

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



**ANÁLISIS DE LA EROSIÓN DEL LECHO EN EL SITIO DE
FUNDACIÓN DE LA PILA CILÍNDRICA DE UN PUENTE EN UN
TRAMO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO LA CANOA EN LA
POBLACIÓN DE LA CANOA, MUNICIPIO INDEPENDENCIA,
ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO POR
LAS BACHILLERES
BRINES A., YUSGLADIS M.
Y SAMBRANO G., NEILE C.
PARA OPTAR LOS
TÍTULOS DE GEÓLOGO E
INGENIERO GEÓLOGO
RESPECTIVAMENTE**

CIUDAD BOLÍVAR, OCTUBRE 2022



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: “**ANÁLISIS DE LA EROSIÓN DEL LECHO EN EL SITIO DE FUNDACIÓN DE LA PILA CILÍNDRICA DE UN PUENTE EN UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO LA CANOA EN LA POBLACIÓN DE LA CANOA, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.**”, presentado por las bachilleres, **BRINES A. YUSGLADIS M.** decédula de identidad N°**15.467.660** y **SAMBRANO G., NEILE C.** de cédula de identidad No **16.648.571** respectivamente; como requisito parcial para optar a los títulos de **INGENIERO GEÓLOGO y 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. Francisco Monteverde

(Jurado)

Prof. Francisco Monteverde Prof (a).
Jefe de Dpto. de Ing. Geológica.

Rosario Rivadulla
Jefe de Depto. de Geología

Prof. Francisco Monteverde
Director de la Escuela de Ciencias de la Tierra

En Ciudad Bolívar, a los días del mes de Octubre de 2022

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta meta alcanzada a Dios Padre Todopoderoso por no abandonarme en cada paso que doy, por guiarme y acompañarme en los momentos más significativos de mi vida y siempre llenarme de fuerzas para seguir caminando en medio de las dificultades.

A mi madre María Gudiño que cada día se esfuerza y trabaja por el bienestar de cada uno de sus hijos para que seamos personas de bien, con humildad, sencillez y buenos valores. Por su apoyo y sus consejos en la realización de este trabajo y mis años de estudio.

A mi padre Nelson Sambrano por estar pendiente y apoyarme en este caminar.

A todos mis hermanos Gelsis, Galvis, Nelsi, Nelson que de alguna u otra manera han estado presentes regalándome con alegría y sinceridad su ayuda en esta etapa de mi vida.

Dedico este trabajo y cada meta realizada a Ayelén López, la hija que Dios me ha regalado y por la que sigo levantándome cada día. Sé que este momento la llenará de alegrías y es lo que más deseo, que sea feliz en cada instante de su vida.

Esto es para todos ustedes.

Neile C. Sambrano G.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme la oportunidad de culminar esta meta trazada, por darme la fortaleza para seguir a delante y no rendirme. Muchos fueron los desafíos para poder lograrlo, pero a pesar de los momentos difíciles pude seguir a delante refugiándome en ti y nunca perdiendo la fe de lo que tienes preparado para mí.

A mis Padres Lesbia Ascanio, José Ángel Brines y Orlando Navarro los seres quienes me dieron vida y crianza llenos de buenos valores, sin ellos no hubiese podido ser lo que soy ahora, alguien útil para esta sociedad que tanto necesita de hombres y mujeres trabajadores.

A mis hermanos Jose Francisco, Yinet, Rinna, Dairiz y Samuel por su apoyo incondicional en este camino que en ocasiones paso por mi menteno seguir adelante, pero ustedes fueron parte de esa inspiración para continuar y poderles dar el ejemplo de perseverancia para llegar a nuestras metas.

A mi amado esposo Leomar Mejías por estar a mi lado en mis alegrías y tristezas dándome aliento en mis momentos más difíciles, por demostrarme que no solo estas junto a mí en los momentos buenos y por compartir tus conocimientos conmigo.

A mis Abuelos Natividad, Carmen y Vicencio por sus concejos sabios, amis Tios y Primos por siempre estar pendientes de mí y compartir tantos momentos juntos que me llenaron de entusiasmo.

Yusgladis M. Brines A.

AGRADECIMIENTO

A Dios Padre Todopoderoso por el don de la vida y todas las maravillas que me ha regalado.

A toda mi familia en especial a mis padres María Gudiño y Nelson Sambrano, que han dado lo mejor de sí para que sea una mujer de bien.

A la casa de estudio, la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar, por brindarme la oportunidad de ser parte de esa gran familia.

A todos los profesores que día a día se esmeraron en transmitir sus conocimientos para mi formación académica.

A nuestro tutor el profesor Dafnis Echeverría por su apoyo y su ayuda para que culmináramos este trabajo de grado.

A todos aquellos que creyeron y siempre han estado presentes, aportando un granito de arena para que este momento de mi vida se hiciera realidad y lo resumo en dos nombres, Lidymar Délla y Alan Miranda.

A todos ustedes, gracias.

Neile C. Sambrano G.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitir despertar y culminar cada día de vida, porque cada mañana que despierto es una muestra de su amor por mí, que cuando le he pedido me demuestra que para El no hay imposibles, por eso y mucho más te agradezco Padre.

