, las cuales, dependiendo del mineral que las integre, pueden ser silícicas o alumínicas. (Ver Figura 10)

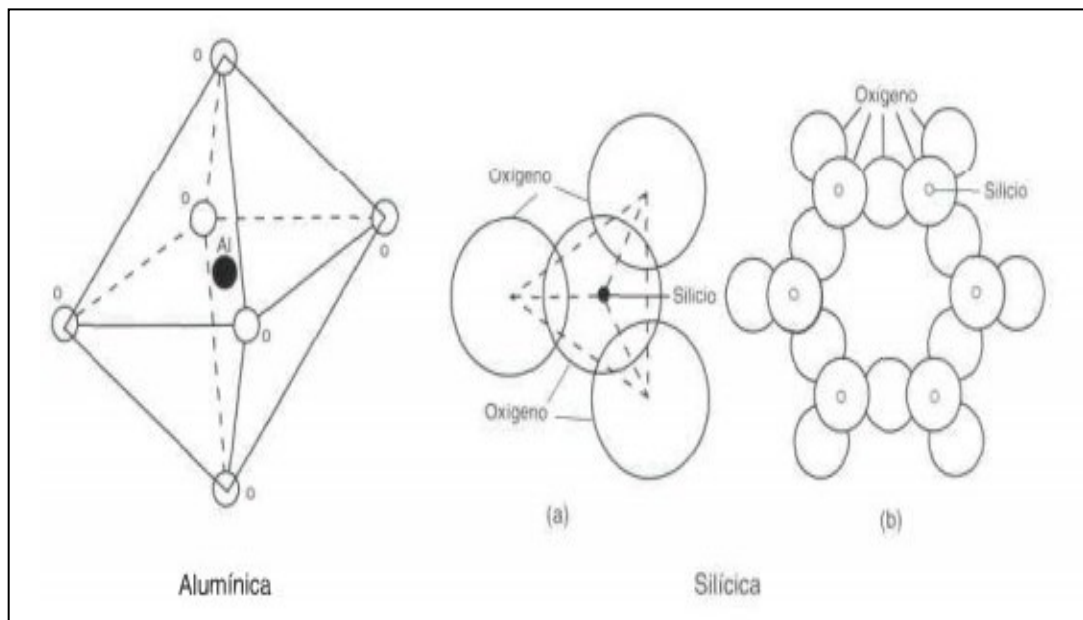


Figura 10: Esquema de estructuras de láminas alumínica y silícica.

Fuente: PROTECCIÓN Y CONTROL DE CAUCES CNA-IMTA

Velocidad de Caída

Se define como la velocidad máxima que adquiere la partícula al caer dentro del agua: se alcanza cuando el peso sumergido de la partícula se equilibra con el empuje del agua. También se le llama velocidad terminal.

Densidad y peso específico

En general, las partículas sedimentarias no son completamente densas o sólidas, sino que poseen cierta porosidad y relación de vacíos. En una partícula natural se distinguen las tres fases constituyentes: sólida, líquida y gaseosa. La sólida está formada por las partículas minerales que la componen, la líquida por el agua y la gaseosa por el aire. Las fases líquida y gaseosa de la partícula suelen estar comprendidas en el volumen de vacíos, mientras que la sólida constituye el volumen de sólidos. (Ver Figura 11)

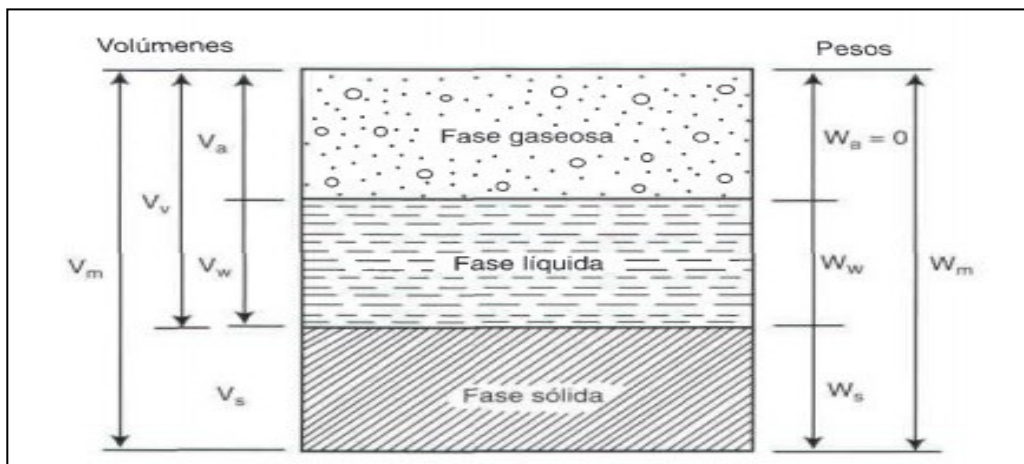


Figura 11: Esquema de la composición de una partícula de suelo

Fuente: PROTECCIÓN Y CONTROL DE CAUCES CNA-IMTA

Corrientes

El factor más importante en el proceso de sedimentación son las corrientes locales. La influencia del río en las corrientes locales está relacionada con las dimensiones del río, el ángulo entre el eje del río y la dirección principal del flujo de aproximación, la fuerza local de la corriente y la batimetría.

Cuando el flujo del río es paralelo a la dirección de la corriente local, las velocidades pueden incrementarse considerablemente debido a un decremento en la fricción del fondo, mientras que la pendiente de la superficie libre se mantiene casi constante. Cuando el flujo es perpendicular a la corriente local se reducen las

velocidades y se produce un incremento en el tirante. Esta influencia es más significativa en la región cercana a la pared, donde se tienen gradientes de presión positivos. En el caso de pendientes laterales escarpadas superiores a 1:5 ocurre separación de flujo y recirculación de flujo causando trayectorias de flujo complejas. Las velocidades en la zona de recirculación de flujo son pequeñas, comparadas con las del flujo medio.

En la región localizada entre la capa superficial y la zona de recirculación es en donde domina la producción de energía turbulenta (capa de mezclado). En el caso de un río angosto, la estructura del flujo está dominada por la separación del flujo y los flujos recirculantes, estos procesos generan vórtices de gran tamaño.

Cuando el río es oblicuo a la corriente local, los efectos de las dos situaciones ocurren simultáneamente. Las componentes de velocidad perpendiculares al río son inversamente proporcionales al tirante local del agua, mientras las componentes de velocidad paralelas al río pueden incrementarse debido a una reducción de la fricción del fondo. Como resultado, las líneas de corriente muestran un patrón tipo refracción.

Ondas

Las ondas son importantes en procesos morfológicos, la agitación producida por el oleaje da por resultado movimientos orbitales en la región cercana a la pared. Su efecto es más pronunciado en áreas de las márgenes donde las ondas son afectadas por el tirante de agua y posiblemente por una batimetría irregular. La propagación de ondas y su deformación en las márgenes del río son gobernadas por los fenómenos de refracción, difracción, disipación de energía, por rompimiento de las ondas y por la fricción del fondo. El rompimiento de las ondas en la orilla puede resultar en la generación de corrientes con flujo hacia la superficie del río debido a las diferencias longitudinales en el tren de ondas.

Cuando las ondas se propagan paralelas al ancho del río, la altura de las ondas sobre el río puede reducirse a causa de un incremento en el tirante. La velocidad de propagación en la parte central del río se incrementa, dando por resultado crestas de ondas más curvadas.

Cuando las ondas se propagan oblicuamente al río ocurren efectos por las aguas poco profundas y por la refracción, generando un patrón de ondas muy irregular, cuyos efectos dependen del tirante de agua en el río y del ángulo de aproximación de las ondas. Su efecto es más pronunciado cuando hay interacciones fuertes entre las ondas y las corrientes.

Avenida

Una avenida es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de este. En una crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo. Entonces el agua lo desborda e invade el lecho mayor, también llamado llanura aluvial.

Durante las crecidas, el caudal y la velocidad de la masa líquida aumentan en forma considerable la fuerza erosiva del agua y su capacidad de transporte. Así, un corto período basta para provocar cambios sensibles en la morfología de los márgenes y del lecho del río, ocasionando desbordes significativos. Para minimizar o incluso anular dichos desbordes, una adecuada defensa ribereña, un enrocado o la construcción de espigones, pueden ser ciertamente efectivos para prevenir este tipo de daños.

Tipos de avenidas

Avenidas periódicas: Generalmente no causan daños, e incluso son benéficas, como por ejemplo las del río Nilo previo a la construcción de la presa de Asuán, donde contribuían a la fertilidad del valle bajo del río. Este tipo de avenidas es de larga duración, pudiendo durar semanas o meses. Son causadas por las variaciones climáticas de vastas regiones de la cuenca hidrográfica. Son previsibles, pudiéndose tomar medidas de protección para evitar o minimizar los daños.

Avenidas excepcionales: Son causadas por precipitaciones intensas sobre toda la cuenca o parte de esta. Son difícilmente previsibles, para ello se requiere de una red de monitoreo operada en tiempo real. Generalmente causan daños a las poblaciones y

a la infraestructura económica. Se pueden tomar medidas de protección civil y mantenimiento preventivo de las infraestructuras.

Combinación de ambas: Generalmente causan daños, son difícilmente previsibles si no se cuenta con una red de monitoreo en tiempo real.

Socavación

La socavación es la remoción de materiales del lecho de un cauce debido a la acción erosiva del flujo de agua alrededor de una estructura hidráulica. La socavación del fondo de un cauce definido es el producto del desequilibrio entre el aporte sólido que trae el agua a una cierta sección y la mayor cantidad de material que es removido por el agua en esa sección (Ver Figura 12).



Figura 12: Socavación en aleta de entrada de un puente.

Fuente: <https://www.pinterest.com.mx/pin/553942822912088804/>

Tipos de Socavación

Socavación general: La socavación general es un fenómeno de largo plazo, que podríamos llamar natural, se da en la parte alta de las cuencas hidrográficas, donde la pendiente del talweg es elevada. Como consecuencia, la velocidad del agua y la capacidad de arrastre de la corriente son elevadas. En la medida que el flujo arrastra

más material, el flujo alcanza rápidamente su capacidad potencial de arrastre, el mismo que es función de la velocidad. En ese punto ya no produce socavación, la sección, márgenes y fondo son estables. A medida que se avanza en el curso del río o arroyo, la pendiente disminuye, consecuentemente disminuye la velocidad, y la corriente deposita el material que transportaba.

Socavación localizada: Los casos más típicos de socavación localizada son:

Al pie de un talud, lo que podrá provocar su derrumbe, si no se toman medidas;

Alrededor de los pilares, o debajo de la cimentación de la cabecera de un puente, pudiendo provocar la caída del mismo.

Inmediatamente aguas abajo de un embalse. En efecto, el embalse retiene casi la totalidad del transporte sólido del río, así, el agua que es descargada aguas abajo de la represa está casi totalmente libre de sedimentos, teniendo por lo tanto una capacidad de socavación considerable.

Socavación en pilares: Este es un tipo de socavación que consiste en la excavación de material que se encuentra alrededor de los pilares de un puente, lo que puede llegar (de ser el caso) al colapso de la estructura. Entre las fórmulas más conocidas para la predicción de profundidad de socavación alrededor de pilares cimentado sobre lechos arenosos, están las del HEC-18 (Circular de Ingeniería Hidráulica del FHWA y la del FDOT (Departamento de Transporte de Florida), mediante análisis de data se ha podido observar que cada una de éstas fórmulas tienen un determinado rango de aplicación; es decir, rangos donde el valor de la socavación prevista se acerca más a de la calculada.

Obras hidráulicas

Se entiende por obra hidráulica o infraestructura hidráulica a una construcción, en el campo de la ingeniería civil, donde el elemento dominante tiene que ver con el agua. Se puede decir que las obras hidráulicas constituyen un conjunto de estructuras

con el objeto de manejar el agua, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o de defensa.

Obras de protección de cauces y riberas

Son obras destinadas a evitar la erosión y la socavación en ríos y esteros producto del flujo del agua del agua. En general son requeridas como complemento de otras obras civiles que se construyen en los cauces naturales, que modifican el régimen de escurrimiento causando aceleraciones o desaceleraciones de la corriente lo que provoca arrastres locales del material del lecho. Las obras más típicas que provocan estos fenómenos son los puentes, bocatomas, alcantarillas, sifones, canoas, embalses.

Las obras en los cauces, casi sin excepción, producen estrechamientos que originan las aceleraciones y desaceleraciones que arrastran el material del cauce produciendo la erosión. Las obras de protección están destinadas a controlar este fenómeno.

Obras de protección transversales

Las obras transversales se denominan así dado que se localizan de manera transversal en la corriente de un río, estas permiten controlar el transporte de sedimentos y material orgánico por una corriente de agua, a través de la fijación o modificación de la pendiente de su lecho, además minimiza la velocidad del flujo y con estas obras se facilita el cambio de dirección y el almacenamiento del recurso hídrico, además de hacerle frente al problema de las inundaciones.

Presas

Las presas son estructuras que se interponen sobre un río para retener el agua formando un embalse. Dada la gran inversión económica y el enorme impacto ambiental y social que implica su construcción, las presas casi siempre se destinan a propósitos múltiples; entre ellos se encuentra la generación de energía eléctrica, riego, recreo y pesca, pero prácticamente todas tienen una función primordial: el control de avenidas. Entre las obras de protección y control de avenidas, las presas son más

seguras y más eficientes, pero, al mismo tiempo, más costosas, por lo menos desde el punto de vista de la inversión inicial.

En cuanto al control de avenidas, se distinguen tres tipos de presa: retención de azolves, rompe-pico y almacenamiento; las primeras son mucho menos costosas que las últimas, pero son limitadas en su función de control.

Presas de azolves: Son pequeños diques interpuestos a una corriente que se colocan en torrentes y arroyos. Generalmente tienen una altura de entre tres y 15 metros, aunque se han construido hasta de 35 metros. Tienen dos funciones principales: retener sedimentos y reducir la erosión del terreno aguas arriba. (Ver Figura 13).

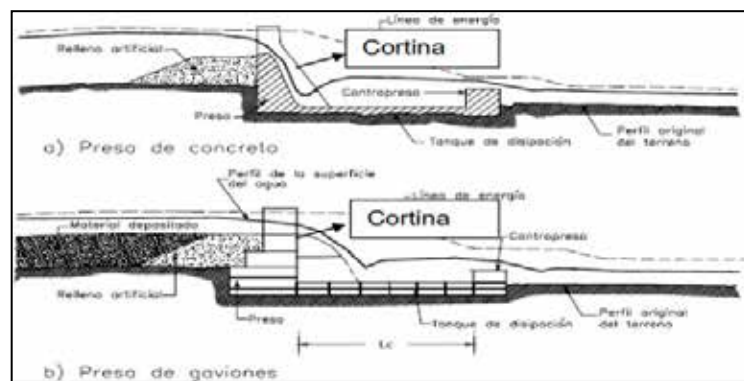


Figura 13: Presa de azolves

Fuente: <https://es.scribd.com/document/365246165/53670564-Obras-de-Proteccion-Contra-Inundaciones-pdf>

Presas rompe-picos: Se emplean en corrientes pequeñas y su principal característica es la poca altura de su cortina y reducida capacidad de almacenamiento, la ventaja más clara son los bajos costos, haciendo factible la proyección de sistemas en cascada. (Ver Figura 14).

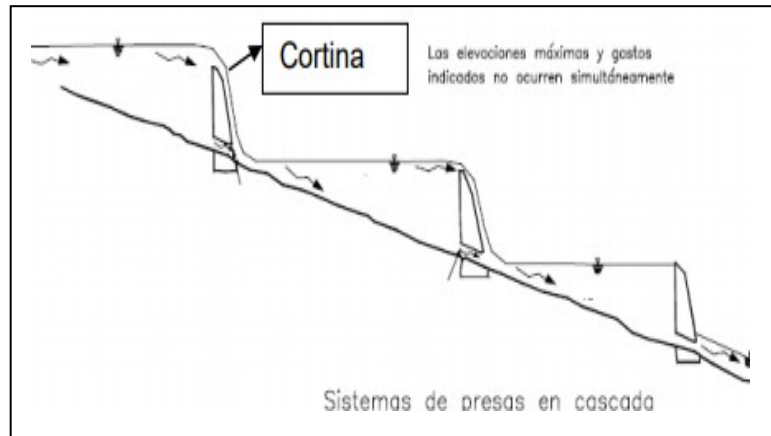


Figura 14: Presa de rompe-picos

Fuente: <https://es.scribd.com/document/365246165/53670564-Obras-de-Proteccion-Contra-Inundaciones-pdf>

Presas de almacenamiento: El objetivo principal de estas es retener el agua para su uso regulado en irrigación, generación eléctrica, abastecimiento a poblaciones, recreación o navegación, formando grandes vasos o lagunas artificiales. El mayor porcentaje de presas del mundo, las de mayor capacidad de embalse y mayor altura de cortina corresponden a este objetivo. (Ver Figura 15).

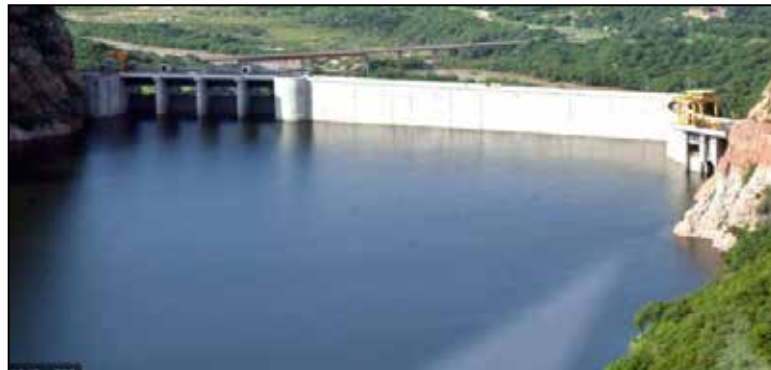


Figura 15: Presa de almacenamiento.

Fuente: <https://luznoticiasrm.blob.core.windows.net/optimalcdn.com/images/2016/09/23/presahuites-focus-0-0.12-1140-700.jpg>

Disipadores

Los disipadores de energía son estructuras diseñadas para reducir la alta velocidad de flujos aguas abajo, logra disipar la energía cinética que es la producida por el movimiento y pasa de un régimen supercrítico a subcrítico, es decir pasar de

una pendiente alta a una pendiente baja, logrando así disminuir la velocidad de la corriente.

Canal rápido: Se construye a una pendiente igual a la del talud y en ocasiones se le colocan elementos sobresalientes en su fondo para disipar energía, este sistema es muy utilizado por ser más económico, pero presenta el problema de la poca energía disipada. (Ver Figura 16).

