

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**PROPUESTA DE MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LA
SOCAVACIÓN EN LOS CIMIENTOS DEL PUENTE UBICADO
SOBRE EL RÍO SANTA BÁRBARA, EN LA CALLE 3 ENTRE
LOS SECTORES PERÚ VIEJO 1 Y LAS FLORES, MUNICIPIO
HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR.**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR EL BACHILLER.
CORDOVA R., FRANK G.
PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, DICIEMBRE DE 2019



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **“PROPUESTA DE MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LA SOCAVACIÓN EN LOS CIMIENTOS DEL PUENTE UBICADO SOBRE EL RÍO SANTA BÁRBARA, EN LA CALLE 3 ENTRE LOS SECTORES PERÚ VIEJO 1 Y LAS FLORES, MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR”**, presentado por el bachiller, **FRANK GREGORIO CORDOVA ROJAS** de cédula de identidad N° **24.892.350**; como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente. Por el jurado integrado por los profesores:

Nombre:

Firma:

Prof. Dafnis Echeverría

(Asesor)

Prof(a). Adriana Garban

(Jurado)

Prof(a) Beatriz Echeverría

(Jurado)

Prof. Francisco Monteverde
Jefe de Dpto. de Ing. Geológica.

Prof. Francisco Monteverde
Director de Escuela Ciencias de la Tierra

En Ciudad Bolívar, a los ____ días del mes de Febrero de 2020

DEDICATORIA

A mi Dios por ser mi diaria guía, sustento de mi espíritu y por darme fuerzas para continuar este proceso de obtener uno de los anhelados logros de mi vida, como lo es el título de Ingeniero Geólogo.

A mi madre y padre por ser los pilares más importantes, por demostrarme siempre su amor, en especial en las ocasiones más difíciles. A mí demás familiares por siempre ser mi apoyo, creer en mí y por haber sido un soporte a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

A mis amigos y compañeros por acompañarme en las buenas y en las no tan afortunadas situaciones que vivimos como estudiantes. A todas las personas que me han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito, en especial a todos aquellos que me abrieron sus puertas y compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a mi Dios por darme todo cuanto tengo, por haberme ayudado a culminar mis estudios y por iluminarme para dar uno de los pasos más importantes de mi vida, además de cruzarme en mi camino a excelentes personas quienes formaron parte de este gran logro.

A mis padres Frank Córdova y Herminia Rojas, a mis dos hermanas y demás familiares por su apoyo incondicional. Gracias a todos por brindarme su apoyo en cualquier momento, por sus consejos y principalmente por impulsarme a seguir adelante.

A mi profesor Dafnis Echeverría por siempre estar dispuesto a guiarme en el desarrollo del trabajo de grado.

A mi amigo Pedro Montalti por tenerme paciencia a lo largo de nuestra amistad y principalmente por haberme ayudado en el transcurso de la elaboración de este trabajo de grado, a Williams Villegas e Irene Por haberme acompañado, colaborado y asesorado en la salida de campo la cual fue de vital importancia para la realización de este estudio. Además a todos mis compañeros de curso por su apoyo incondicional.

A la Universidad de Oriente y a todos los profesores que me apoyaron durante la ejecución de este Trabajo de Grado, por haberme formado de la mejor manera posible, por su ayuda brindada a lo largo de la carrera, por su amistad y finalmente por sus conocimientos compartidos con mí persona.

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como propósito conocer las condiciones de socavación estimadas de las fundaciones del puente Las Flores ubicado en la calle 3 sobre el río Santa Bárbara, el cual es de suma importancia dentro del municipio, ya que permite la comunicación entre 2 (dos) sectores bastante frecuentadas de la ciudad tal como son Agua Salada y Perú Viejo, y a su vez, el mismo, protege el paso del accidente geográfico o depresión del relieve causado por el río Santa Bárbara.. La finalidad de éste trabajo de grado, es cuantificar la posible socavación que pudiese producirse en los cimientos del puente ante la ocurrencia de avenidas significativas, y por otro lado plantear las medidas apropiadas para controlar éste fenómeno en caso de ser necesario. La investigación será de tipo descriptiva hasta sus objetivos de cuantificar la socavación y en caso de ser necesario la generación de medidas de control de la socavación será de tipo proyectiva. Se aplicará un diseño de campo y documental. Para el alcance de los objetivos específicos se caracterizarán los sedimentos del lecho en la zona del puente, se describirán las condiciones del flujo y las características morfométricas de la cuenca, Se determinarán los caudales de tránsito para períodos de retorno de 25 años y finalmente se determinará la potencial socavación que podría producirse en los cimientos del puente. Una vez aplicada esta metodología, se encontró que los suelos del lecho se corresponden con arenas mal gradadas (SP) con un d_{50} promedio de 0.30 mm, así mismo se determinó que la cuenca aportadora de avenidas tiene un área de 512 ha y produciría un caudal de $83.02 \text{ m}^3/\text{s}$ para un período de retorno de 25 años. La socavación que se produciría en los cimientos estarán en el orden 0.06 m y 0.8 m estimada por los criterios y modelos matemáticos de Maza Sánchez, y de Froehlich. Como medida de control de la socavación se propone la utilización gaviones colocados perimetralmente en torno a los sistemas de pilas del puente sobre el río Santa Bárbara.

CONTENIDO

ACTA DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN.....	V
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE APÉNDICES	XII
LISTA DE ANEXOS	XIII
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO I	 3
SITUACIÓN A INVESTIGAR.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 Justificación de la investigación.....	6
1.4 Alcance de la investigación.....	6
1.5 Limitaciones de la investigación.....	7
 CAPÍTULO II	 8
GENERALIDADES.....	8
2.1 Ubicación geográfica y relativa del área.....	8
2.2 Características geográficas.....	11
2.2.1 Topografía.....	11
2.2.2 Geomorfología	11
2.2.3 Geología	12
2.3 Acceso al área de estudio	12
 CAPÍTULO III.....	 14
MARCO TEÓRICO	14
3.1 Antecedentes de la investigación	14
3.2 Bases teóricas	15

3.2.1 Puente.....	15
3.2.2 Socavación	19
3.2.3 Medidas para protección de puentes	31
3.2.4 Obras de rehabilitación	31
3.3 Bases legales	37
3.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela	38
3.3.2 Ley Orgánica del Ambiente	38
3.3.3 Ley Forestal de Suelos y Aguas	39
3.4 Definición de términos básicos	40
3.4.1. Acequias.....	40
3.4.2. Aguas pluviales	40
3.4.3. Cauce.....	40
3.4.4. Caudal	40
3.4.5 Clima.....	41
3.4.6 Cuenca.....	41
3.4.7 Drenaje superficial	41
3.4.8 Drenaje transversal.....	41
3.4.9 Escurrimiento	42
3.4.10 Fluido	42
3.4.11 Flujo	42
3.4.12 Hidráulica.....	42
3.4.13 Número de Reynolds.....	43
3.4.14 Número de Froude.....	43
3.4.15 Pendiente	44
3.4.16 Régimen	44
3.4.17 Superficie	44
3.4.18 Topografía.....	44
3.4.19 Volumen.....	45
 CAPÍTULO IV	 46
METODOLOGÍA DE TRABAJO	46
4.1 Tipo de investigación	46
4.2 Diseño de investigación	46
4.2.1 Diseño de campo	47
4.2.2 Diseño Documental.....	47
4.3 Población y muestra de la investigación	48
4.3.1 Población de la investigación.....	48
4.3.2 Muestra de la investigación.....	48
4.4 Flujograma de la investigación	49
4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	50
4.5.1 Técnicas de recolección de información	50

4.5.2 Instrumentos para la recolección de datos	52
CAPÍTULO V	53
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	53
5.1 Descripción de las dimensiones y geometría de las pilas, estribos del puente sobre el río Santa Bárbara	53
5.1.1 Descripción de las dimensiones de los estribos del puente.....	54
5.1.2 Descripción de las dimensiones de las pilas de fundación del puente	55
5.2 Descripción de las características hidrológicas e hidráulicas del flujo de agua del río Santa Bárbara.....	59
5.2.1 Descripción de las características hidrológicas del río Santa Bárbara	60
5.2.2 Descripción de las características hidráulicas del río Santa Bárbara	65
5.3 Descripción de la textura de los sedimentos o materiales del cauce.....	72
5.4 Estimación de la posible socavación en las pilas	72
5.4.1 Método de Maza Sánchez	73
5.4.2 Método de Froehlich (1991)	73
5.5 Técnicas de control de erosión en pilas de puente	74
5.5.1 Dimensionar los elementos geométricos de la obra civil de control de socavación	76
CAPÍTULO VI	78
LA PROPUESTA.....	78
6.1 Objetivo de la propuesta.....	78
6.2 Justificación.....	78
6.3 Desarrollo de la propuesta.....	78
6.3.1 Ubicación	78
6.3.2 Elementos dimensionales	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
Conclusiones	80
Recomendaciones.....	81
REFERENCIAS	82
APÉNDICES.....	87
ANEXOS.....	97

LISTA DE FIGURAS

		Páginas
2.1	Imagen de satélite Landsat del área de estudio (Google Earth, 2015).....	9
2.2	Ubicación relativa del área de estudio. (Córdova, F. 2019).....	10
2.3	Posición del puente en la calle 3 (círculo azul) sobre el río Santa Bárbara (Córdova, F. 2019).....	10
2.4	Acceso al área de (Córdova, F., 2019).....	13
3.1	Puente de vigas simplemente apoyadas (Seminario, E., 2004).....	16
3.2	Elementos de un puente tipo viga. (Seminario, E., 2004).....	16
3.3	Figura 3.3 Elevación de un puente (García, A., 2010).....	18
3.4	Sección transversal del cauce (Badillo, J., y Rodríguez, R., 1992).....	19
3.5	Depósito de materiales en el fondo de un río (Aguado, A., 2012).....	21
3.6	Daños en la estructura debido al arrastre de sedimentos (Aguado, A., 2012).....	21
3.7	Control de erosión en zonas tropicales (Suárez, J., 2001).....	22
3.8	Socavación local en pilas (Aguado, A., 2012).....	23
3.9	Control de erosión en zonas tropicales (Suárez, J., 2001).....	24
3.10	Tipos de socavación (Monforte, A., 2016).....	24
3.11	Cálculo de la socavación local en un pilar rectangular (Fuente: Maza Álvarez, 1987).....	27
3.12	Cálculo de la socavación local para un pilar circular (Fuente: Maza Álvarez, 1987).....	28
3.13	Cálculo de la socavación local en una pila elongada (Fuente: Maza Álvarez, 1987).....	29
3.14	Protección de márgenes por medio de gaviones. (Alfredobi, 1999).....	33
3.15	Obras de protección contra la erosión, muro en bolsacretos, puente en Puerto Berrío, margen derecha, asentamiento de Puerto Olaya (Otálvaro, M., 2007).....	34
4.1	Obras de protección contra la erosión, muro en bolsacretos, puente en Puerto Berrío, margen derecha, asentamiento de Puerto Olaya (Otálvaro, M., 2007).....	50
5.1	Estructura del puente Las Flores vista desde el río Santa Bárbara (Córdova, 2019).....	54
5.2	Estructura del puente Las Flores vista desde la vialidad en la cual transitan los vehículos (Córdova, 2019).....	54
5.3	Estribos del puente Las Flores (Córdova, 2019).....	55
5.4	Vigas de soporte del puente Las Flores Sur (Córdova, 2019).....	56
5.5	Soporte tipo losa y pila del puente Las Flores Norte (Córdova, 2019).....	56

5.6	Vista en planta de sistema de pilas de fundación del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara Croquis sin escala (Córdova, 2019).....	57
5.7	Vista lateral del sistema de pilas del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara. Dibujo sin escala. (Córdova, 2019).....	58
5.8	Vista de perfil sistema de pila de fundación puente Las Flores. Dibujo sin escala (Córdova, 2019).....	58
5.9	Croquis de uno de los sistemas de pilas de fundación del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara. Dibujo sin escala (Córdova, 2019).....	58
5.10	Pila y estribo oriental del puente sin evidencia de socavación (Córdova, 2019).....	59
5.11	Precipitación máxima, media y mínima mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1987–2007. (INAMEH, 2015).....	61
5.12	Evaporación Media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659 – Estado Anzoátegui Período 1987–2007. (INAMEH, 2015).....	62
5.13	Temperatura media mensual en (°C). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987-2.007. (INAMEH, 2015).....	64
5.14	Curvas IDF para la región II. (Arocha, S., 1983).....	67
5.15	Hidrograma Unitario Triangular SCS para la cuenca media del río Santa Bárbara (Córdova, F. 2019).....	69
5.16	Levantamiento topográfico con Nivel Abney, cinta métrica y brújula (Córdova, F. 2019).....	70
5.17	Trabajo topográfico (Córdova, F. 2019).....	70
5.18	Muestreo de sedimentos del cauce (Córdova, F. 2019).....	72

LISTA DE TABLAS

		Páginas
2.1	Coordenadas geográficas (Córdova, F. 2019).....	8
2.2	Coordenadas UTM (Córdova, F. 2019).....	8
3.1	Factor de corrección f_c . Método de Maza-Sánchez (Fuente: Maza Álvarez, 1987).....	25
3.2	Factor de corrección k_f . (Maza Álvarez, 1987).....	31
4.1	Coordenadas UTM de ubicación de los muestreos de suelos (Córdova, F. 2019).....	49
5.1	Precipitación media mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1987-2007. (INAMEH, 2015).....	60
5.2	Evaporación media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659 – Estado Anzoátegui. Período 1987–2007. (INAMEH, 2015).....	62
8.3	Temperatura media mensual en (°C). Estación: Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1987–2007 (20 Años). (INAMEH, 2015).....	63
5.4	Sub-áreas delimitadas dentro de la cuenca (Córdova, F. 2019).....	65
5.5	Coeficientes de escurrimiento para las áreas delimitadas dentro de la cuenca (Córdova, F. 2019).....	66
5.6	Coeficiente de escorrentía ponderado (Córdova, F. 2019).....	66
5.7	Tiempos de concentración por tipo de cobertura (Córdova, F. 2019).....	67
5.8	Intensidades de lluvia para cada área delimitada dentro de la cuenca (Córdova, F. 2019).....	68
5.9	Estimación del caudal unitario (Córdova, F. 2019).....	68
5.10	Estimación del caudal unitario (Córdova, F. 2019).....	69
5.11	Parámetros hidráulicos para cada sección transversal en condición de $Tr = 25$ años y $Q = 83.02 \text{ m}^3/\text{s}$. (Córdova, F. 2019).....	71
5.12	Parámetros geométricos de las secciones transversales para un $Tr = 25$ años y $Q = 83.02 \text{ m}^3/\text{s}$. (Córdova, F. 2019).....	71
5.13	Estimación de la socavación local en la pila rectangular según Maza - Sánchez (Córdova, F. 2019).....	73
5.14	Estimación de la socavación local en la pila rectangular según Froehlich (Córdova, F. 2019).....	74

LISTA DE APÉNDICES

	Páginas
A	
SECCIONES TRANSVERSALES TOPOGRÁFICAS.....	88
A.1 Sección transversal 1.0 (Córdova, F., 2019).....	89
A.2 Sección transversal 2.0 (Córdova, F., 2019).....	89
A.3 Sección transversal 3.0 (Córdova, F. 2019).....	90
A.4 Sección transversal 4.0 (Córdova, F. 2019).....	90
A.5 Sección transversal 5.0 (Córdova, F. 2019).....	91
A.6 Sección transversal 6.0 (Córdova, F. 2019).....	91
B	
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA.....	92
B.1 Análisis granulométrico de la muestra M1 (Córdova, F. 2019)...	93
B.2 Análisis granulométrico de la muestra M2 (Córdova, F. 2019)...	94
B.3 Análisis granulométrico de la muestra M3 (Córdova, F. 2019)...	95
B.4 Análisis granulométrico de la muestra M4 (Córdova, F. 2019)...	96

LISTA DE ANEXOS

MAPA TOPOGRÁFICO TRAMO CUENCA MEDIA RIO SANTA BÁRBARA

INTRODUCCIÓN

El tema de la socavación en puentes, es de suma importancia, ya que la misma ocurre de forma repetitiva en muchas de estas estructuras y es por ello que se debería prestar más atención al debido mantenimiento e inspección de los mismos y mucho más aun, cuando éstos están sobre pasos de agua; de éste modo, se puede evitar el colapso de las estructuras generada por el poder erosivo de las aguas sobre las cimentaciones.

En el presente trabajo se pretenden estimar la socavación que se podría producir en la cimentación del puente sobre el río Santa Bárbara ubicado en la calle 3 entre los sectores Las Flores y el Perú Viejo 1. Asimismo, se pretende proponer la posible medida de control o mitigación de la socavación sobre los cimientos del citado puente en Ciudad Bolívar, municipio Heres, estado Bolívar, Venezuela. La investigación será descriptiva y proyectiva y la estrategia o diseño de investigación será de campo y documental.

Para el desarrollo de la investigación se efectuará una delimitación de la cuenca del río Santa Bárbara, se determinará el caudal de avenida aportado por la cuenca con un período de retorno de 25 años. Asimismo, se caracterizarán los materiales del lecho y las condiciones de los flujos que se producirían. Finalmente se estiman las socavaciones potenciales que se producirían en las cimentaciones del puente y cuál será la medida para el control de las socavaciones.

La presente investigación se encuentra estructurada en seis (6) Capítulos:

Capítulo I. Situación a investigar: en la que se reflejará el problema de investigación, los objetivos general y específicos, la justificación de realizar ésta investigación, y su alcance.

Capítulo II. Generalidades: en las que se conocerá la ubicación geográfica del área, acceso, características físico - naturales, geología regional y/o local, entre otras condiciones del entorno.

Capítulo III. Marco teórico: con sus respectivos antecedentes, fundamentos teóricos, bases legales y definición de términos básicos.

Capítulo IV. Metodología de trabajo: donde se conocerá el tipo y diseño de la investigación, la delimitación de la población y la muestra extraídas del área de estudio, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, el flujograma que representa los pasos necesarios que han de realizarse para el cabal desarrollo de la investigación y el procedimiento para el logro de los objetivos específicos planteados.

Capítulo V. Análisis e interpretación de los resultados: obtenidos al finalizar el estudio.

Capítulo VI. La propuesta: donde se reflejará la formulación de soluciones prácticas al problema detectado.

Para concluir el documento se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias, apéndices y anexos.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

Los puentes, son estructuras planificadas, y construidas, con la finalidad de unir o conectar dos puntos específicos que se encuentren separados por algún obstáculo o accidente geográfico, ya sean naturales, o fabricados por el hombre, protegiendo a su vez, cualquier eventualidad que se haga paso entre estos dos puntos.

Existen diversos factores que estropean la correcta funcionalidad de los puentes, ya que actúan degradando, o erosionando con mayor velocidad las cimentaciones de los mismos, lo cual acarrea daños al medio ambiente que los rodea.

Diversos estudios señalan de un modo general que entre las causas más comunes de fallas de puentes están principalmente las siguientes: a) choque de cuerpos extraños (palizadas, embarcaciones, bloques de hielo y otros cuerpos extraños); b) comportamiento fluvial (socavación y diversas manifestaciones de la dinámica fluvial); c) acción del viento; d) sismos.

Se tiene el caso del puente sobre el río Santa Bárbara, ubicado en la calle 3, entre los sectores Las Flores y el Perú Viejo 1, la cual es una de las cuencas hidrográficas más importantes que atraviesa a Ciudad Bolívar. Dicha estructura civil esta potencialmente expuesta a la erosión localizada en las adyacencias de las cimentaciones por ser estas un obstáculo en el curso de la corriente; este proceso erosivo se produce debido al estrechamiento que de manera eventual le produce el puente al cauce del río, trayendo actualmente como

consecuencia que la estructura vial pudiese presentar en un futuro a corto plazo evidencias de socavación.

Razón por la cual es de vital importancia proponer medidas correctivas en pro de esta situación para que de esta manera se puedan disminuir los potenciales riesgos que en un futuro ocasionarían grandes pérdidas económicas, o peor aún y hasta pérdidas de vidas de las personas que circulan por dicha estructura. El puente a lo largo de los años (tomando en cuenta los efectos ocasionados por las condiciones ambientales) podría fallar, debido al colapso de sus cimentaciones, ya que las mismas son los apoyos inmediatos de los puentes, responsables de soportar la mayor carga de la estructura, y ofrecer resistencia contra los agentes erosivos que actúan alrededor de las mismas.

Finalmente, en esta investigación es necesario plantear una propuesta de medidas correctivas o preventivas para control de socavación de los cimientos del puente sobre el río Santa Bárbara, ubicado en la calle 3 entre los sectores Las Flores y el Perú Viejo 1 en Ciudad Bolívar, municipio Heres, estado Bolívar, Venezuela.

Para alcanzar dicho objetivo se formulan las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuáles son las dimensiones y geometría de las cimentaciones del puente sobre el río Santa Bárbara ubicado en la calle 3 del sector Las Flores?