A mis padres por darme tanto amor, por los sacrificios que hicieron para darme una mejor vida de la que tuvieron ustedes, hace falta más que una vida para agradecerles tan loable labor a los que hoy están con vida, a Dios le pido que me los bendiga y me dé la oportunidad de poder retribuirles tanto amor, a ti papá José Ángel aunque no estés físicamente conmigo lo estás en mi corazón y mis recuerdos eternamente agradecida con ustedes los amo.

A mi esposo por su sustento económico y por estar a mi lado apoyándome, te amo gracias por todo lo que has hecho por mí.

A la Casa Más Alta de estudio, la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formarme profesionalmente. A los profesores por transmitirnos sus conocimientos un millón de gracias.

A mi asesor académico Ing. Dafnis Echeverría por brindarnos su asesoría para finalizar con éxito nuestro trabajo de grado gracias a sus conocimientos y a su experiencia.

Yusgladis M. Brines A.

RESUMEN

El río La Canoa forma parte de la hidrografía del municipio Independencia estado Anzoátegui. Abarca un área ubicada al suroeste del estado Anzoátegui, aproximadamente a 65 kilómetros de la población de Soledad. El objetivo general de este trabajo es analizar las socavaciones que se presentaría en la posición de una pila cilíndrica de un puente proyectado ubicado en la cuenca media del río La Canoa. La investigación se enmarcó dentro del tipo descriptivo. Se realizó una caracterización de las variables climatológicas, se describió la geología y relieve característicos de la zona. También se describió la morfometría y características hidrológicas de la cuenca. Entre los resultados relevantes encontrados se tiene lo siguiente: El clima de la zona se corresponde con el de clima tropical de sabana isotérmico El área de estudio geológicamente pertenece a la Formación Mesa y está constituida por sedimentos o aluviones. El río La Canoa posee un relieve que se caracteriza por una topografía generalmente plana y ligeramente inclinada que abarca extensiones considerables dentro de la cuenca y sus alrededores. Morfométricamente: el área de la cuenca estimada es de 20.64 km² (2064.30 ha), el perímetro de la cuenca es de 65,72 km, la longitud axial de 22,03 km y longitud del cauce principal de 18,14 km. Hidrológicamente, la cuenca posee un tiempo de concentración es 273.80 min, el coeficiente de escurrimiento de y , la intensidad de la precipitación es 24.68 mm/hr, finalmente se tiene que el caudal de diseño de la obra (puente) para un tiempo de retorno de t_r es de 36.4 m³/s el cual fue ratificado por Gutiérrez y Macías (2014) quienes estimaron el caudal de diseño por los métodos de Creager y de Kresnik arrojando valores de 35.40 m³/s y de 36.44 m³/s respectivamente. La magnitud de la socavación según los métodos de Laursen-Toch, por el de Maza Sánchez y por el de Froehlich oscilaría entre 0.16 m y 0.88 m

CONTENIDO

	Páginas
ACTA DE APROBACIÓN	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN	8
CONTENIDO.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	14
LISTA DE TABLAS.....	16
LISTA DE APÉNDICES.....	17
LISTA DE ANEXOS.....	18
INTRODUCCIÓN.....	19
CAPÍTULO I	21
SITUACIÓN A INVESTIGAR	21
1.1 Planteamiento del problema	21
1.2Objetivos de la investigación.....	23
1.2.1 Objetivo general.....	23
1.2.2 Objetivos específicos.....	23
1.3 Justificación de la investigación	24
1.4 Alcance de la investigación	24
1.5 Limitaciones de la investigación.....	24
CAPÍTULO II	26
GENERALIDADES	26
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio	26
2.2 Características fisiográficas e hidrográficas del río La Canoa.....	27
2.4 Características físico naturales.....	28
2.4.1 Vegetación.....	28
2.5 Características geológicas	30

2.5.1 Geología regional	30
2.5.2 Geología local.....	31
CAPÍTULO III	34
MARCO TEÓRICO.....	34
3.1 Antecedentes de la investigación.....	34
3.2 Bases teóricas.....	35
3.2.1Características geomorfológicas	35
3.2.2 Erosión en río	40
3.2.3 Transporte de sedimentos	42
3.2.4 Estabilidad de taludes	43
3.2.5 Descripción y clasificación de suelos	46
3.2.6 Características morfométricas de una cuenca	48
3.2.7Movimiento de los sedimentos en una corriente fluvial	54
3.2.7.1 Método de Hjulstrom, F. (1935)	55
3.2.8Determinación de la magnitud de la socavación local en pilas	56
3.2.8.1 Método de Laursen y Toch (1953,1956)	57
3.2.8.2 Método de Maza Sánchez (1968)	60
.....	65
Figura 3.8 Cálculo de la socavación local en una pila elongada (Maza Alvarez, 1987).	65
3.2.8.3 Método de Froehlich (1991)	66
.....	67
3.2.8.4 Método de Yaroslaziev.....	67
3.3 Bases legales	70
3.3.1Decreto n° 2.218	70
3.4 Definición de términos básicos	88
3.4.1 Cuenca.....	88
3.4.2 Cuenca hidrográfica	88
3.4.3 Drenaje.....	88
3.3.4 Erosión	89