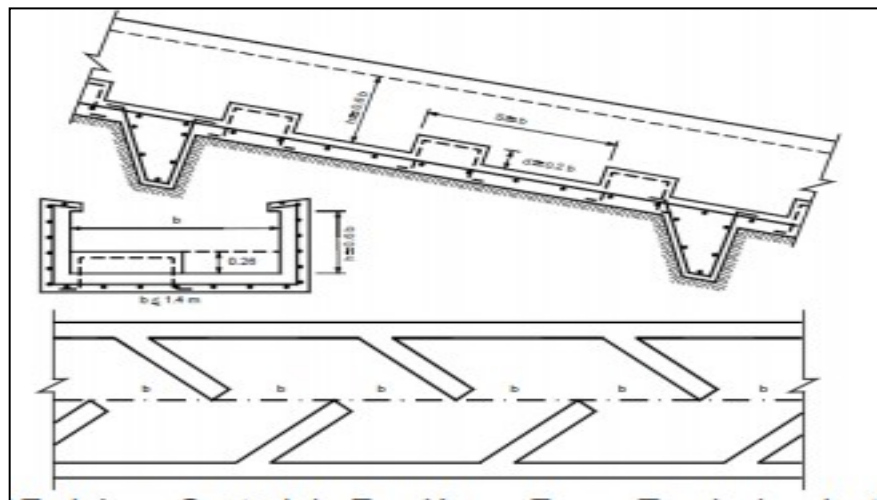


Figura 16: Disipador de canal rápido.

Fuente: http://idea.manizales.unal.edu.co/gestion_riesgos/descargas/ponencias/Manual_estructuras_vertimiento.pdf

Estructura de graderías: El sistema de graderías es más eficiente para disipar energía, son estructuras rápidas escalonadas las cuales están formadas por una serie de gradas o escalones dentro del canal, este canal en gradas conduce el agua y al mismo tiempo se va disipando energía en cada uno de los escalones. (Ver Figura 17)

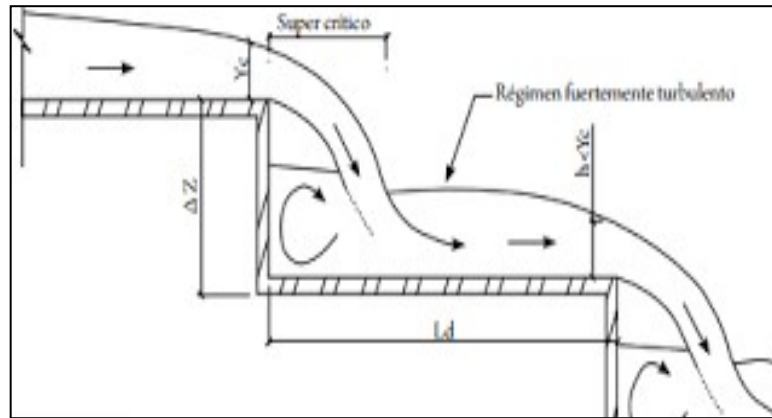


Figura 17: Disipador de graderías.

Fuente: <https://edoc.pub/download/disipador-de-energia-escalonada-pdf-free.html>

Barreras de sedimentos

Las barreras de retención de sedimentos sirven para controlar los sólidos en suspensión en el agua, proporcionando una zona de contención controlada.

Está compuesto por un geotextil de monofilamentos con hilos de polipropileno de alta tenacidad, que se tejen en una red estable que permite el paso del agua y retiene los sedimentos. (Ver Figura 18).



Figura 18: Barra de sedimentos.

Fuente: <https://alconservationdistricts.gov/wp-content/uploads/2017/07/Section-Capitulo-5-Practicas-de-Control-de-Sedimento.pdf>

Diques de retención

El dique de retención consta de un conjunto de barreras que cruzan un curso de agua o un conducto, para controlar el nivel y velocidad del agua, uno de los objetivos para construir diques es resistir el desgaste del fondo de las cárcavas o quebradas por efecto del arrastre ejercido por el agua, también estabilizar las pendientes del lecho y la erosión. Dependiendo de la longitud de la cárcava a controlar debe decidirse si serán uno o más diques. Si la cárcava es relativamente corta (menos de 20 metros), bastará con la construcción de un solo dique; por el contrario, si la cárcava se extiende por más de 20 metros y la pendiente del lecho es elevada, vale la pena considerar la construcción de uno o más diques.

Diques de piedra: Es uno de los tipos de diques de menor costo, solo requiere que se corte la piedra en algún lugar cercano al sector donde se construyen los diques. Lo ideal es cantar las piedras para facilitar su colocación y dar mayor estabilidad a la obra. (Ver Figura 19).



Figura 19: Dique de piedra.

Fuente: http://ctha.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/i_instructivo_diques.pdf

Diques de mampostería hidráulica: Es muy similar al anterior, salvo por que las piedras se unen unas a otras con una mezcla de cemento y arena, su costo es mayor en comparación con el anterior. Siempre se requiere de la excavación de los empotrados. (Ver Figura 20).



Figura 20: Dique de mampostería hidráulica.

Fuente: <https://diquesdegavion.wordpress.com/diques-de-mamposteria-hidraulica/>

Diques de postes impregnados y sacos de tierra: en este tipo de diques se usan postes de pino de 4 pulgadas, los postes van enterrados y sujetos con clavos y alambre, se construyen dos muros de postes firmemente unidos y se rellena con sacos llenos de tierra. (Ver Figura 21).



Figura 21: Dique de postes impregnados y sacos de tierra.

Fuente: https://www.u-cursos.cl/forestal/2016/2/SI018/1/material_docente/bajar?id_material=1610635

Obras de protección longitudinales

Las obras longitudinales son obras localizadas en las laderas de los cauces u orillas, con materiales resistente a la fuerza erosiva de la corriente, existen revestimientos en hormigón o asfalto, mantas de hormigón, sacos de arena o cemento

(bolsa suelos y bolsacretos), escollera cogida con mortero, y revestimiento flexible con escollera o rip rap, bloques de hormigón prefabricados y vegetación.

Espigones

Estas estructuras son elementos laterales que tratan de proteger la orilla y al mismo tiempo desviar la corriente. La capacidad del canal aunque se disminuye puede manejarse para que no sea modificada en forma considerable, generalmente estas obras se utilizan en ríos poco profundos y con moderado material suspendido. Los espigones pueden ser construidos de diversos materiales tales como enrocados, bloques prefabricados de concreto, geotubos rellenos de material, gaviones, o de productos orgánicos como troncos de árboles o bambú, con bloques de roca, hexápodos, tetrápodos, pilotes de acero, madera, o combinaciones de varios materiales. Los espigones de enrocado tienen generalmente una sección trapezoidal.

Para el diseño de estas obras, ya sea que se quiera proteger la orilla, o bien, hacer una rectificación, se requiere de trazar el eje del río y en las orillas dibujar líneas paralelas a dicho eje las cuales llegaran a los extremos de los espigones, como se muestra a continuación. (Ver Figura 22).

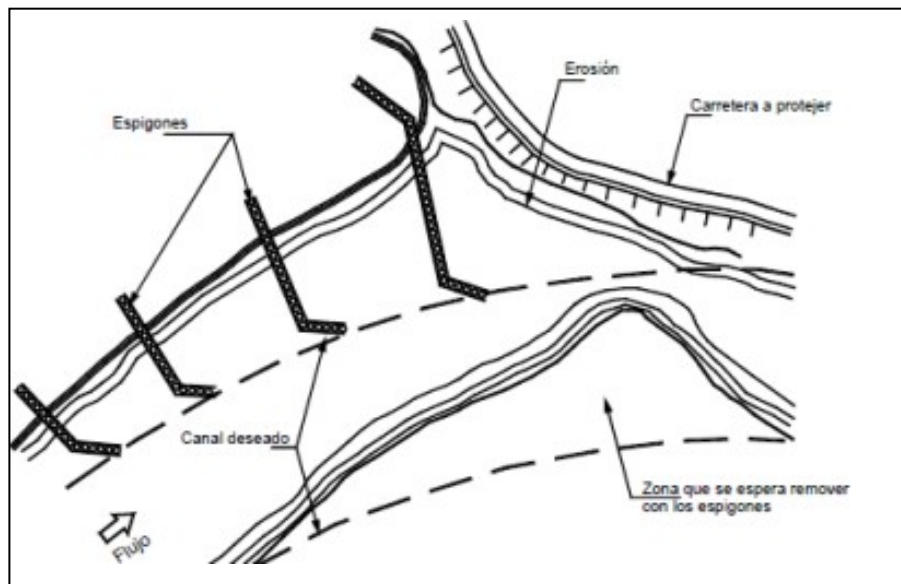


Figura 22: Disposición de espigones.

Fuente: <https://www.docsity.com/es/espigones-hidrologica/5168348/>

Tipos de espigones: Existen diferentes tipos de espigones, espigones cortos, espigones largos y entre ellos espigones impermeables y permeables.

Forma de espigones: (Ver Figura 23)

Espigón recto: Formando un ángulo con la orilla y que tiene una cabeza con un sistema de protección contra la socavación en la punta.

Espigón en forma de T: El ángulo α es generalmente de 90 grados y el dique en la punta es paralelo a la dirección del flujo.

Espigón en forma de L: Que permite mayor espacio para sedimentación entre espigones y menos socavación en su cabeza y son más efectivos para facilitar la navegación.

Espigones en forma de palo de jockey: Que poseen huecos los cuales son más extensivos en área que los en forma de T.

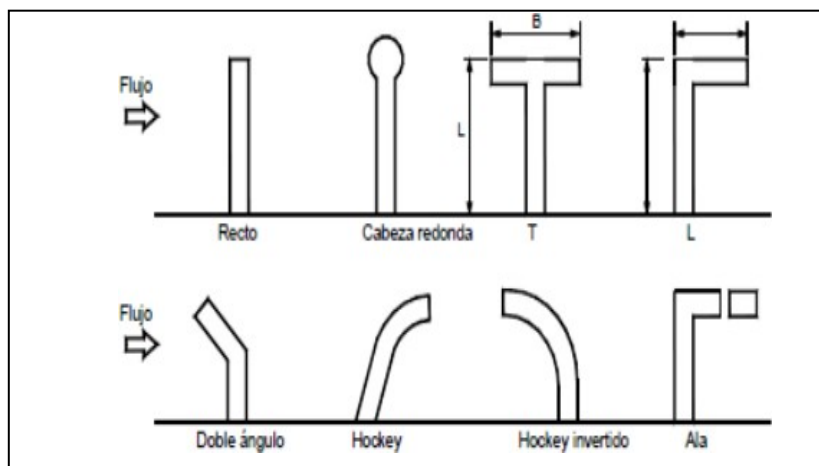


Figura 23: Formas de espigones.

Fuente: <https://www.docsity.com/es/espigones-hidrologica/5168348/>

Gaviones

Los gaviones son estructuras que consisten en una caja construida con enrejado metálico, confeccionado con alambre especialmente galvanizado reforzado, estos gaviones se rellenan con canto rodado, piedra de cantera o el material más adecuado que se disponga, pero teniendo la precaución de no emplear piedras o materiales que contengan óxido de hierro (Fe), excesiva alcalinidad o compuestos salinos ya que

cualquiera de esos elementos puede deteriorar el alambre a pesar de su fuerte protección de Zinc.

Esta obra longitudinal se caracteriza principalmente por su flexibilidad ya que permite su construcción en terrenos irregulares, presenta también ventajas como: durabilidad, resistencia, economía entre otras. (Ver Figura 24).



Figura 24: Gavión.

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Gavi%C3%B3n>

Tipos de gaviones:

Gaviones Caja: Son estructuras tipo caja en forma de prisma rectangular, hecha de doble malla hexagonal torcida, para la colocación de las piedras. Asimismo, proporciona soluciones económicas ya que en la zona existen sitios naturales donde la piedra se encuentra en abundancia.

Gaviones tipo colchón: Los gaviones colchón se suelen llamar tipo caja a aquellos cuya altura está entre 0.50 m- 1.00 m y tipo colchón a aquellos cuya altura está entre 0.17 m- 0.30 m.

Gavión de tierra armada: Es un gavión tipo caja que presenta un panel de refuerzo fabricado con malla hexagonal de doble torsión, este panel está

conformado por una malla uniforme y continua, el cual se introduce en la masa de terreno garantizando un mejor desempeño en terrenos que requieren mayor refuerzo de suelo tales como contención y estabilización de taludes; y en rellenos para diferentes aplicaciones.

Diques marginales

La diferencia que existe entre un dique marginal y un espigón es que los diques se diseñan para lograr que las líneas de corriente sean paralelas a la obra, mientras que los espigones interfieren con las líneas de corriente.

Los diques son estructuras que se colocan dentro del cauce; por lo general son de gran longitud. Se utilizan cuando se quiere formar una nueva orilla que permita encauzar al flujo de manera más adecuada o se desea reducir el ancho del río.

Para encauzar el flujo hacia los puentes se recomienda tratar de lograr mantener un flujo uniforme de manera de disminuir la erosión al pie de las pilas o estribos. Cuando los diques se utilizan para este último propósito reciben el nombre de "diques de encauzamiento".

Estas obras se construyen principalmente en aquellas zonas donde los cauces tienen islas, son divagantes, los márgenes son irregulares y cuando se quiere formar una nueva orilla separada de la actual.

En ríos de planicie se tienen márgenes muy irregulares, sobre todo en las curvas, es recomendable que en lugar de utilizar una serie de espigones se diseñe un solo dique.

Los materiales que se usan para su construcción son arcilla, arena o materiales pétreos; su sección transversal es trapezoidal y el talud está en contacto con la corriente de río. También se pueden formar paredes verticales con la utilización de tabla-estacas o la construcción de muros.

Son estructuras de un alto costo. Es una obra completa, consta de todos los elementos de un revestimiento marginal, se requiere de un cuerpo de apoyo firme, sólido, para disponer de una protección marginal confiable. (Ver Figura 25).



Figura 25: Dique marginal.

Fuente: <https://docplayer.es/88004510-Informe-final-informe-principal-i-1-informe-del-programa-version-publica.html>

Enrocado de protección

El enrocado de protección es una obra longitudinal que pretende proteger los taludes de las márgenes de los ríos, como su nombre lo indica el material de construcción de este es la roca.

Los márgenes de los ríos están constituidos principalmente por arena y limo, de tal manera que es importante mantener el agua alejada de sus márgenes fácilmente erosionables, ya que estas márgenes son severamente atacadas por las crecientes en aumento, la fuerza de arrastre, causando a la erosión.

En los enrocados, se debe tener en cuenta el uso de piedras no redondeadas preferiblemente de forma tabloide con espesores superiores a 100 mm, las piedras pueden colocarse sueltas o pegadas con mortero o concreto, en el caso de utilizar uniones de concreto se requiere construir juntas de dilatación cada 10 a 20 metros, debajo de la piedra es necesario colocar un manto de geotextil o filtro para evitar la erosión. (Ver figura 26).

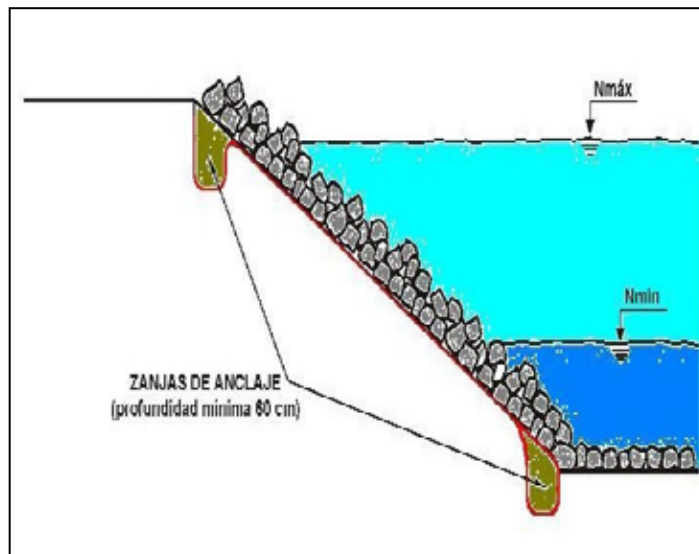


Figura 26: Encorado de protección.

Fuente: <https://docplayer.es/88004510-Informe-final-informe-principal-i-1-informe-del-programa-version-publica.html>

Tipo de enrocado de protección:

Enrocado anclado: Cuando las rocas disponibles no poseen el peso necesario para su estabilidad contra la corriente, se pueden utilizar los enrocados anclados que consisten en un enrocado simple sobre el cual se coloca una malla de acero galvanizado anclado con pines de acero, el tamaño de la malla debe impedir la salida de los cantos o bloques.

Camellones o caballetes de roca: Un camellón es un dique de protección de orilla en piedra colocado a una distancia determinada hacia afuera del borde de la orilla, el cual actúa como protección solamente en el momento de desborde o inundación de la corriente, los caballetes pueden ser apropiados para situaciones de emergencia o para evitar el desborde de las corrientes.

Bases legales

Según Villafranca D. (2002) plantea que “Las bases legales no son más que leyes que sustentan de forma legal el desarrollo del proyecto” explica que las bases legales “son leyes, reglamentos y normas necesarias en algunas investigaciones cuyo tema así lo amerite”. En este sentido se comprende que la fundamentación legal hace

referencia a aquellos documentos de carácter normativo que darán soporte a la investigación, siendo necesario hacer mención de los siguientes:

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, Artículo 127 y 304; 1999

Artículo 127:

Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia.

Artículo 129:

Todas las aguas son bienes de dominio público de la Nación, insustituibles para la vida y el desarrollo. La ley establecerá las disposiciones necesarias a fin de garantizar su protección, aprovechamiento y recuperación, respetando las fases del ciclo hidrológico y los criterios de ordenación del territorio.

Ley de Aguas, Artículo 4, 5, 12, 18, 54 y 55; 2007

Artículo 4

La gestión integral de las aguas tiene como principales objetivos:

1. Garantizar la conservación, con énfasis en la protección, aprovechamiento sustentable y recuperación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, a fin de satisfacer las necesidades humanas, ecológicas y la demanda generada por los procesos productivos del país.
2. Prevenir y controlar los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes.

Artículo 5

Los principios que rigen la gestión integral de las aguas se enmarcan en el reconocimiento y ratificación de la soberanía plena que ejerce la República sobre las aguas y son:

1. El acceso al agua es un derecho humano fundamental.
2. El agua es insustituible para la vida, el bienestar humano, el desarrollo social y económico, constituyendo un recurso fundamental para la erradicación de la pobreza y debe ser manejada respetando la unidad del ciclo hidrológico.
3. El agua es un bien social. El Estado garantizará el acceso al agua a todas las comunidades urbanas, rurales e indígenas, según sus requerimientos.
4. La gestión integral del agua tiene como unidad territorial básica la cuenca hidrográfica.
5. La gestión integral del agua debe efectuarse en forma participativa.

6. El uso y aprovechamiento de las aguas debe ser eficiente, equitativo, óptimo y sostenible.

7. Los usuarios o usuarias de las aguas contribuirán solidariamente con la conservación de la cuenca, para garantizar en el tiempo la cantidad y calidad de las aguas.

8. Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar la conservación de las fuentes de aguas, tanto superficiales como subterráneas.