¿Cómo se caracteriza hidrológica e hidráulicamente el río Santa Bárbara en la zona objeto de estudio con base a las condiciones de la velocidad de la corriente y caudal?

¿Cuáles son las características en cuanto a textura de los sedimentos o los materiales del cauce presentes en el área de estudio?

¿Cuál sería la magnitud de las socavaciones que se producirían en las cimentaciones del puente?

¿Qué técnicas de control de erosión pudiesen aplicarse en las cimentaciones del puente?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Proponer medidas para controlar la potencial socavación que se podría producir en los cimientos del puente sobre el río Santa Bárbara, ubicado en la calle 3 entre los sectores Perú Viejo 1 y Las Flores, Ciudad Bolívar, municipio Heres, estado Bolívar, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Describir las dimensiones y geometría de las cimentaciones del puente.
2. Caracterizar hidrológica e hidráulicamente el flujo de agua del río Santa Bárbara en la zona de estudio.
3. Caracterizar de acuerdo a su textura, los materiales del cauce presentes en el área de estudio.

4. Determinar la magnitud de las socavaciones potenciales que se producirían en las cimentaciones del puente.

5. Identificar las técnicas de control de erosión que pudiesen aplicarse en las cimentaciones del puente.

1.3 Justificación de la investigación

La siguiente investigación será de vital importancia, debido a que a partir de la misma, se procura brindar soluciones a la problemática de la socavación que se podría presentar en los cimientos del puente sobre el río Santa Bárbara ubicado en la calle 3 entre los sectores Las Flores y Perú Viejo 1, y por qué pueden ocurrir inconvenientes o catástrofes que irían desde la incomunicación entre sectores, hasta la pérdida de vidas por el colapso de la infraestructura. El puente en estudio es parte primordial del sector Las Flores en el punto en que la misma, pasa sobre el accidente geográfico producido por el río Santa Bárbara; ésta vialidad, es muy transitada por vehículos y peatones, y permite la comunicación entre el sector Las Flores y el sector Perú Viejo 1.

Esta investigación, estará enfocada directamente a la determinación de la magnitud de las cimentaciones y a la propuesta de medidas correctivas para solucionar la problemática de socavación que se presentaría en los cimientos del puente ubicado sobre el río Santa Bárbara, debido a la acción de las corrientes lo cual podría generar problemas de inestabilidad de la estructura vial.

1.4 Alcance de la investigación

A partir de esta investigación, se analizará las características hidrológicas e hidráulicas del río Santa Bárbara, las condiciones de los sedimentos del cauce, la

magnitud de las posibles socavaciones que se pudiesen presentar en las cimentaciones y finalmente se propondrá alguna medida para el control de las cimentaciones

1.5 Limitaciones de la investigación

Para el momento de elaboración del presente documento no se han detectado inconvenientes o limitaciones que imposibiliten la normal ejecución de la misma.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica y relativa del área

El puente en estudio se encuentra ubicado hacia la zona centro occidental geográfico de Ciudad Bolívar, en la intersección del río Santa Bárbara con la Calle 3 del sector que conecta al sector Las Flores con el sector Perú Viejo. Limita al Norte con la cuenca baja del río Buena Vista, hacia el Sur con su cuenca alta, hacia el Este con la urbanización el Perú y hacia el Oeste con la calle principal del sector Las Flores. En la tabla 2.1 se muestra las coordenadas geográficas del centroide del área de estudio, mientras que en la tabla 2.2 se muestra su ubicación equivalente en coordenadas U.T.M.

Tabla 2.1 Coordenadas geográficas (Córdova, F. 2019).

PUNTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
	LONGITUD OESTE	LATITUD NORTE
Puente calle 3 de Las Flores	8°06'35.49"	63°33'00.70"

Tabla 2.2 Coordenadas UTM (Córdova, F. 2019).

PUNTO	COORDENADAS UTM /Datum REGVEN)	
	ESTE (m.)	NORTE (m.)
Puente calle 3 de Las Flores	438763	896488

A continuación se presenta una imagen del satélite Landsat (falso color) de la zona de estudio en la Figura 2.1 y en una porción del plano urbanístico de Ciudad

Bolívar se muestra la ubicación del puente sobre el río Santa Bárbara en la calle 3 del sector Las Flores (Figuras 2.2 y 2.3).



Figura 2.1 Imagen de satélite Landsat del área de estudio (Google Earth, 2015).



Figura 2.2 Ubicación relativa del área de estudio. (Cordova, F. 2019).

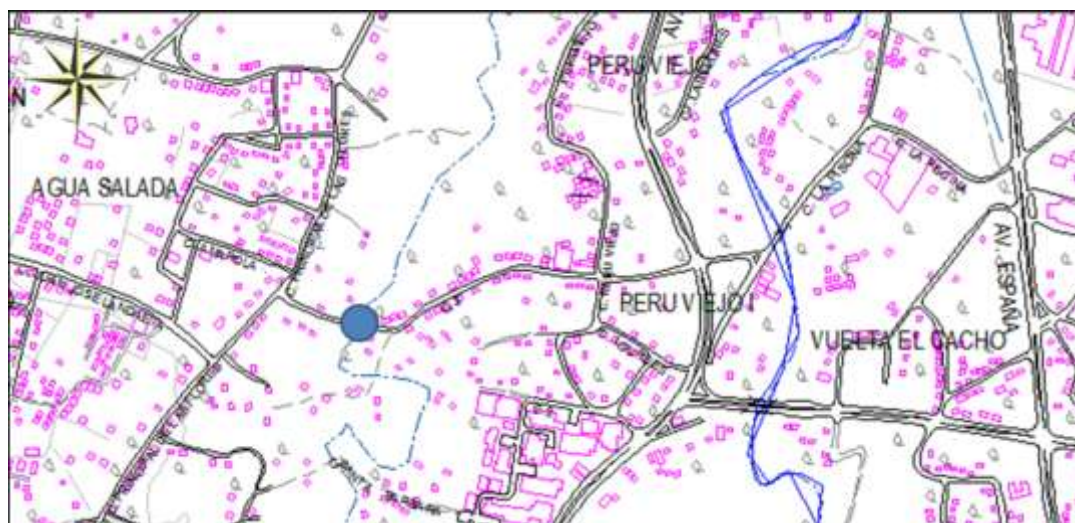


Figura 2.3 Posición del puente en la calle 3 (círculo azul) sobre el río Santa Bárbara (Córdova, F. 2019).

2.2 Características geográficas

2.2.1 Topografía

La zona de estudio se encuentra al sur del país, en la capital del estado Bolívar que representa un 24% de la superficie del mismo. La ubicación del puente tiene coordenadas geográficas de N 8° 06' 48.73" W 63° 34' 21.02". Por otro lado, la cuenca del río Santa Bárbara tiene un perímetro de 9442 m y un área aproximada de 512 ha. La cota aproximada de la plataforma del puente es de 41 msnm; sin embargo, las partes más elevadas de la Ciudad se encuentran en la parte sur de la (125 msnm) y las más bajas en las riberas del río Orinoco a 12 msnm, en el sector conocido como el casco histórico. En la zona de estudio, correspondiente a la cuenca media del río Santa Bárbara, las elevaciones son alrededor de 35 msnm.

2.2.2 Geomorfología

Yanez, G., (1991), en un estudio para la C.V.G. TECMIN, C.A., afirma que lo más importante en la zona del estudio corresponde a la formación Mesa que consiste en sedimentos del plio-pleistoceno. Estas planicies y pleniplanicies, en parte han sido muy disectadas a costa del retroceso progresivo de las cárcavas que la caracterizan, el relieve predominante en consecuencia son llanuras de erosión, llanuras aluviales, llanuras de inundación y vegas.

Se localizan en una amplia faja en el franco sur del río Orinoco donde son menores los rangos de precipitación (800 mm-1400 mm anuales) y las escorrentías generan erosión intensa en forma de áreas de arenas malas (bad-lands) debido a sedimentos no consolidados.

2.2.3 Geología

A nivel regional, las rocas más representativas son las graníticas, también pueden encontrarse rocas metavolcánicas, metasedimentarias e ignimbríticas. La cuenca del río Santa Bárbara se encuentra dentro de los límites de Ciudad Bolívar, la cual se encuentra bien descrita geológicamente.

La hoja geológica de Ciudad Bolívar está incluida dentro del escudo de Guayana el cual a su vez es compartido con Brasil, las Guyanas y una pequeña porción de Colombia.

El Macizo precámbrico en Venezuela comprende aproximadamente el 50% del territorio nacional y se localiza al sur del Orinoco y está dividido en 4 provincias geológicas que de la más antigua a la más joven son: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima (Mendoza, V., 1968).

La cuenca del río Santa Bárbara está comprendida en la hoja #7440 de Cartografía Nacional y posee unidades geológicas aflorantes y discordantes entre sí, tales unidades son las siguientes: el basamento ígneo-metamórfico del complejo de Imataca y dos unidades cuaternarias; sedimentos de la formación Mesa del pleistoceno y sedimentos Recientes aluvionales. .

2.3 Acceso al área de estudio

El puente que atraviesa el río Santa Bárbara está ubicado en Ciudad Bolívar, en una zona urbana, en la calle 3 a la cual se puede llegar desde: el Oeste, desde el sector Agua Salada a través de la avenida principal de Las Flores o también desde el este, por el sector Perú Viejo 1 a través de la avenida Principal de la Orb. El Perú y luego

tomando hacia el Oeste por la calle 3 del sector Perú Viejo 1 – y Las Flores (Figura 2.4).

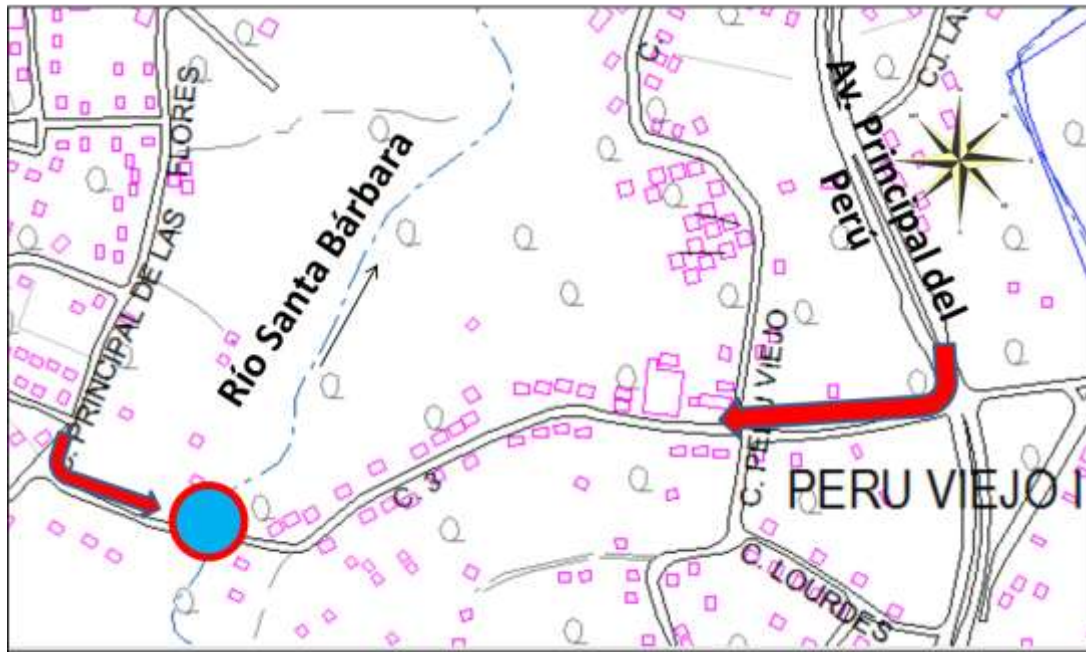


Figura 2.4 Acceso al área de (Córdova, F., 2019).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

Álvarez C., Caicedo, G. y Moreno, D. (2007) estudiantes de Ingeniería civil de la Universidad de La Salle, facultad de Ingeniería Civil. Bogotá D.C., elaboraron el trabajo de investigación titulado **“ANÁLISIS DE FLUJO DEL RÍO NEGRO EN EL KM 20+100, VÍA PACHO – LA PALMA PARA ESTABLECER ALTERNATIVAS QUE MITIGUEN LA SOCAVACIÓN MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE UN MODELO HIDRÁULICO”**, cuyo propósito, es determinar cuál de las estructuras de disipación de energía, permite controlar la socavación en la vía Pacho - La Palma a la altura del Km. 20+100, utilizando un modelo hidráulico a escala.

Este trabajo, incluye una serie de pruebas y demostraciones que nos permiten conocer de forma efectiva, cuáles pueden ser las mejores estrategias a utilizar, para controlar de forma eficiente la socavación que sufre un puente, debido a que los presentadores del proyecto, realizaron estudios comparativos, para seleccionar la técnica más eficaz.

Zamora, S. (2016), elaboró su trabajo de grado titulado **“ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN LOCAL ENTORNO A LAS PILAS DEL PUENTE UBICADO EN LA AVENIDA NUEVA GRANADA SOBRE EL RÍO SAN RAFAEL, SECTOR LAS CAMPIÑAS MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR”**, cuyo objetivo es analizar los procesos de erosión local entorno a las pilas del puente ubicado en la avenida Nueva Granada

sobre el río San Rafael, sector Las Campiñas, municipio Heres, Ciudad Bolívar, estado Bolívar.

Los resultados presentados en éste trabajo de grado, son de suma importancia para esta investigación, debido a que los métodos y técnicas aplicados tienen validez para el presente trabajo.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Puente

Un puente es una estructura destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías (Arnal, E., 2000).

3.2.1.1 Puentes tipo viga

Los puentes tipo viga son los más comunes. Estructuralmente, también son los más sencillos (Seminario, E., 2004).

- **Puentes de tramos simplemente apoyados** (una o varias luces simplemente apoyadas): pueden ser de losa maciza o de losas y vigas. Su desventaja se encuentra en el mayor número de juntas y dispositivos de apoyo. (Seminario, E., 2004).

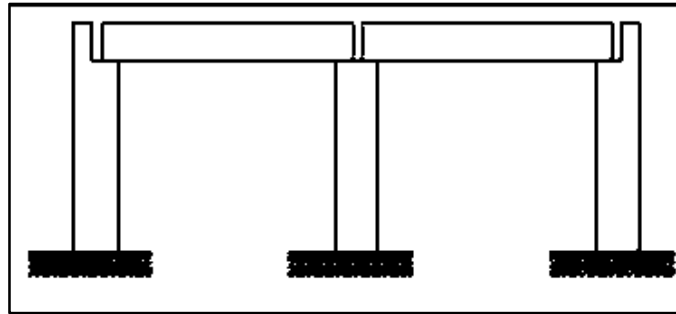


Figura 3.1 Puente de vigas simplemente apoyadas (Seminario, E., 2004).

a. El puente tipo está conformado por: losa, vigas, estribos y pilares, cimentación, sistemas de apoyos y juntas, y obras complementarias (barandas, separadores, drenaje, etc.). (Seminario, E., 2004).

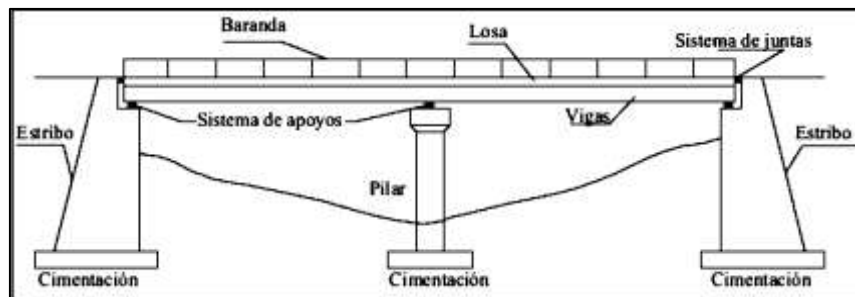


Figura 3.2 Elementos de un puente tipo viga. (Seminario, E., 2004).

b. Losa: la losa es el elemento estructural que sirve para soportar el tránsito vehicular y peatonal para luego transmitir sus cargas al sistema de vigas (Seminario, E., 2004).

c. Vigas: las vigas constituyen el elemento estructural que soporta la losa. (Seminario, E., 2004).

d. Subestructura: las subestructuras están conformadas por los estribos y los pilares quienes tienen la función de soportar a la superestructura (vigas y losa). A su

vez, los estribos y pilares transmiten sus cargas a la cimentación y esta las transmite al terreno. (Seminario, E., 2004).

e. Apoyos y juntas: los sistemas de apoyos tienen la función de transmitir las cargas de la superestructura a la subestructura. (Seminario, E., 2004).

f. Obras complementarias: el buen funcionamiento del puente requiere de obras complementarias que aseguren la durabilidad de las estructuras y que brinden seguridad al tránsito. (Seminario, E., 2004).

Entre las obras complementarias podemos encontrar las barandas, separadores, bermas, losas de transición, cortinas y alas, obras de iluminación, obras de señalización, drenaje, obras de capacitación pavimentación, etc. (Seminario, E., 2004).

3.2.1.2 Los cimientos

Son encargados de transmitir al terreno todos los esfuerzos. Están formados por las rocas, terreno o pilotes que soportan el peso de estribos y pilas (Arnal, E., 2000).

Pilotes: Son cimentaciones profundas. Suelen tener forma circular y pueden ser o prefabricados o ejecutados in situ.

3.2.1.3 Las pilas

Son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos. Deben soportar la carga permanentemente y sobrecargas sin asientos, ser insensibles a la acción erosiva de los principales agentes naturales. Este es el principal lugar de enfoque

debido que es aquí donde se registra la erosión causada por el agua del río al fluir o desplazarse.

En los pilares de los puentes se presenta fuerte erosión y físicamente el fenómeno se genera debido a que alrededor de los pilares se dan velocidades mayores que las velocidades medias de la corriente, acompañadas de un sistema de vórtices frontales, laterales y de estela detrás del pilar. Este sistema de vórtices en la base del pilar es el principal responsable de la erosión (Arnal, E., 2000).

3.2.1.4 Estribos

Situados en los extremos del puente sostienen los terraplenes que conducen al puente. A veces son reemplazados por pilares hincados que permiten el desplazamiento del suelo en su alrededor. Deben resistir todo tipo de esfuerzos por lo que se suelen construir en hormigón armado y tener formas diversas (Arnal, E., 2000).

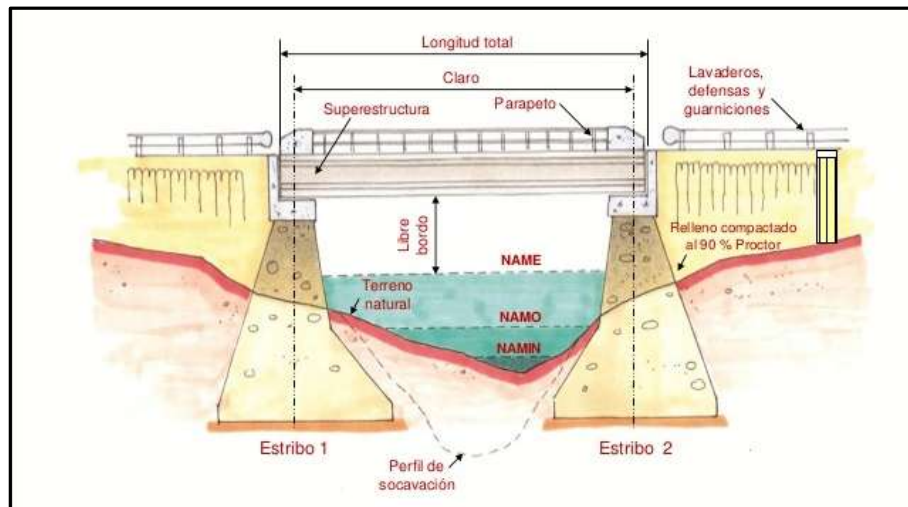


Figura 3.3 Elevación de un puente (García, A., 2010).

3.2.2 Socavación

La socavación es la degradación del fondo de un cauce, la remoción de los materiales del fondo por la acción del flujo de agua, ésta depende de las características de la corriente y de las propiedades de dichos materiales del fondo.

Los materiales granulares se erosionan rápidamente y los suelos arcillosos son más resistentes a la erosión. Es por esto que en arenas la socavación se alcanza en horas, mientras que en suelos cohesivos puede tardar días y en rocas años (Aguado, A., 2012).

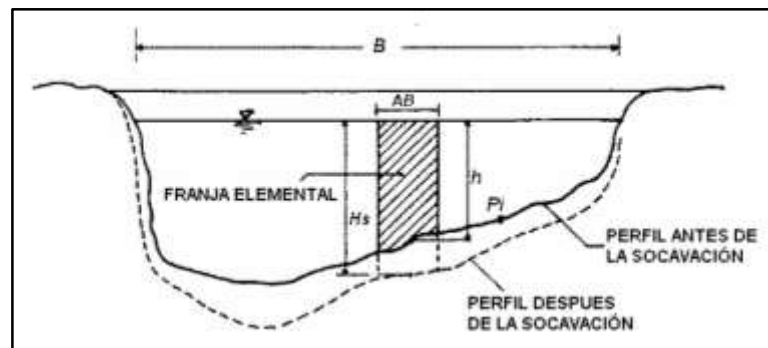


Figura 3.4 Sección transversal del cauce (Badillo, J., y Rodríguez, R., 1992).