3.4.5 Erosión fluvial.....	89
3.4.6 Suelo.....	89
3.4.7 Granulometría.....	89
CAPÍTULO IV	90
METODOLOGÍA DE TRABAJO	90
4.1 Tipo de investigación.....	90
4.2 Diseño de investigación.....	90
4.2.1 Investigación documental	92
4.2.2 Investigación de campo.....	92
4.3 Población de la investigación	93
4.4 Muestra de la investigación	93
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	94
4.5.1 Técnicas para la recolección de datos	94
4.5.1.1 Revisión literaria.....	94
4.5.1.2 Entrevista no estructurada	95
4.5.1.3 Observación directa	95
4.5.2 Instrumentos para la recolección de datos.....	96
4.6 Flujograma de la investigación.....	96
4.7 Procedimiento para el logro de los objetivos	97
4.7.1 Recopilación de información bibliográfica	97
4.7.2 Describir las características físico natural del rio La Canoa.....	97
4.7.3 Levantamiento topográfico	97
4.7.4Caracterizar geomorfológicamente el tramo medio del rio la canoa.	98
4.7.5Determinar las características hidrológicas del río La Canoa.....	98
4.7.6 Determinación las características texturales de los suelos.....	98
4.7.7 Determinación de la socavación en el sitio de fundación de la pila del puente	99
CAPÍTULO V	101
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	101
5.1 Características climáticas del área de estudio	101

5.1.1 Precipitación.....	102
5.1.2 Evaporación.....	102
5.1.3 Temperatura.....	103
5.1.4 Radiación media.....	104
5.1.5 Nubosidad media.....	104
5.1.6 Insolación.....	104
5.1.7 Velocidad del viento.....	105
5.2 Caracterización textural de los suelos presentes en el área de estudio.....	105
5.2.1 Distribución granulométrica de los suelos.....	106
5.2.2 Análisis morfosκόpico de las muestras.....	109
5.3 Características hidrológicas e hidráulicas del río La Canoa.....	110
5.3.1 Caudal de diseño.....	111
5.3.2 Estimación de la velocidad y nivel del flujo.....	113
5.4 Características geomorfológicas del río La Canoa.....	120
5.4.1 Parámetros morfométricos de la cuenca del río La Canoa.....	121
5.4.1.1 Línea divisoria.....	121
5.4.1.2 Área de la cuenca.....	123
5.4.1.3 Perímetro de la cuenca.....	123
5.4.1.4 Longitud del cauce.....	123
5.4.1.5 Longitud axial.....	123
5.4.1.6 Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Kc).....	123
5.5 Erosión del lecho en la pila de fundación del puente sobre el río La Canoa.....	124
5.5.1 Socavación al pie de la pila cilíndrica del futuro puente.....	125
5.5.1.1 Método de Laursen y Toch (1953 – 1956).....	126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
Conclusiones.....	129
Recomendaciones.....	130
REFERENCIAS.....	131

LISTA DE FIGURAS

		Páginas
2.1	Mapa del estado Anzoátegui (Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”, 2010).....	7
2.2	Vegetación del río La Canoa en el tramo medio (Brines y Sambrano, 2019).....	9
2.3	Potencialidades petrolíferas en Venezuela.....	11
2.4	Extensión geográfica de la Formación Mesa (PDVSA, 2000).....	14
3.1	Forma de la cuenca en relación al coeficiente de compacidad K_c (FAO, 1997).....	31
3.2	Criterio erosión – depositación para partículas uniformes (Hjulstrom, F 1935 en Yang, C. 1996).....	37
3.3	Coefficiente K_f , Método de Laursen y Toch (Fuente: Juárez y Rico, 1992).....	39
3.4	Coefficiente K_g , Método Laursen y Toch. (Juárez y Rico, 1992).....	40
3.5	Coefficiente K_ϕ . Método de Laursen y Toch (Juárez y Rico, 1992)...	41
3.6	Cálculo de la socavación local en un pilar rectangular (Maza Álvarez, 1987).....	44
3.7	Cálculo de la socavación local para un pilar circular (Maza Álvarez, 1987).....	45
3.8	Cálculo de la socavación local en una pila elongada (Maza Álvarez, 1987).....	46
3.9	Coefficiente K_f (Falcón, 1990).....	49
3.10	Coefficiente K_v (Falcón, 1990).....	49
3.11	Coefficiente K_h (Falcón, 1990).....	50
3.12	Carta de plasticidad. (Norma ASTM, 2003).....	60
4.1	Flujograma de trabajo (Brines y Sambrano, 2019).....	77
4.2	Tratamiento de muestra (Brines y Sambrano, 2019).....	80
5.1	Clasificación climática del área de estudio según Koppen, W.,1936 (Venemia.com).....	81
5.2	Promedio de precipitación mensual Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 2002. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019)	83
5.3	Promedio de evaporación mensual. Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 1976. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019)	84
5.4	Promedio de temperatura media mensual. Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 1975. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).	85
5.5	Promedio de radiación media mensual. Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 1976. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019)..	86
5.6	Promedio de nubosidad media mensual. Estación meteorológica La	