9. En garantía de la soberanía y la seguridad nacional no podrá otorgarse el aprovechamiento del agua en ningún momento ni lugar, en cualquiera de sus fuentes, a empresas extranjeras que no tengan domicilio legal en el país.

10. Las aguas por ser bienes del dominio público no podrán formar parte del dominio privado de ninguna persona natural o jurídica.

11. La conservación del agua, en cualquiera de sus fuentes y estados físicos, prevalecerá sobre cualquier otro interés de carácter económico o social.

12. Las aguas, por ser parte del patrimonio natural y soberanía de los pueblos, representan un instrumento para la paz entre las naciones.

Artículo 12

El control y manejo de los cuerpos de agua se realizará mediante:

1. La clasificación de los cuerpos de agua o sectores de éstos, atendiendo a su calidad y usos actuales y potenciales.

2. El establecimiento de rangos y límites máximos de elementos contaminantes en afluentes líquidos generados por fuentes puntuales.

3. El establecimiento de condiciones y medidas para controlar el uso de agroquímicos y otras fuentes de contaminación no puntuales.

4. La elaboración y ejecución de programas maestros de control y manejo de los cuerpos de agua, donde se determinen las relaciones causa-efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas, las alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros, y las condiciones en que se permitirán sus vertidos, incluyendo los límites de descargas máxicas para cada fuente contaminante y las normas técnicas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de los cuerpos de aguas.

La clasificación de los cuerpos de agua y la aprobación de los programas maestros de control y manejo de los mismos, las cuales se podrán realizar conjunta o separadamente con los planes de gestión integral de las aguas en el ámbito de las cuencas hidrográficas.

Artículo 18

El manejo de las aguas comprenderá la conservación de las cuencas hidrográficas, mediante la implementación de programas, proyectos y acciones dirigidos al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales.

La conservación de las cuencas hidrográficas considerará las interacciones e interdependencias entre los componentes bióticos, abióticos, sociales, económicos y culturales que en las mismas se desarrollan.

Artículo 54

Las zonas protectoras de cuerpos de agua tendrán como objetivo fundamental proteger áreas sensibles de las cuales depende la permanencia y calidad del recurso y la flora y fauna silvestre asociada.

Se declaran como zonas protectoras de cuerpos de agua con arreglo a esta Ley:

1. La superficie definida por la circunferencia de trescientos metros de radio en proyección horizontal con centro en la naciente de cualquier cuerpo de agua.
2. La superficie definida por una franja de trescientos metros a ambos márgenes de los ríos, medida a partir del borde del área ocupada por las crecidas correspondientes a un periodo de retorno de dos comas treinta y tres (2,33) años.
3. La zona en contorno a lagos y lagunas naturales, y a embalses construidos por el Estado, dentro de los límites que indique la reglamentación de esta ley.

Artículo 55 “Las reservas hidráulicas están compuestas por los territorios en los cuales estén ubicados cuerpos de agua naturales o artificiales que por su naturaleza, situación o importancia justifiquen su sometimiento a un régimen de administración especial.”

Plan de Desarrollo Urbano Local

El plan de Desarrollo Urbano Local (PDUL) es una herramienta de planificación para organizar el entorno urbano, orientado a un desarrollo articulado, coherente y concentrado, donde se pueda reflejar un equilibrio existente entre las actividades y los servicios necesarios. En base a lo previamente expuesto el Plan de Desarrollo Urbano Local, establece en sus artículos en sus artículos 155 y 156 lo siguiente:

Artículo 155. Descripción de la zona: Corresponde a una franja de 60 m del retiro contemplado a los márgenes del Río Cabriales. Constituye una zona de protección a lo largo del río la cual será destinada al Parque Urbano y Metropolitano.

Artículo 156. Usos Permitidos: El cual debe incluir los siguientes equipamientos y actividades:

- a.- Áreas verdes de protección
- b.- Áreas verdes tratadas

c.- Áreas de recreación pasiva y/o activa

d.- Caminerías y ciclovías

e.- Estructuras livianas para: cafetines y fuentes de soda; caneyes y parrilleras; salas de exposiciones; salas de usos múltiples socio-culturales; vigilancia y seguridad; administración del parque; salas de lectura y computación; salas de juegos de mesa; sanitarios.

f.- Conexiones a la red vehicular y estacionamientos.

Definición de términos básicos

Batimetría: Conjunto de técnicas para la medición de las profundidades del mar, los ríos, etc., y el estudio de la distribución de las plantas y animales en sus diversas capas o zonas.

Bolsacreto: Son formaletas flexibles y permeables elaboradas a partir de cintas planas de polipropileno, que forman un textil de excelentes características, los Bolsacretos contienen la masa de mortero o de concreto conformando un enrocado de gran tamaño, adecuado para obras de protección de riberas, estabilización de taludes construcción de estructuras como espolones, rompeolas, diques, presas, taludes, pilares, sillares, muros y realces, los bolsacretos poseen la permeabilidad necesaria, de manera que bajo presión de inyección, el agua en exceso pasa libremente hacia el exterior produciendo un rápido fraguado y mejorando la resistencia y calidad del concreto.

Bosque ribereño: Son formaciones de árboles caducifolios que dependen para su subsistencia de la humedad que aportan los ríos: predominan los sauces, chopos o álamos, negrillos u olmos, fresnedas.

Canal: Se denomina canal a una construcción destinada al transporte de fluidos y que, a diferencia de las tuberías, es abierta a la atmósfera.

Cárcava: Hoya o concavidad formada en el terreno por la erosión de las corrientes de agua

Caudal: Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente.

Concreto: (Hormigón) Es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade áridos (agregado), agua, y aditivos específicos.

Denudación: Implica los procesos que causan el desgaste de la superficie de la Tierra al mover el agua, el hielo, el viento y las olas , lo que lleva a una reducción en la elevación y al alivio de los accidentes geográficos y de los paisajes.

Difracción: Cuando la propagación de una onda es interrumpida por una barrera tal como una isla, o un rompeolas.

Dique: Muro o construcción para contener las aguas.

Disipación: Transformación de la energía mecánica del agua.

Escorrentía: Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.

Evaporación: La evaporación es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial.

Flujo: Movimiento de los fluidos.

Fluvial: El término fluvial se utiliza en la geografía y en ciencias de la Tierra para referirse a los procesos asociados a los ríos, arroyos, a los depósitos y relieves creados por ellos.

Granulometría: Es el estudio de la distribución estadística de los tamaños de una colección de elementos de un material sólido fraccionado o de un líquido multifásico.

Junta de dilatación: es un elemento que permite los movimientos relativos entre dos partes de una estructura o entre la estructura y otras partes con las cuales trabaja.

Pendiente: Es un declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de una vertiente.

Pilar: Es un elemento alargado, normalmente vertical, destinado a recibir cargas (de compresión principalmente) para transmitir las al terreno mediante la cimentación.

Pilote: Es un elemento constructivo utilizado para cimentación de obras, que permite trasladar las cargas hasta un estrato resistente del suelo, cuando este se encuentra a una profundidad tal que hace inviable, técnica o económicamente, una cimentación más convencional mediante zapatas o losas.

Recirculación: Es un concepto que proviene de **circulación**, un término que se refiere al proceso de **circular**.

Refracción: Es el cambio de dirección y velocidad que experimenta una onda al pasar de un medio a otro con distinto índice refractivo.

Suelo limoso: Se componen de partículas más pequeñas y suaves al tacto que los arenosos.

Morfología: Estudio de la estructura microscópica de una fibra u otro material.

Talud: Inclinación de un terreno o de un muro.

Tetrápodos: Son un tipo de estructura en la ingeniería costera se usa para prevenir la erosión causada por el clima y el movimiento de litoral, principalmente para hacer cumplir las estructuras costeras, tales como diques y escolleras.

Tirante: Profundidad del flujo, calado o tirante es la profundidad del flujo (generalmente representada con la letra h) es la distancia vertical del punto más bajo de la sección del canal a la superficie libre del agua.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La metodología se define como una serie de métodos y técnicas aplicadas sistemáticamente durante un proceso de investigación para alcanzar un resultado teóricamente válido. Es decir, la metodología es parte del proceso de la investigación y marco científico, referidos a diversas técnicas, leyes y registros, con los cuales una teoría adquiere validación científica. Para luego plantear el conjunto de operaciones que se incorporan en el despliegue de la investigación y en el proceso de la obtención de los datos.

Al respecto, (Finol y Camacho, 2008; 60) expresan que el marco metodológico dictará “como 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”

Tipo de Investigación

A propósito de la tipología desarrollada en esta investigación conocida como proyecto factible (Balestrini, 2002; 9) menciona que “los proyectos factibles son aquellos proyectos o investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas entre otros, que dan soluciones a una realidad o problemática real planteada, la cual fue sometida con anterioridad o estudios de las necesidades a satisfacer”.

En consecuencia, en la presente se plantearán los análisis de la situación actual del cauce y las riberas del Río Cabriales teniendo en consideración con la peculiaridad que significa el tipo de flujo de una confluencia, con el fin de establecer propuestas válidas en respuesta a la pérdida de material en las laderas y evitar un

aumento no deseado en el cuerpo de agua, socavación en las bases de los puentes presentes y posibles inundaciones producto de avenidas.

Diseño de la investigación

El diseño de 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. El presente trabajo es de tipo no experimental apoyado en una investigación de campo y documental, ya que los datos para su realización se obtienen directamente del lugar donde se desarrolla la investigación y otros de material teórico ya existente, los cuales permiten sustentar el estudio y la propuesta.

Según (Kerlinger y Lee, 2006; 504) nos dicen que:

“La investigación no experimental es la búsqueda empírica y sistemática en la que el científico no posee control directo de las variables independientes, debido a que sus manifestaciones ya han ocurrido o a que son inherentemente no manipulables. Se hacen inferencias sobre las relaciones entre las variables, sin intervención directa, de la variación concomitante de las variables independiente y dependiente.”

Nivel de la investigación

Es el grado de profundidad con la que se estudia ciertos fenómenos o hechos en la realidad social, y todo ello dentro de una investigación.

La investigación descriptiva es un método que intenta recopilar información cuantificable para ser utilizada en el análisis estadístico de la muestra de población. Es una herramienta popular de investigación de mercado que permite recopilar y describir la naturaleza del segmento demográfico, así mismo el autor (Arias, 2006; 24) define:

“La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.”

Así pues, el nivel de investigación a desarrollar en esta investigación es el descriptivo, con el fin de describir las características del objeto de estudio con base en

datos obtenidos de los mismos por medio de la observación, sobre este tipo de investigación que estudiará de manera independiente cada variable que intervenga dando como resultado una propuesta de obras de protección para el tramo en estudio

Población y Muestra

Población

La población es un conjunto de individuos de la misma clase, limitada por el estudio. Según (Tamayo y Tamayo, 1997; 114), “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación”

La población que corresponde a esta investigación está representada por el tramo del Río Cabriales entre los puentes en la Avenida 97 Salvador Feo La Cruz Norte-Sur y el puente en la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz Este-Oeste.

Muestra

La muestra es la que puede determinar la problemática ya que les capaz de generar los datos con los cuales se identifican las fallas dentro del proceso. En consecuencia, (Tamayo y Tamayo, 1997; 38), afirman que la muestra “es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico”.

En cuanto a este trabajo concierne, la muestra está representada por la misma población.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Una técnica e instrumentos de recolección de datos están definidos como, “El procedimiento o forma particular de obtener datos o información, A su vez, específica un instrumento como cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. (Arias, 2006; 67).

Es decir, todas las formas en que se pueden obtener los datos necesarios para desarrollar el proceso de investigación.

En consecuencia, para la recolección de datos se llevarán a cabo las siguientes técnicas:

Observación directa

Es un método de recolección de datos que consiste básicamente en observar el objeto de estudio dentro de una situación particular. Todo esto se hace sin necesidad de intervenir o alterar el ambiente en el que se desenvuelve el objeto. De lo contrario, los datos que se obtengan no van a ser válidos.

Al respecto los autores (Hernández, Fernández y Baptista, 2006; 316), expresan que: “la observación directa consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos o conducta manifiesta”.

Para efectos de este estudio la observación directa tendrá como fin recolectar en primera persona por parte del investigador, todos los factores asociados a la situación planteada en el tramo en pesquisa.

Entrevista

La entrevista es, en esencia, una conversación bien planificada. En ella, el investigador plantea una serie de preguntas o temas de debate a una o varias personas, con el fin de obtener información específica.

Para (Denzin y Lincoln, 2005; 643) la entrevista es “una conversación, es el arte de realizar preguntas y escuchar respuestas”.

Es así, que se plantea realizar una entrevista a 2 expertos en el área de hidráulica de ríos, con el objetivo de aprovechar su conocimiento en el área para realizar un correcto diagnóstico y en posterior, propuestas oportunas al análisis hecho previamente.

Revisión documental

Según (Baena, 1985; 72) “la investigación documental es una técnica que consiste en la selección y recopilación de información por medio de la lectura y crítica de documentos y materiales bibliográficos, de bibliotecas, hemerotecas, centros de documentación e información”. Para la presente, consistirá en una revisión exhaustiva y crítica de las fuentes bibliográficas vinculadas con el tema tratado.

Lista de cotejo

Arias (2012) señala que las listas de cotejo o chequeo son instrumentos empleados para la recopilación de datos obtenidos por observación planificada, en los cuales se plasma la presencia o ausencia de alguna característica o comportamiento particular en las unidades estudiadas. Considerando lo anterior, se llevará a cabo por medio de este instrumento la inspección del estado del tramo objetado.

Cuestionario

En cuanto al cuestionario, el autor (Sierra, 1994; 194) plantea que “este instrumento consiste en aplicar a un universo definido de individuos una serie de preguntas o ítems sobre un determinado problema de investigación del que deseamos conocer algo”. Se elaborará entonces por parte del investigador un cuestionario amplio y con un enfoque muy técnico que haga las de instrumento para la recolección de datos en la entrevista anteriormente planteada.

Google Maps

Es una herramienta de búsqueda de ubicaciones que permite geolocalizar un punto concreto, calcular rutas, encontrar los lugares de interés más cercanos o ver la apariencia de un lugar a pie de calle a través de Google Street View. Dicha aplicación digital tendrá como finalidad dar la ubicación precisa del sitio en estudio, ya sean coordenadas o rutas de acceso al mencionado punto.

Google Earth

Es un programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital. Para beneficio de la presente hará las de cartografía digital pudiendo conocer las dimensiones aproximadas del tramo en cuestión.

Técnicas de análisis de datos

Se describen las distintas operaciones a la que serán sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación, y codificación si fuera el caso. En lo referente al análisis, se definirán las técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis,

síntesis), o estadísticas (descriptivas o inferenciales), que serán empleadas para descifrar lo que revelan los datos que sean recogidos.

Además, "en este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan". (Arias, 2006; 99)

En esta investigación se efectuará el análisis de datos obtenidos en la entrevista, la observación directa, la revisión documental y como cualquier otro tipo de datos de interés científico, ha de guardar relación con el problema en estudio y. Es decir, se analizaron los datos obtenidos y se interrelacionaron, para así lograr una coherencia en la interpretación del problema.

Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (Matriz FODA).

Se considera una herramienta de análisis que puede ser aplicada a cualquier situación, individuo, producto, empresa, etc., que esté actuando como objeto de estudio en un momento determinado del tiempo. Las variables analizadas y lo que ellas representan en la matriz, son particulares de ese momento; luego de analizarlas, se deberán tomar decisiones estratégicas para mejorar la situación actual en el futuro.

Fortalezas: Son las capacidades especiales con que cuenta el objeto de estudio, y que le permite tener una posición privilegiada frente a la competencia. Recursos que se controlan, capacidades y habilidades, actividades que se desarrollan positivamente.

Oportunidades: Son aquellos factores que resultan positivos, favorables, explotables, que se deben descubrir en el entorno en el que actúa el objeto de estudio y que permite obtener ventajas competitivas.

Debilidades: Aquellos factores que provocan una posición desfavorable frente a la competencia, recursos de los que se carece, habilidades que no poseen, actividades que no se desarrollan positivamente.

Amenazas: Aquellas situaciones que provienen del entorno y que pueden llegar a atentar incluso con la permanencia de la organización.

3.7. Fases metodológicas

Fase I Diagnosticar la situación actual del tramo en estudio.

Identificar las características del río, bajo la técnica de observación directa, de acuerdo a la hidrodinámica fluvial peculiar de la confluencia. Recabando la información necesaria para plantear diseños apropiados a las condiciones analizadas.

Fase II Determinar los parámetros básicos y valores críticos para la implementación y diseño.

Tomando como punto de partida el diagnóstico previo, justipreciar las posibles alteraciones derivadas de la modificación del cauce, riberas y características fluviales. Además, considerar el impacto que tendría la remoción de material orgánico, con el fin de recuperar área útil en la sección del tramo en estudio y plantear respuestas efectivas para aminorar dicho impacto.

Fase III Evaluar factibilidad técnica de las obras de protección.

Analizar la viabilidad basado en la ubicación, tipo de terreno, accesibilidad y espacio de maniobrabilidad de la aplicación de las distintas técnicas de construcción establecidas para los distintos tipos de obras de protección.

Realizar una comparación directa de los gastos acarreados de la implantación de las mencionadas obras hidráulicas de protección, con los beneficios para la sociedad derivados la ejecución de estas propuestas, considerando eventos trágicos y sus daños materiales o en el peor de los casos pérdidas de vidas humanas.

Fase IV Diseñar obras de protección de cauce y riberas del Río Cabriales.

Finalmente, elaborar diseños de obras de protección de cauce y riberas del Río Cabriales idóneas, considerando el producto de las fases previas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo, con la finalidad de llegar a la resolución de los objetivos planteados con anterioridad, fue necesaria la aplicación de las herramientas de recolección de datos que dieron como resultado la descripción del tramo en estudio y sus diferentes variables, como también la proyección de obras de protección de cauce y riberas del Río Cabriales.

Diagnosticar la situación actual del tramo en estudio.

Matriz FODA

Se realizó un análisis de Fortalezas – Oportunidades – Debilidades – Amenazas, la cual proporcionara conocimientos de todas las áreas del objeto en estudio y de esta manera lograr una base que promueva distintas propuestas, estrategias e incluso ideas, con la intención de obtener la opción viable para implementar obras de protección de cauces y riberas en el Río Cabriales. Para ello fueron analizadas las características del sitio en estudio. (Ver Figura 27).



Figura 27: Matriz FODA

Fuente: Bolívar, H (2020)

Municipio Naguanagua

Ubicación y demografía

El Municipio Naguanagua es uno de los 14 municipios autónomos del Estado Carabobo en la Región Central de Venezuela. Su capital es la localidad homónima de Naguanagua. Se ubica en la parte centro-norte del estado Carabobo. Posee de límites al norte con el municipio Puerto Cabello; al sur con los municipios Valencia y Libertador; al este con el municipio San Diego; y al oeste con los municipios Bejuma y Libertador. El municipio presenta las siguientes coordenadas geográficas: 68°08' y 67°58' de longitud oeste del meridiano de Greenwich y 10°22' con 10°14' de latitud norte del ecuador. Tiene una superficie de 188 km² y una población estimada de 185.713 de habitantes según el Censo Nacional 2018. (Ver figura 27).