3.2.2.1 Socavación en Puentes

Es el fenómeno que consiste en la pérdida del material del lecho y las bancas del canal debido a la acción erosiva del agua alrededor de los puentes. Este fenómeno es producto del desequilibrio provocado entre la remoción y el aporte de material en esa sección. Adicionalmente la socavación en un puente surge por la compleja interacción entre el flujo del río, los materiales de los bordes del río y para el caso de socavación localizada el tipo de estructura del puente en sí misma. La socavación en los lechos de los ríos es un problema complejo que puede ser evaluado de distintas

maneras. La ingeniería hidráulica de los puentes debe ser considerada no solamente bajo el puente, se debe tener en cuenta el área suficiente aguas arriba como aguas abajo para tener en consideración no solo los efectos locales sino también los efectos a gran escala (Giraldo, G., y Vegas, D., 2013).

3.2.2.2 Factores que influyen en la socavación

Algunos factores que pueden alterar de maneras diferentes la profundidad de la socavación en los puentes son: características del río, material del fondo o material arrastrado, el flujo que lleva el río, también el tipo de estructura que interviene en el cauce (Melville y Coleman., 2000).

Factores geomorfológicos: son aquellos que hacen referencia a las características de la cuenca y el río analizado. Dentro de las características de la cuenca se incluyen los factores climáticos y los usos y tipos de suelos, elementos de primera importancia para determinar las tasas de erosión y transporte en el sitio de interés. Las características de mayor interés son la pendiente, la geometría de la sección transversal, su forma en planta, las características del material del lecho y las condiciones de borde del canal. (Barbosa, S., 2013).

La caracterización del material del lecho incluye la distribución del sedimento, la gradación, la estratificación de capas en el lecho y la presencia de materiales cohesivos. (Barbosa, S., 2013).

Los sedimentos no cohesivos son aquellos cuyo movimiento depende solamente de las propiedades de las partículas que los componen y de la posición relativa entre las mismas. Dentro de este grupo se encuentran las arenas y gravas. Los sedimentos cohesivos, por el contrario, son aquellos cuyo movimiento inicial depende de la compleja interacción físico-química entre las partículas coloidales y los efectos de la

presión de poros. La socavación en lechos de material cohesivo es un fenómeno mucho más complejo y no puede ser evaluado según las características del tamaño de la partícula. (Barbosa, S., 2013).

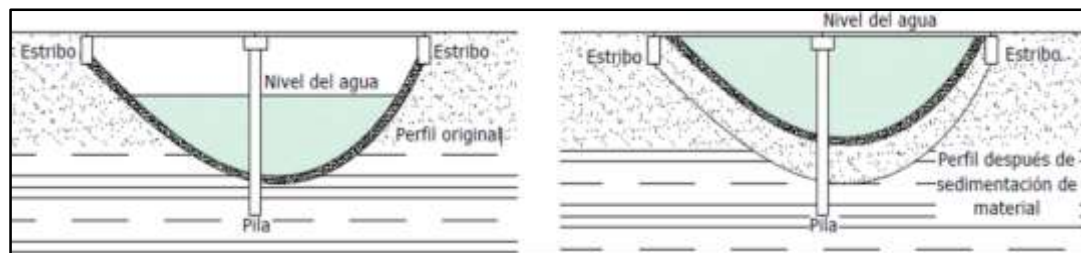


Figura 3.5 Depósito de materiales en el fondo de un río (Aguado, A., 2012).

Factores de transporte: son aquellos que se relacionan con el transporte tanto de agua como de sedimentos. Las características del flujo, como la velocidad, duración, caudal y frecuencia, así como las tasas de transporte y tipo de sedimento transportado durante tales eventos, son necesarias para estimar la profundidad de socavación. (Barbosa, S., 2013).

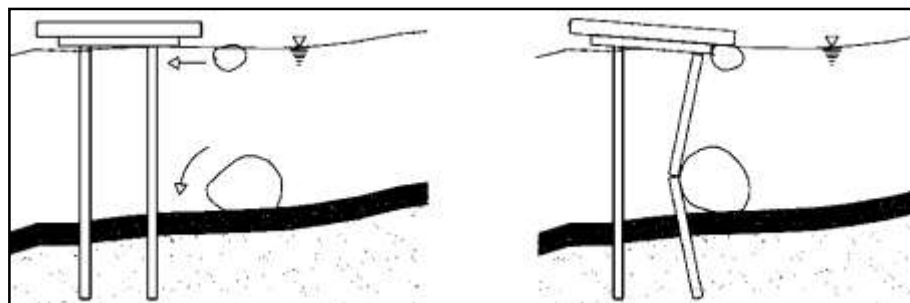


Figura 3.6 Daños en la estructura debido al arrastre de sedimentos (Aguado, A., 2012).

3.2.2.3 Tipos de socavación

La socavación suele presentarse en la naturaleza como un fenómeno natural, en cuyo caso se denomina socavación natural, al estudiarse este tipo de socavación se le

llama socavación general, cuando la socavación es alterada o provocada por una estructura construida por el hombre, se denomina socavación inducida; en la socavación inducida se estudia la socavación local en pilas o estribos y la socavación por contracción (Aguado, A., 2012).

- Socavación general: consiste en el descenso del fondo del nivel del río producido por el arrastre de gran cantidad de material particulado principalmente producido por las crecientes. (Giraldo, G., y Vegas, D., 2013).

- Socavación por estrechamiento: ocurre cuando los apoyos, la cimentación y/o los terraplenes de acceso reducen el área hidráulica. (Monforte, A., 2016).

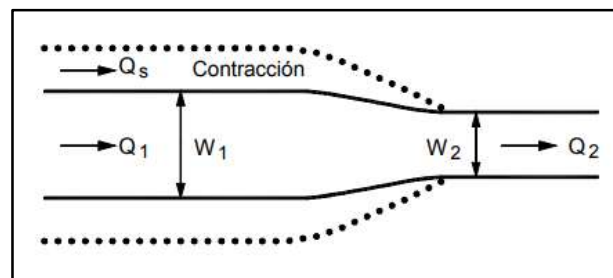


Figura3.7 Control de erosión en zonas tropicales (Suárez, J., 2001).

- Socavación local: la socavación local es el proceso de remoción del material alrededor de las pilas, estribos, diques y terraplenes de acceso de un puente. Este es causado principalmente por el cambio de dirección de las líneas de flujo, vórtices generados por la obstrucción del flujo, turbulencia y la aceleración del flujo. En este caso la profundidad máxima de socavación ocurre cuando el flujo es incapaz de remover más sedimentos del lecho en ese punto (Bruce, W., M., 2000).

Principales factores que influyen en la socavación local: Hidráulicos (gasto, tirante, velocidad), del sedimento (mediana de los diámetros, desviación estándar

geométrica), geometría del puente (grado de estrechamiento, dimensiones pilas y estribos, forma, alineamiento). (Monforte, A., 2016).

Socavación local en pilas: la socavación local en pilas está ligado directamente a la separación tridimensional del flujo en la cara aguas arriba de la pila y a un vórtice al pie de ella. La acumulación de agua hacia aguas arriba de la obstrucción produce una onda en superficie y un flujo vertical hacia abajo lo que ocasiona un elevado gradiente de presión provocando la separación del flujo, esto genera la creación de unos vórtices alrededor de la pila los cuales son conocidos como vórtices de herradura y son los principales responsables de la socavación (Dargahi, Et., 1982).

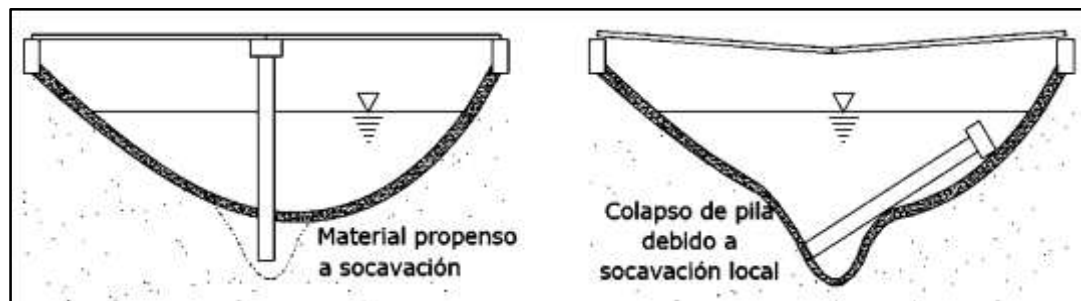


Figura 3.8 Socavación local en pilas (Aguado, A., 2012).

Socavación local en estribos: la socavación local en estribos se ha estudiado menos que en pilas ya que se presume que es menos relevante y afecta en menor medida a la socavación. Esto se debe al hecho que la socavación solo afecta a los estribos que interfieren directamente el flujo del agua y esto sucede principalmente cuando los terraplenes de acceso se encuentran dentro de la planicie de inundación (Giraldo, G., y Vegas, D., 2013).

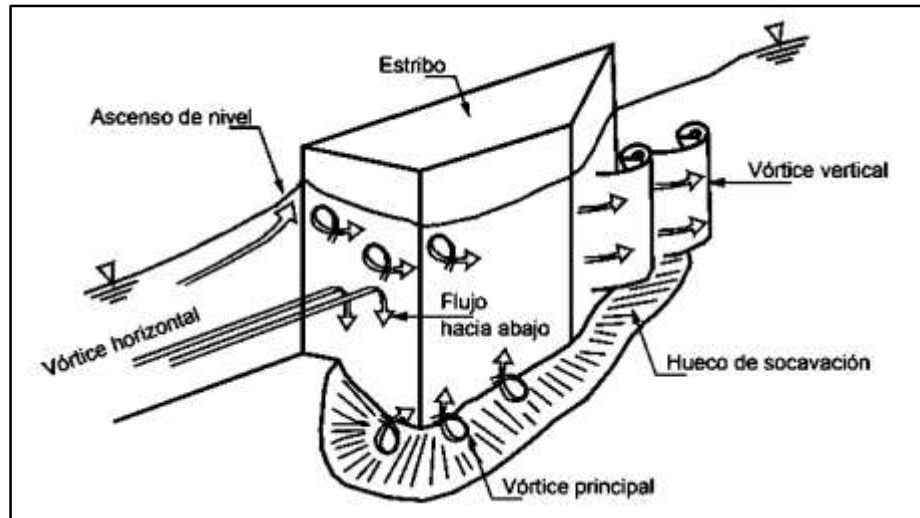


Figura 3.9 Control de erosión en zonas tropicales (Suárez, J., 2001).

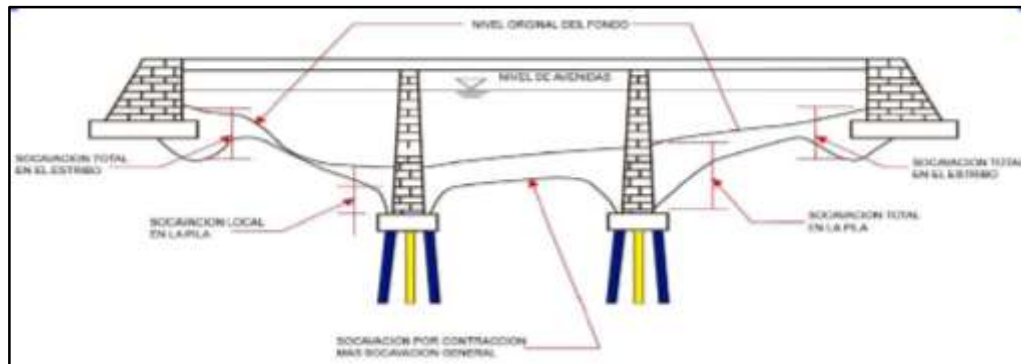


Figura 3.10 Tipos de socavación (Monforte, A., 2016).

3.2.2.4 Estimación de la socavación en pilas

- **Método de Maza Sánchez (1968):** es un método aplicable para lechos cubiertos por arena y grava. El método se basa en el uso de curvas elaboradas a partir de resultados experimentales de laboratorio efectuadas en la División de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNAM en México. Las curvas se obtuvieron experimentando con materiales entre 0.17 mm y 0.56 mm de diámetro. La socavación obtenida a partir de estas curvas para partículas con diámetro medio de 1.3 mm es mayor a la obtenida experimentalmente.

Los parámetros que intervienen en el método son: profundidad de flujo, ancho del pilar, número de Froude y el ángulo de ataque del flujo sobre la estructura. El diámetro de las partículas no se toma en cuenta. A continuación se detalla los pasos a seguir mediante este método.

- a. Cálculo del cuadrado del número de Froude de la corriente, Fr^2

$$Fr^2 = V^2 / (g H_s) \quad (3.1)$$

Dónde:

H_s : Profundidad del agua hacia aguas arriba del pilar antes de la socavación local

V : Velocidad media de la corriente frente al pilar

$$Vr = \alpha h^{3/5} / H_s \quad (3.2)$$

- b. Evaluación del factor de corrección f_c que considera el ángulo de ataque de la corriente (Tabla 3.1)

Tabla 3.1 Factor de corrección f_c . Método de Maza-Sánchez (Fuente: Maza Álvarez, 1987).

ϕ	0°	15°	30°	45°
f_c	1.0	1.25	1.40	1.45

Si el pilar se encuentra sesgado con respecto al flujo y $Fr^2 < 0.06$, $f_c = 1.0$.

Si el pilar se encuentra sesgado con respecto al flujo y $Fr^2 \geq 0.06$, se trabaja con la siguiente expresión:

$$Fr^2 = f_c (V^2 / g H_s) \quad (3.3)$$

c. Cálculo de la relación H_s/a'

a' : Ancho del pilar proyectado sobre un plano normal a la dirección de la corriente.

d. Selección de la curva a usar dependiendo de la forma del pilar, (Figura 3.11, Figura 3.12 o Figura 3.13).

e. Cálculo de la profundidad de socavación.

Con el número de Froude corregido según sea el caso, se ingresa en las abscisas de la gráfica respectiva hasta interpolar la curva de H_s/a' y se lee en las ordenadas el valor de H_T/a' del cual se despeja el valor de y_s .

$$y_s = H_T - H_s \quad (3.4)$$

Dónde:

H_T : Profundidad de la sección socavada desde el nivel de la superficie del flujo

y_s : Profundidad de socavación medida desde el fondo de cauce.

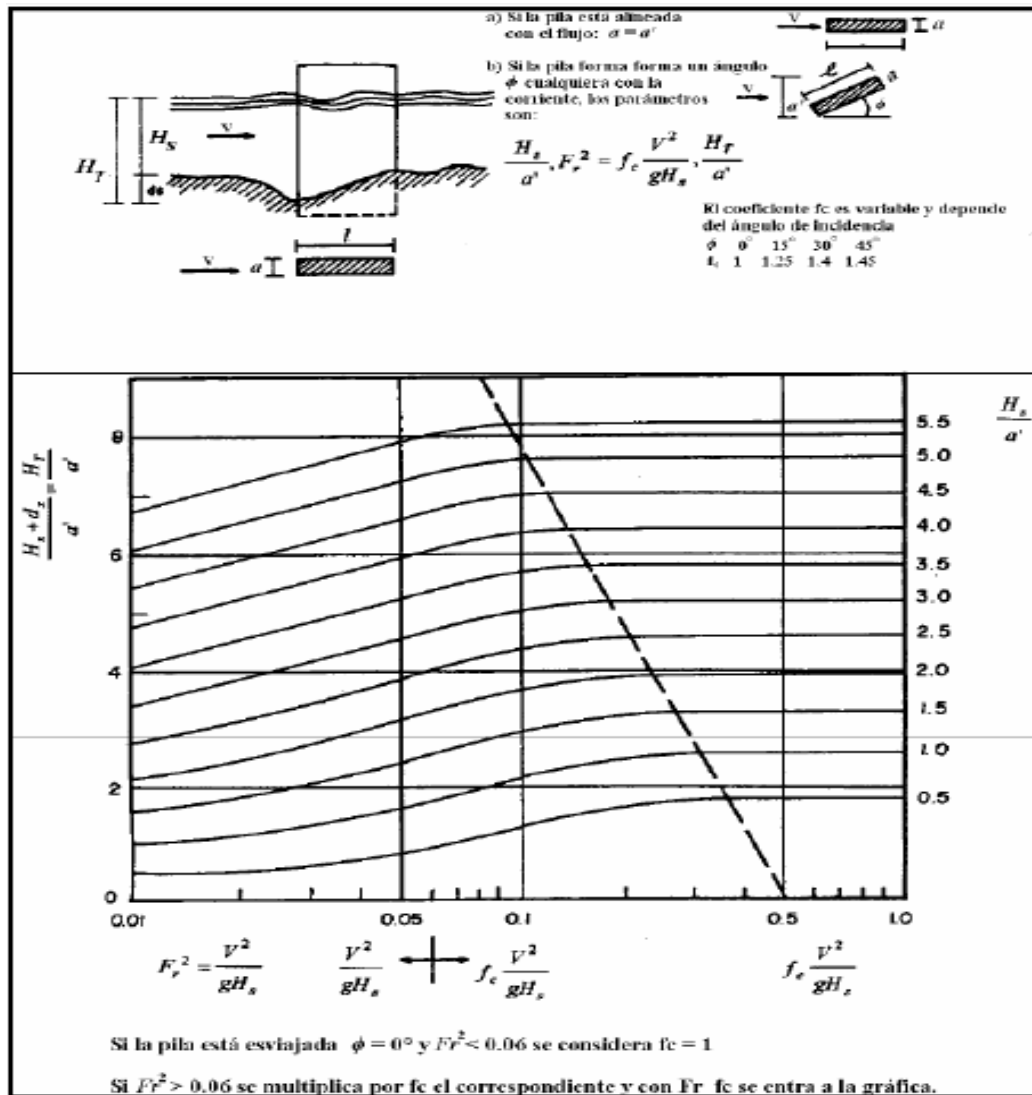


Figura 3.11 Cálculo de la socavación local en un pilar rectangular (Fuente: Maza Álvarez, 1987).

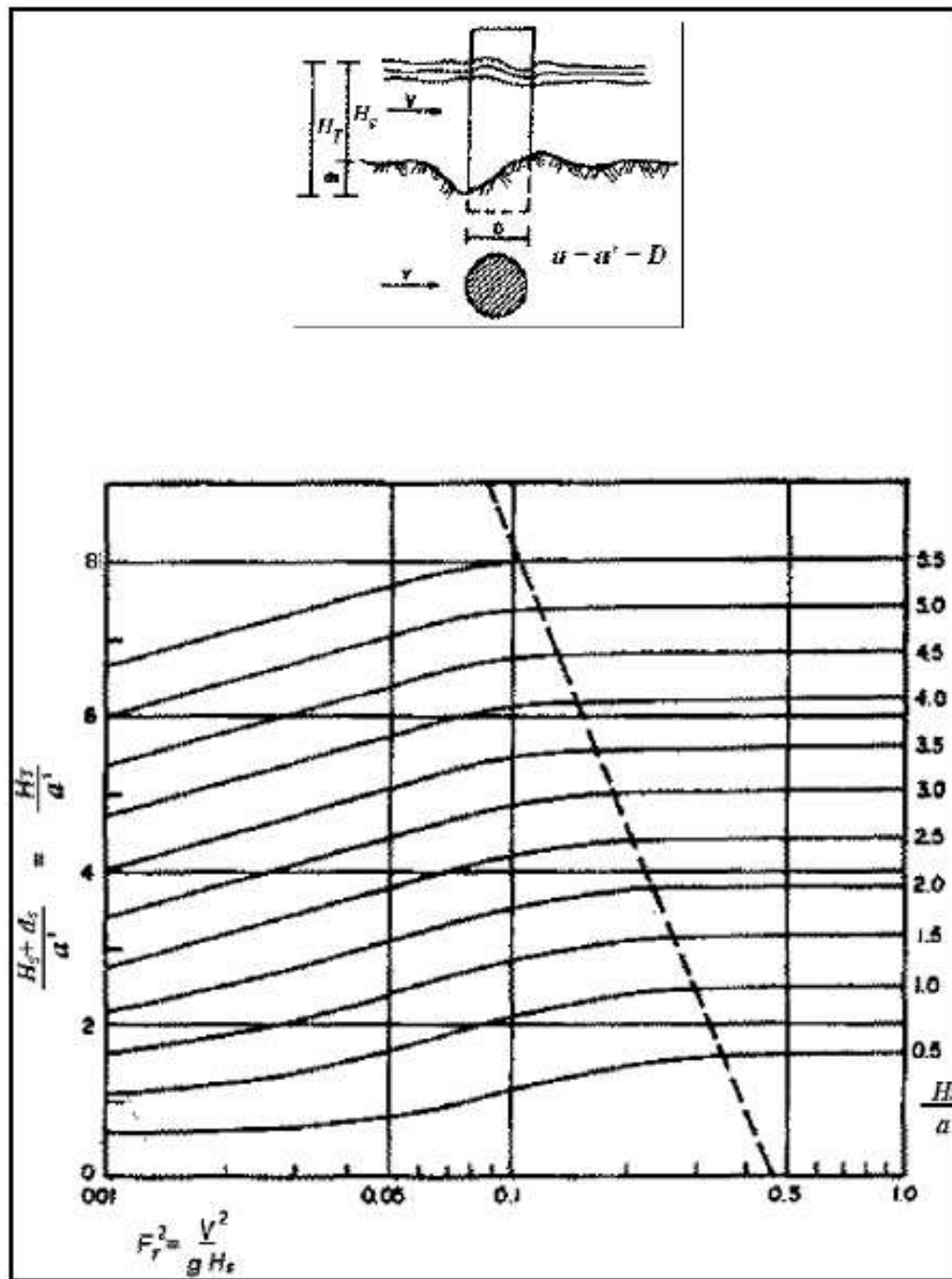


Figura 3.12 Cálculo de la socavación local para un pilar circular (Fuente: Maza Álvarez, 1987).