	Viuda. Período 1971 – 1975. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).	87
5.7	Promedio de insolación media mensual. Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 1976. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).	88
5.8	Promedio de velocidad del viento mensual. Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 1976. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).	89
5.9	Curva granulométrica de la muestra M3I (Brines y Sambrano, 2019)	90
5.10	Curva granulométrica de la muestra M3C (Brines y Sambrano, 2019)	91
5.11	Curva granulométrica de la muestra M3D (Brines y Sambrano, 2019)	91
5.12	Curva granulométrica de la muestra M4I (Brines y Sambrano, 2019)	92
5.13	Curva granulométrica de la muestra M4C (Brines y Sambrano, 2019)	92
5.14	Curva granulométrica de la muestra M4D (Brines y Sambrano, 2019)	93
5.15	Distribución porcentual de las formas de las partículas en cada muestra (Brines y Sambrano, 2019).....	94
5.16	Curvas IDF para la estación La Viuda (Gutiérrez y Macías, 2015)....	96
5.17	Sección transversal 10.0 (Brines y Sambrano, 2019).....	98
5.18	Sección transversal 9.0 (Brines y Sambrano, 2019).....	98
5.19	Sección transversal 8.0 (Brines y Sambrano, 2019).....	99
5.20	Sección transversal 7.0 (Brines y Sambrano, 2019).....	99
5.21	Sección transversal 6.0 (Brines y Sambrano, 2019).....	100
5.22	Sección transversal 5.0 (Brines y Sambrano, 2019).....	100
5.23	Sección transversal 4.0 (Brines y Sambrano, 2019).....	101
5.24	Sección transversal 3.0 (Brines y Sambrano, 2019).....	101
5.25	Sección transversal 2.0 (Brines y Sambrano, 2019).....	102
5.26	Sección transversal 1.0 (Brines y Sambrano, 2019).....	102
5.27	Relieve de las riberas del río La Canoa (Brines y Sambrano, 2019)..	104
5.28	Parte de las hojas cartográficas 7441 y 7442 que comprenden la cuenca del río la Canoa (modificado de Brines y Sambrano, 2019).	105
5.29	Evidencias de erosión en riberas del río La Canoa (Brines y Sambrano, 2019).....	107
5.30	Socavación de ribera del río La Canoa (Brines y Sambrano, 2019).	108

LISTA DE TABLAS

		Páginas
3.1	Factor de corrección f_c . Método de Maza-Sánchez (Maza Álvarez, 1987).....	42
3.2	Factor de corrección k_f . (Maza Álvarez, 1987).....	48
3.3	Factor K_1	51
3.4	Factor K_2	51
3.5	Valores de la expresión $(N/25)^0, 12$ para el cálculo del límite líquido, utilizando una sola observación.....	67
5.1	Distribución de forma de las partículas en cada muestra (Brines y Sambrano, 2019).....	93
5.2	Coefficientes de escorrentía según Benitez (1980).....	95
5.3	Estimación del coeficiente de escurrimiento ponderado (Brines y Sambrano, 2019).....	96
5.4	Parámetros Hidráulicos del tramo en estudio del río La Canoa (Brines y Sambrano, 2019).....	103
5.5	Estimación de la socavación local en la pila circular según el método de Laursen – Toch (Brines y Sambrano, 2019).....	109
5.6	Estimación de la socavación local en la pila cilíndrica según Maza - Sánchez (Brines y Sambrano, 2019).....	110
5.7	Estimación de la socavación local en la pila cilíndrica según Froehlich (Brines y Sambrano, 2019).....	111
5.8	Resumen de estimaciones de socavación local en pila circular (Brines y Sambrano, 2019).....	111

LISTA DE APÉNDICES

	Páginas
APÉNDICE A	120
TABLAS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS	120
A.1 Análisis granulométrico de la muestra M3I (Brines y Sambrano, 2019).....	121
A.2 Análisis granulométrico de la muestra M3C (Brines y Sambrano, 2019).....	121
A.3 Análisis granulométrico de la muestra M3D (Brines y Sambrano, 2019).....	122
A.4 Análisis granulométrico de la muestra M4I (Brines y Sambrano, 2019).....	122
A.5 Análisis granulométrico de la muestra M4C (Brines y Sambrano, 2019).....	123
A.6 Análisis granulométrico de la muestra M4D (Brines y Sambrano, 2019).....	123

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1/1

PLANO TOPO-BATIMETRICO DE UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO LA CANOA, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI
--

INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se encuentra en el estado Anzoátegui la cual podemos describir hidrográficamente, por poseer dos vertientes que riegan al estado, estas son: la atlántica y la del mar caribe, ambas tienen afluentes que surten de agua al territorio, como son el Unare y el Neverí (en la vertiente del Mar Caribe) y el Zuata y el Cabrutica (en la vertiente Atlántica). Los ríos principales son Amana, Caris, Guanipa, Güere, Morichal Largo, Neverí, Pao, Tigre, Unare, Zuata, y un sector del bajo Orinoco al sur del estado.

El área de estudio está ubicada en la población La Canoa del municipio Independencia, en este trabajo de investigación se estudió un tramo de la cuenca media del río La Canoa con la finalidad de analizar geotécnicamente y geomorfológicamente el área de estudio, con propósitos ingenieriles tales como el diseño de fundaciones y estribos de un puente. Este tipo de construcciones se hacen necesarias cuando el crecimiento de la población se convierte en un parámetro vital para su desarrollo económico. La población de La Canoa se caracteriza por ser agricultora. También hay que destacar que el municipio Independencia forma parte de la faja petrolífera del Orinoco, este municipio tiene el 42 % de la extensión total de dicha faja.