Figura 28: Municipio Naguanagua

Fuente: <https://www.tazajal.com.ve/gestion-ambiental/compreension-de-la-organizacion-y-su-contexto-municipio-naguanagua/>

Por su infraestructura de servicios y la estratégica ubicación entre Valencia y Puerto Cabello, el municipio basa su economía en la actividad comercial intensiva. Numerosos centros comerciales y hoteles de gran importancia operan en la zona, además de contar con una importante cantidad de parques dándole a la comunidad gran variedad de espacios para el esparcimiento, entre los cuales tenemos el centro comercial Sambil Valencia (Ver figura 28), el Hotel Hesperia WTC (Ver Figura 29) y el parque El Samán (Ver figura 30), los 2 últimos de gran importancia para este estudio.



Figura 29: Centro comercial Sambil Valencia.
Fuente: <https://www.el-carabobeno.com/>



Figura 30: Hotel Hesperia WTC Valencia.
Fuente: <https://vip.net.ve/hotel-hesperia-world-trade-center-valencia-ofrece-videoconferencia-gratuita-sobre-embarazo-y-covid-19/>



Figura 30: Parque el Samán.

Fuente: <https://panamadigitaldotnet.wordpress.com/2011/11/30/naguanagua-enciende-la-navidad-este-jueves/>

Topografía

El municipio pertenece a la porción occidental de la Cordillera de la Costa, alcanzando una cota máxima de 1.680 msnm en la Teta de Hilaria. También se destacan en el noroeste la Fila de Aguacatal y la del Café, con 1.500 msnm y 1.200 msnm, respectivamente. La topografía es ligeramente inclinada a plana en los fondos de valle y la planicie del lago de Valencia, con una pendiente promedio de 3% al 5%; y, en las elevaciones circundantes de 14% al 30%. (Ver figura 31).

Según datos de la web WeatherSpark.com, la topografía en un radio de 3 kilómetros de Naguanagua tiene variaciones muy grandes de altitud, con un cambio máximo de 597 metros y un promedio sobre el nivel del mar de 569 metros. En un radio de 16 kilómetros contiene variaciones muy grandes de altitud. En un radio de 80 kilómetros también contiene variaciones extremas de altitud.

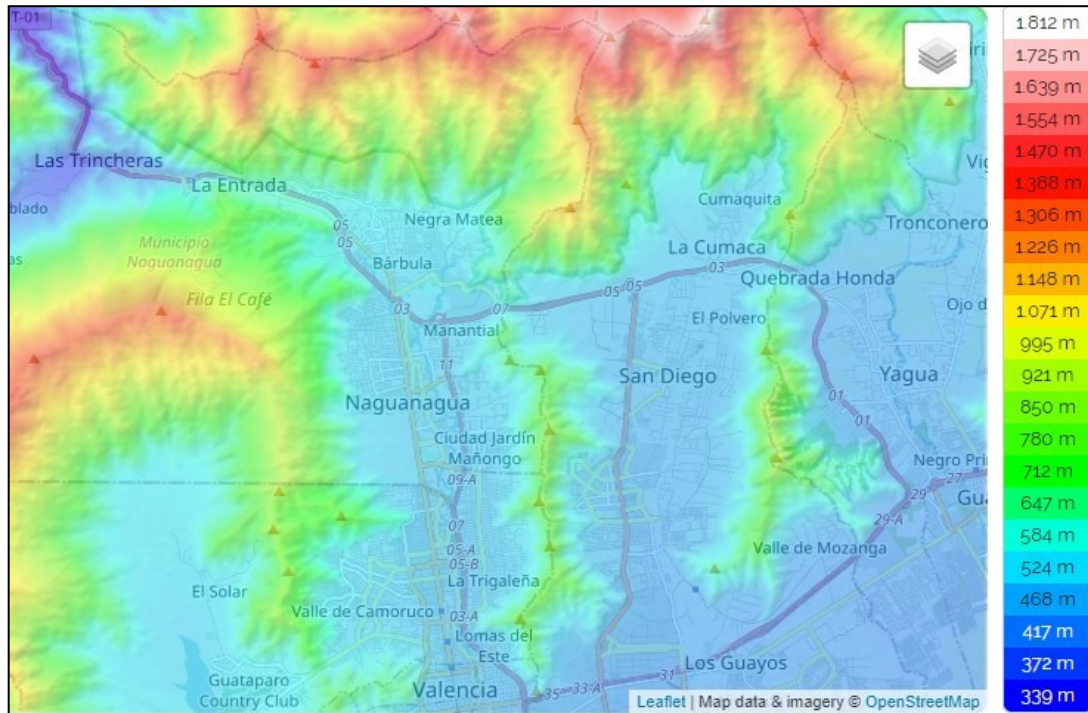


Figura 31: Mapa topográfico de Naguanagua.

Fuente: <https://es-ve.topographic-map.com/maps/gucc/Naguanagua/>

Geología y suelos

Unidad geológica del Mesozoico. La litología está compuesta por conglomerados metamórficos, cuarcitas y algunas filitas cuarzosas y cuarzo-micáceas y, capas de anfibolitas granatíferas asociadas con calizas, muy meteorizadas en superficie. Existe una aptitud variable del suelo como material de fundación, dependiendo básicamente del grado de alteración de los esquistos; en especial en aquellos residuales y poco profundos. Hacia el valle, el suelo es de textura predominante franco arcillo-arenosa/gravosa (por aportes laterales), generalmente bien drenados.

Clima y precipitación

En Naguanagua, los veranos son cortos, muy caliente, secos y nublados; los inviernos son cortos, caliente, mojados y mayormente nublados y está opresivo durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 20 °C a 31 °C y rara vez baja a menos de 18 °C o sube a más de 33 °C.

Precipitación promedio de 1.223 mm anuales; con patrón de distribución temporal de régimen unimodal, período lluvioso mayo a noviembre, en donde se descarga el 86,5% del total de lluvias y agosto como máximo módulo mensual.

Vegetación

La cobertura vegetal es media con bosques tropófilos basimontanos deciduos. Altura baja a media (10-20 metros) con uno o dos estratos arbóreos y un sotobosque denso que ocupa laderas hasta los 600 m.s.n.m. Existe alta intervención por usos urbanos. Sobre los 600 m.s.n.m., se desarrollan bosques ombrófilos submontanos, semideciduos estacionales y, bosques “alisios” con dos a tres estratos arbóreos densos de altura media (cuenca alta del Río Guataparo). (Ver figura 32).



Figura 32: Jardín Botánico de Naguanagua.

Fuente: <https://es.foursquare.com/v/jardin-botanico-de-naguanagua/4da0ee939935a0934887956f/photos>

Hidrografía

Naguanagua pertenece a las cuencas del lago de Valencia, río Orinoco y Mar Caribe. Las principales corrientes fluviales son los ríos Cabriales, Aguas Calientes, Retobo y Guataparo.

Río Cabriales

El Río Cabriales se encuentra dentro de la cuenca de su mismo nombre, en el estado Carabobo, nace en la fila de la Serranía de la Costa, en el Parque nacional San Esteban, al norte del Municipio Naguanagua, en el pico Hilaria (a 1650 metros de altura) y entre los cerros Agua Linda y El Novillo. Se une al río Retobo, en el sector homónimo. Pasa, aproximadamente, de Norte a Sur, por la parte Centro-Oriental de la ciudad de Valencia y descarga de forma natural en el Desparramadero El Paíto, al sur de la ciudad, desde donde las aguas se desbordaban hacia la cuenca del río Pao desembocando en el embalse Pao-Cachinche.



Figura 33: Río Cabriales.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Cabriales

Características del suelo

El Río Cabriales yace sobre un terreno geológico que se compone a modo general por 2 zonas: una zona de rocas ígneo-metamórficas (Asociación Metamórfica Ávila y Asociación Metasedimentaria Caracas), que se encuentra en el cauce alto del río (fila maestra de la cordillera) y en las laderas este y oeste del Valle de Valencia y una zona

de sedimentos no consolidados (aluvión fluvial cuaternario y conos aluviales) por donde escurre el cauce medio y bajo del río.

Las rocas ígneo-metamórficas pertenecientes a la Asociación Metamórfica Ávila corresponden principalmente a la unidad geológica Gneis del Cabriales, la cual aflora en el cauce alto del Río Cabriales

Los sedimentos no consolidados se presentan en forma de aluviones que provienen de los cerros a su alrededor. El material de estos depósitos aluvionales varía según su procedencia. Los que se encuentran más hacia el norte provienen de las intrusiones ígneas, por su parte los que se encuentran más hacia el sur provienen del complejo metamórfico (esquistos micáceos y calcáreos) que rodea el valle. Estos depósitos sedimentarios yacen sobre la planicie del Valle de Valencia y conforma las márgenes del cauce medio y bajo del Río Cabriales.

Características de la cuenca

La cuenca del Río Cabriales está situada geográficamente en la Región Centro Norte del territorio venezolano, en el centro del estado Carabobo; limita por el norte con la cordillera de la costa; por el sur con la cuenca del río El Paito; por el este con la cuenca del río Los Guayos; y por el oeste con las cuencas de los ríos Guataparo y Tocuyito.

Según datos de la revista INGENIERÍA UC El sistema hidrológico de la cuenca se conforma de diecisiete subcuencas, delimitadas mediante un análisis GIS, las cuales son usadas como referencia para crear el sistema en el modelo HEC HMS. El modelo hidrológico conecta las subcuencas mediante uniones que representan a los cauces. Algunos de estos tramos son: El Retobo, La Florida, Agua Linda, Camoruco, El Anil y Cabriales. (Ver figura 34).

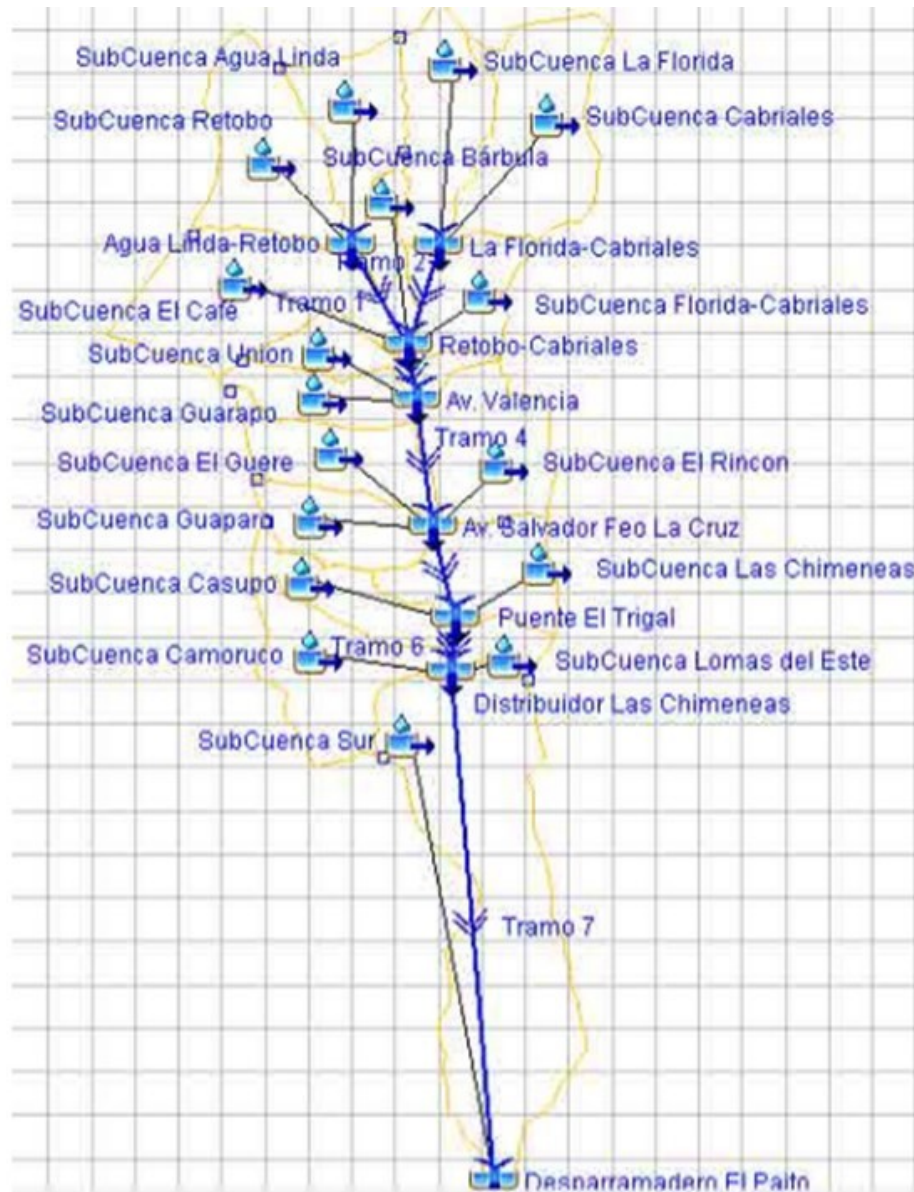


Figura 34: Sistema hidrológico de la cuenca del Río Cabrales.

Fuente: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732642005.pdf>

A continuación, se presentan las características morfométricas de la cuenca del Río Cabrales, con datos extraídos del estudio de Federico Valencia del 2011. (Ver tabla 1).

Forma de la cuenca	Alargada
Área (ha)	14.821,37
Área (Km ²)	148,21
Superficie (ha)	17.962,68
Superficie (km ²)	179,62
Perímetro (Km)	75,97
Coefficiente de compacidad	1.759
Elevacion (msnm)	
Máxima	1680
Mínima	434,00
Media	669,608
Mediana	570,00
Inicio del cauce principal	1460,00
Amplitud del relieve (m)	1196,00
Pendiente media de la cuenca (%)	25,34
Pendiente media de la cuenca (m/m)	0,2534
Pendiente media del cauce principal (m/m)	0,93
Pendiente media del cauce principal (m/m)	0,0093
Longitud del cauce principal (m)	36000,00
Longitud de cauces secundarios (m)	340903,51
Longitud total de cauces (m)	459185,03
Desnivel del cauce (m/Km)	28,50
Densidad de drenajes (m/ha)	31,06
Patrón de drenaje	Dentrítico
Distancia al centroide (m)	17760,00
Coefficiente de torrencialidad (N1/Km ²)	6,67

Tabla 1: Características morfométricas de la cuenca.

Fuente: Bolívar, H (2020)

Determinar los parámetros básicos y valores críticos para la implementación y diseño.

Tramo en estudio



Figura 35: Puente sobre la Av. 168 Salvador Feo la Cruz Este-Oeste.

Fuente: Bolívar, H (2020)

El área estudiada de dicho cuerpo de agua, se encuentra ubicada en el Sector Jardín Botánico del Municipio Naguanagua al norte del Estado Carabobo, más específicamente en la confluencia entre el drenaje de aguas de lluvias del sector La Granja y el cauce principal del Río Cabriales, dicha área se establece obedeciendo a una poligonal cuyos vértices se presentan a continuación. (Ver tabla 2) (Ver figura 36).

Tabla 2: Coordenadas de poligonal establecida.

Fuente: Bolívar, H (2020)



Figura 36: Área en estudio
Fuente: Google Earth.

Para efecto de este estudio se presenta una topografía bastante regular con una variación de altitud no mayor a los 10 msnm en la poligonal demarcada a los alrededores de las riberas del Río Cabriales. (Ver figura 37)

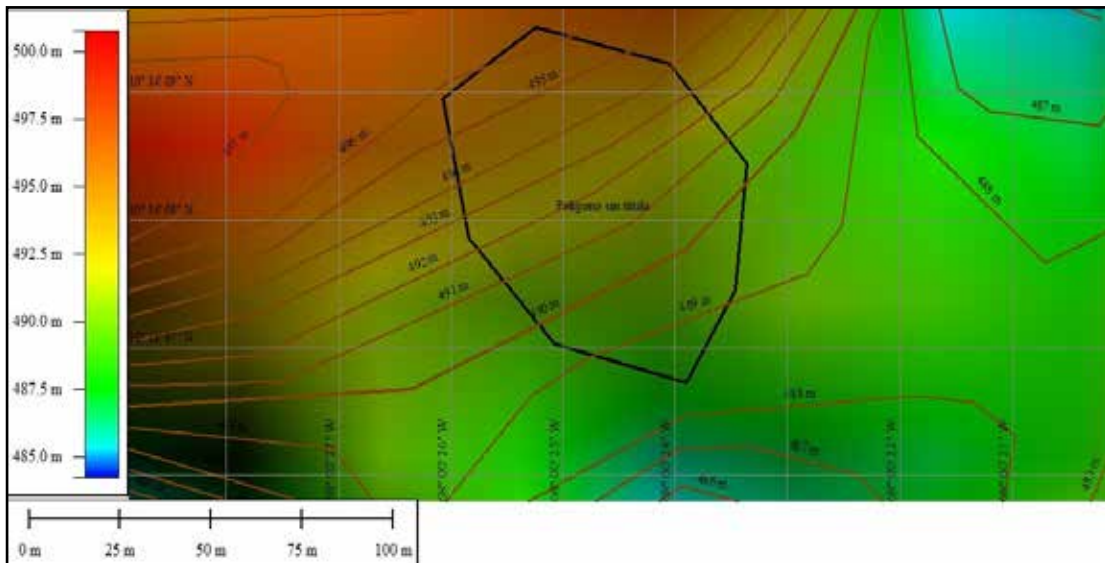


Figura 37: Topografía de la zona.
Fuente: Global Mapper.

Estudio de suelos

Con el fin de identificar las características del suelo predominante en el lugar del estudio, se realizó una extrapolación de datos del ensayo denominado “Estudio #3” según Aguilera, F. (2014), realizado en la Urb. Guayabal del Municipio Naguanagua por la empresa INGEROCA, empresa con 38 años de experiencia en estudios geotécnicos al nivel estatal, rigiéndose por las metodologías de ejecución, control y criterios de calidad establecidos en las Normas COVENIN, A.S.T.M. y A.A.S.H.T.O. bajo las directrices de las normas ISO 9001 (Sistema de Gestión de la Calidad) y 17025-2005 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración).

El mencionado ensayo, consistió en 3 pruebas del tipo SPT (Standard Penetration Test) tituladas “Perforación P8”, “Perforación P9” y “Perforación P10” cuya información fue vaciada en las Tablas 3, 4 y 5 respectivamente (Ver tabla 4) (Ver tabla 5) (Ver tabla 6), para las cuales se tiene la nomenclatura especificada en la tabla 3 (Ver tabla 3).

Clasificación de los suelos según litología	
	Número de golpes
	Peso unitario
	Humedad
	Porcentaje de grava
	Porcentaje de arena
	Porcentaje de finos
	Gravedad específica

Tabla 3: Nomenclatura.