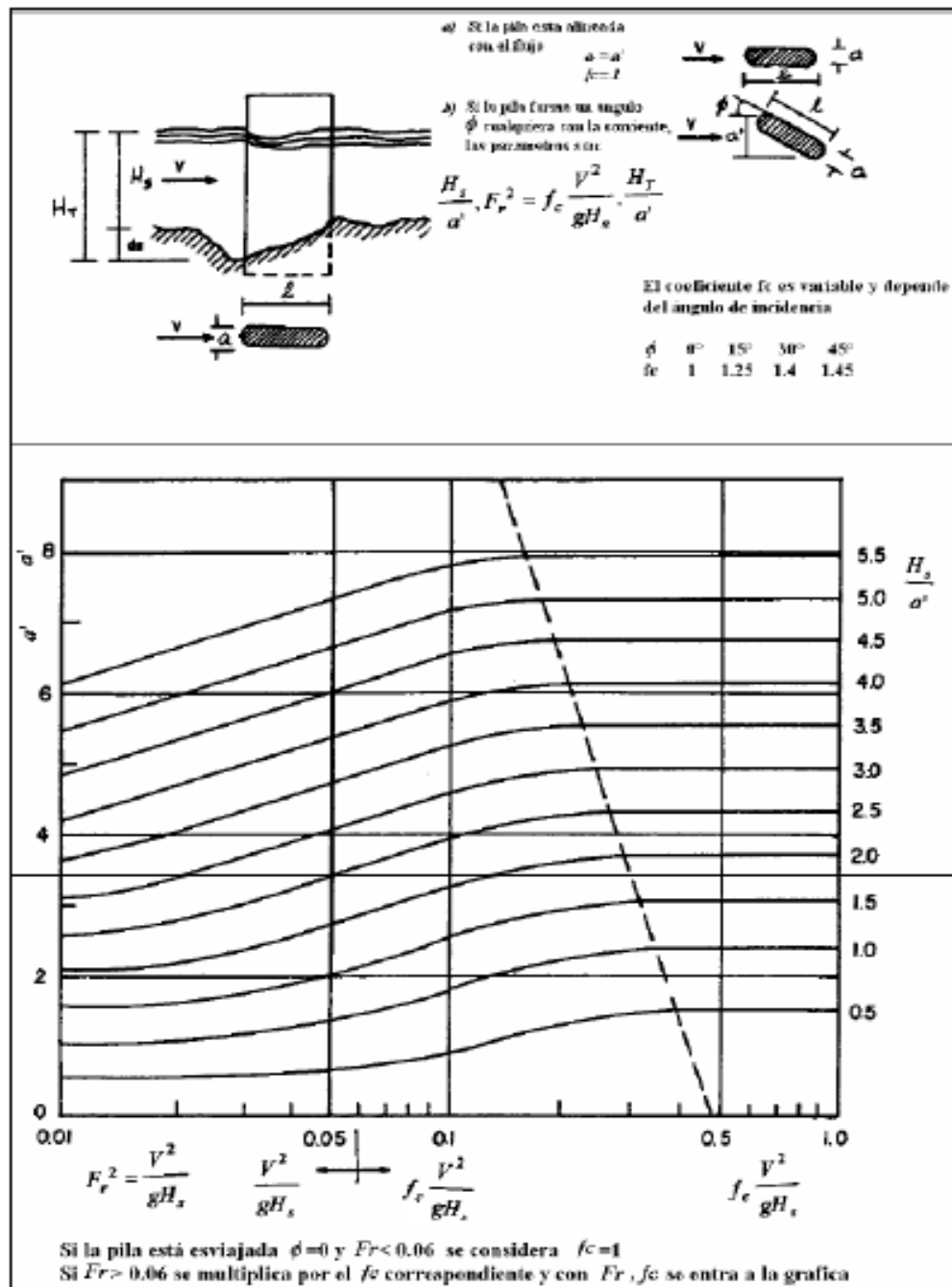


Figura 3.13 Cálculo de la socavación local en una pila elongada (Fuente: Maza Álvarez, 1987).

- Método de Froehlich (1991): una ecuación desarrollada por el Dr. David Froehlich es usada por el programa HEC-RAS (1998) como una alternativa a la ecuación de la Universidad Estatal de Colorado (CSU).

$$y_s = 0.32 K_f (a')^{0.62} h^{0.47} Fr^{0.22} D_{50}^{-0.09} + a \quad (3.5)$$

Dónde:

y_s : Profundidad de socavación local (m)

K_f : Factor de corrección por forma del pilar. Tabla 3.2

a' : Ancho proyectado del pilar con relación al ángulo de ataque del flujo (m)

a : Ancho del pilar adicionado como un factor de seguridad (m)

h : Profundidad de flujo aguas arriba del pilar (m)

F_r : Número de Froude en la sección aguas arriba del pilar

D_{50} : Diámetro de la partícula del lecho en una mezcla cuyo 50% es menor (m)

Para pilares con nariz de forma circular alineadas con el flujo, se tiene:

$$y_s \leq 2.4 a, \text{ para } Fr \leq 8.0 \quad (3.6)$$

$$y_s \leq 3.0 a, \text{ para } Fr > 8.0 \dots \dots \dots (3.7)$$

Si la profundidad de socavación se analiza para un caso particular, Froehlich sugiere que no se adicione el factor de seguridad “a” al final de la ecuación. El programa HEC-RAS siempre adiciona este factor de corrección.

Tabla 3.2. Factor de corrección K_f . (Maza Álvarez, 1987).

Forma de la pila	K_f
Punta cuadrada	1.3
Pila con punta circular	1.0
Pila con punta aguda o triangular	0.7

3.2.3 Medidas para protección de puentes

Las medidas de protección se usan para controlar, demorar, minimizar o monitorear problemas de estabilidad de cauces y puentes. La solución al problema de socavación de un puente debe iniciarse con el estudio de las causas que lo originan, incluyendo aspectos desestabilizantes desde el punto de vista topográfico, hidrológico, hidráulico, estructural y de suelos. En general, las medidas de protección de puentes se clasifican en tres grandes tipos (Guevara, M., 1991)

En la tabla 3.1, apéndice A, se pueden apreciar detalladamente las medidas de protección para puentes.

3.2.4 Obras de rehabilitación

Las obras de rehabilitación, generalmente requieren de grandes inversiones por parte de los gobiernos locales (Giraldo, G, y Vegas D., 2013).

3.2.4.1 Renivelación del cauce

Se renivela el cauce con excavaciones, se traslada el material y por último se compacta, esta obra se realiza dependiendo de su viabilidad con expertos en hidráulica de ríos y problemas de socavación de puentes (Muñoz E., 2012).

3.2.4.2 Reencauzamiento del cauce

En esta actividad se excava para formar encauzamiento, así se orientan las líneas de flujo hacia el canal del puente que es vulnerable a la socavación que no está orientado hacia alguno de los lados (Muñoz E., 2012).

3.2.4.3 Espigones

Los enrocados en canales son usados para proteger la superficie del lecho de la acción erosionadora del agua cuando trae una velocidad considerable, sin embargo al colocar rocas en el fondo del lecho, el flujo ejerce una fuerza de arrastre sobre estas que es necesario contrarrestar, definiendo el tamaño y peso del enrocado. (Diseño de Obras Hidráulicas, pág. 1).

3.2.4.4 Gaviones

Estos elementos estructurales se usan para rehabilitar las áreas que han sido socavadas cerca de las pilas, estribos, aletas, terraplenes de acceso, o las márgenes del cauce aguas arriba del puente, en este método se usan colchonetas cerca del área afectada como pilas o estribos para reducir el efecto de la socavación, el uso de este método depende de la mano de obra y de la profundidad en la que se necesita, son cajas de forma hexagonal forradas por una malla de alambre galvanizado y relleno con grava canto rodado con un tamaño entre 10 y 30 cm no deben contener óxido de hierro, ni compuestos salinos las dimensiones de la caja depende de los esfuerzos que deba resistir y en algunos caso se utilizan tensores internos para asegurar su funcionamiento monolítico se pone inicialmente la primera capa enseguida se coloca la parte superior la cual debe estar bien anclada y en el centro se deberá dejar un espacio libre el cual funcionara como vertedero (Muñoz E., 2012).



Figura 3.14 Protección de márgenes por medio de gaviones.
(Alfredobi, 1999).

3.2.4.5 Bolsacretos

Son costales de un material geotextil rellenas de concreto, arena o suelo-cemento dicha bolsa debe ser auto sellante de tal forma que se le pueda inyectar el mortero, esta mezcla debe tener una resistencia mínima de 14MPa. Los bolsacretos deben tener un filtro geotextil y se le debe hacer una análisis de estabilidad al volcamiento y a deslizamiento, se colocan de forma entrelazada de tal manera que cumplan una función parecida a los gaviones protegiendo la infraestructura del puente o las márgenes aguas arriba (Muñoz E., 2012).



Figura 3.15 Obras de protección contra la erosión, muro en bolsacretos, puente en Puerto Berrío, margen derecha, asentamiento de Puerto Olaya (Otálvaro, M., 2007).

3.2.4.6 Pedraplenes

Están compuestos de canto rodado y son mantas que rodean las pilas y los estribos desde el fondo de la socavación, así evitándola, se usa en las márgenes para reducir la socavación, también como rehabilitación cuando el puente ha fallado por migración y para hacer diques de tal manera que reduce la velocidad del cauce y permite que se acumulen sedimentos cerca de los cimientos de las pilas del puente. Su tamaño depende de la velocidad del cauce y del peso específico de dicho material (Muñoz E., 2012).

3.2.4.7 Tetrápodos o hexápodos

Este método se usa para reducir la afectación de la socavación, son hechas de concreto reforzado, son muy permeables para romper las ondas las cuales rodean la pila así rompiendo las olas que se aproximan a la orilla, los tetrápodos se diferencian de los hexápodos porque tienen cuatro y seis salientes respectivamente (Muñoz E., 2012).

3.2.4.8 Recubrimiento o revestimiento del lecho

La función de este método es evitar la erosión de terraplenes, orillas y lechos del cauce recubriendo la zona afectada, se vacía concreto, para esto se debe redireccionar el cauce y retirar la máxima cantidad de material suelto que haya en la zona (Muñoz E., 2012).

3.2.4.9 Pantalla de tablestaca o tubo

Este método es utilizado para la protección de la cimentación de estribos y pilas, también en las orillas de poca altura y de la base de taludes de terraplenes, consiste en el hincamiento de tablestacas o tubos de acero protegiendo las cimentaciones antes mencionadas. Debe salir 1 metro por encima del cauce y debe quedar enterrados 1.5 m (Muñoz E., 2012).

3.2.4.10 Diques en tubo

La función de este método es reducir la velocidad del cauce y retener los sedimentos, son tubos hincados de forma semicircular alrededor de la pila estos deben tener una longitud de mínimo 3.5 m así sobresaliendo un metro el máximo nivel del cauce y quedar hincado 1.5 m (Muñoz E., 2012).

3.2.4.11 Escolleras para estribos y pilas

Se utiliza la escollera para proteger las caras del estribo y los rellenos de aproximación, el diseño no depende de la forma del estribo, se extiende desde el pie del estribo. En el momento de realizar este tipo de rehabilitación de deben tener en cuenta el tamaño de la roca con respecto a su densidad, velocidad de flujo y factor de forma de la pila, distribución de tamaños de la roca, espesor de la capa, extensión horizontal y el filtro (Muñoz E., 2012).

3.2.4.12 Diques de encauzamiento

Este método es óptimo para estribos y para pilas adyacentes ya que tienden a encauzar el flujo de una planicie de inundación al cauce principal, mejora las condiciones de la corriente y guía el flujo, desplaza la socavación aguas arriba del puente, la función de un dique de encauzamiento es que la corriente que pasa bajo el puente sean suaves y las líneas de flujo sean rectas y paralelas. Depende de la geometría del cauce, el caudal, la distancia al puente, la pendiente del lecho y la pendiente de la magnitud libre bajo el puente (Muñoz E., 2012).

3.2.4.13 Espigones

La función de los espigones es desviar el caudal que llega a las márgenes del cauce, reducir las velocidades del flujo cerca de las laderas, mejorar los alineamientos del cauce, reducir la erosión de las laderas del cauce e inducir el depósito de sedimentos en la zona. Este tipo de obra se hace cuando el cauce tiende a migrar lateralmente y para proteger las laderas, recuperan el terreno perdido, estos dependen de su permeabilidad y se clasifican en deflectores que son totalmente impermeables y su uso es desviar el flujo, retardadores/deflectores que tienen una permeabilidad del 35% su función es disminuir la velocidad de flujo cerca de las márgenes y los

retardadores que tienen una permeabilidad del 70% este disminuye las velocidades de flujo, el diseño se hace según la forma, la orientación, la extensión, la separación, la longitud y la escollera (Muñoz E., 2012).

3.2.4.14 Construcción de caballetes

Este método consiste en un material que no pueda ser socavado durante las crecientes, creando un bloque bajo la cimentación así proporcionando un mejor apoyo, solo se puede utilizar en material con baja proporción de finos ya que los finos no dejan penetrar fácilmente la mezcla (Muñoz E., 2012).

3.2.4.15 Otras

Hay varios métodos de rehabilitación por socavación a los puentes como fundir concreto bajo la superficie de la cimentación ya que las bases fueron socavadas, para bases parcialmente socavadas hay un procedimiento de rehabilitación incorporando tuberías de nylon en la que se inyecta mortero, otra puede ser incorporando concreto ciclópeo alrededor de las áreas afectadas (Giraldo, G., y Vegas D., 2013).

3.3 Bases legales

En el área de estudio se realizan escasas actividades susceptibles de degradar el ambiente, que pudieran tener efectos directo e indirecto sobre la salud de la población. Sin embargo, un proceso constructivo de una obra civil dentro del cauce fluvial, como sería la construcción de las fundaciones del puente, podría generar impactos significativos que de alguna manera obliga a la observancia y cumplimiento del marco legal vigente que rige en materia de la protección del ambiente, sobremanera en zonas que deban ser intervenidas por procesos de construcción de obras civiles.

3.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela

Esta situación conduce a tomar acciones preventivas y correctivas, por las instituciones del Estado Venezolano, de acuerdo a su competencia y a lo exigido por la normativa legal, en tal sentido es obligante tomar las medidas para protección de la salud de la población de acuerdo a lo consagrado en el Artículo 127:

...“es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener un ambiente en beneficio de si misma y el mundo futuro. Toda persona tiene un derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y un ambiente, seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, genética, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. Es una obligación fundamental del estado, con la activa participación de la sociedad, libre de contaminación, en todo el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley”...

3.3.2 Ley Orgánica del Ambiente

Recoge en forma explícita en su Artículo N° 3 Ordinal 5:

Establece como conservación, defensa y mejoramiento de ambiente”.

Cabe destacar que la Ley Orgánica del Ambiente en su Artículo N° 21, consagra que las actividades susceptibles de degradar el ambiente, solo podrá ser autorizada si se establecen garantías, procedimientos y normas para su corrección.

3.3.3 Ley Forestal de Suelos y Aguas

Según la Gaceta Oficial N° 1.004 Extraordinario, de fecha 26 de enero de 1966, el Congreso de La Republica de Venezuela, decreta la siguiente,

TITULO I. Disposiciones Generales,

Capitulo Único.

Artículo 1: La presente Ley regirá la conservación, fomento y aprovechamiento de los recursos naturales que en ella se determinan y los productos que de ellos se derivan.

Artículo 2: Se declara de utilidad pública: a) la protección de las cuencas hidrográficas; b) las corrientes y caídas de aguas que pudieran generar fuerza hidráulica; c) los Parques Nacionales, los monumentos naturales, las zonas protectoras, las reservas de regiones vírgenes y las reservas forestales.

Artículo 3: Se declara de interés público: a) el manejo racional de los recursos a que se refiere el artículo 2 de esta Ley; b) la conservación, fomento y utilización racional de los bosques y de los suelos; c) la introducción y propagación de especies forestales no nativas; d) la prevención, control y extinción de incendios forestales; e) la repoblación forestal; f) la realización del inventario forestal nacional.

Artículo 4: Las disposiciones de esta Ley se aplican a: a) los bosques y sus productos; b) las aguas públicas o privadas; c) los suelos; y d) las actividades relacionadas con los recursos enumerados en los ordinales anteriores y que se rigen por la presente Ley.

Artículo 5: El Estado tiene la obligación de realizar y fomentar las investigaciones científicas necesarias para el manejo nacional de los bosques, suelos y aguas. A este efecto establecerá los centros de investigación que fueren necesarios.

3.4 Definición de términos básicos

3.4.1. Acequias

Zanjas por donde se conducen las aguas. (Gustavo de Elorza Martínez, 2008).

3.4.2. Aguas pluviales

Son las aguas productos de la lluvia o precipitación que escurren sobre la superficie del terreno. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

3.4.3. Cauce

Lecho de los ríos y arroyos. Conducto descubierto o acequias por donde corren las aguas de riego o residuales. (Gustavo de Elorza Martínez, 2008)

3.4.4. Caudal

Volumen de agua que pasa por un punto (sección de un área), en un intervalo de tiempo. Las unidades más usadas para medir caudal son metros cúbicos por segundo (m^3/s) y litros por segundo (LPS). (Bolinaga, 1979).

3.4.5 Clima

Es el conjunto de los valores promedios de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Estos valores promedio se obtienen con la recopilación de la información meteorológica durante un periodo de tiempo suficientemente largo. Según se refiera al mundo, a una zona o región, o a una localidad concreta se habla de clima global, zonal, regional o local (microclima), respectivamente. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

3.4.6 Cuenca

Es un concepto geográfico e hidrológico que se refiere como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por esta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenta endorreica. Normalmente la corriente principal es la que define el nombre de la cuenca. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

3.4.7 Drenaje superficial

Se define como un conjunto de obras destinadas a la recogida de las aguas pluviales, su canalización y evacuación a los cauces naturales, sistemas de alcantarillado o a la capa freática de terreno. (Bolinaga, 1979).

3.4.8 Drenaje transversal

Es aquel que permite el paso del agua a través de los cauces naturales bloqueados por la infraestructura viaria, de forma que no se produzcan destrozos en

esta última. Comprende pequeñas y grandes obras de paso, como puentes y viaductos. (Bolinaga, 1979).

3.4.9 Escurrimiento

Es la parte de la precipitación que fluye por gravedad por la superficie del terreno (escurrimiento superficial) o por el interior del mismo hasta aparecer en una corriente de agua. El escurrimiento superficial es una función de la intensidad y duración de la precipitación, permeabilidad de la superficie del suelo, tipo y extensión de la vegetación, área de la cuenca de captación, geometría de los cauces, profundidad de la superficie freática, pendiente del terreno, etc. (Guadalupe de la Lanza Espino, Carlos Cáceres, Salvador Adame, 1999).

3.4.10 Fluido

Material que ofrece poca o ninguna resistencia a las fuerzas que tienden a cambiar la forma. (Guadalupe de la Lanza Espino, Carlos Cáceres, Salvador Adame, 1999).

3.4.11 Flujo

Movimiento de un fluido. (Guadalupe de la Lanza Espino, Carlos Cáceres, Salvador Adame, 1999).

3.4.12 Hidráulica

Se define como la aplicación de la mecánica de fluidos en ingeniería, para construir dispositivos que funcionan con líquidos, por lo general agua o aceite. La

hidráulica resuelve problemas como el flujo de fluidos por conductos o canales abiertos y el diseño de presas de embalse, bombas y turbinas. (Bolinaga, 1979).

3.4.13 Número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es un parámetro adimensional cuyo valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento. El número de Reynolds depende de la velocidad del fluido, del diámetro de tubería, o diámetro equivalente si la conducción no es circular, y de la viscosidad cinemática o en su defecto densidad y viscosidad dinámica. (Chow, 1994).

En una tubería circular se considera:

- a. $Re < 2300$ El flujo sigue un comportamiento laminar.
- b. $2300 < Re < 4000$ Zona de transición de laminar a turbulento.
- c. $Re > 4000$ El fluido es turbulento.