El presente documento se encuentra estructurado en cinco (5) capítulos:

Capítulo I. Situación a investigar: en esta fase de investigación se exponen los argumentos que sustenta el planteamiento del problema central de este estudio. Así mismo, se definen tanto el objetivo general como los objetivos específicos que orientaron el desarrollo del trabajo, el alcance y justificación del mismo.

Capítulo II. Generalidades: en este capítulo se describen las características que posee el río La Canoa, también se mencionan la ubicación geográfica y acceso al área de estudio.

Capítulo III. Marco teórico: se describen los antecedentes y una serie de elementos conceptuales relacionados con el tema de la presente investigación que sirven de base al desarrollo de la misma.

Capítulo IV. Metodología de trabajo: se explica la forma en que se desarrolló el estudio para poder dar respuesta al problema planteado, haciendo referencia al tipo y diseño de la investigación, población, muestra y finalmente se describe la metodología utilizada para ejecutar cada uno de los objetivos de esta investigación.

Capítulo V. Análisis e interpretación de los resultados: en esta parte de la investigación se procesan los datos y se dan a conocer los resultados, los cual les sirvieron como información necesaria para conocer la geología, morfología, climatología y la hidrología del área en estudio.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones y referencias, producto de la investigación, de los apéndices y anexos que amplían aún más la información de la presente investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

El proceso de formación de los cauces es parte de un ciclo geomorfológico accionado permanentemente por las características del entorno (geología, geotecnia, hidráulica, hidrología, mecánica de transporte, erosión y depositación de sedimentos, entre otras) que a su vez condicionan la dinámica de la corriente haciendo que los cauces tomen formas que son la respuesta a leyes físicas que gobiernan la mecánica del transporte de agua y sedimentos.

En muchos sistemas fluviales se han operado modificaciones considerables por lo que son pocos los grandes ríos que conservan todas sus características originales, el número de ríos de embalse, en forma de corrientes reguladas, aumenta constantemente en todo el mundo por obra de las intervenciones en los sistemas acuáticos con objeto de controlar el flujo del río.

El río La Canoa forma parte de la hidrografía del municipio Independencia, estado Anzoátegui, abarca un área ubicada al Sur del estado, aproximadamente a 65 km de la población de Soledad. Las aguas del mencionado río drenan al río Caris y estas a su vez drenan en el río Orinoco.

Debido a que no se han realizado estudios a profundidad del área se desconoce su régimen de ascenso y descenso de aguas, así como la velocidad de flujo y las condiciones geológicas que predominan en el área, existe escasez de información referente a: la geología, geomorfología e hidrología del área de estudio, exceptuando su climatología ya que se encuentra reflejada en los registros meteorológicos

obtenidos de la base de datos del Servicio Meteorológico de Ciudad Bolívar el cual cubre un área de extensión con un radio de 100 km, en lo concerniente a la geología, geomorfología e hidrología del sitio se toman como referencias investigaciones realizadas en las cercanías de la población de La Canoa.

La investigación se basará en realizar un estudio desde el punto de vista hidrológico, geotécnico y geológico de la cuenca media del río La Canoa, tomando en cuenta parámetros tales como: características texturales de las áreas drenadas, régimen de ascenso y descenso de las aguas del mencionado río, caudales y velocidades de flujo dominantes, entre otros, todo ello con el propósito de interpretar el entorno del río La Canoa, más específicamente en el sitio de ubicación de un puente vehicular metálico que se prevé construir sobre el citado río. Asimismo, todos estos estudios preliminares tienen como finalidad conocer los aspectos que inciden en la socavación o erosión que sufriría la pila cilíndrica central de fundación del citado puente.

Vista la problemática planteada cabe formular las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuáles son las características climatológicas que imperan en la cuenca media del río La Canoa?

¿Cómo es la geomorfología de la cuenca media del río La Canoa?

¿Cuáles son las características geológicas del área ocupada por la cuenca media del río La Canoa?

¿Cuáles son las características hidrológicas del río La Canoa en el área de estudio?

¿Cuál sería la magnitud de la socavación que se produciría en el cauce en torno a una pila cilíndrica central para el puente sobre el río la Canoa?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Analizar la erosión del lecho en el sitio de fundación de la pila cilíndrica central de un puente en el tramo medio del río La Canoa en la población de La Canoa, municipio Independencia, estado Anzoátegui, Venezuela

1.2.2 Objetivos específicos

1. Describir las características físico natural en el tramo medio del río La Canoa.
2. Caracterizar geotécnicamente los suelos presentes en el área de estudio.
3. Determinar las características hidrológicas del río La Canoa en el área de estudio.
5. Caracterizar geomorfológicamente el tramo medio del río La Canoa en el área de estudio.
6. Determinar la erosión del lecho en la pila de fundación del puente sobre el río La Canoa en el sitio de construcción del puente.

1.3 Justificación de la investigación

La investigación en el área de estudio tiene como finalidad determinar las características geomorfológicas, hidrológicas y geotécnicas en el tramo medio del río La Canoa, para la evaluación de la fundación de la pila cilíndrica central de un puente vehicular ubicado sobre el citado río.

La realización de este proyecto permitirá a los habitantes de la población La Canoa y poblaciones aledañas un mejor acceso al lugar, ya que muchos lugareños y visitantes tiene que atravesar el río La Canoa con sus vehículos para lograr el acceso a sus residencias o a las zonas agrícolas ubicadas al norte de esta corriente fluvial.