Fuente: Bolívar, H (2020)

Perforación 8		10°15'48.76"N ; 68° 0'26.34"O							
Profundidad	Descripción litologica	S.U.C.K.	N.G	P.U	H	%G	%A	%F	Gs
0 - 0.5	Relleno		14	-	14,16				
0.5 - 1	Arcilla de baja plasticidad arenosa	S(CL)	11	-	10,95	0,00	37,00	62,70	-
1 - 1.5	Arena bien gradada con limo	SW - SM	13	-	1,41	9,57	82,36	8,07	-
1.5 - 2			15		1,57				
2 - 3			12		2,87				
3 - 4	Arena Limosa	SM	16	-	5,96	0,00	62,39	37,61	-
4 - 5	Arcilla de baja plasticidad arenosa	S(CL)	11	-	20,76	0,00	36,19	63,81	-
5 - 6	Arena Limosa	SM	13	-	19,00	0,00	80,00	19,00	2,62
6 - 7			11		21,59				
7 - 8	Arena mal gradada con limo	SP - SM	13	-	19,00	0,00	89,46	10,54	-
8 - 9			16		23,42				
9 - 10			20		24,02				
10 - 11	Arena arcillosa con grava	(SC)g	25	-	9,84	18,70	59,74	21,56	-
11 - 12			32		9,00				
12 - 13	Arena arcillosa	SC	32	-	12,20	0,00	57,11	42,89	-
13 - 14			38		16,54				
14 - 15			40		19,00				

Tabla 4: Perforación 8.

Fuente: Bolívar, H (2020)

Perforación 9		10°15'48.60"N ; 68° 0'25.12"O							
Profundidad	Descripción litologica	S.U.C.K.	N.G	P.U	H	%G	%A	%F	Gs
0 - 0.5	Arena Limosa	SM	7	-	7,94	0	87,38	12,76	-
0.5 - 1			11		3,61				
1 - 1.5			10		4,25				
1.5 - 2	Arena Arcillosa	SC	13	-	12,46	0	65,13	34,00	-
2 - 3	Arena Limosa	SM	14	-	3,49	0	76,00	23,65	-
3 - 4	Arcilla de baja plasticidad arenosa	S(CL)	6	-	28,31	0	35,00	64,91	-
4 - 5	Arena Limosa	SM	7	-	15,97	0	71,00	28,79	-
5 - 6	Arena Limosa	SM	16	-	13,53	5,3	81,00	13,63	-
6 - 7			20		120,71				
7 - 8	Arena Limosa	SM	25	-	21,93	0	80,00	14,93	-
8 - 9	Arcilla de mediana plasticidad arenosa	s(CL)	24	-	37,71	0	9,61	90,39	-
9 - 10	Arcilla de mediana plasticidad arenosa	s(CL)	31	-	11,8	0	46,46	53,54	-
10 - 11			26		12,61				
11 - 12	Arena Arcillosa	SC	29	-	14,98	0	40,74	49,26	2,00
12 - 13			32		16				
13 - 14			33		14,61				
14 - 15	Arena bien gradada con limo	SW - SM	41	-	17,48	0	82,86	10,98	-

Tabla 5: Perforación 9.

Fuente: Bolívar, H (2020)

Perforación 10		10°15'49.21"N ; 68° 0'24.40"O							
Profundidad	Descripción litologica	S.U.C.K.	N.G	P.U	H	%G	%A	%F	Gs
0 - 0.5	Capa vegetal		6,00	-	7,94				-
0.5 - 1	Arena Limosa	SM	7,00	1,89	3,61	0,00	68,75	31,25	2,62
1 - 1.5			7,00		4,25				
1.5 - 2			12,00		12,46				
2 - 3			7,00		3,49				
3 - 4	Arena Arcillosa	SC	13,00	1,89	28,31	0,00	64,44	35,56	2,88
4 - 5	Arcilla de medianaplastic	s(CL)	16,00	1,88	15,97	0,00	6,30	93,70	2,75
5 - 6			20,00		13,53				
6 - 7	Arena Arcillosa	SC	22,00	1,90	120,71	0,00	67,00	32,26	2,88
7 - 8	Arena Limosa	SM	23,00	1,90	21,93	0,00	77,00	22,43	2,62
8 - 9	Arena Arcillosa	SC	23,00	1,92	37,71	0,00	54,82	45,18	2,88
9 - 10			26,00		11,80				
10 - 11	Arena Arcillosa	SC	23,00	1,92	12,61	0,00	77,75	22,25	2,88
11 - 12			25,00		14,98				
12 - 13			25,00		16,00				
13 - 14			25,00		14,61				
14 - 15	Arena bien gradada con limo	SW - SM	27,00	1,94	17,48	0,00	89,93	10,07	2,00

Tabla 6: Perforación 10.

Fuente: Bolívar, H (2020)

La descripción litológica del suelo que más se observó fue la arena limosa (SM), con ciertos materiales a diferentes profundidades, como: Arcilla de baja plasticidad arenosa S(CL), arena bien gradada con limo (SW – SM), arena mal gradada con limo (SP – SM), arena arcillosa con grava (SC)g y arcilla de mediana plasticidad arenosa s(CL).

Estudio hidrológico

Cuando se desea desarrollar una nueva infraestructura o iniciar procesos de organización industrial o de construcción de residencias, es necesario realizar un estudio hidrológico o estudio hidráulico; puesto que, si dichos proyectos discurren en las proximidades de los cauces de los ríos, de un arroyo o de otras masas de agua de propiedad pública, pueden verse afectadas significativamente. Los estudios hidrológicos tienen como objetivo determinar el comportamiento del agua de los cauces, a su paso por la zona objeto de estudio, además de establecer el régimen usual de lluvias máximas y la caracterización del territorio.

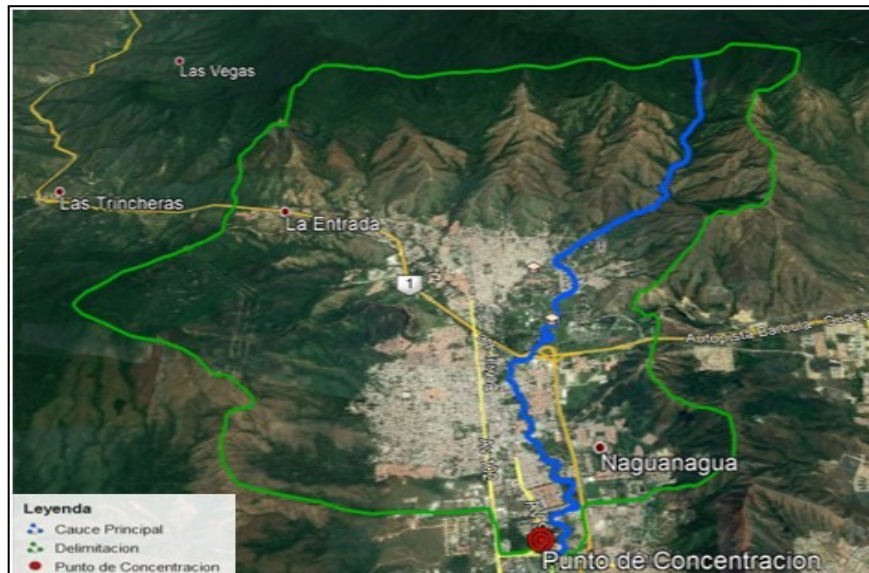


Figura 38: Cuenca contribuyente al punto de estudio.

Fuente: Google Earth

En particular para esta investigación, se recurrió a los datos presentes en el estudio del Ing. Federico Valencia “**ESTUDIO DE LA AMENAZA DE INUNDACIONES EN UN TRAMO DEL RIO CABRIALES EN EL ESTADO CARABOBO**” para establecer las variables hidrológicas presentes en el sitio objetado.

Periodo de retorno de diseño

El período de retorno, también denominado de recurrencia, es un concepto estadístico de gran aplicación en diferentes ámbitos (meteorología, hidrología e ingeniería sobre todo), que intenta proporcionar en términos de un determinado período, habitualmente expresado en años, una idea de hasta qué punto un suceso puede considerarse raro. Suele utilizarse con distribuciones de variables extremas referidas a un período de referencia igualmente de un año; por ejemplo, la cantidad de lluvia caída en el día más lluvioso del año o incluso la intensidad máxima de la precipitación (Pelayo, 2011).

Un factor a tener muy en cuenta a la hora de definir un periodo de retorno para el diseño de obras hidráulicas, es la proporcionalidad que hay entre el

mismo y el costo de la obra, un mayor periodo de retorno se traduce en un mayor costo de concepción, puesto que da lugar a un sobredimensionamiento que a su vez, es interpretable como un aumento en la estabilidad, seguridad y confiabilidad del proyecto.

Según lo mencionado en el párrafo anterior, se entiende entonces la importancia de un buen criterio a la hora de seleccionar un periodo de retorno de diseño para las diferentes obras hidráulicas. En el libro Drenaje Urbano publicado en 1979, del autor Bolinaga, se definen ciertos factores determinantes en la selección del periodo de retorno, entre los que se encuentra el criterio según la función básica de la obra, el cual se define como los posibles daños a personas y propiedades a lo que (Bolinaga, 1979), establece para Venezuela que, “luego de analizar y comparar la práctica de diversos países, parece recomendable elegir 100 años como el periodo de retorno del gasto de proyecto que conlleva la función básica del drenaje urbano, pero dentro del siguiente criterio: utilizar prioritariamente las acciones preventivas, disminuyendo así las costosas acciones correctivas”

En consecuencia, para este estudio se utilizó como límite para el periodo de retorno los mencionados 100 años, extrayendo valores de precipitación de diseño para 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años en el lugar de la investigación. (Ver figura 39).

T (años)	Duración (minutos)							
	5	15	60	120	180	360	720	1440
2.33	12.99	27.18	45.22	54.15	56.97	60.16	63.17	69.38
5	15.35	32.12	58.75	72.01	74.55	76.99	81.22	89.59
10	17.86	37.38	69.85	86.58	88.83	90.71	95.88	106.22
25	21.83	45.68	83.76	105.28	107.17	108.11	114.69	126.91
50	25.40	53.17	94.00	118.45	120.33	121.27	128.79	141.95
100	29.57	61.88	104.34	132.55	133.49	133.49	141.95	157.93

Figura 39: Precipitación de diseño para 1440 minutos y aplicable hasta la Av. Salvador Feo la Cruz del esquema de simulación hidrológica.

Fuente: <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/3671/1/T026800003878-0-44FedericoValencia-000.pdf>.

Parámetros hidráulicos

Para establecer un caudal de diseño en función de la precipitación de diseño, se definieron los parámetros hidráulicos río arriba de la zona en estudio. (Ver figura 40).


Foto Sección Transversal	Parámetro	Valor
	L(m):	4705,25
	S(m/m):	0,0053
	n:	0,043
	Forma	Trapezoidal
	B(m):	12
	Pendiente de la Margen	1:3

Figura 40: Parámetros hidráulicos para el río Cabriales entre la av. Valencia y av. Salvador Feo la Cruz.

Fuente: <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/3671/1/T026800003878-0-44FedericoValencia-000.pdf>.

Caudales máximos de diseño

T (años)	Tp (h)	Caudal (m ³ /s)	Volumen (MM ³)
2,33	7,17	71,50	911,40
5	7,25	143,10	1600,00
10	7,17	252,30	2538,30
25	7,17	399,20	3792,60
50	7,17	528,00	4712,80
100	7,08	647,50	5698,00

Figura 41: Caudales picos, tiempos al pico y volúmenes generados para la tormenta de tipo avanzada y distintos periodos de retorno en la Av. Salvador Feo la Cruz.

Fuente: <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/3671/1/T026800003878-0-44FedericoValencia-000.pdf>

Evaluar factibilidad técnica de las obras de protección.

A continuación y para este estudio en particular, se realizó un análisis de las condiciones del puente en la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz Este-Oeste por ser el

de mayor envergadura, mayor importancia y se encuentra sobre el cauce principal del Río Cabriales.

Cálculo del Remanso

La presencia de un puente en el cauce de un río se traduce en un estrechamiento del flujo de la corriente, al verse reducida su sección útil de paso cuando algún elemento de dicho puente ocupa parte de la sección del cauce. La velocidad del flujo aumenta en la sección contraída y se incrementa su capacidad erosiva, desarrollándose mayores tensiones tangenciales en el lecho. (Ver figura 42).

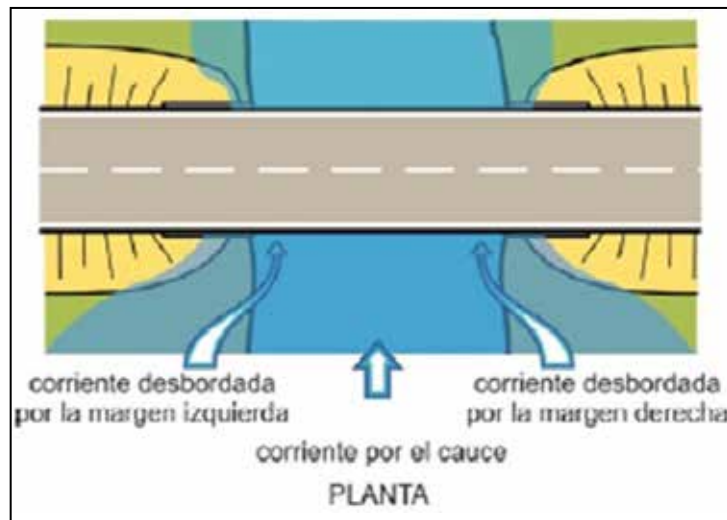


Figura 42: Estrechamiento del cauce por la presencia de un puente.

Fuente: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27858/01_2_TFM_BEATRIZ_NACHER.pdf?sequen

Coefficiente de contracción

El coeficiente de contracción no es más que la relación entre el caudal que es capaz de transportar la sección del puente respecto al gasto que supone una crecida, a lo que esta investigación se refiere, dicho gasto del puente viene dado de la siguiente manera:

- Área (A_{n2}): 74,25 m²
- Radio hidráulico (R_h): 2,91 m
- Coeficiente de Manning (n): 0,03
- Pendiente (S): 0,0053 m/m

— — —

Por otra parte, el caudal de la crecida se estableció en la fase anterior para un periodo de retorno de 100 años, dejando un valor de $Q = 647,50 \text{ m}^3/\text{s}$. Por lo tanto el coeficiente de contracción dada la fórmula: $M = Qb/Q$ es el siguiente:

—

Coefficiente de corrección de energía cinética o Coriolis

En un canal abierto la distribución de velocidades se ve afectada por el efecto del esfuerzo de cizalladura que ejerce el fluido en circulación con las paredes del canal, así como con la superficie del aire que lo rodea. Esto origina, que no sea uniforme la forma de la distribución de velocidades y se presente una variación vertical y transversal de las velocidades puntuales a través de la sección.

El estudio experimental ha determinado, que para canales muy anchos estos coeficientes toman el valor de 1, mientras que en canales pequeños estos valores aumentan.

Para la obtención del coeficiente de energía cinética, se recurre a la evaluación de diferentes secciones del cauce y el cambio de coeficientes de rugosidad de Manning en las mismas. Sin embargo, para este estudio, según el estudio hidráulico presentado en fases anteriores se conoce un solo valor de coeficiente de rugosidad de Manning para el cual se obtuvo el coeficiente de Coriolis bajo la siguiente ecuación:

$$\frac{\dots}{\dots}$$

Obtenido el valor del coeficiente de Coriolis para la sección del cauce, se procedió a obtener este mismo valor para la sección de contracción entrando con los valores de α_1 y M en el siguiente ábaco (Ver figura 43)

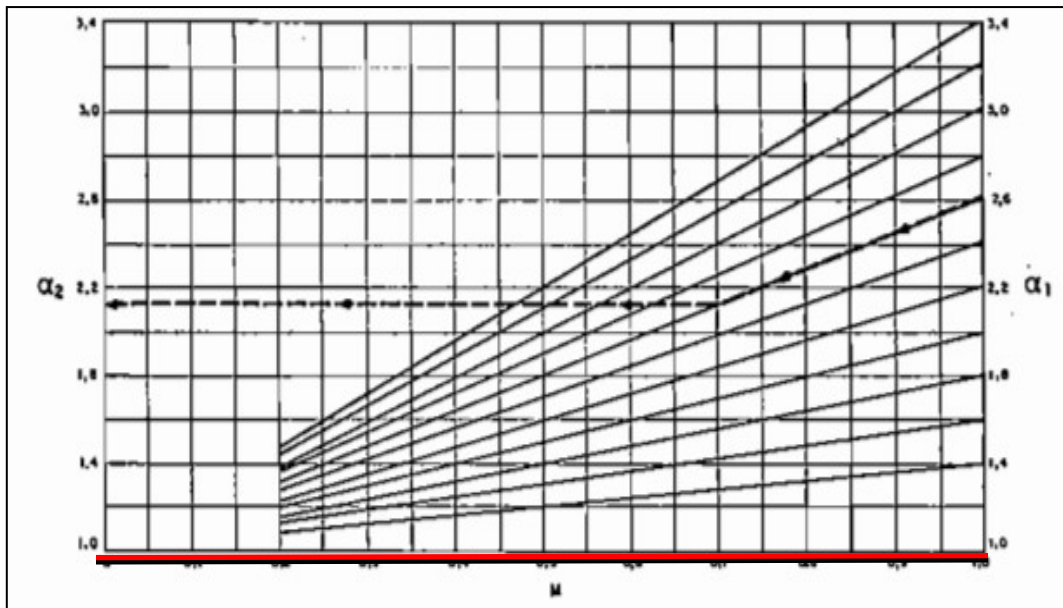


Figura 43: Abaco de coeficiente de Coriolis.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

Coeficientes de remanso

Kb: El coeficiente K_b depende de la forma del estribo y el coeficiente de contracción M establecido anteriormente según el ábaco para coeficiente básico de remanso. (Ver Figura 44). Al tratarse de un puente de una luz menor a 60 m y siendo la curva para estrib resulta una buena aproximación de coeficiente básico de remanso, con lo cual se intercepta el valor de M con dicha curva para obtener K_b .