3.4.14 Número de Froude

El número de Froude es un número adimensional definido como la relación de una velocidad característica a una velocidad de la onda gravitatoria. Se puede equivalentemente definir como la relación de inercia de un cuerpo a las fuerzas gravitatorias (Relaciona el efecto de las fuerzas de inercia con las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido). En la mecánica de fluidos, el número de Froude se usa para determinar la resistencia de un objeto parcialmente sumergido en movimiento a través del agua, y permite la comparación de objetos de diferentes tamaños.

Este tipo de número recibe este nombre, en honor al ingeniero inglés William Froude.

Cuando el número de Froude se encuentra en canales abiertos informa sobre el estado del flujo hidráulico. (Mohammed, 2014).

3.4.15 Pendiente

Podríamos definir la pendiente del terreno en un punto dado como el ángulo que forma el plano horizontal con el plano tangente a la superficie del terreno en ese punto. Es, en definitiva, la inclinación o desnivel del suelo. En lugar de expresarla como un ángulo, es más interesante representar la pendiente del terreno como un valor de tanto por ciento. Esto se obtiene multiplicando por 100 la tangente del ángulo que define el desnivel del suelo. (Anónimo).

3.4.16 Régimen

Se refiere a la variabilidad que tiene el flujo de agua. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

3.4.17 Superficie

Extensión en que solo se consideran dos dimensiones, longitud y latitud. (Gustavo de Elorza Martínez, 2008).

3.4.18 Topografía

Es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales. (Carciente J, 1981).

3.4.19 Volumen

El volumen como magnitud es entendido como el espacio que ocupa un cuerpo. La misma posee tres dimensiones, alto, ancho y largo. Según el Sistema Internacional de Unidades, el volumen es representado por el metro cúbico. En la vida cotidiana el litro también puede ser considerado como una unidad del volumen. (Anónimo).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

El mismo se trata de un proyecto factible, que según el Manual de Tesis de Grado y Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Libertador, (2003), consiste en “la investigación, elaboración y desarrollo de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos necesidades de organizaciones o grupos sociales que pueden referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos, o procesos. El proyecto debe tener el apoyo de una investigación de tipo documental, y de campo, o un diseño que incluya ambas modalidades” (p. 16).

El presente trabajo de grado se basa en determinar la magnitud de las posibles socavaciones que se podrán producir en las cimentaciones del puente sobre el río Santa Bárbara, ubicado en la calle 3 del sector Las Flores. Posteriormente se plantean posibles soluciones para solucionar la potencial problemática de socavación que se podría presentar en el citado puente.

4.2 Diseño de investigación

Se trata de una investigación de campo y documental, en ese sentido se aclaran tales aspectos a continuación:

4.2.1 Diseño de campo

Según Sabino, C (2007), “los diseños de campo se basan en informaciones datos primarios obtenidos directamente de la realidad” (p.65).

Dentro del tema de investigación, los datos fueron recolectados directamente de la realidad, por lo que se encuentra enmarcada dentro del diseño de campo puesto que se realizaron visitas al sitio de estudio, donde están comprendidas las actividades necesarias para la caracterización topográfica e hidrológica.

4.2.2 Diseño Documental

Según Arias, F. (2004) expresa que la investigación documental “es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas”. (p. 25).

Para llevar a cabo de manera satisfactoria la investigación se requiere la definición de los requerimientos por medio de una documentación documental, que permiten darle soporte y mayor veracidad al estudio realizado y obtener nuevos conocimientos para el análisis del mismo.

En la presente investigación se hizo necesario contar con las bases teóricas necesarias que respaldaron la investigación. Por otra parte, se contó con medios informativos como los datos recolectados de las instituciones públicas, las cuales son: estudios meteorológicos, planos, memorias descriptivas, y búsqueda que complementarán la información.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Según Tamayo y Tamayo, (1997), “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población posee una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación” (P.114).

Población es el conjunto finito o infinito de unidades de análisis, individuos, objetos o elementos que se someten a estudios, es la base fundamental para obtener la información.

La población que se tomará en cuenta en el presente estudio, será aquella que influye directamente en el tema de nuestra problemática en estudio, como lo son para este caso, los sedimentos y cuerpos de agua entorno a las pilas del puente Las Flores, sobre el río Santa Bárbara, Ciudad Bolívar, estado Bolívar, Venezuela.

4.3.2 Muestra de la investigación

La muestra (según Morles, 1994, p. 54), es un “subconjunto representativo de un universo o población.”, Para el problema en estudio, la muestra a considerar, se basará en parte de los sedimentos y cuerpos de agua entorno a las pilas del puente Las Flores, sobre el río Santa Bárbara, Ciudad Bolívar, municipio Heres, estado Bolívar, Venezuela. Para obtener las muestras de los sedimentos se efectuó un muestreo de carácter opinático, es decir que los materiales del suelo revestían homogeneidad por lo que las cuatro (4) muestras podrían ser recolectadas en cualquier punto del cauce en el área de estudio (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Coordenadas UTM de ubicación de los muestreos de suelos (Córdova, F. 2019).

Identificación	Coordenadas UTM (Datum REGVEN)	
	Este	Norte
M1	436917	896886
M2	436921	896891
M3	436927	896895
M4	436676	896900

4.4 Flujograma de la investigación

El presente flujograma, muestra las etapas que se llevaron a cabo para ejecutar el trabajo de grado.

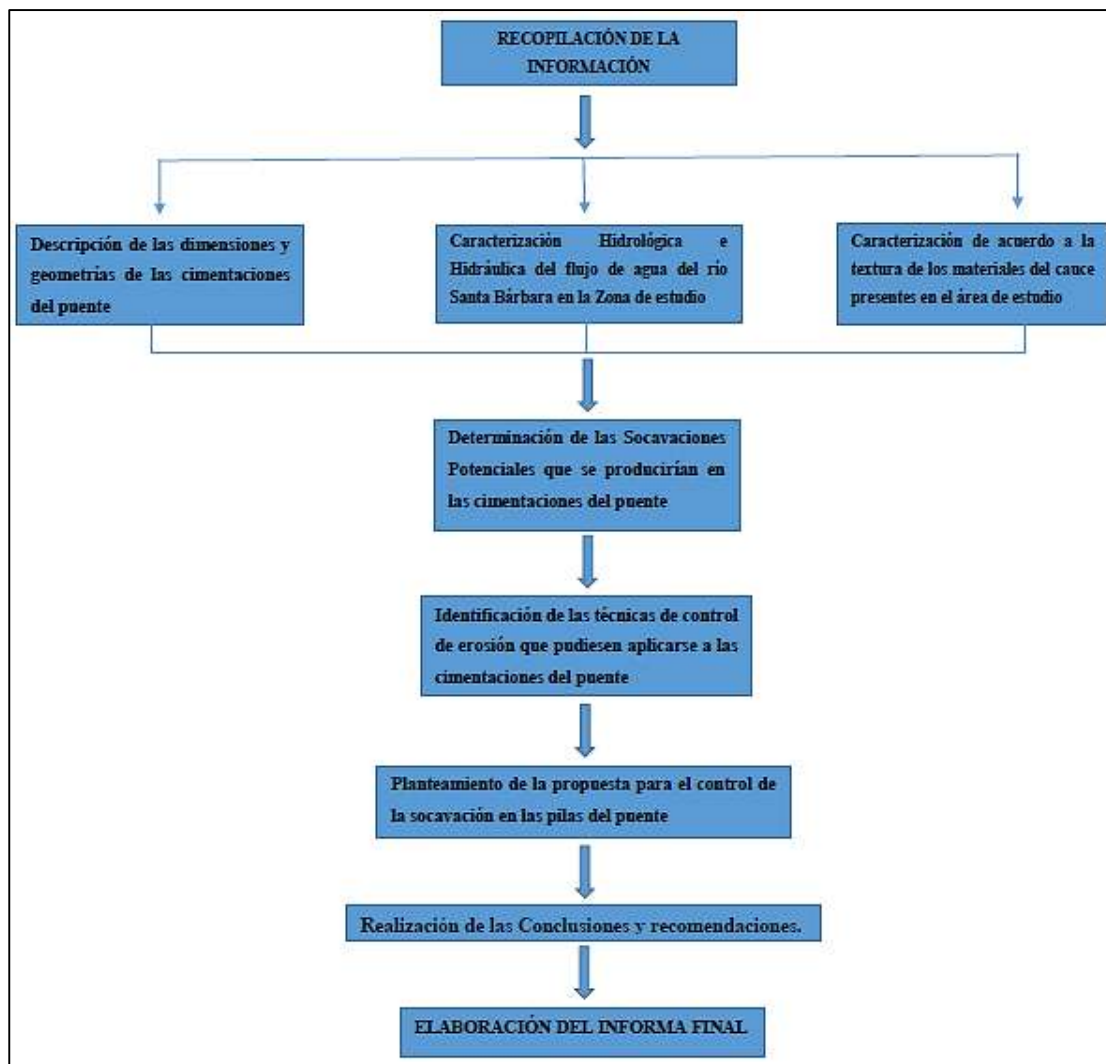


Figura 4.1 Flujograma de la Metodología de trabajo

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.5.1 Técnicas de recolección de información

Según Arias, F., (2006), se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. Para el presente caso se utilizará la revisión documental, la entrevista no estructurada y la observación directa.

4.5.1.1 Revisión documental

La revisión literaria, permitirá extraer las bases teóricas y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto, “la revisión literaria es el fundamento de la parte teórica de la investigación y permite conocer a nivel documental las investigaciones relacionadas con el problema planteado”. Tamayo, M., (2006) (p. 325).

La información literaria, se recopilará de textos prescritos con anterioridad, consultando trabajos de grado relacionados, bibliografías en el internet, manuales de la universidad, entre otros que facilitarán la ejecución de la tesis.

4.5.1.2 Entrevista no estructurada

“Más que un simple interrogatorio es una técnica basada en un diálogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida” Arias, F.,(2006) (p.73).

Las entrevistas no estructuradas, surgieron de forma imprevista, pero precisa, puesto que las personas que viven en las adyacencias del mismo río, dieron a conocer sus puntos de vista, en cuanto a los cambios que se han presentado en el puente, y los mismos, se ven inquietados ya que ven cómo se han venido socavando las pilas, y desean que se solucione el problema que existe.

4.5.1.3 Observación directa

Es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad. Arias, F., (2006)

En ese orden de ideas, se considera que las inspecciones y mediciones de carácter geológico, geomorfológico, topográfico e hidráulico efectuadas en campo forman parte de lo que se conoce como observación directa.

4.5.2 Instrumentos para la recolección de datos

Pérez, A., (2004). Los instrumentos permiten al investigador obtener y recabar datos acerca de las variables de estudio (el cuestionario, las fichas, el cuaderno campo, grabadores, cámaras fotográficas, filmadoras, etc.) (p. 67).

Arias, F., (2006). Enfatiza que un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información, (p.69).

Los instrumentos utilizados para recolectar los datos en esta investigación fueron: GPS, grabadoras, cámara fotográfica digital, cámara filmadora, cuaderno de notas, cinta métrica.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Descripción de las dimensiones y geometría de las pilas, estribos del puente sobre el río Santa Bárbara

El puente sobre el río Santa Bárbara, ubicado en la calle 3 entre los sectores Las Flores y Perú Viejo 1, Ciudad Bolívar, municipio Heres, estado Bolívar, Venezuela, es en realidad dos (2) puentes estructuralmente independientes, a los cuales denominaremos puente Norte (con sentido vial hacia Las Flores) y el puente Sur (con sentido vial hacia el sector Perú Viejo 1). El puente Norte es de tipo Losa, la cual se encuentra simplemente apoyada sobre apoyos llamados estribos (ubicados a los extremos del puente), y en las pilas intermedias del puente (cuya función es salvar la parte central del puente, debido a sus grandes luces), el mismo tiene apoyos, juntas, drenaje, barandas, entre otras cosas; mientras que el puente Sur es de tipo vigas, ya que su tablero de rodamiento se encuentra soportado por tres (3) grandes vigas doble T de acero.

- a. Longitud de ambos puentes= 20 metros entre estribos
- b. Ancho del puente= 12.90 metros.

Cada puente, esta soportado por dos (2) estribos, cada uno ubicado en un extremo de la obra civil y por dos (2) sistemas de pilas de fundaciones, cada sistema está conformado por diez (10) pilotes, un (1) cabezal, y un (1) pilar de sección rectangular, sobre los cuales se posa la losa o las vigas, según sea el caso, que sostienen la estructura vial por la cual transitan los vehículos.



Figura 5.1 Estructura del puente Las Flores vista desde el río Santa Bárbara (Córdova, 2019).



Figura 5.2 Estructura del puente Las Flores vista desde la vialidad en la cual transitan los vehículos (Córdova, 2019).

5.1.1 Descripción de las dimensiones de los estribos del puente

Los estribos del puente, sobre los cuales se posa la losa o las vigas, según sea el caso, tiene un diseño sencillo, y no padecen de erosión causada por el agua. Los

estribos del puente Las Flores, poseen un largo de 12.90 metros, medidos en dirección transversal a la vía, una altura mayor a 2,50 metros, y un ancho desconocido que une la carretera con la sección del puente.



Figura 5.3 Estribos del puente Las Flores (Cordova, 2019).

5.1.2 Descripción de las dimensiones de las pilas de fundación del puente

En cuanto al sistema de pilas de fundación, cada puente (Norte y Sur) tienen cimentaciones profundas, que salvan las estructuras de los mismos en su parte central, debido a que poseen grandes luces, y podemos observar que las 2 (dos) cimentaciones existentes en cada puente, trabajan de la siguiente manera:

El puente Las Flores en realidad está constituido por dos (2) puentes independientes (uno para cada sentido de tráfico vial). Se denominarán en esta investigación Puente Sur (aguas arriba) y puente Norte (ubicado aguas abajo). El puente Norte (construido en el año 2016) es un puente tipo Losa; mientras que el puente Sur es tipo vigas cuyo soporte de la plataforma de rodamiento está constituido por tres (3) vigas doble T (Figuras 5.4 y 5.5).



Figura 5.4 Vigas de soporte del puente Las Flores Sur (Córdova, 2019).



Figura 5.5 Soporte tipo losa y pila del puente Las Flores Norte (Córdova, 2019).

Cada puente posee dos (2) pilas centrales de sección rectangular de extremos redondeados de 1.50 m de ancho, de 5.00 m de largo y 2.50 m de altura; cada pila está construida sobre un cabezal de forma paralelepípedica de 6.00 m de largo, 2.50 m de ancho y 0.50 m de espesor. Este cabezal descansa sobre un sistema de diez (10) pilotes hincados alineados en dos (2) filas de cinco (5) pilotes a ambos lados del cabezal. Cada pilote posee un diámetro de 0.40 m aunque se desconoce su profundidad de hincado (Figuras 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9).

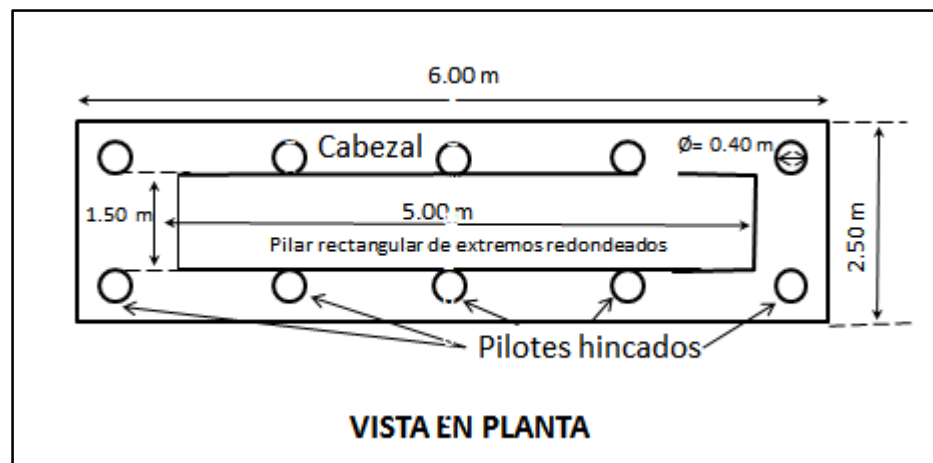


Figura 5.6 Vista en planta de sistema de pilas de fundación del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara Croquis sin escala (Córdova, 2019).

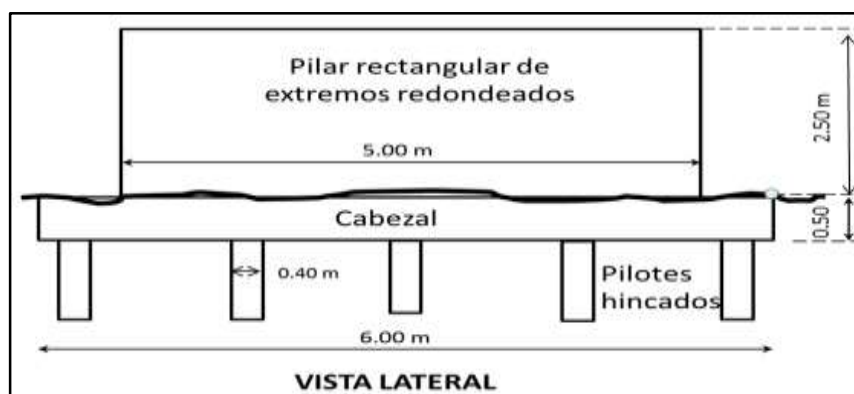


Figura 5.7 Vista lateral del sistema de pilas del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara. Dibujo sin escala. (Córdova, 2019).

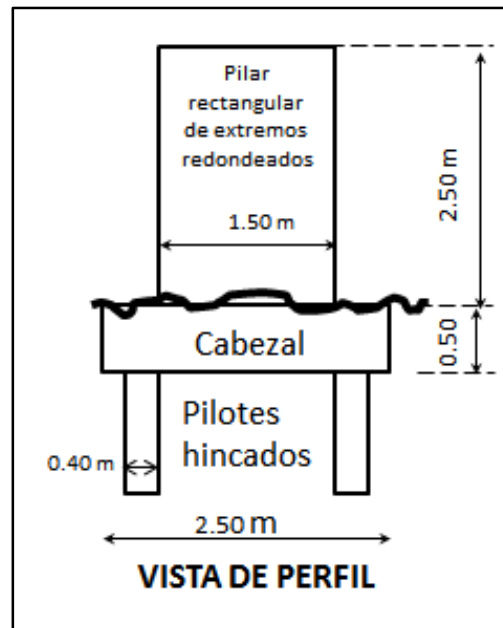


Figura 5.8 Vista de perfil sistema de pila de fundación puente Las Flores. Dibujo sin escala (Córdova, 2019).

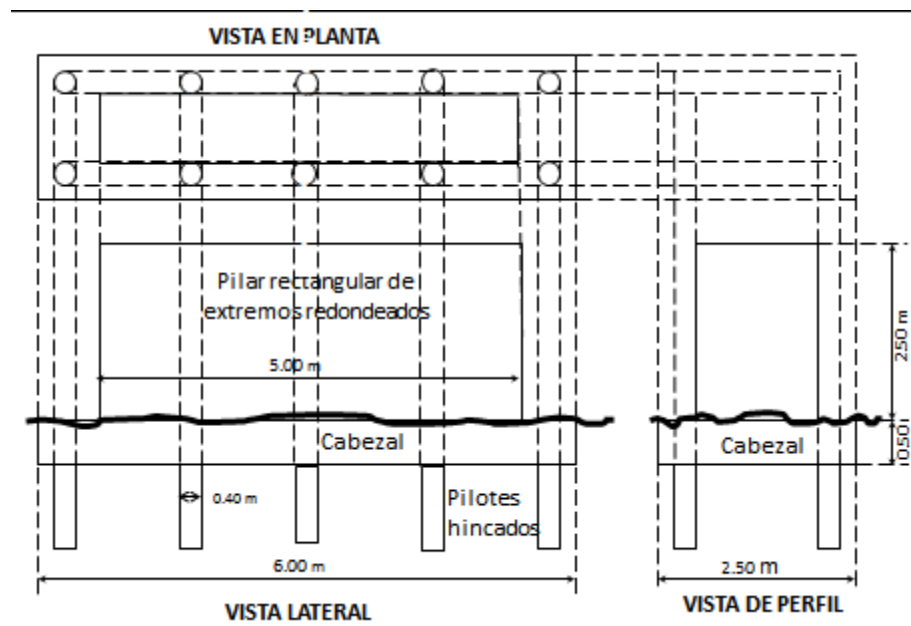


Figura 5.9 Croquis de uno de los sistemas de pilas de fundación del puente Las Flores sobre el río Santa Bárbara. Dibujo sin escala (Córdova, 2019).

En la inspección de campo llevada a cabo se observó que en el sistema de pila no existe evidencia de socavación en los diez (10) pilotes hincados ni en el cabezal (Figura 5.10), al menos hasta la fecha de elaboración del presente documento; sin embargo, en los estribos del puente Las Flores Norte hay evidencia de una socavación incipiente en el estribo occidental.