Por tal motivo, es necesario realizar los estudios preliminares tendentes a la definición adecuada de la fundación de la pila cilíndrica central que tendrá el mencionado río.

1.4 Alcance de la investigación

Este trabajo de investigación permitirá conocer hidráulica, geomorfológica y geotécnicamente un tramo de la cuenca media del río La Canoa en el sitio de ubicación de un puente vehicular, también se determinará la erosión en las fundaciones de la pila central cilíndrica prevista como soporte auxiliar a los estribos del puente.

1.5 Limitaciones de la investigación

Para el momento del desarrollo de la presente investigación no se detectaron inconvenientes u obstáculos importantes que imposibilitarán el desarrollo cabal de la presente investigación.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El río La Canoa forma parte de la hidrografía del municipio Independencia ubicado al Sureste del estado Anzoátegui, y atraviesa a la población La Canoa, sector Carapa, parroquia Mamo. El municipio Independencia limita al Norte con el municipio San José de Guanipa y con el municipio Pedro María Freites, limita con el río Orinoco al sur y al este limita con el estado Monagas, al Oeste limita con el municipio Francisco de Miranda (figura 2.1).

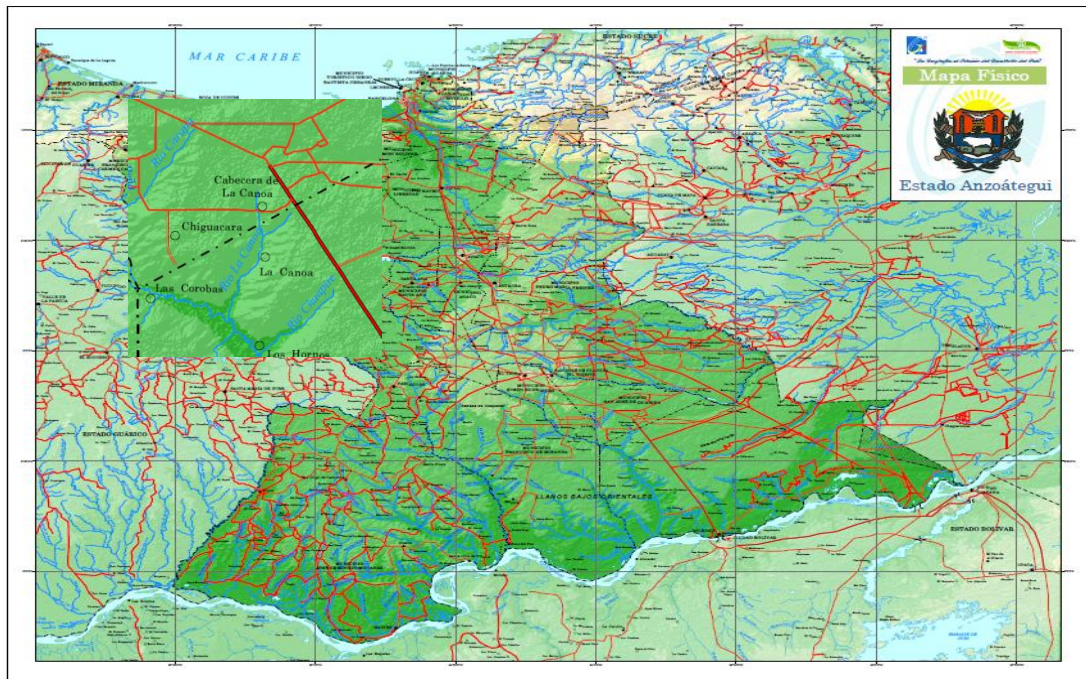


Figura 2.1 Mapa del estado Anzoátegui (Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”, 2010).

2.2 Características fisiográficas e hidrográficas del río La Canoa

El río La Canoa se extiende en dirección Sur-Este, con coordenadas 8°32'37" Latitud N y 63°54'9" Longitud W, hasta desembocar en el río Caris, Los factores de drenajes son de tipo dendríticos sub- paralelos que aportan agua al cauce principal (río caris)La red de drenaje del río La Canoa se encuentra enmarcada dentro de la Formación Mesa.

Las características físicas de la cuenca dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), tipo de suelos, la capa vegetal, la geología y las prácticas agrícolas entre otras. Estos factores físicos e hidrológicos proporciona la más conveniente posibilidad de conocer la variación en los espacios de los elementos del régimen hidrológico.

2.3 Acceso al área de estudio

Las principales vías de acceso del río la Canoa es: por tierra, a través de carreteras, vías asfaltadas y trillas.

El acceso al río se realizó a través de la vía Ciudad Bolívar - El Tigre, tomando como punto de partida la población de Ciudad Bolívar, estado Bolívar, recorriendo 55 Km en dirección sur a norte, se toma una vía asfaltada con dirección hacia el oeste, ubicada entre las estaciones de combustible “Km 60” y “La Viuda”, se recorre por esta vía unos 20 Km y se llega a la población de La Canoa.