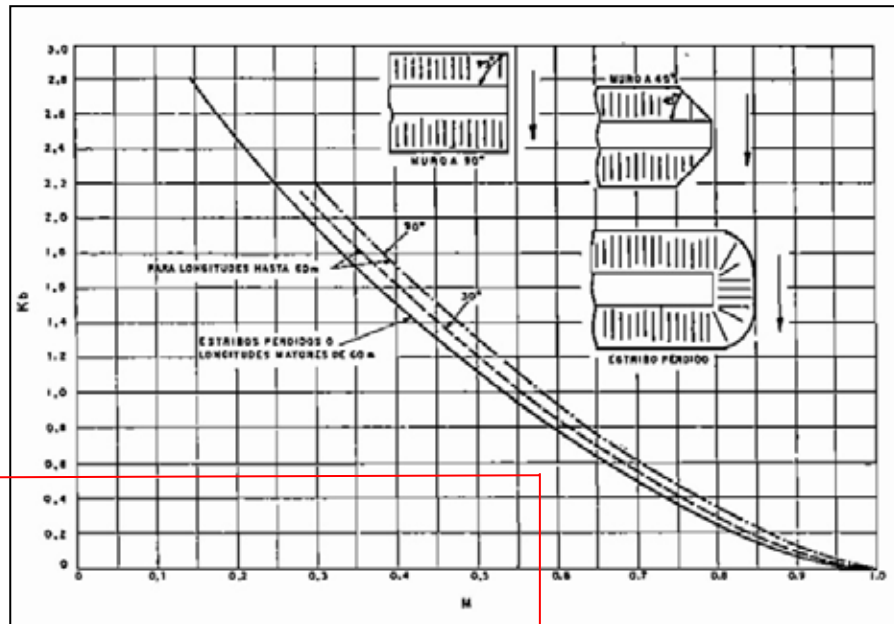


Figura 44: Abaco de coeficiente básico de remanso.
Fuente: Luis Franceschi, 1984

La presencia de pilas en el cauce afecta el coeficiente de remanso del puente en un valor para el puente evaluado al no haber pilas (Ver figura 45) no existe el efecto de las mismas con lo cual **0**



Figura 45: Luz, estribos, aletas y galibo del puente sobre la Av. 168 Salvador Feo la Cruz Este-Oeste.
Fuente: Bolívar, H 2020

Efecto de excentricidad, dicho efecto afecta el coeficiente de remanso en caso de que el cruce del cauce sea excéntrico. Viene representado de la siguiente manera. (Ver figura 46).

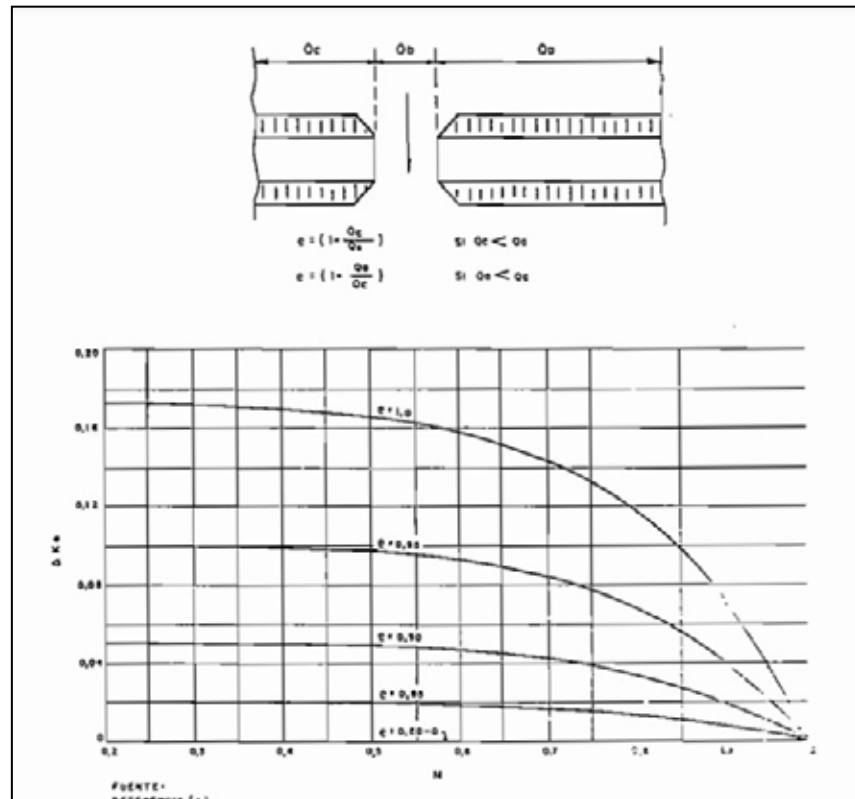


Figura 46: Representación gráfica de excentricidad en el cruce y ábaco de excentricidad.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

Básicamente existe un gasto total denominado Q que se ve estrangulado en la sección aguas arriba del puente y a su dicho gasto es el resultado los gastos denominados Q_a , Q_b y Q_c , cuando el cruce presenta excentricidad Q_a y Q_c son diferentes según se aprecia en la figura anterior. Sin embargo este estudio carece de excentricidad por la simetría de los estribos, cuya sección tiene un comportamiento similar al modelo de la figura 47 De esta manera se tiene un valor nulo de

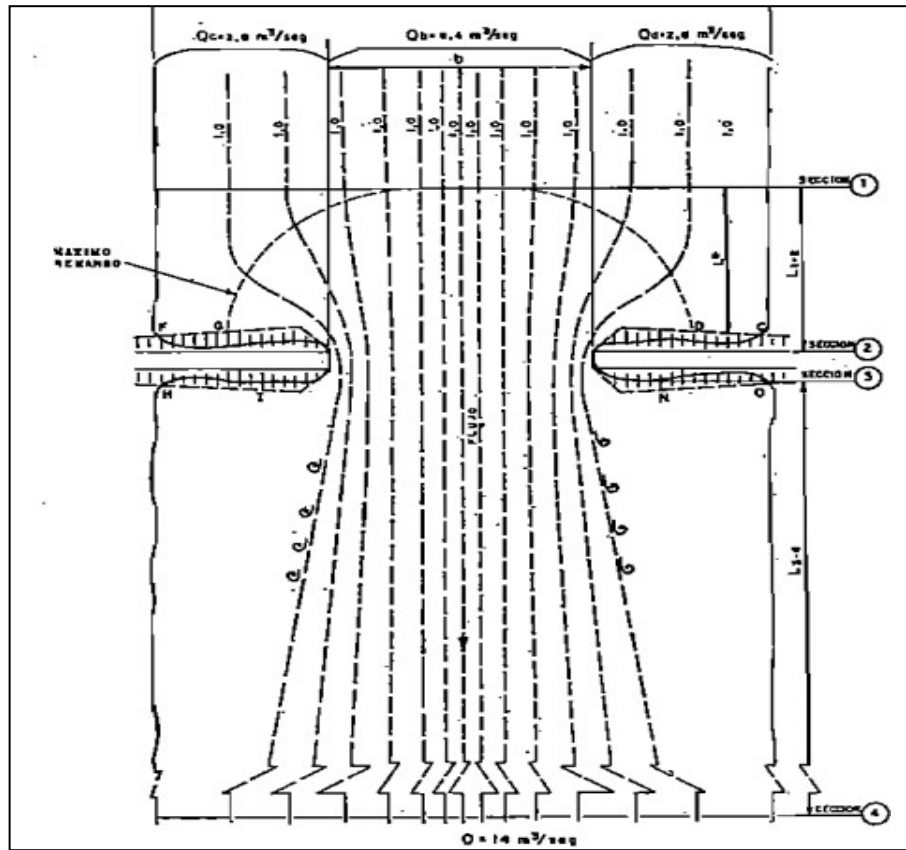


Figura 47: Distribución de líneas de corriente en sección simétrica.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

Basándose en la definición de cruce en esviaje, el coeficiente de remanso se afecta de un factor de corrección denominado efecto de esviaje que depende del ángulo de esviaje y del grado de contracción M . Para determinar el efecto de esviaje en este caso en particular se poseen los siguientes datos para entrar al ábaco de la figura 48. (Ver figura 48).

- $M = 0,567$
- ϕ
- Angulo de aletas =

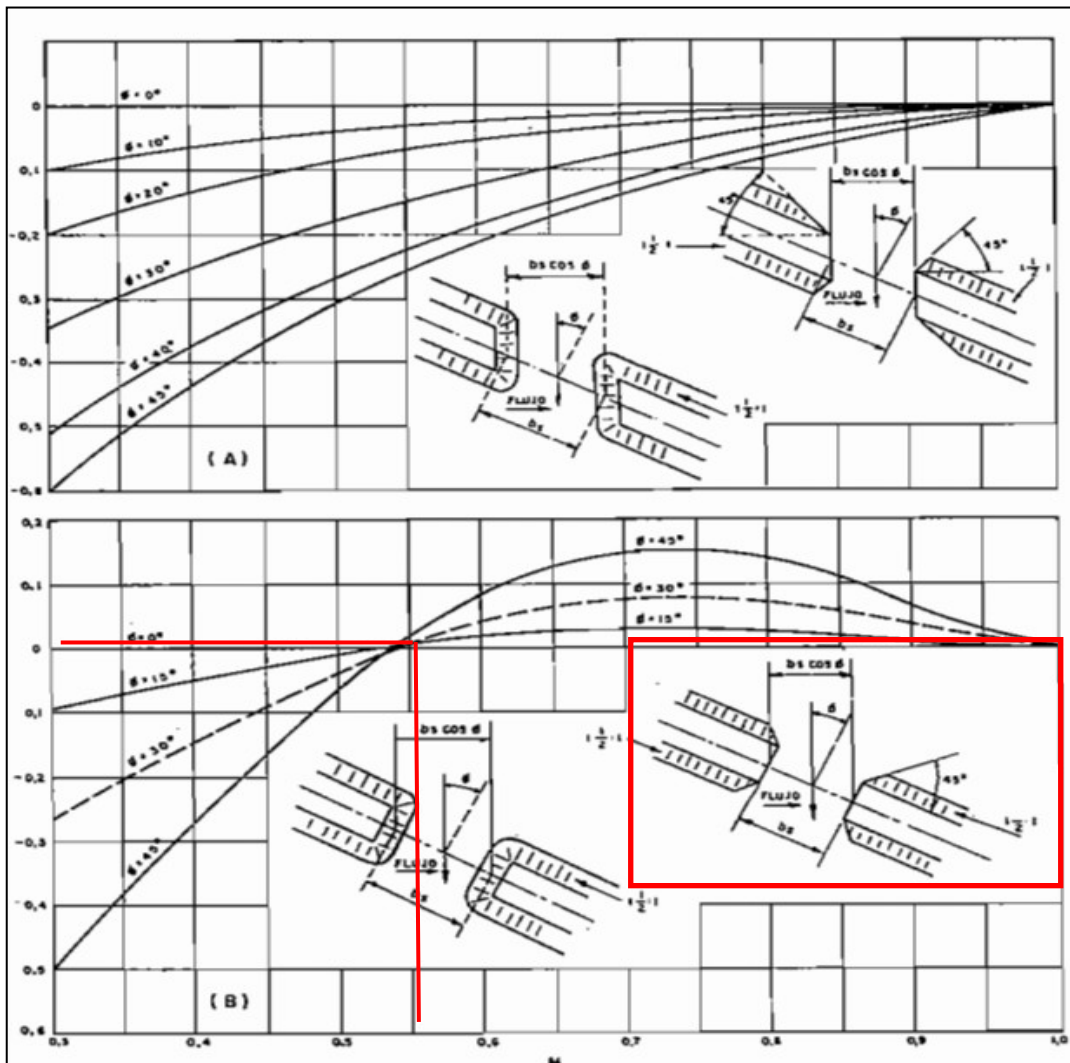


Figura 48: Abaco para estimación de efecto de esvíaje.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

$$K^* = 0,95$$

Tipo de Flujo

Según las condiciones topográficas e hidráulicas y de acuerdo con la contracción producida por el puente, se pueden encontrar 3 tipos de flujo. El primero, identificado como Tipo I, corresponde a un 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 súper crítico a todo lo largo del tramo. (Ver Figura 49).

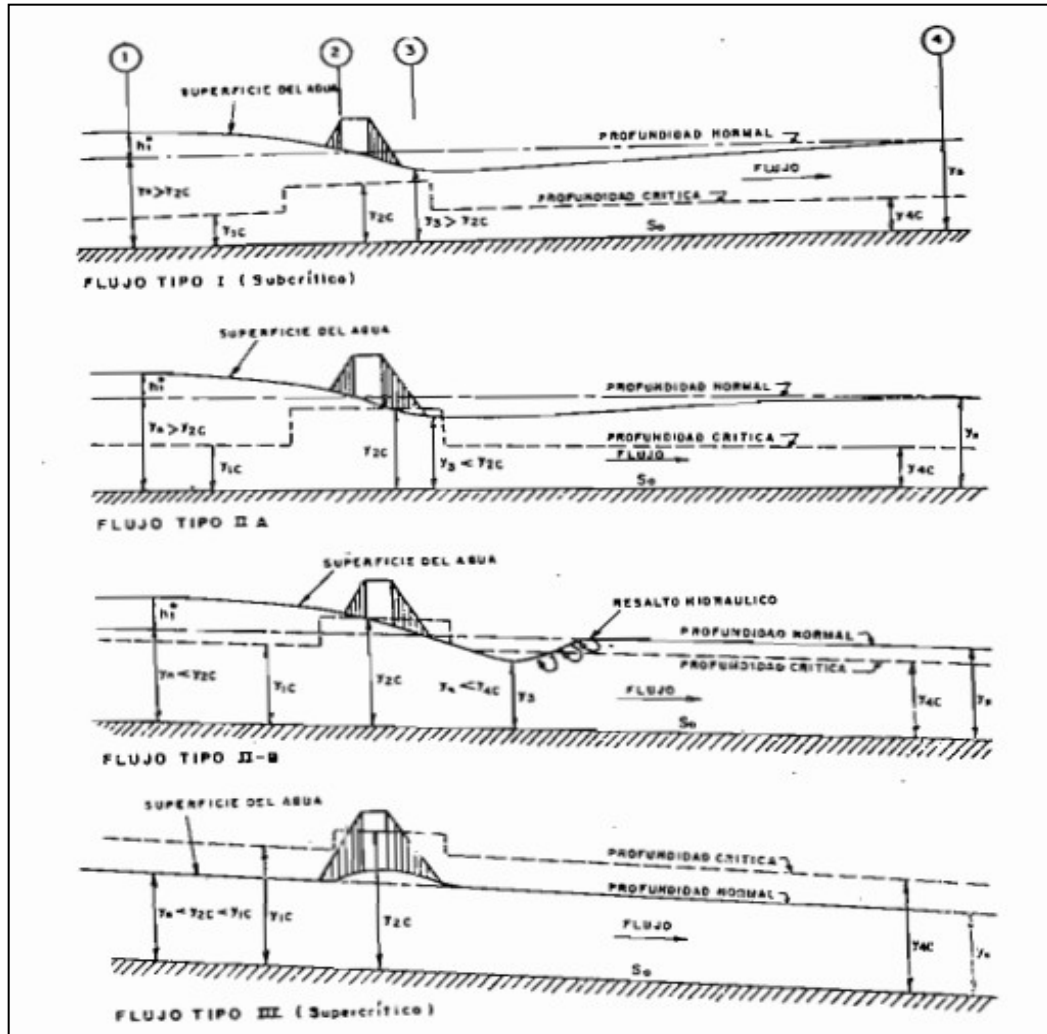


Figura 50: Tipos de flujos.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

Según la publicación *Hydraulics of Bridge Waterways* de la división de recursos hidráulicos de la oficina de vías públicas, sugieren que en caso de duda respecto del tipo de flujo, aplicar los métodos para remanso Tipo I y II, y si el remanso de flujo tipo II resulta menor que para el Tipo I, el flujo será Tipo II.

Siendo así, se procedió a calcular el remanso para cada tipo de flujo y en consecuencia se determinó la tipología de flujo para esta investigación.

Estimación de remanso

- Para Flujo Tipo I

El remanso se calculó mediante un proceso iterativo, utilizando como primera ecuación la aproximación del remanso total, denominado **h1***

Se determinó el valor de **Vn2** mediante la siguiente formula:

Con el valor de h1* se calculó A1, y el resto de la ecuación:

Si el valor aproximado es muy diferente al de la expresión completa el proceso se repite sucesivamente hasta que sean bastante cercanos o iguales (Ver tabla 7).

3,67334	150,36	215,267886	4,15622
4,15622	150,36	223,800467	4,19063
4,19063	150,36	224,40846	4,19293
4,19293	150,36	224,449155	4,19309
4,19309	150,36	224,451868	4,19310
4,19310	150,36	224,452048	4,19310
4,19310	150,36	224,45206	4,19310

Tabla 7: Iteración de valores de remanso total para flujo Tipo I.

Fuente: Bolívar, H (2020)

- Para flujo Tipo II

Se determinó de igual forma que en el flujo Tipo I una estimación de $h1^*$ y posteriormente se identificó **A1**.

Seguidamente se determinó el valor de $V1$ mediante la fórmula de continuidad.

Para el valor de C_b (Coeficiente de remanso) fue necesario entrar a la gráfica para coeficiente de remanso que depende de M . (Ver Figura 50).

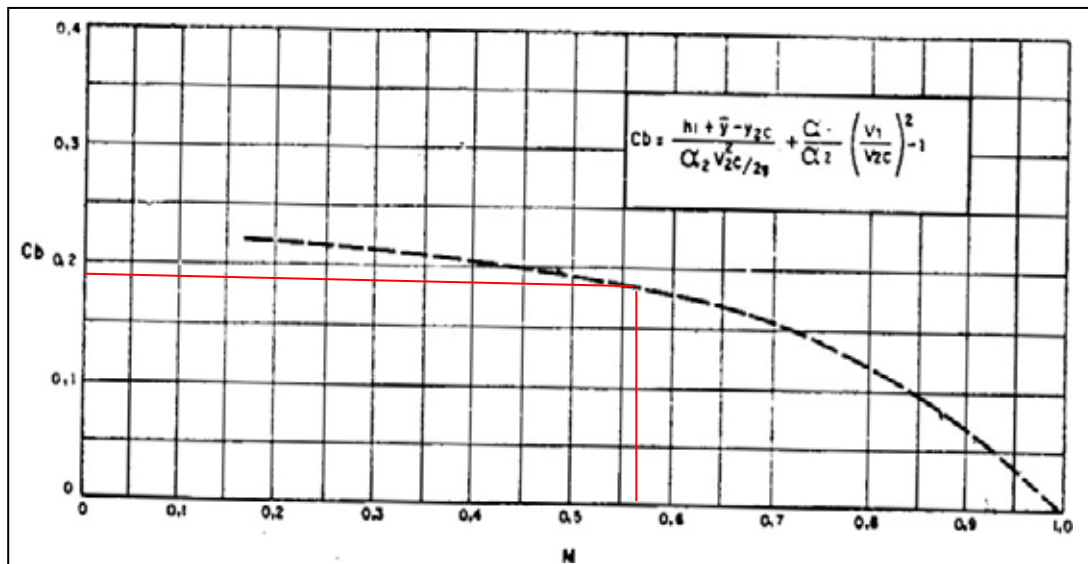


Figura 49: Ábaco coeficiente de remanso.