Figura 5.10 Pila y estribo oriental del puente sin evidencia de socavación (Córdova, 2019)

5.2 Descripción de las características hidrológicas e hidráulicas del flujo de agua del río Santa Bárbara

Se procederá a conocer las características hidrológicas e hidráulicas que presentan, tanto el flujo de agua, como el canal por el cual transita éste flujo respectivamente.

5.2.1 Descripción de las características hidrológicas del río Santa Bárbara

Para conocer las características hidrológicas presentes en el área de estudio, se necesitan conocer las tres (3) variables fundamentales capaces de inducir en la variación del caudal de agua del río Santa Bárbara, como lo son: la precipitación, la evaporación y la temperatura.

5.2.1.1 La precipitación

Se recabó información muy puntual acerca de la precipitación correspondiente al periodo comprendido entre los años (1987-2007) es decir un lapso de (20 años).

La Tabla N° 5.1, muestra los valores medios recopilados los cuales han sido clasificados entre (MED), máximos (MÁX) y mínimos (MÍN) de la precipitación medida en la Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto.

Tabla 5.1 Precipitación media mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1987-2007. (INAMEH, 2015).

Prec.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MED	17.6	11.0	11.3	22.6	102.9	161.2	184.9	159.8	114.3	87.9	72.0	52.1	83.1
MÁX.	131.0	93.0	120.0	150.0	357.0	376.0	495.0	507.0	332.0	620.0	310.0	420.0	325.9
MÍN	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	41.0	31.0	33.0	6.0	13.0	6.0	3.0	11.25

En la Figura 5.11 se presenta la Precipitación media anual para el período considerado.

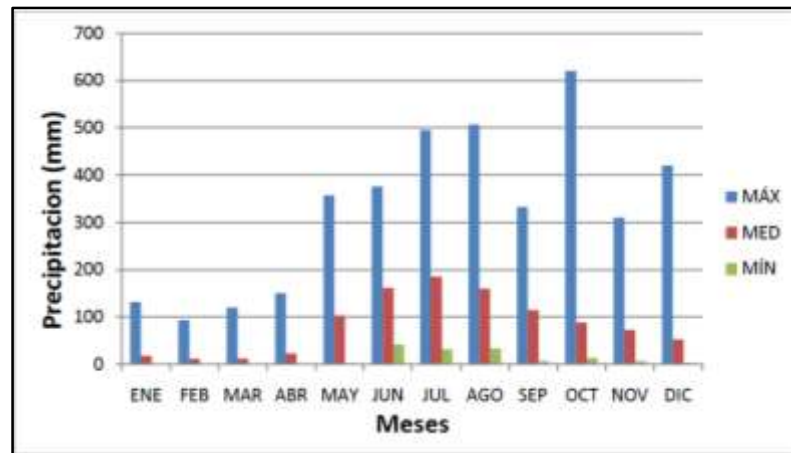


Figura 5.11 Precipitación máxima, media y mínima mensual en (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1987–2007. (INAMEH, 2015).

La precipitación media anual para el período analizado, registrada en la Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto corresponde a 83,13 mm. La precipitación, responde a un régimen de tipo unimodal, es decir, presenta un valor medio máximo de lluvia mensual promedio espacial para el período de 184,9 mm para el mes de julio y un mínimo de 11,0 mm para el mes de febrero respectivamente.

La época de lluvia se inicia en el mes de mayo y se mantiene hasta el mes de diciembre; con una duración de ocho (8) meses, siendo el mes de julio el más lluvioso en promedio para el período climático considerado.

5.2.1.2 Evaporación

Debido a que la Estación Climatológica Ciudad Bolívar-Aeropuerto, no mide evaporación al sol, fue necesario utilizar los datos de la Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659, actualmente eliminada y ubicada en el poblado de Soledad, a la salida del Puente Angostura, la cual está muy cerca de la zona en estudio.

En la Tabla 5.2 se muestra los valores medios (MED), máximos (MÁX) y mínimos (MÍN) de evaporación anual de la Estación Punta Tamarindo –Estado Anzoátegui.

Tabla 5.2 Evaporación media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659 – Estado Anzoátegui. Período 1987–2007. (INAMEH, 2015).

Evap	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MED	212.1	228.5	274.4	252.1	237.9	174.0	171.6	185.3	193.7	206.0	195.6	193.5	210.4
MAX	276.2	321.2	388.0	345.0	337.1	268.3	237.7	246.5	266.7	280.8	276.2	260.3	292.0
MIN	172.1	209.8	194.7	195.6	134.2	207.6	161.7	155.2	174.0	188.6	208.0	191.0	186.7

La Figura 5.12 muestra la Evaporación media anual para el período considerado.

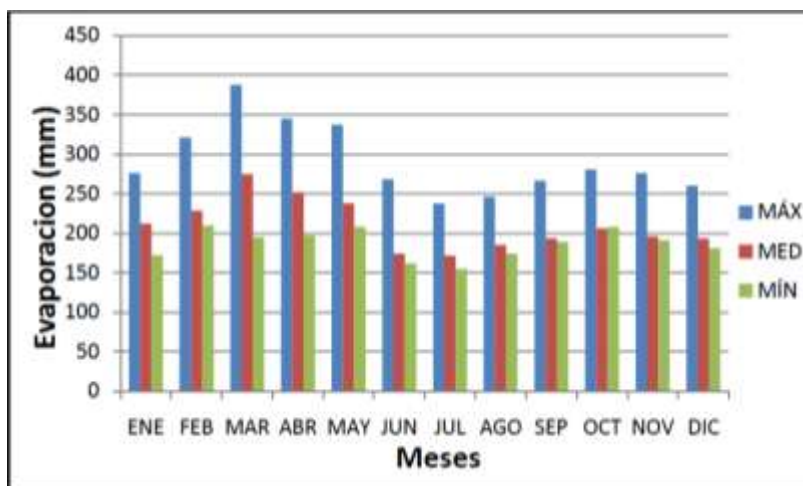


Figura 5.12 Evaporación Media mensual en (mm). Estación Punta Tamarindo, Serial: 4659 – Estado Anzoátegui Período 1987–2007. (INAMEH, 2015).

De la figura anterior, se observa que el parámetro evaporación responde a un régimen de tipo unimodal, es decir, presenta un máximo de evaporación mensual de 274,4 mm para el mes de marzo y otro secundario de 252,1 mm en el mes de abril. El valor mínimo medio de evaporación es de 171,6 mm en el mes ocurre de julio. El valor total anual es de 2524,8 mm y la media anual de 190,6 mm.

5.2.1.3 Temperatura media mensual

Para caracterizar la temperatura media del aire, se utilizaron datos medidos en la Estación: Ciudad Bolívar-Aeropuerto. (Zamora, S., 2016).

La Tabla 5.3 muestra los valores medios (MED), máximos (MAX) y mínimos (MIN) anuales de Temperatura de la estación considerada. (Zamora, S., 2016).

Tabla 5.3 Temperatura media mensual en (°C). Estación: Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1987–2007 (20 Años). (INAMEH, 2015).

TEMP.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MED	25.1	25.1	26.2	26.7	26.7	25.7	25.5	25.7	26.9	26.3	25.9	25.3	25.9
MAX	29.3	29.5	29.8	31.4	31.0	29.0	29.0	29.7	30.3	30.4	30.6	29.0	29.9
MIN	25.1	25.8	25.9	26.6	26.1	25.9	23.0	23.7	26.2	25.4	25.4	24.8	25.3

La Figura 5.13, muestra la temperatura media anual del período climatológico considerado.

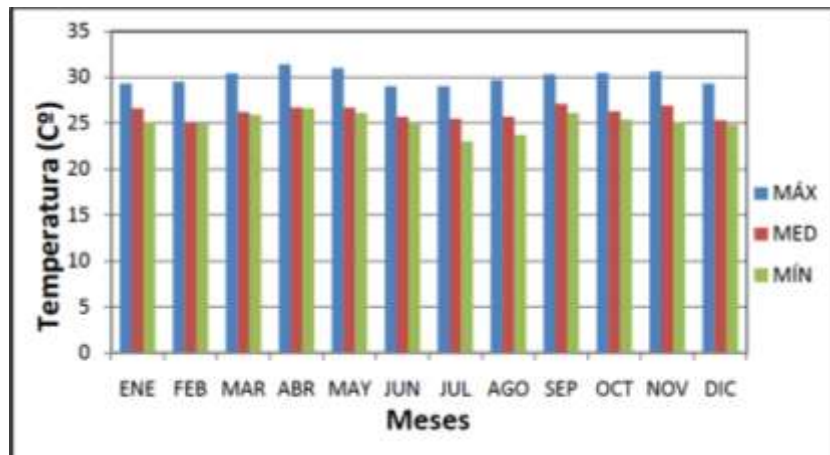


Figura 5.13 Temperatura media mensual en (°C). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto, Edo. Bolívar. Período 1.987-2.007. (INAMEH, 2015).

A partir del análisis del record de datos de temperaturas medias mensuales y del gráfico de la distribución temporal, se puede concluir lo siguiente:

La temperatura media espacial del aire, para el período climatológico estudiado promedio espacial para la zona de influencia es de 25,9 °C.

La temperatura media obedece a un régimen térmico de tipo unimodal, es decir, presenta un valor máximo medio de 26,9 °C para el mes de septiembre y valor mínimo medio de 25,1 °C, para el mes de enero.

La oscilación térmica media anual para el período de los datos considerados, es de 28 °C, lo cual indica condición isotérmica, por estar ubicada en plena zona intertropical.

5.2.2 Descripción de las características hidráulicas del río Santa Bárbara

Para ello será necesario, en primera instancia, la delimitación de la cuenca aportadora de crecientes.

5.2.2.1 Delimitación y cuantificación del área y perímetro de la cuenca

De acuerdo a los cálculos procesados con base a las imágenes de satélite Landsat de Google Earth, el área de la cuenca es de 512 hectáreas, y un perímetro de 9442 metros. El área de la cuenca está dividida a su vez en tres (3) sub-áreas cuantificada en la misma imagen de satélite, de la siguiente manera en la Tabla 5.4:

Tabla 5.4 Sub-áreas delimitadas dentro de la cuenca (Cordova, F. 2019).

Tipo de superficie	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosques	56	10.94
Zona urbanizada	418	81.64
Suelo pesado desnudo	38	7.42
	512	100

5.2.2.2 Determinación de los coeficientes de escorrentía ponderado

Basándose en los criterios de Aparicio, F., (1999), y Benítez, A., (1980), se concluyó que los coeficientes de escurrimiento para las sub-áreas de la cuenca, se presentan en la Tabla 5.5 y en la Tabla 5.6 se presenta el coeficiente de escorrentía ponderado estimado mediante la ecuación:

$$C_{e_{pond}} = \Sigma(Area_i \times C_{e_i}) / \Sigma \text{ Áreas} \quad (5.1)$$

Tabla 5.5 Coeficientes de escurrimiento para las áreas delimitadas dentro de la cuenca (Córdova, F. 2019).

Tipo de superficie	Coeficientes de escurrimiento
Zona de bosque	0.35
Zona urbanizada	0.70
Zona de suelo desnudo	0.60

Tabla 5.6 Coeficiente de escorrentía ponderado (Córdova, F. 2019).

Tipo de superficie	Área (ha)	Coeficiente Escorrentía	Coef escorrentía ponderado
Bosques	56	0.35	0.654
Zona urbanizada	418	0.70	
Suelo pesado desnudo	38	0.60	
	512		

5.2.2.3 Determinación de los tiempos de concentración

Para obtener los tiempos de concentración se estimó a través de la ecuación presentada por Arocha (1983), aportada por la California Culvert Practice que permite estimar el mismo en minutos:

$$T_c = 0,0195(L^3/H)^{0,385} \quad (5.2)$$

Dónde:

T_c: tiempo de concentración (min)

L: longitud del cauce más largo (metros)

H: diferencia de elevación entre el punto más remoto de la cuenca y la salida de la misma (metros).

Tabla 5.7 Tiempos de concentración por tipo de cobertura (Córdova, F. 2019).

Tipo de superficie	Longitud de cauce (m)	Cota sup (msnm)	Cota inf (msnm)	Dif cota (m)	Tiempo de concentración (min)
Bosques	4783	108	41	67	69
Zona urbanizada	4893	91	41	50	79
Suelo pesado desnudo	4922	99	41	58	75

5.2.2.4 Determinación de la intensidad de lluvia para cada área delimitada

Para obtener la intensidad de lluvia, se consideran las curvas de intensidad, duración y frecuencia de la Región Hidrológica II propuestas por Arocha, S., (1983) que se muestran a continuación (Figura 5.14) y que pueden ser aplicadas para el área urbana de Ciudad Bolívar:

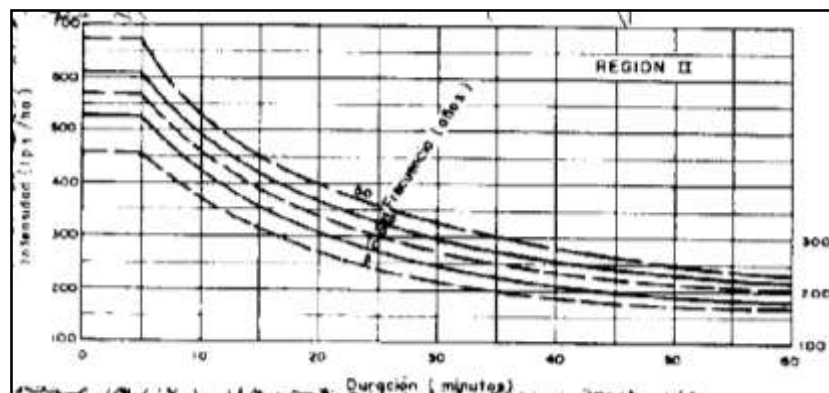


Figura 5.14 Curvas IDF para la región II. (Arocha, S., 1983).

Se estimó en la siguiente tabla, lo que son las intensidades de lluvia para cada área delimitada dentro de la cuenca y considerando períodos de retorno de 25 años:

Tabla 5.8 Intensidades de lluvia para cada área delimitada dentro de la cuenca (Córdova, F. 2019).

Tipo de superficie	Tiempo de concentración (min)	Intensidad de Lluvia (Tr=25 años) (lps/ha)
Bosques	69	220
Zona urbanizada	79	220
Suelo pesado desnudo	75	220

5.2.2.5 Determinación del caudal de drenaje que aportará la cuenca

Para la estimación del caudal (Q) que aportará la cuenca de drenaje, se utilizará el método del Hidrograma Unitario Triangular SCS (Tablas 5.9 y 5.10 y Figura 5.15) y la ecuación planteada por Camacho, F. (2019):

$$Q = (C \times I \times A \times T_c) / (1.33 \times 360 \times T_p) \quad (5.3)$$

Tabla 5.9 Estimación del caudal unitario (Córdova, F. 2019).

Parámetros	Fórmulas	Nomenclatura	Resultado	Unidad
Área de la cuenca:		A=	5.120	km ²
Tiempo de concentración		Tc =	79.000	min
Tiempo al pico	Tp = Tc / 1.5	Tp=	52.667	min
Tiempo de recesión	Tr = 1.67 x Tp	Tr=	87.953	min
Tiempo base	Tb = 2.67 x Tp	Tb=	140.620	min
Duración lluvia neta unitaria	ΔD = Tc / 7.5	ΔD=	10.533	min
Tiempo de retardo	Tl = Tp - (ΔD / 2)	Tl=	47.400	min
Caudal unitario	qp = 0.208 x (A / Tp)	qp=	0.020221	m ³ /s.mm

Tabla 5.10 Estimación del caudal de diseño (Córdova, F. 2019).

Parámetro	Nomenclatura	Resultados	Unidades
Coef de escurrimiento ponderado de la cuenca	C =	0.654	
Intensidad de la lluvia (de curvas IDF)	I_{25} =	79.14	mm/hr
Área de la cuenca (del plano)	A =	512.000	ha
Tiempo de concentración (del plano)	T_c =	1.317	hr
Tiempo al pico	T_p =	0.878	hr
Caudal $Q_d = (C \times I \times A \times T_c) / (1.33 \times 360 \times T_p)$	$Q =$	83.01964511	m^3/s

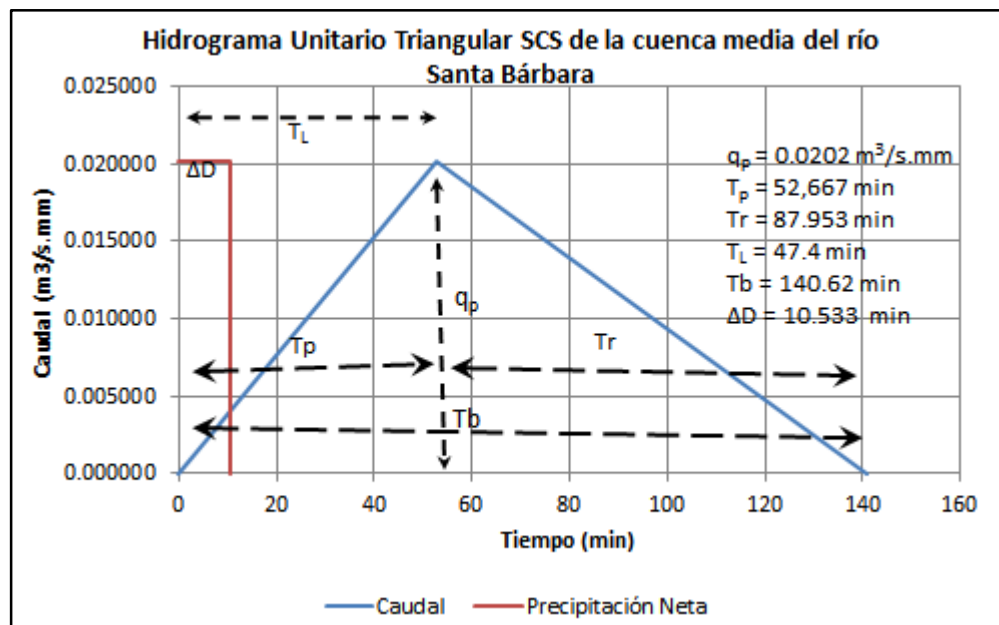


Figura 5.15 Hidrograma Unitario Triangular SCS para la cuenca media del río Santa Bárbara (Córdova, F. 2019).

Dónde:

Q: gasto máximo (l/s)

I: intensidad de la lluvia expresada (lps/ha)

A: área tributaria (ha)

C: coeficiente de escorrentía ponderado.

5.2.2.6 Determinación de los parámetros hidráulicos y elementos geométricos

Para la determinación de los parámetros hidráulicos y elementos geométricos para cada sección transversal (Apéndices A.1 a A.6) levantada topográficamente en el cauce del río (Figuras 5.16 y 5.17) objeto de estudio, se utilizó el modelo matemático de flujo permanente unidimensional computarizado HECRAS versión 4.1 liberado por la Comisión de Ingeniería Hidráulica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América (*US Army Corp of Engineers - Hydraulic Engineering Commission USACE-HEC*). Esta aplicación, permite resolver las ecuaciones de conservación de la energía, continuidad y cantidad de movimiento para encontrar todos los parámetros hidráulicos y geométricos del flujo en el tramo estudiado.



Figura 5.16 Levantamiento topográfico con Nivel Abney, cinta métrica y brújula (Córdova, F. 2019).



Figura 5.17 Trabajo topográfico (Córdova, F. 2019).

En la Tabla 5.11 se presentan ordenados en las seis (6) columnas los parámetros hidráulicos siguientes: Sección Transversal, Caudal (Q), Cota de superficie del agua (W.S. Elev), Pendiente hidráulica (E.G. Slope), Velocidad de flujo (Vel Chnl), y Número de Froude (Froude # Chl). Obsérvese que el flujo permanece en estado subcrítico en el tramo evaluado ($Fr < 1$) indicativo de tendencia a la sedimentación.

Tabla 5.11 Parámetros hidráulicos para cada sección transversal en condición de $Tr = 25$ años y $Q = 83.02 \text{ m}^3/\text{s}$. (Córdova, F. 2019).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m^3/s)	W.S. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude # Chl
Las Flores	6.0	$Tr = 25$ años	83.02	44.28	0.003106	3.77	0.96
Las Flores	5.0	$Tr = 25$ años	83.02	43.55	0.002870	3.63	0.92
Las Flores	4.0	$Tr = 25$ años	83.02	43.19	0.002776	3.89	0.92
Las Flores	3.0	$Tr = 25$ años	83.02	42.62	0.003257	3.76	0.97
Las Flores	2.0	$Tr = 25$ años	83.02	42.35	0.003026	3.71	0.94
Las Flores	1.0	$Tr = 25$ años	83.02	41.83	0.002002	3.13	0.78

En éstas Tabla 5.12 se presentan los parámetros geométricos relevantes para cada una de las secciones transversales, en cada fila, y en las columnas los parámetros geométricos, tales como: Nivel del agua (W.S. Elev), Ancho superficial (Top Width), Profundidad hidráulica (Hydr Depth), Radio Hidráulico (Hydr Radius), Perímetro mojado (W.P. Total), Área (Flow Area).