2.4 Características físico naturales

2.4.1 Vegetación

La vegetación se presenta en forma de sabana, matorral subtropical y bosque de galería. El matorral subtropical se caracteriza por presentar de dos a tres estratos: arbóreo, arbustivo y herbáceo, este tipo de vegetación se observa en su mayoría a la rivera del margen derecho del río (figura 2.2). Entre las especies que se encuentran tenemos: indica, manteco, merey, alcornoque y chaparro. El suelo posee una cobertura vegetal en forma de pastizal herbáceo, hay que destacar que la vegetación también ha sufrido alteraciones antrópicas debido a la presencia de caseríos cercana del área de estudio.



Figura 2.2 Vegetación del río La Canoa en el tramo medio (Brines y Sambrano, 2019).

De acuerdo con un estudio reciente la cobertura vegetal que se desarrolla en el área, está representada por cuatro tipos de vegetación entre ellas se encuentran las siguientes:

1. Sabanas: los atributos de esta formación dependen de la variabilidad ambiental sobre la cual se desarrolla, lo que condiciona sus características estructurales y funcionales, tales como: marcada estacionalidad de la precipitación, suelos predominantemente arenosos, de drenaje excesivo, baja fertilidad natural y poca disponibilidad de almacenamiento hídrico e incendios forestales (Chaparrales) (Mosquera y Parravano, 2005).

2. Matorral: tipo de vegetación que interrumpe la continuidad de la sabana, originada por perturbaciones naturales y antrópicas; específicamente, por la presión que ejercen los centros poblados sobre las comunidades vegetales para desarrollar actividades pecuarias y agrícolas, las cuales una vez abandonadas permiten la formación de comunidades vegetales secundarias (Mosquera y Parravano, 2005).

3. Bosque de galería: tipo de vegetación predominante del paisaje de valle que ocupa la franja paralela a lo largo de los diferentes ríos, donde se presenta un hábitat con un régimen hídrico especial (Mosquera y Parravano, 2005).

4. Plantaciones forestales: las plantaciones forestales establecidas están constituidas por la especie *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, especie muy adaptable a las condiciones ecológicas presentes en el área, ya que son poco exigentes en cuanto a fertilidad del suelo y resistentes a condiciones climáticas muy variadas (Mosquera y Parravano, 2005).

2.5 Características geológicas

2.5.1 Geología regional

La Cuenca Oriental de Venezuela está localizada en la zona Centro-Este de Venezuela, formando una depresión topográfica y estructural. Esta depresión tiene una longitud aproximada de 800Km., en sentido Oeste-Este, una anchura promedio de 200Km. de Norte a Sur y un área total aproximada de 160000 Km², entre los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro (González de Juana et al,1980).

La evolución de esta cuenca es relativamente simple por haber estado desde el Paleozoico apoyada sobre el borde estable del Cratón de Guayana. Suaves movimientos de levantamiento y hundimiento de este borde ocasionaron transgresiones y regresiones externas, que fueron de gran importancia para la formación final de la cuenca (figura 2.3) (Tiapia, Y., 2004).



Figura 2.3 Potencialidades petrolíferas en Venezuela.

Estructuralmente, la Cuenca Oriental de Venezuela es una gran depresión donde la transgresión marina del Terciario invadió al oriente del país dejando una espesa secuencia sedimentaria, la misma se encuentra representada por las areniscas y lutitas de la Formación Freites, Oficina y Merecure la cual descansa discordantemente sobre los sedimentos del Cretáceo (Grupo Temblador) (Tiapia, Y., 2004).

Topográficamente se caracteriza por extensas llanuras y un área de mesas que comprende los Estados Anzoátegui y Monagas. Su superficie abarca 164.000 Km² y 20.000 pies de sedimentos paleozoicos, cretácicos y terciarios entre cadenas montañosas situadas al norte del Escudo de Guayana como límite sur. La cuenca actual es asimétrica, con el flanco sur inclinado ligeramente hacia el norte, y un flanco norte más tectonizado y con mayores buzamientos, conectados a la zona plegada y fallada que constituye el flanco meridional de las cordilleras que limitan la cuenca hacia el norte. Toda la cuenca se inclina hacia el este, de manera que su parte más profunda se encuentra al noreste, hacia Trinidad, donde se estima que pudieron acumularse unos 40.000 pies de sedimentos. Basándose en sus características sedimentológicas, tectónicas y estratigráficas se subdivide en tres subcuencas, a saber: Subcuenca de Guárico, Subcuenca de Maturín y Subcuenca de Paria

2.5.2 Geología local

2.5.2.1 Formación Mesa

Este término fue introducido en 1944 por Hedberg y Pire, para señalar la formación que cubre las extensas Mesas fisiográficas características en la parte oriental de la Cuenca de Venezuela Oriental de edad Plio – Pleistoceno. Esta Formación se encuentra acuñándose en el Escudo de Guayana (González de Juana et al, 1980). La Formación Mesa es una secuencia de gravas y arenas con algunos niveles de planicie de inundación.

La Formación Mesa se extiende por los llanos centro-orientales y orientales (estados Guárico, Anzoátegui, Monagas)(figura 2.3). Se encuentran algunos afloramientos en los estados Sucre y Bolívar, inmediatamente al sur del río Orinoco. La Formación Mesa suprayace en contacto concordante y transicional, a la Formación Las Piedras (Plioceno). En la sección de río Cristalino, río La Palencia, río del Medio, Caripito y Las Parcelas se encuentra discordante sobre las formaciones Querecual, San Antonio y San Juan (PDVSA, 1997).