Fuente: Luis Franceschi, 1984

Al igual que para el flujo Tipo I se los valores de $h1^*$ deben coincidir con lo cual se realizó un proceso de iteración hasta que esto ocurriera, arrojando como resultado. (Ver tabla 8)

3,67334	215,267886	3,00555746	6,11699
6,11699	223,800467	2,89096806	6,15143
6,15143	224,40846	2,88313551	6,15373
6,15373	224,449155	2,88261276	6,15389
6,15389	224,451868	2,88257793	6,15390
6,15390	224,452048	2,88257561	6,15390
6,15390	224,45206	2,88257546	6,15390

Tabla 8: Iteración de valores de remanso total para flujo Tipo II.
Fuente: Bolívar, H (2020)

Por lo tanto el flujo es Tipo I y el Remanso total es de **$h_1^* = 4,19310$** .

Calculo de socavación general

Método de Lischtván-Levediev

Este método permite el cálculo de la socavación general del cauce durante crecientes independientemente de que exista independientemente de que exista o no un puente. El mismo establece expresiones para suelos no cohesivos o granulares y suelos cohesivos.

Basado en el estudio de suelo plasmado anteriormente, el puente objeto de evaluación en este estudio está emplazado en un suelo no cohesivo con lo cual la expresión para el cálculo de la socavación dentro del método Lischtván-Levediev es la siguiente:

$$\frac{H_s}{h} = \frac{K_1 \cdot B_e}{K_2 \cdot h}$$

Dónde:

- H_s = Profundidad de socavación
- B_e = Ancho efectivo de la sección
- h = Tirante de la sección

48)

Probabilidad (en % de que se presente el caudal de diseño)	Coefficiente β
100	0.77
50	0.82
20	0.86
10	0.90
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

Figura 50: periodo de retorno.
Fuente: Maza, 1967

- D_m = Diámetro medio de las partículas del material granular
- z = Exponente variable en función del diámetro medio de la partícula

Sin embargo, esta expresión no considera el efecto de la contracción del flujo como resultado de los estribos ni el peso específico del agua durante una crecida con lo cual se debe corregir mediante unos factores de ajuste, quedando la expresión de la siguiente manera.

- C_c = Factor de corrección por contracción del cauce. Depende de la velocidad media de la sección $V = 4,31$ m/s y la luz del puente $L = 16,50$, según el siguiente ábaco. (Ver figura 52)

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 51: Abaco coeficiente de remanso.

Fuente: Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A., 1992

- C_d = Efecto del peso específico del agua durante la creciente, dicho factor tendrá un valor de $C_d = 1,0$ siempre y cuando el peso específico del sedimento

la siguiente expresión, como ocurrió en la particularidad de este estudio donde

$$\gamma_s > \gamma_w$$

- $C_d = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_s}$ hidráulicas

Así pues, para determinar la socavación por contracción en la sección del cauce, se dividió la sección y se ajustó el valor de H_s para cada una de las progresivas denominadas H_o , generándose una nueva sección (Ver figura 53), según los resultados presentados en la tabla 9 (Ver tabla 9).

Profundidad de Socavacion			
Prog	Ho(m)	Hs	
2,2	5,9	6,58	0,68
4,4	9,02	9,92	0,9
6,6	9,47	10,39	0,92
11	8,79	9,67	0,88
13,2	7,78	8,6	0,82
15,4	5,65	6,32	0,67

Tabla 9: Profundidad de socavación en la sección del cauce.
Fuente: Bolívar, H (2020)

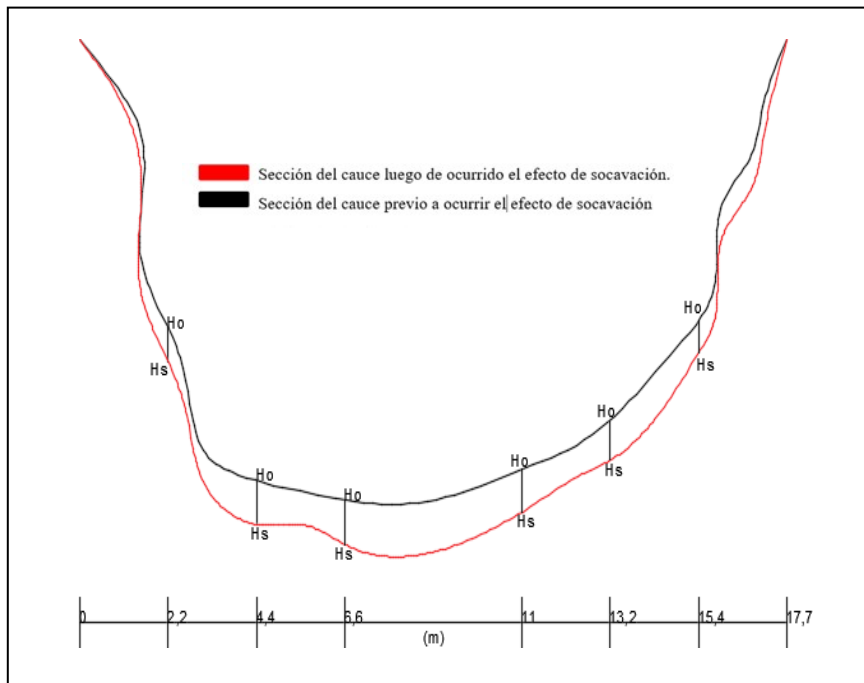


Figura 52: Profundidad de socavación en la sección del cauce, método de Lischvan-Levediev.

Fuente: Bolívar, H (2020)

Método de Straub

Se podría decir que este es el método más simple para determinar la profundidad de socavación en un determinado cauce cuando exista una contracción en la sección transversal de análisis. La estimación de la profundidad de socavación mediante este método viene dada por la siguiente ecuación.

Donde B1 será el espejo de agua antes de la contracción, B2 será el espejo de agua en la contracción y h1 será el tirante de agua que existe antes de la contracción. Arrojando para este estudio la siguiente tabla de resultados para las distintas progresivas del perfil del cauce (Ver tabla 10) y la sección resultante (Ver figura 54).

Profundidad de Socavacion			
Prog	Ho(m)	Hs	
2,2	5,9	6,16	0,26
4,4	9,02	9,43	0,41
6,6	9,47	9,84	0,37
11	8,79	9,18	0,39
13,2	7,78	8,13	0,35
15,4	5,65	5,9	0,25

Tabla 10: Profundidad de socavación en la sección del cauce, método de Straub.
Fuente: Bolívar, H (2020)

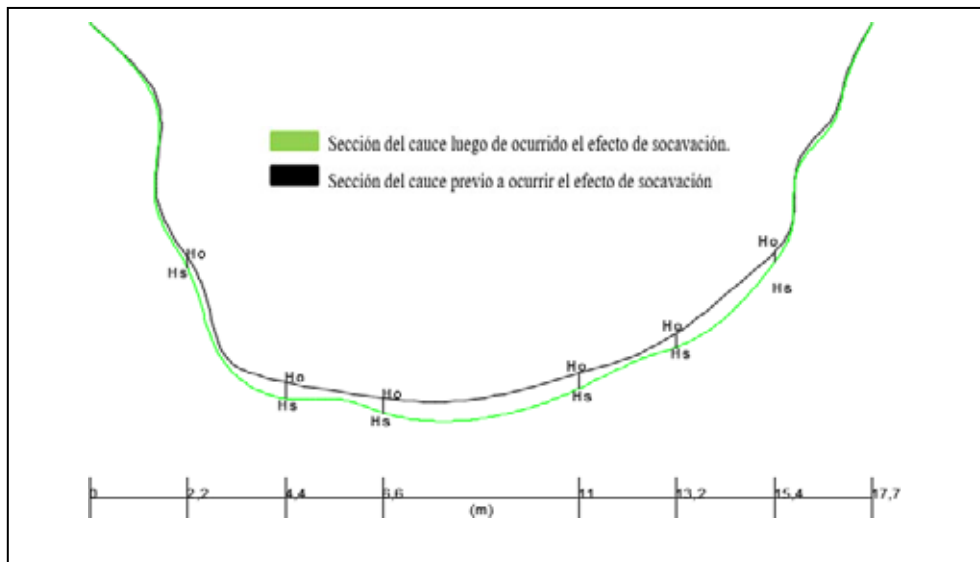


Figura 53: Profundidad de socavación en la sección del cauce, método de Straub.
Fuente: Bolívar, H (2020)

A continuación se presenta una gráfica comparativa de la variación de la sección del cauce para ambos métodos. (Ver figura 55).

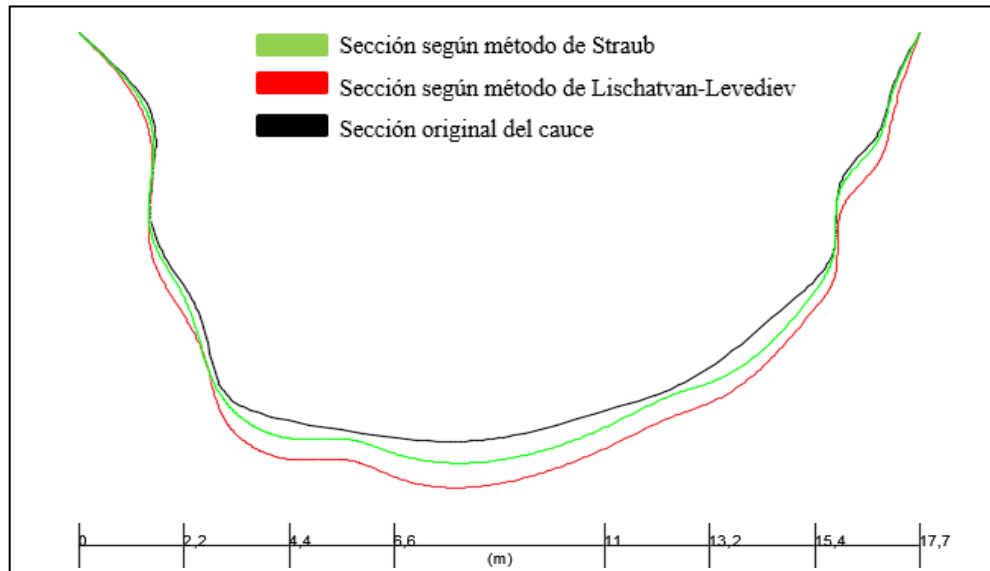


Figura 54: Grafica comparativa de los métodos Lischtvan-Levediev y Straub.
Fuente: Bolívar, H (2020)

Cálculo de socavación local en estribos

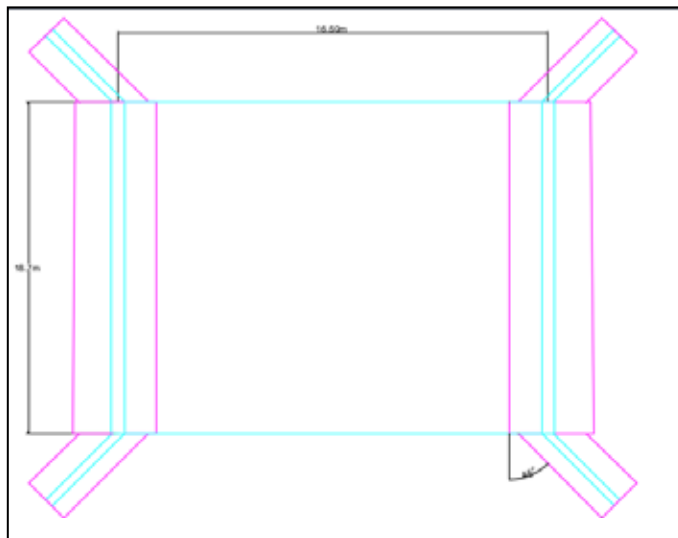


Figura 55: Vista de planta del puente sobre la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz
Este-Oeste
Fuente: Bolívar, H (2020)

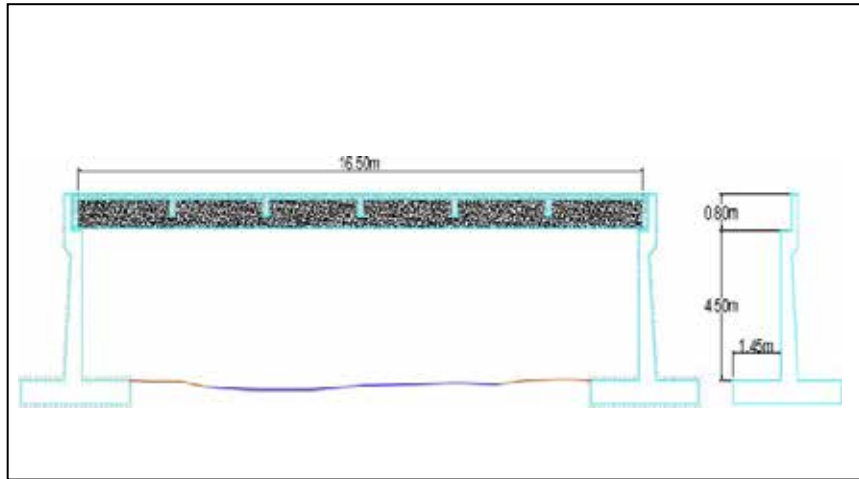


Figura 56: Vista lateral del puente sobre la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz Este-Oeste.

Fuente: Bolívar, H (2020)

Para la estimación de la profundidad de socavación local en los estribos se utilizó el método de Laursen para estribos sobre el cauce de crecida, cuya expresión es la siguiente.

$$e = \frac{Q_o}{q_c \cdot y}$$

Dónde:

- e = Máxima profundidad de socavación
- Q_o = Caudal interceptado por el estribo
- q_c = Caudal unitario en la franja del cauce menor próxima al estribo y de anchura $2.75 \cdot e$
- y = Calado medio en la franja antes mencionada

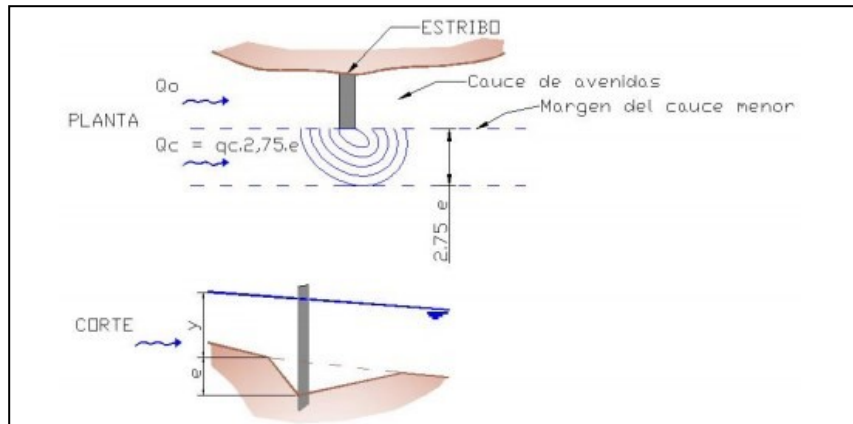


Figura 57: Representación gráfica del método de Laursen.

Fuente: http://www.gyingenieria.com.ar/pdf/2006_Comparacion_de_metodos_de_calculo_de_erosion_de_puentes.pdf

Este método posee un límite de validez que se expresa en la siguiente expresión:

$$Y < 2,75 e$$

Se determinó Q_0 y con la primera expresión mediante despeje se consigue el calado medio de la franja para Q_0 .

Como producto de lo anterior se obtienen valores para la socavación máxima para la franja. (Ver tabla 11).

Profundidad de Socavacion en Estribos			
Y	Q_0		e(m)
1,025	2,51	5	0,178
		10	0,089
		15	0,059
		20	0,0445
		25	0,0356
		29	0,0307

Tabla 11: Profundidad de socavación local en estribos método de Laursen.

Fuente: Bolívar, H (2020)

Diseñar obras de protección de cauce y riberas del Río Cabriales

Partiendo de las condiciones geomorfológicas, hidráulicas, hidrodinámicas y topográficas del sitio en estudio expuestas anteriormente, se procedió con los planteamientos de las obras hidráulicas de protección con el fin de minimizar la influencia hidráulica del Río Cabriales sobre la zona objeto de esta investigación.

Diseño de dique de aproximación

Los diques de encauzamiento o aproximación son estructuras que se construyen a partir de los estribos de un puente y se prolongan hacia aguas arriba.

Tienen como objetivo:

- Obligar a que la dirección del flujo en la sección del cruce sea aproximadamente constante para todos los gastos de la época de lluvias. Cuando hay pilas dentro del cauce, la dirección adecuada del dique debe ser paralela al eje longitudinal de las mismas, con lo que se garantiza que la erosión local al pie de las pilas sea mínima y se produzca únicamente en la cara aguas arriba.
- Evitar la socavación local al pie del estribo.
- Proteger el terraplén de la vía terrestre, al menos en la zona cercana al puente.
- Proveer una transición suave entre el cauce aguas arriba y la zona contraída del puente de forma que, idealmente, las líneas del flujo sean paralelas y rectas a través del cauce.

Dado el nivel de socavación por el estrangulamiento del cauce el diseño de un dique de encauzamiento, se muestra como una propuesta adecuada para el estudio.

La orientación en la planta para el dique se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

— ———

Dónde:

- X , Y = Ejes coordenados
- Ls = Longitud del dique encauzador

Según el diseño propuesto, las dimensiones y características del dique de tierra, son las siguientes:

- Ancho de corona = 3,00 m
- Ancho de la base = 17,40 m
- Talud interno = 1.5 : 1
- Talud externo = 1.5 : 1

Estos taludes en ambas caras, garantizan la estabilidad de la estructura conformada por un dique de tierra compactada y de sección trapezoidal. (Ver figura 59).

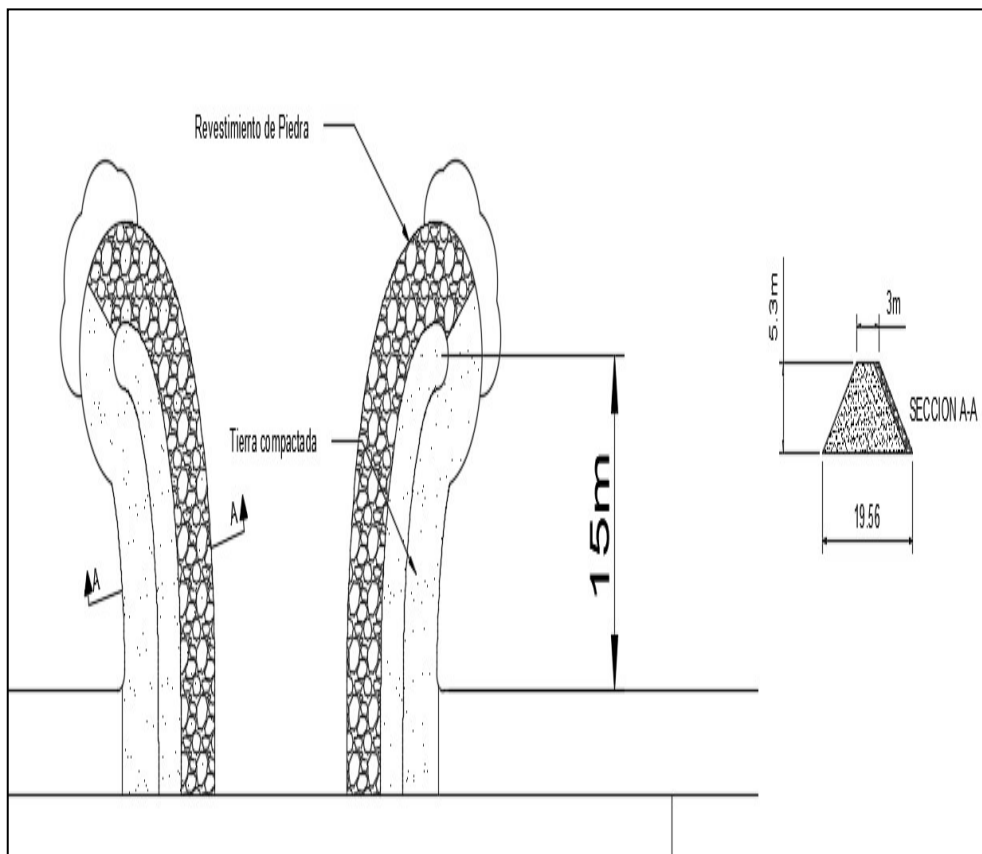


Figura 58: Dimensionamiento de dique de encauzamiento.