Tabla 5.12 Parámetros geométricos de las secciones transversales para un $Tr = 25$ años y $Q = 83.02 \text{ m}^3/\text{s}$. (Córdova, F. 2019).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m^3/s)	W.S. Elev (m)	Top Width (m)	Hydr Depth (m)	Hydr Radius (m)	W.P. Total (m)	Flow Area (m^2)
Las Flores	6.0	$Tr = 25$ años	83.02	44.28	20.83	1.21	1.18	21.37	25.23
Las Flores	5.0	$Tr = 25$ años	83.02	43.55	23.89	1.14	1.10	24.61	27.12
Las Flores	4.0	$Tr = 25$ años	83.02	43.19	18.20	1.32	1.28	18.83	24.12
Las Flores	3.0	$Tr = 25$ años	83.02	42.62	20.39	1.21	1.18	20.97	24.74
Las Flores	2.0	$Tr = 25$ años	83.02	42.35	22.80	1.15	1.13	23.24	26.16
Las Flores	1.0	$Tr = 25$ años	83.02	41.83	25.13	1.24	1.22	25.56	31.07

5.3 Descripción de la textura de los sedimentos o materiales del cauce

Se procedió a clasificar los materiales muestreados que están presentes en el cauce del río Santa Bárbara, adyacente al puente Las Flores.



Figura 5.18 Muestreo de sedimentos del cauce (Córdova, F. 2019).

En los Apéndices B.1 a B.4 se corresponden a los análisis granulométricos efectuados en el Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de los fluidos de la Escuela de Ciencias de la Tierra (según la norma ASTM-427) a las muestras de suelos recolectadas las cuales resultaron en su totalidad arenas mal gradadas (SP) de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Asimismo, se observa que el diámetro medio (d_{50}) de las partículas se mantiene en un rango de 0.29 mm a 0.32 mm.

5.4 Estimación de la posible socavación en las pilas

A tal efecto se utilizarán los métodos de Maza – Sánchez y el de Froehlich para la estimación de la socavación potencial que pudiese presentarse en las pilas de los puentes sobre el río Santa Bárbara.

5.4.1 Método de Maza Sánchez

Para la aplicación de la metodología propuesta por Maza – Sánchez se considerará la profundidad y la velocidad existentes en la sección transversal 4.0 que se encuentra aguas arriba de las pilas y se emplearán entonces las variables siguientes (Tabla 5.13)

$H_s = 2.19$ m (Profundidad en la sección transversal 4.0, según Apéndice A.4)

$V = 3.89$ m/s (de la sección transversal 4.0 en Tabla 5.10).

$f_c = 1$ (ángulo de esviaje = 0° en Tabla 3.1)

$a = 1.5$ m

$a' = 1.5$ m

$H_T =$ (Depende de Fr^2 , de H_s/a' en la Figura 3.10)

Tabla 5.13 Estimación de la socavación local en la pila rectangular según Maza - Sánchez (Córdova, F. 2019).

Condición	V (m/s)	g (m/s ²)	H _s (m)	f _c	Fr ²	a (m)	a' (m)	H _s / a'	H _T / a'	H _T (m)	y _s (m)
Tr=25 años	3.89	9.8	2.19	1	0.71	1.5	1.5	1.46	-1.5	2.25	0.06

5.4.2 Método de Froehlich (1991)

Para este método se aplicará la ecuación 3.5

Dónde:

$K_f = 0.7$ (para pila rectangular en Tabla 3.2)

$a = 1.5$ m

$a' = 1.5$ m porque el ángulo de esviaje es 0

$h = 2.19$ m (Profundidad en la sección transversal 4.0, según Apéndice A.4)

$V = 3.89$ m/s (de la sección transversal 4.0 en Tabla 5.10).

$d_{50} = 0.30$ mm (aproximadamente de los Apéndices B.1 a B.4).

Se efectúan las estimaciones de la socavación local al pie de la pila, y_s , (aplicando la ecuación 3.5) y considerando un $Tr = 25$ años de presenta en la tabla siguiente:

Tabla 5.14 Estimación de la socavación local en la pila rectangular según Froehlich (Córdova, F. 2019).

Condición	k_f	a' (m)	h (m)	V (m/s)	g (m/s ²)	Fr	D_{50} (m)	y_s (m)
$Tr=25$ años	0.7	1.5	2.19	3.89	9.8	0.84	0.00030	0.8

5.5 Técnicas de control de erosión en pilas de puente

Las técnicas que pudiesen aplicarse en éste caso, pueden ser muchas de las mencionadas con anterioridad en el presente trabajo, como lo son: a) Gaviones, b) Bolsacretos, c) Pedraplenes, d) Pantallas de tablestacado o tubo, e) Diques en tubo, f) Escolleras, g) Diques de encauzamiento y h) Caballetes.

Para seleccionar algunas técnicas de manera concisa, debemos basarnos en la factibilidad para conseguir los materiales de construcción, y que la elaboración del proyecto no sea tan costosa, para ello, se consultarán los precios ofertados por las empresas Geoambient C.A., y Servicios en General, ambos ubicados en Ciudad Bolívar.

En cuanto a la factibilidad para obtener los materiales en la Ciudad, se seleccionarán las siguientes técnicas:

a. Gaviones, debido a que el mismo, requiere de rocas con ciertas dimensiones, lo cual es de muy fácil acceso en el estado Bolívar, y además de ello, se utiliza para su elaboración, un enrejado metálico de alambre o de mimbre, que también se puede conseguir con facilidad.

b. Bolsacretos o colchacretos, requieren concreto, el cual es costoso, pero no de imposible obtención, y de una bolsa resistente, hecha de material desechable y biodegradable.

c. Pedraplenes, en donde solo se necesita tener la cantidad necesaria de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas (resistentes y compactas), con las dimensiones adecuadas, y no llevará mayor trabajo que aquel que realizan las grandes máquinas.

d. Tablestacas, son elementos metálicos, que suelen ser de acero, aunque también las hay de hormigón, vinilo, aluminio o FRP Composit; los materiales no son de difícil acceso, aunque si son costosos, y su construcción también.

Entre las empresas que cuentan con soluciones factibles para resolver éste tipo de problemáticas en Venezuela, encontramos:

GeoAmbient C.A., la cual especificó, que trabajan con medidas como gaviones, y colchones Reno, y declaró que actualmente no se está utilizando la modalidad de concreto como medida para corregir los problemas de socavación, debido a su alto costo en el mercado.

Ésta empresa, trabaja con materiales que son suministrados por MACCAFERRI, que es una empresa brasilera, encargada de construcción, geotecnia

y minería, y su objetivo es trabajar de forma internacional, ayudando a solucionar problemas de ésta índole, y proteger a su vez el ambiente.

Al indagar un poco más sobre MACCAFERRI, conseguimos un informe, en el cual se realizó un trabajo para solucionar la problemática del puente Xaltayá en Guatemala, que estaba propenso a derrumbarse, debido a que sus bases, están muy cercanas al margen del río.

El caso presentado por MACCAFERRI, expone, que la solución para el caso mencionado, consta de protección y/o contención de márgenes, y los productos a utilizar, son Colchón Reno®, Gavión Caja, MacTex® N (Notejido).

5.5.1 Dimensionar los elementos geométricos de la obra civil de control de socavación

La medida a utilizar, para el cálculo de los muros de gaviones, será la de 5,00 metros, debido a que es la más grande, y la que nos brindará mayor seguridad por ser ésta, la que es capaz de abarcar el mayor margen de error que pueda existir dentro de los cálculos.

Utilizando como guía un fragmento del libro “Socavación en puentes”, específicamente en el capítulo enfocado en las *medidas de protección*, el muro de gaviones, estará estructurado, según normas de aplicación, de la siguiente manera:

- a. Tamaño del cajón= (2 m)x(1 m²)
- b. Espaciamiento entre alambres= $5 < \mathbf{x} < 14$ cm; el seleccionado para éste caso, es de 10 cm.

c. La malla de gaviones, se rellena con piedras o cantos rodados, de tamaño mínimo= 10 cm.

d. El tamaño de las rocas que quedan próximas a la malla, no debe ser menor de 1,5 veces la separación entre alambres; por ser la separación seleccionada= 10 cm, el tamaño de las rocas se expresa: $(1,5) \times (10 \text{ cm}) \leq \text{tamaño de la roca próxima a la malla}$; El tamaño de la roca próxima a la malla, seleccionada para éste caso, es de 15 cm.

CAPÍTULO VI

LA PROPUESTA

6.1 Objetivo de la propuesta

Presentar las características dimensionales y de ubicación de la medida correctiva seleccionada para proteger las pilas del puente Las Flores, sobre el río Santa Bárbara.

6.2 Justificación

En vista de los resultados de la estimación de la socavación, y con el propósito de evitar que se incremente la magnitud de la misma, se justifica la implementación de un muro de gaviones, en torno al sistema de pilas del puente.

6.3 Desarrollo de la propuesta

6.3.1 Ubicación

El muro de gaviones, estará ubicado en torno a cada sistema de pilas, aguas abajo del puente sobre el río Santa Bárbara. Se debe hacer una excavación alrededor de cada pila, para establecer el muro de gaviones, colocando un cajón sobre otro, en forma de bloques.

6.3.2 Elementos dimensionales

El muro se implementará alrededor del sistema de pilas, en donde se realizó la excavación, sin espacio entre ellos, como una pared, y de forma rectangular, colocando un cajón, sobre otro.

La propuesta consiste en levantar un muro de gaviones (contenedores de piedras retenedoras con malla de alambre), el cual se anclará al río, alrededor de las pilas que pudiesen afectarse por socavación en el río Santa Bárbara, aguas abajo, permitiendo que todo el material sólido que fluye en el agua, se acumule alrededor de los pilares del puente, y de éste modo, se puedan rellenar los eventuales espacios vacíos.

Debido a que las rocas son un material muy fácil de conseguir dentro del estado Bolívar, y las medidas más utilizadas, y más económicas dentro del mismo, es la construcción de muros de gaviones, se presenta, como la medida más beneficiosa (en cuanto a factibilidad y economía) a aplicar, para solucionar una potencial problemática que pudiese presentarse en el puente en estudio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Las variables climáticas que inciden significativamente en las variaciones de los caudales del río Santa Bárbara, tanto la precipitación como la evaporación, registran anualmente un comportamiento cíclico de carácter unimodal con valores promedio anual de 83.3 mm y 190.6 mm respectivamente. Por otra parte, la temperatura tiene escasa desviación típica mensual y presenta un promedio anual de 25.9 grados centígrados

2. El relieve del área de estudio se corresponde al de una mesa disectada por el río Santa Bárbara el cual tiene en el tramo de estudio una pendiente del lecho aproximada de 0.03 m/m, mientras que sus riberas presentan rasgos de formación de terrazas aluviales que han sido modificadas o destruidas por los periódicos procesos de dragado del cauce (que efectúan los entes gubernamentales).

3. Hidráulicamente el río Santa Bárbara presenta características de un flujo de poca profundidad (para el momento de la investigación) no alcanzando los 30 centímetros. Sin embargo, estas profundidades se verían drásticamente incrementadas hasta unos tres (3) metros ante la ocurrencia de precipitaciones con períodos de retorno superiores a los 25 años. Igualmente, las condiciones del flujo podrían verse afectadas principalmente en el sitio de ubicación del puente debido al estrechamiento que este ha provocado en el cauce.

4. La velocidad del flujo, en las secciones transversales, varía entre 3.13 m/s y 3.89 m/s para un período de retorno de 25 años. Asimismo se observa que las

condiciones del estado del flujo será de flujo subcrítico debido a las magnitudes del número de Froude inferiores a 1.

5. Las estimaciones de la socavación que se puede producir en entorno a las pilas del puente sobre el río Santa Bárbara utilizando los métodos de Maza Sánchez y el de Froehlich arrojaron magnitudes entre los 0.06 m y 0.8 m.

6. De acuerdo a la posibilidad de obtención de las materias primas y a los costos de obtención de las mismas, de las opciones para el control de las socavaciones evaluadas se estima que las protecciones perimetrales de gaviones en torno a las pilas es la idónea en el entorno analizado.

Recomendaciones

1. Se propone a la comunidad universitaria evaluar los efectos de posibles socavaciones sobre las cimentaciones generadas por los patrones de flujos de corrientes para condiciones de avenidas con períodos de retorno de 25 y 50 años

2. Se recomienda a los entes estatales encargados del mantenimiento de la estructura del puente sobre el río Santa Bárbara aplicar programas de concienciación a la población para evitar arrojar desechos sólidos en las adyacencias del puente lo cual podría incrementar el estrechamiento en los vanos del puente y generar una inusitada socavación local entorno a las pilas.

3. Se recomienda a la comunidad universitaria evaluar al menos diez (10) modelos matemáticos para la estimación de la socavación en torno a las pilas de todos los puentes del área urbana de Ciudad Bolívar para determinar su sensibilidad y decidir sobre el método que mejor se adapte a las condiciones de los ríos de Ciudad Bolívar.

REFERENCIAS

Aguado S. A., (2012). **ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN PUENTES PARA SU USO EN EL CÁLCULO DEL RIESGO FÍSICO** (Trabajo de grado). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Álvarez, C., Caicedo G., y Moreno, D. (2007). **ANÁLISIS DE FLUJO DEL RÍO NEGRO EN EL KM 20+100, VÍA PACHO – LA PALMA PARA ESTABLECER ALTERNATIVAS QUE MITIGUEN LA SOCAVACIÓN MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE UN MODELO HIDRÁULICO** (Trabajo de grado). Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá D.C.

Arias, Fidias. (1999). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. (pp.55)

Arias, Fidias. (2006). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Quinta Edición. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. (pp.143)

Arnal, E., (2000). **LECCIONES DE PUENTES**. Ediciones Altolitho, Caracas, Venezuela. Páginas 7 a 34

Arocha, Simón. (1983). **CLOACAS Y DRENAJES**. Ediciones Vega s.r.l. Caracas, Venezuela. (pp.263)

Barbosa, S., (2013). **METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN GENERAL EN RÍOS DE MONTAÑA (LECHO DE GRAVAS)**. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín, Colombia.

Bateman, Allen (2007). **HIDROLOGÍA BÁSICA Y APLICADA**. Grupo de Investigaciones en Transporte de Sedimentos. Colombia. (pp.70)

Beltran González, L. (2004). **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS**. Primera edición. Editorial Ameco. Puerto la cruz, Venezuela. (p. 5)

Bolinaga, Juan. (1979). **DRENAJE URBANO**. Instituto nacional de obras. Caracas, Venezuela. (pp.399)

Bowles, Joseph. (1981). **Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil**. Segunda edición. Editorial McGraw-Hill. Bogotá Páginas 35 a 39, 47 a 52 y 61 a 65.

Breña A. y Jacobo M. (2006). **PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**. Editorial Casa Abierta al Tiempo. México. (pp.254)

Bruce W. Melville, Et al. (2000) **LOS ESTUDIOS REALIZADOS POR (GUEVARA, 1998)**.

Camacho, Francisco. (1996). **DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE**. Universidad de Carabobo. Valencia. Páginas 300 a 302.

Chereque, W. (2003). **HIDROLOGÍA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL**. Segunda edición. Editorial Concytec. Lima, Perú.(pp.223)

Chow, Ven Te. (1994). **MANUAL DE HIDROLOGÍA APLICADA**. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.584)

Chow, Ven Te. (2000). **HIDROLOGÍA APLICADA**. Cuarta Edición. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.577)

Chow, Ven Te. (2004). **HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS**. Quinta Edición. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.655).

Chow, Ven Te. (2008). **HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS**. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.655)

Falcón, Marco (1990). **HIDRÁULICA FLUVIAL**. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Páginas 35 y 36.

Finol M, Camacho H, (2006). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Universidad del Zulia. Zulia, Venezuela. (p. 77)

Giraldo, G., y Vega, D. (2013). **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y SOCAVACIÓN DE PUENTES APOYADA EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN**

GEOGRÁFICO (SIG) (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá D.C.

Guevara, M. (2016). **MEDIDAS PARA LA PROTECCIÓN DE PUENTES. SOCAVACIÓN EN PUENTES.** Lee Lemoine Editors. Colombia.

Guevara, M. (2016). **CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN EN PUENTES. SOCAVACIÓN EN PUENTES.** Lee Lemoine Editors. Colombia.

Gutierrez, Eliene y Perez, Karelis. (2001). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CALIDAD DE LAS AGUAS DE LOS RÍOS SAN RAFAEL, BUENA VISTA Y SANTA BARBARA CIUDAD BOLÍVAR ESTADO BOLÍVAR**, Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar. Páginas 4 a 15.

Hernández, M. (2003). **EL MANUAL DE TESIS DE GRADO Y ESPECIALIZACIÓN Y MAESTRÍA Y TESIS DOCTORALES DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA LIBERTADOR.** Tercera Edición. FEDUPEL. Caracas, Venezuela. (pp.245).

Macabril, M. y Serrano, A. (2010). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ALTA A MEDIA DEL RÍO SAN RAFAEL, CON FINES DE ORDENAMIENTO URBANÍSTICO Y MEJORAS. MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR.** Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar. Páginas 25 a 32

Martínez A. y Navarro, J. (1996). **HIDROLOGÍA FORESTAL: EL CICLO HIDROLÓGICO.** Universidad de Valladolid. Valladolid, España. (pp.286)

Maza Alvarez, A. (1970) **SOCAVACIÓN EN PILAS DE PUENTES. .**

Rocha, A., (2010). **EROSIÓN EN PILARES Y ESTRIBOS DE PUENTES** (Trabajo presentado al IV Congreso Internacional de la Construcción-ICG, Lima diciembre 2008. Fue incorporado como Capítulo 10 del libro Introducción a la Hidráulica de las Obras Viales, publicado por el ICG-Segunda Edición, 2010. La presente versión está revisada y actualizada a febrero 2013).

Rocha, Arturo. (2002). **HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES.** Primera Edición. Lima, Perú. (pp 515)

Rodríguez, P. (2008). **HIDRÁULICA DE CANALES**. Instituto tecnológico de Oaxaca. México. (pp 570)

Sabino, C. (1994). **COMO HACER UNA TESIS Y ELABORAR TODO TIPOS DE ESCRITOS**. Tercera Edición. Editorial Panapo. Caracas, Venezuela. (pp.240)

Schosinsky, G. y Losilla, M.[Revista Geológica de América Central] (2000). **MODELO ANALÍTICO PARA DETERMINAR LA INFILTRACIÓN CON BASE EN LA LLUVIA MENSUAL**. 30 de septiembre de 2014. [<http://www.latindex.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/viewFile/8579/8102>]. (pp.43-55)

Strahler, Arthur (1977). **GEOGRAFÍA FÍSICA**. Tercera edición. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. Páginas 110 a 135

Tamayo, M. (1997). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Segunda Edición. Editorial Limusa. Mexico. (pp.175)

Tamayo, M. (1999). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Segunda Edición. Editorial Limusa. Mexico. (pp.231)

Terzaghi, Karl, Peck, Ralph. (1954). **MECÁNICA DE LOS SUELOS**. Tercera edición. Librería El Ateneo Editorial. México. Páginas 21, 22, 23 y 24.

Yang, Chih Ted. (1996). **SEDIMENT TRANSPORT**. Editorial Mc Graw-Hill. New York. Páginas 15 a 32.

Zamora, S. (2016). **ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN LOCAL ENTORNO A LAS PILAS DEL PUENTE UBICADO EN LA AVENIDA NUEVA GRANADA SOBRE EL RÍO SAN RAFAEL, SECTOR LAS CAMPIÑAS MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR** (Trabajo de grado). Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, Venezuela.

Bañon Blázquez, Luis (2000). **EL AGUA Y LA CARRETERA**. 4 de Abril de 2015. [[http://sirio.ua.es/proyectos/manual %20carreteras/02010401.pdf](http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010401.pdf)]. (pp.1–4)

Diccionario de la Real Academia Española (DRAE). (2012) **DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA**. 17 de abril de 2015. [<http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>]

Garreaud, R. (2005). **ATMÓSFERA, TIEMPO Y CLIMA**. 5 de Abril de 2015. [http://mct.dgf.uchile.cl/CURSOS/Clases_Atmosfera/clase1_intro.pdf]. (pp.12)

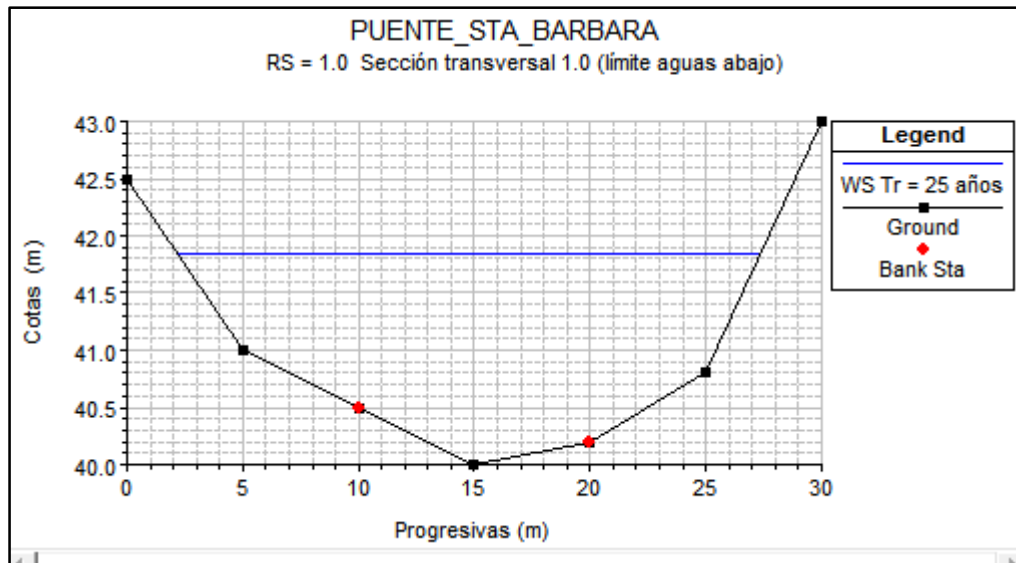
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). (2014). 20 de septiembre de 2014. Anzoátegui. [<http://www.inameh.gob.ve/>]

Jiménez E., H., (1986). **HIDROLOGÍA BÁSICA**. 28 de Noviembre de 2015 [<http://www.univalle.edu.com>]. (pp.248)

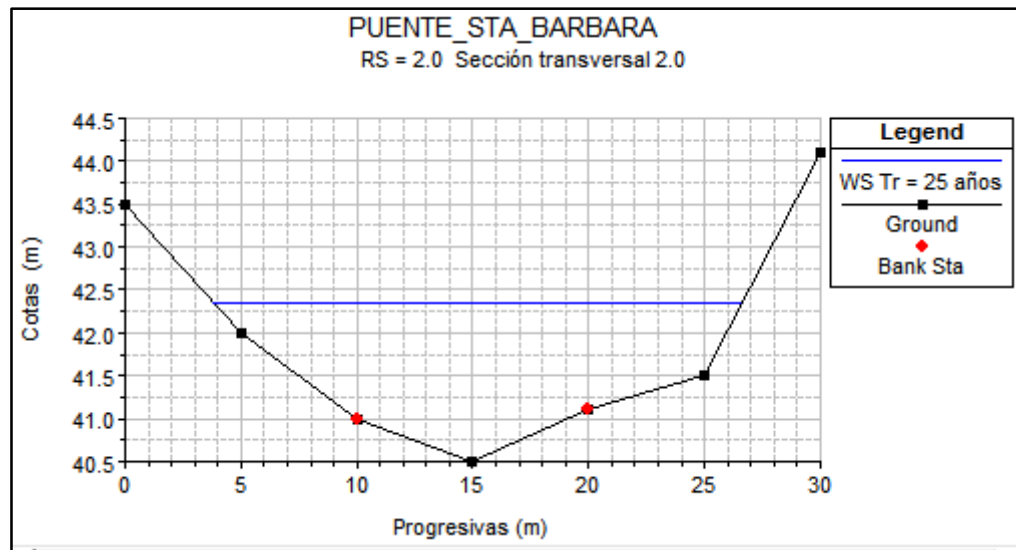
Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú (2011). **MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRAULICA Y DRENAJE**. 2 de Diciembre de 2015 [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf]. (pp.222)

APÉNDICES

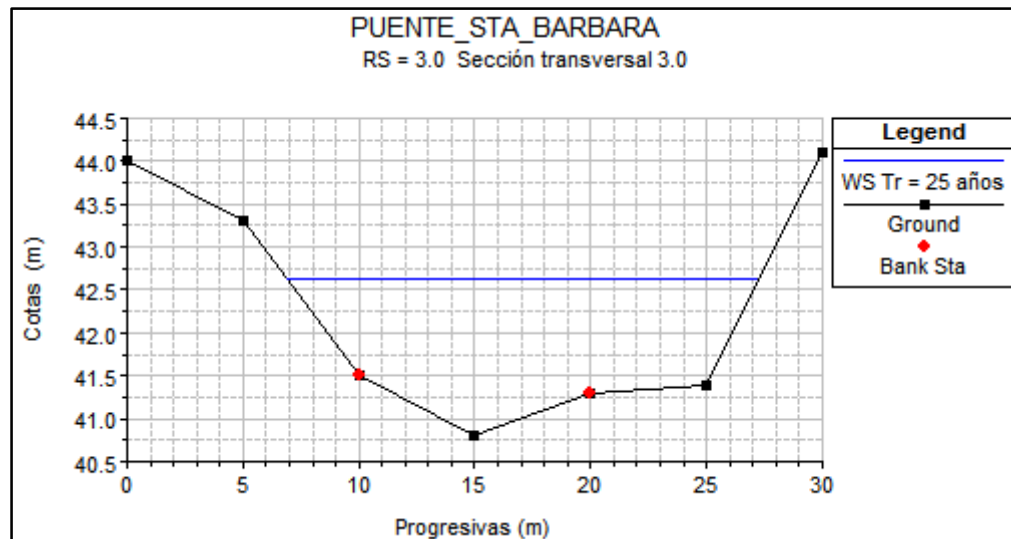
APÉNDICE A
SECCIONES TRANSVERSALES TOPOGRÁFICAS



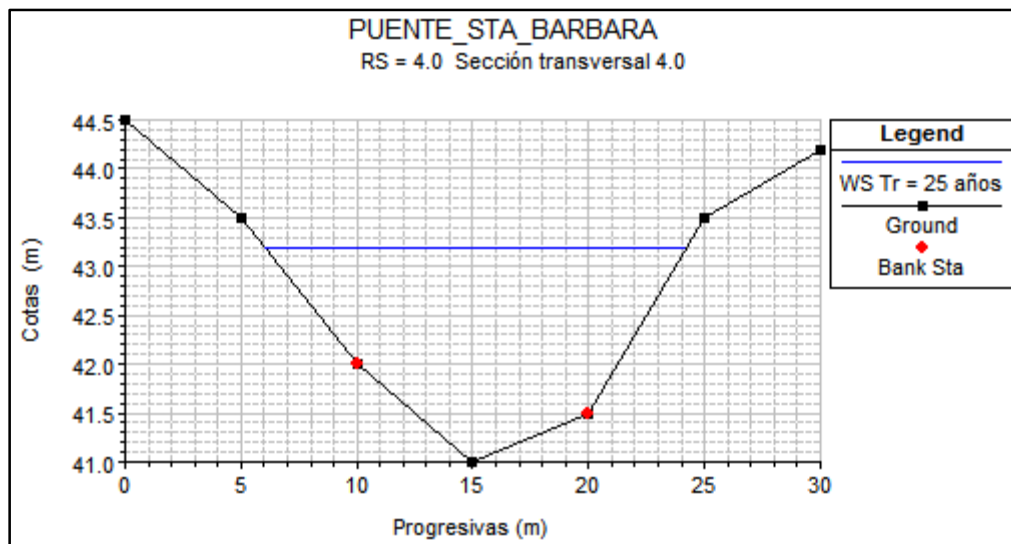
A.1 Sección transversal 1.0 (Córdova, F., 2019).



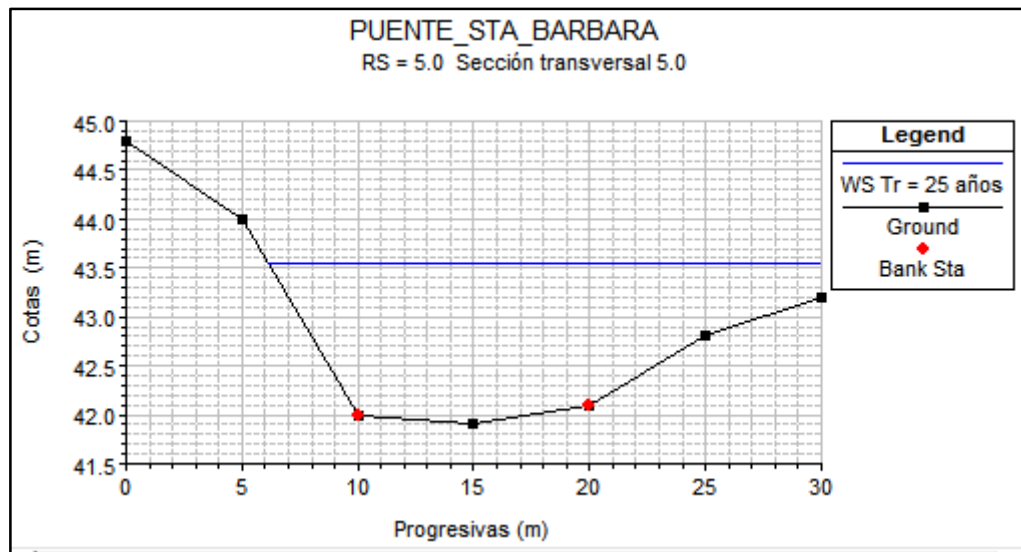
A.2 Sección transversal 2.0 (Córdova, F., 2019).



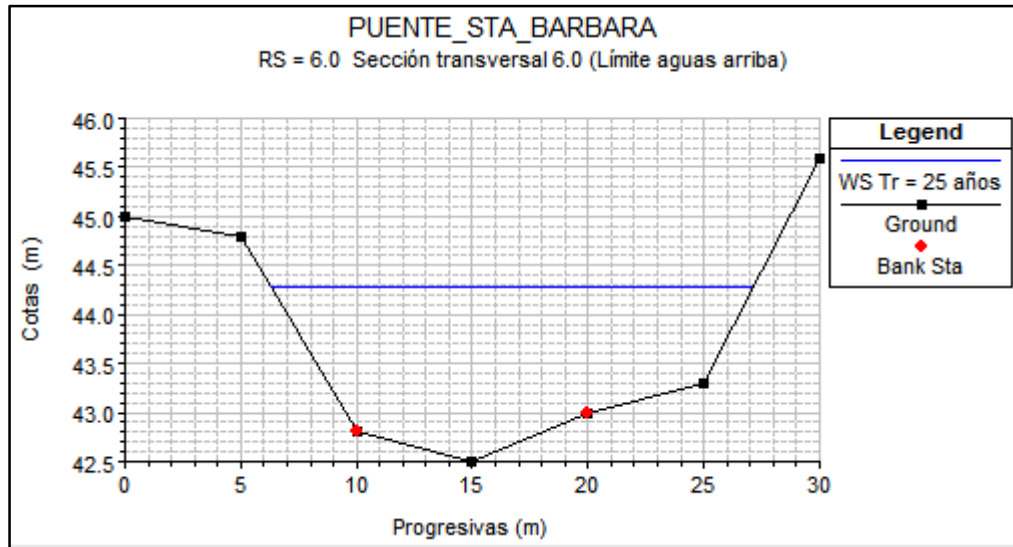
A.3 Sección transversal 3.0 (Córdova, F. 2019).



A.4 Sección transversal 4.0 (Córdova, F. 2019).



A.5 Sección transversal 5.0 (Córdova, F. 2019).

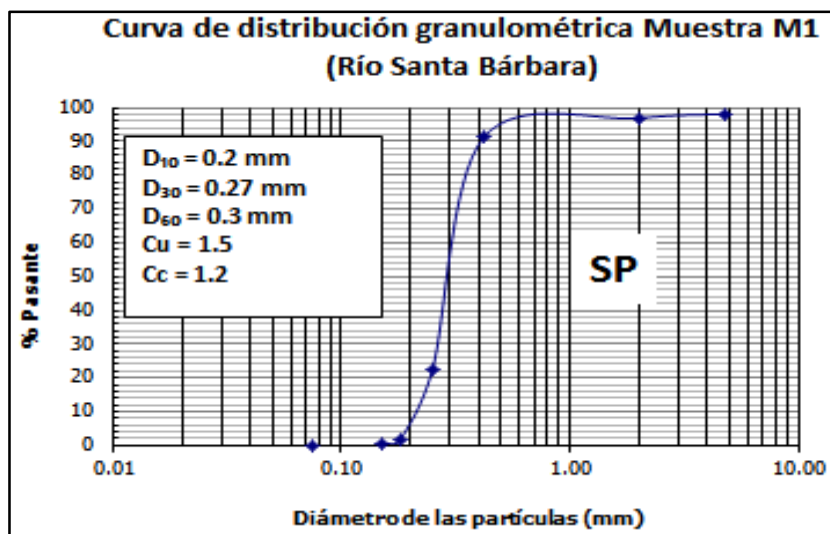


A.6 Sección transversal 6.0 (Córdova, F. 2019).

APÉNDICE B

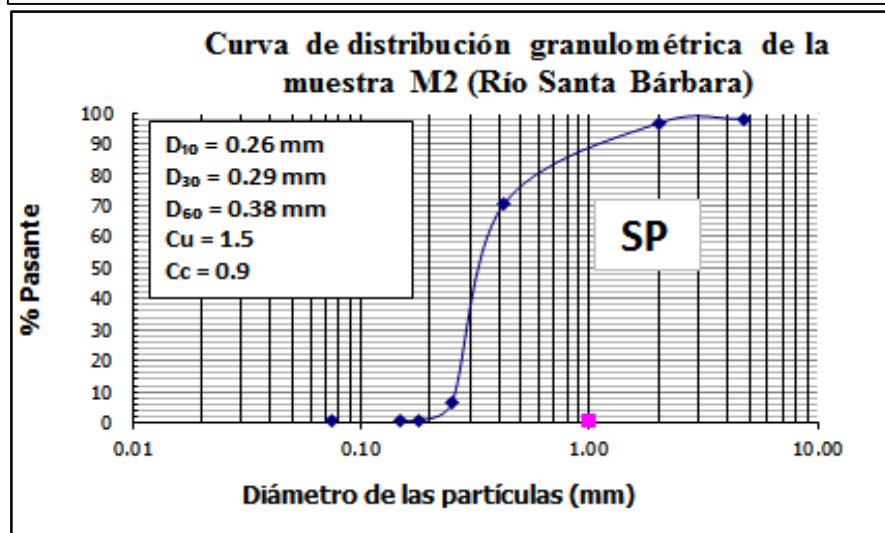
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA: M1					
LUGAR: RIO SANTA BÁRBARA					
Tamiz (n°)	Tamiz (mm)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulad	% Pasante
4	4.75	8.70	1.74	1.74	98.26
10	2.00	6.60	1.32	3.06	96.94
40	0.42	28.50	5.70	8.76	91.24
60	0.25	344.70	68.94	77.70	22.30
80	0.18	103.70	20.74	98.44	1.56
100	0.15	4.30	0.86	99.30	0.70
200	0.08	2.40	0.48	99.78	0.22
PAN	0.00	0.40	0.08	99.86	0.00
Peso Suelo Final(gr)		499.30	99.86		
Peso Suelo inicial(gr)		500.00			
%ERROR		0.14			



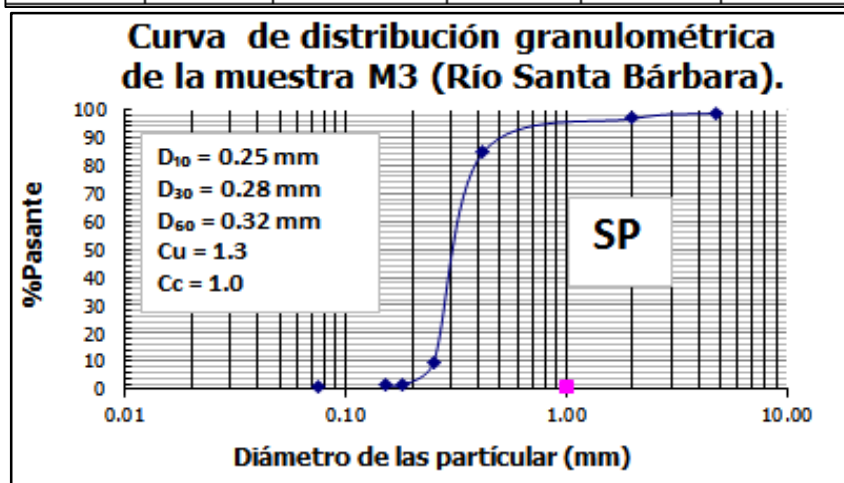
B.1 Análisis granulométrico de la muestra M1 (Córdova, F. 2019).

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA: <u>M2</u>					
LUGAR: Río Santa Bárbara					
Tamiz (n°)	Tamiz (mm)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.75	9.90	1.98	1.98	98.02
10	2.00	7.00	1.40	3.38	96.62
40	0.42	131.40	26.28	29.66	70.34
60	0.25	319.50	63.90	93.56	6.44
80	0.18	28.10	5.62	99.18	0.82
100	0.15	0.80	0.16	99.34	0.66
200	0.08	0.90	0.18	99.52	0.48
PAN	0.00	0.20	0.04	99.56	0.00
Peso Suelo Final(gr)		497.80	99.56		
Peso Suelo inicial(gr)		500.00			
%ERROR		0.44			

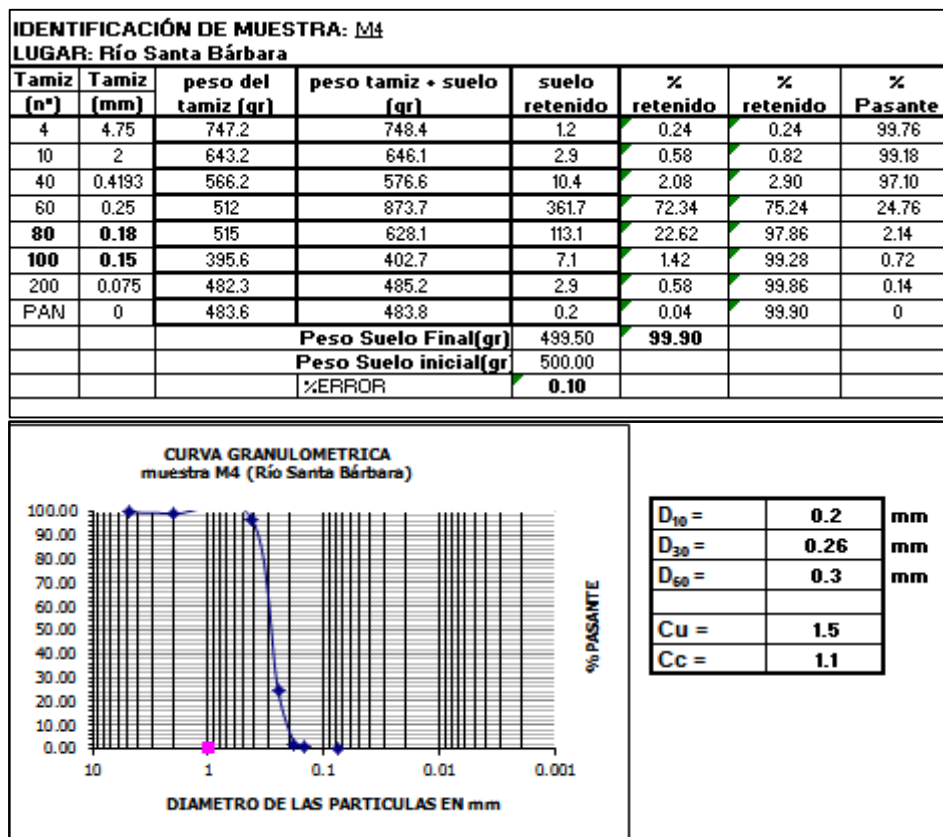


B.2 Análisis granulométrico de la muestra M2 (Córdova, F. 2019).

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA: M3					
LUGAR: Río Santa Bárbara					
Tamiz (n°)	Tamiz (mm)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.750	6.20	1.32	1.32	98.68
10	2.000	9.00	1.91	3.23	96.77
40	0.419	56.50	12.02	15.26	84.74
60	0.250	353.20	75.15	90.40	9.60
80	0.180	37.20	7.91	98.32	1.68
100	0.150	1.80	0.38	98.70	1.30
200	0.075	1.00	0.21	98.91	1.09
PAN	0.000	0.20	0.04	98.96	0.00
Peso Suelo Final(gr)		465.10	98.96		
Peso Suelo inicial(gr)		470.00			
%ERROR		1.04			



B.3 Análisis granulométrico de la muestra M3 (Córdova, F. 2019).



B.4 Análisis granulométrico de la muestra M4 (Córdova, F. 2019).

ANEXOS



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

CONSTANCIA DE REVISIÓN Y CONFORMIDAD DE TUTORIA

A través de la presente hago de su conocimiento que el trabajo de grado intitulado **“PROPUESTA DE MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LA SOCAVACIÓN EN LOS CIMIENTOS DEL PUENTE UBICADO SOBRE EL RÍO SANTA BÁRBARA, EN LA CALLE 3 ENTRE LOS SECTORES PERÚ VIEJO 1 Y LAS FLORES, MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR.”**, presentado por el bachiller, **CÓRDOVA R., FRANK G.** de cédula de identidad No **24.892.350**; fue revisado y aprobado por quien suscribe y en vista de ello, se propone para que sea expuesto y defendido por sus autores.

Sin otro particular

Atentamente.

Prof. Dafnis Echeverría
Asesor académico