Fuente: Bolívar, H (2020)

Calculo de estabilidad del dique

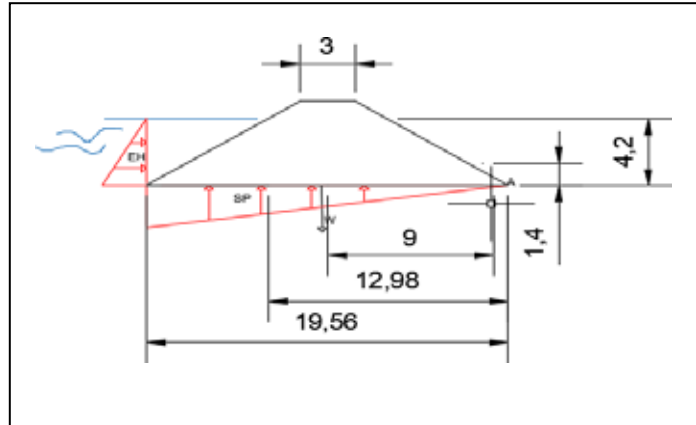


Figura 59: Gráfico para la verificación de la estabilidad.

Fuente: Bolívar, H (2020)

Sección Representativa de Dique de Tierra

Condición: Más desfavorable. (Altura del galibo del puente)

Dónde:

- W = Peso de la estructura en Tn.
- Sp = Supresión en Tn.
- EH = Fuerza Hidráulica en Tn.
- γ = peso específico del agua = 1 Tn/m³
- b = ancho o base del dique = 19.56 m.
- Y = tirante hidráulico de diseño = 4.2 m

Estabilidad al Vuelco (Ev).

Si tomamos momentos en el punto A, según la estructura mostrada y consideramos que en la cara seca o parte posterior del muro no existe agua, ni tierra, (como el punto ó condición más desfavorable), tenemos que:

Cálculo de EH:

$$= 8,82 \text{ Tn/m}$$

Cálculo de Sp:

$$= 41.076 \text{ Tn/m}$$

Cálculo de Mv:

Cálculo de Mr:

El momento resistente (Mr) será:

Dónde:

- $W = A Yg$ = Peso unitario del dique de tierra;
- A = área del terraplén por unidad de longitud.
- Yg = peso específico del material (tierra empapada)
- $Yg = 1.11 \text{ Tn/m}^3$

Reemplazando valores:

$$W = (59.79) (1.11) = 66.3669 \text{ Tn/m.}$$

Luego; reemplazando valores:

Por lo tanto:

— —

Conclusión:

Entonces, el dique de encauzamiento no es estable al volcamiento.

Estabilidad al Deslizamiento (Ed)

Para que el dique de tierra compactada, no se deslice, se debe cumplir la siguiente relación:

—————

Dónde:

- : Fuerzas Verticales que actúan sobre la estructura.

$$= W - Sp = 66.36 - 41.07 = 25.29 \text{ Tn/m}$$

- : Fuerzas Horizontales que actúan sobre la estructura.

$$= EH = 8.82 \text{ Tn/m}$$

- dique.

Reemplazando valores:

—————

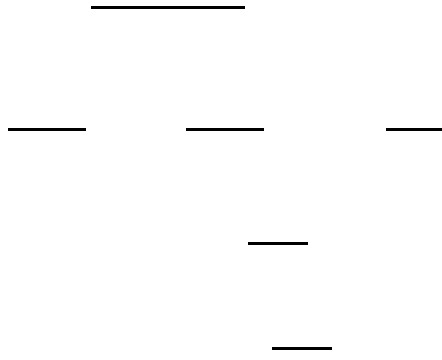
Conclusión:

El dique no es estable al desplazamiento.

- **Capacidad de soporte del suelo**

— —

Donde:



Conclusión: El dique de tierra, no estará expuesto al efecto del punzonamiento o hundimiento.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Fase I:

Se obtuvieron características de ubicación, zonificación e importancia de la zona en estudio.

Por otra parte fueron plasmados parámetros generalizados del municipio Naguanagua como la topografía y sus grandes variaciones de altitud en un radio de unos 3 km a lo largo del territorio, la geología y tipología de suelo presentes, clima
ación anual de 1.223 mm.

De igual manera se establecieron características del Rio Cabriales y de su cuenca, como su forma y distintas sub cuencas que la componen.

Fase II:

Se estableció una poligonal que encierra el tramo de estudio, obteniendo las coordenadas para cada vértice de dicha poligonal.

Como estudio de suelo, necesario para determinar la granulometría y peso específico de las partículas de sedimento, se realizó una extrapolación de datos del estudio de suelo de la empresa INGEROCA en la Urb. Guayabal del municipio Naguanagua. La descripción litológica del suelo que más se observó fue la arena limosa (SM)

El estudio hidrológico se obtuvo de la investigación del Ing. Federico Valencia, **“ESTUDIO DE LA AMENAZA DE INUNDACIONES EN UN TRAMO DEL RIO CABRIALES EN EL ESTADO CARABOBO”**, del cual se establecieron valores de caudal máximo para diferentes periodos de retorno y dimensionamientos de las secciones del Río Cabriales en diferentes tramos.

Fase III:

En este estudio en particular se realizó un análisis de socavación en el puente de la Avenida 168 Salvador Feo La Cruz Este-Oeste, siendo este el que se ubica por sobre el cauce principal del Río Cabriales y se encuentra aguas abajo de una confluencia, lo que lo somete a una constante socavación por los esfuerzos cortantes que normalmente se generan en ese tipo de peculiaridad hidráulica. Y en base a ese análisis plantear obras de protección alrededor del mismo. A dicho puente también se le realizó una estimación de remanso debido al estrangulamiento que deriva de la presencia de un puente en el cauce de un río

Por otra parte, destacar la importancia de un buen criterio a la hora de seleccionar un periodo de retorno para el dimensionamiento de las obras hidráulicas, teniendo como norte la reducción de riesgo de pérdidas humanas, analizando el factor económico y no menos relevante el impacto ambiental que estas obras puedan acarrear.

Para esta investigación se han analizado los diferentes tipos de socavación para un periodo retorno de 100 años o crecida centenaria, cuya probabilidad de ocurrencia es de 1%, un fenómeno con un caudal muy relevante que al llevarlo a los efectos erosivos y de socavación produce modificaciones importantes, que si bien es cierto que depende mucho del tiempo de duración de la crecida, cualquier modificación en por ejemplo las pilas o estribos de un puente puede derivar en muchos daños.

La utilización de 2 métodos para estimar la socavación general por contracción, dió la oportunidad de comparar ambas expresiones, resultando en un estimado de socavación mayor para el método de Lischtvan-Levediev cuya expresión toma en cuenta una mayor cantidad de variables en comparación al método Straub que es un método relativamente simple, pero rescata la cercanía en los valores de socavación estimado por ambos métodos.

Fase IV:

El dimensionado de los diques de encauzamiento se realizó para el mismo calado del puente, puesto que de haberlo realizado para un gasto equivalente al

estimado para una crecida centenaria, habría derivado en un sobre dimensionamiento, teniendo en cuenta que la estructura del puente no está diseñada para conducir tal cantidad de caudal en su sección transversal. De igual manera, estos están diseñados para construirse en arena compactada la cual permite aumentar la pendiente y reducir el área de afectación por la implantación de un dique en las cercanías del río.

Para el cálculo de estabilidad de los diques, se asumió a la cara seca del dique como expuesta, lo que se traduce en que, el momento resistente al volcamiento y la fuerza resistente al deslizamiento derivadas de la presencia de terreno en la cara mencionada, son nulos.

Recomendaciones

Realizar un estudio de costo estableciendo la afectación de la implementación de los diques de encauzamiento al entorno y evaluar la relación costo/beneficio.

Evaluar técnicamente la implantación de un sistema como por ejemplo muro de gaviones, bolsacretos o recubrimiento de enrocado y comparar con el dique de encauzamiento.

Analizar los potenciales beneficios a la sociedad como la confiabilidad en dichas obras y concientizar mediante campañas el cuidado de nuestros ríos, evitando que por ejemplo sean utilizados como vertederos lo cual podría llegar a vulnerar integridad de las obras de protección

Realizar una inspección en la zona y corroborar con los datos vistos en esta investigación, teniendo en cuenta que es una zona muy cambiante por el crecimiento constante de vegetación y la interacción tan cercana con la ciudad.

Llevar a cabo un estudio de suelos de la zona en específico, cotejar con lo mencionado en este estudio y evaluar la implementación del proyecto o un posible rediseño por cambio en las condiciones del terreno.

Evaluar la posibilidad de un estudio hidrológico específico de la zona y mucho más detallado.

Hacer uso de las herramientas digitales como el Hec-Ras para estudiar la hidrodinámica del tramo y obtener un modelo virtual del estudio.

Recurrir si es necesario a técnicas de recolección de datos para obtener la mayor información posible respecto del sitio en estudio

Indagar en las posibles afectaciones derivadas de un desbordamiento del cauce en caso de una crecida.

Colocar un dren en el dique que permita que se filtre el agua de la cara húmeda del mismo hasta la cara posterior, evitando de esta forma la remoción de material que pueda llegar a comprometer la estabilidad estructural de la obra de protección.

Para contrarrestar los efectos de volcamiento y deslizamiento, cuyos cálculos evidenciaron un déficit respecto a los valores seguros, dejar cubierta por el terreno de implantación la cara seca del dique.

Evaluar las condiciones de las obras de protección del tipo muro de gaviones que se encuentran en el tramo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvaro L. y Henríquez L. (2014) **“DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DE DEFENSA RIBEREÑA DEL RIO CHICAMA TRAMO PUENTE PUNTA MORENO – PAMPAS DE JAGUEY APLICANDO EL PROGRAMA RIVER”**. Tesis de Pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego, Perú
- Arias, F. (2012). **“El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica”**. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela.
- Balestrini, M. (2002). **“Como se elabora el proyecto de investigación”**. Venezuela: BL Consultores Asociados
- Bianchini. (1959). **“Gaviones Sistemas de Corrección Fluvial Muros de Contención”**
Urbanismo. Madrid.
- Buitrago C. (2013) **“RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE OBRAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE CAUCES”**, Tesis de Pregrado de la Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia
- Colina O. y Luzardo J. (2011) **“PROPUESTA PARA MITIGAR EL IMPACTO HIDRÁULICO EN EL RÍO RETOBO DEBIDO AL PASO DEL FERROCARRIL EZEQUIEL ZAMORA”**, Tesis de Pregrado de la Universidad De Carabobo, Venezuela.

Julien, P.Y. **“Erosion and sedimentation, Cambridge University Press”**, Nueva York,

1995, 280 pp

Rodas M. (2018) **“ESTUDIO TÉCNICO PARA RECTIFICACIÓN Y PROTECCIÓN**

DE MÁRGENES DEL RÍO TARQUI”. Tesis de Pregrado, Universidad De Cuenca, Ecuador.

Salas Salina, M. A. (1999). **“Obras de Protección Contra Inundaciones”**. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. p.3

Suarez Díaz, J. (2001). **“Control de Erosión en Zonas Tropicales”**. Bucaramanga Colombia: Instituto de Investigaciones sobre la Erosión y Deslizamientos- Ingeniería de Suelos Ltda.p.15.

. Balestrini, M. (2.002). Como se elabora el proyecto de investigación. (2ª.ed.) Caracas: BL consultores y asociados.

Bolinaga, J. J. (1999). Proyectos de Ingeniería hidráulica: Volumen 2. Caracas: Fundación Polar.

.

Anexo A: Memoria fotografica de la zona en estudio.

FOTO SATELITAL DE LA ZONA EN ESTUDIO



Fuente: Google Maps

PUENTE DE LA AV. 168 SALVADOR FEO LA CRUZ ESTE-OESTE



Fuente: Bolivar, H (2020)

ZONA DE ESTUDIO VISTA DESDE EL PUENTE DE LA AV. 97 SALVADOR
FEO LA CRUZ NORTE-SUR



Fuente: Bolívar, H (2020)

ZONA EN ESTUDIO CONFLUENCIA DE LAS AGUAS PROVENIENTES DEL CAUCE PRINCIPAL DEL RIO CABRIALES Y EL DRENAJE DE AGUAS DE LLUVIAS DEL SECTOR LA GRANJA



Fuente: Bolívar, H (2020)

OBRA DE PROTECCIÓN CUBIERTA POR VEGETACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO



Fuente: Bolívar, H (2020)

**EFFECTO DE SOCAVACIÓN LOCAL EN ESTRIBOS EN EL PUENTE DE LA
AV. 168 SALVADOR FEO LA CRUZ ESTE-OESTE**



Fuente: Bolívar, H (2020)

**EFFECTO DE SOCAVACIÓN LOCAL EN ESTRIBOS EN EL PUENTE DE LA
AV. 168 SALVADOR FEO LA CRUZ ESTE-OESTE**



Fuente: Bolívar, H (2020)

AV. 168 SALVADOR FEO LA CRUZ ESTE-OESTE CON VISTA HACIA EL
PUENTE OBJETO DEL ESTUDIO



Fuente: Bolívar, H (2020)

AV. 168 SALVADOR FEO LA CRUZ ESTE-OESTE CON VISTA HACIA EL
HOTEL HESPERIA, AGUAS ARRIBA DE LA ZONA DE ESTUDIO



Fuente: Bolívar, H (2020)

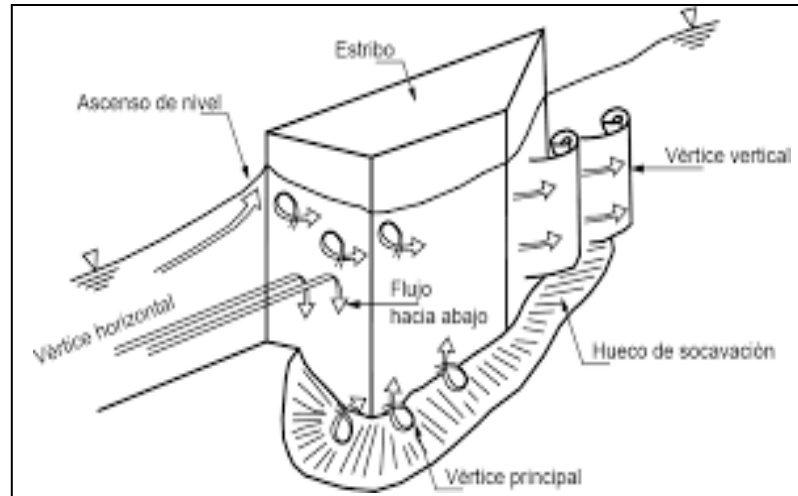
EFFECTO DE SOCAVACIÓN EN ALETAS DE DESCARGA AGUAS ARRIBA DE LA ZONA EN ESTUDIO, HOTEL HESPERIA DESDE EL PUENTE EN LA AV. 168 SALVADOR FEO LA CRUZ ESTE-OESTE



Fuente: Bolívar, H (2020)

Anexo B: Socavación local en estribos

ESQUEMA DE ACCIONES PRESENTES EN UN ESTRIBO PRODUCTO DE LA HIDRODINÁMICA



Fuente: <https://docplayer.es/69921862-Erosion-en-pilares-y-estribos-de-puentes.html>

SOCAVACIÓN IMPORTANTE EN EL ESTRIBO DE UN PUENTE



Fuente: <https://90minutos.co/paso-restringido-en-el-puente-de-la-zona-rural-de-buga/>

SOCAVACIÓN EN EL TERRAPLÉN CON CUBIERTA DE ENROCADO EN LAS INMEDIACIONES DEL ESTRIBO DE UN PUENTE



Fuente: <https://lahora.com.ec/noticia/1101941170/preocupacion-por-dados-en-puentes>

Anexo C: Diques de encauzamiento
CONSTRUCCIÓN DE DIQUE DE ENCAUZAMIENTO



Fuente: <http://www.firmesycaminos.com/acti42.htm>

DIQUE DE TIERRA COMPACTADA O TERRAPLÉN



Fuente: <https://rexingeneria.com/rex-project/obras-rio-magdalena/>

PROTECCIÓN DE ENROCADO EN RIBERAS DE UN RIO



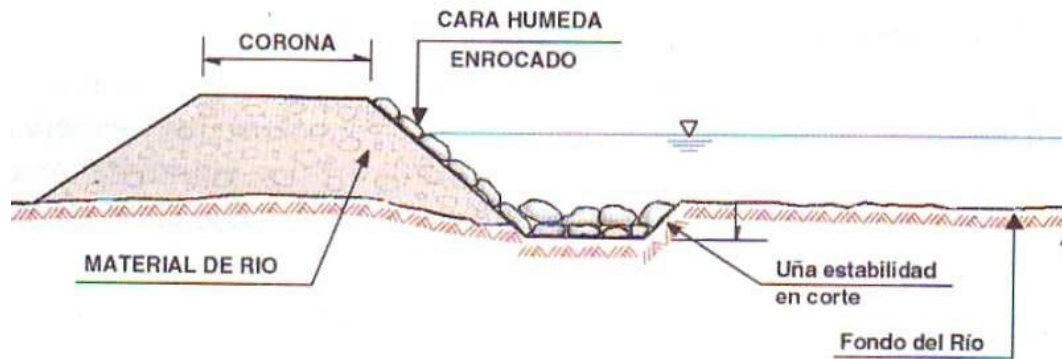
Fuente: <https://www.irrigacion.gov.ar/web/2019/11/05/miembros-del-ciai-recorren-el-rio-atuel/>

COLOCACIÓN DE ENROCADO SOBRE TERRAPLÉN



Fuente: <https://noticiasregionales.wordpress.com/2009/11/11/con-defensas-riberenas-se-protegeran-191-hectareas-de-ser-inundadas/>

ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE UN DIQUE



Fuente: <https://docplayer.es/95880365-Trabajo-de-investigacion.html>