Según González, (1946), la Formación Mesa es producto de una sedimentación fluvio-deltáica y paludal, resultado de un extenso delta que avanzaba hacia el este en la misma forma que avanza hoy el delta del río Orinoco. El mayor relieve de las cordilleras septentrionales desarrolló abanicos aluviales que aportaban a la sedimentación clásticos de grano más grueso, mientras que desde el sur el aporte principal era de arenas. En la zona central, postuló la existencia de cienagas. Coplanarh (1974) considera que los sedimentos de la formación representan depósitos torrenciales y aluviales, contemporáneos con un levantamiento de la Serranía del Interior(PDVSA, 1997).

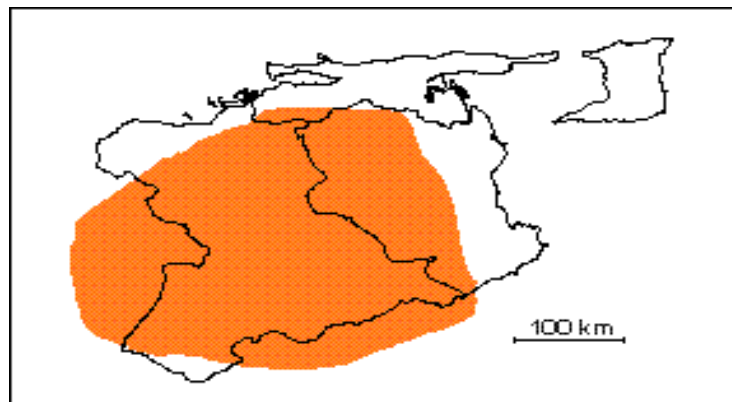


Figura 2.4 Extensión geográfica de la Formación Mesa (PDVSA, 2000).

La litología de la formación Mesa en los límites norte y sur de la Mesa de Guanipa (González, 1946), consiste de arenas de grano grueso y gravas, con cemento ferruginoso cementadas y muy duras; conglomerado rojo a casi negro, arenas blanco-amarillentas, rojo y púrpura, con estratificación cruzada; además contiene lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita. En la Mesa de Tonoro se observan capas lenticulares de conglomerado, arenas, y algunas arcillas. Al noroeste de Santa Rosa existe una capa lenticular de conglomerado, de más de 25 m de espesor, con delgadas intercalaciones de arenas. [<http://www.pdv.com>]

En los llanos centro-orientales, la formación, está constituida por arenas no compactadas. Los sedimentos de la Formación Mesa, gradan de norte a sur, de más gruesos a más finos al alejarse de las cadenas montañosas del norte; desde la parte central de Monagas al macizo de Guyana, gradan de más finos a más gruesos.(PDVSA,2000)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

De acuerdo a la información recopilada para la realización de este trabajo, no se encontró referencia de investigaciones previas en el área de estudio relacionadas con el problema planteado en la investigación.

Por lo tanto a través de referencias bibliográficas, páginas web y textos se obtuvo información sobre la geología regional y características físico naturales.

MacabrilMaría y SerranoAura (2010). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ALTA A MEDIA DEL RIO SAN RAFAEL CON FINES DE ORDENAMIENTO URBANÍSTICO Y MEJORAS. MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR**, el cual tiene como objetivo interpretar la geomorfología presente y las características geotécnicas de los suelos pertenecientes a la cuenca en estudio, para diagnosticar la problemática actual de la cuenca alta y media del río San Rafael, con el fin de proponer un plan de desarrollo urbano local que permita evitar las construcciones de viviendas a lo largo de la cuenca alta y media del río San Rafael, este trabajo se toma como guía de tipo metodológico para el trabajo de investigación tratado en la presente investigación.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Características geomorfológicas

La geomorfología resulta de la interacción entre los materiales de corteza terrestre, su dinámica interna y sus procesos externos relacionados principalmente con el clima y agua de escorrentía (Betancourt, C. y Guevara, Z. 1998).

3.2.1.1 Geomorfología fluvial

La morfología de ríos estudia la estructura y forma de los ríos, incluyendo la configuración del cauce en planta, las características del perfil a lo largo del cauce, la geometría de las secciones transversales y la forma del fondo.

El proceso de formación de los cauces es parte de un ciclo geomorfológico accionado permanentemente por las características del entorno (geología, geotecnia, suelos, hidráulica, hidrología, capacidad de transporte, antrópico), que a su vez condicionan la dinámica de la corriente haciendo que los cauces tomen formas que son la respuesta a leyes físicas que gobiernan la mecánica del transporte de agua y sedimentos. El río como un sistema altamente inestable, permanentemente deposita y agrada algunas zonas del lecho y las orillas.

En esencia, las teorías para ríos se han desarrollado para casos idealizados ya sean de campo o de laboratorio; usualmente correspondientes a canales rectos con secciones transversales bastante homogéneas, en los cuales se supone que el gasto es casi constante y se mantiene por grandes períodos, lo cual dista bastante de ser el caso en situaciones reales. Por lo anterior, en esta parte del texto se presenta un estudio general de aquellos aspectos que están relacionados con la forma y características de

un río a lo largo de su recorrido, empezando con un enfoque macro a nivel de los procesos geológicos, para continuar con el paisaje fluvial incluyendo la cuenca y el valle, para llegar a las particularidades de la forma de los cauces y su clasificación (UNICAUCA. 2015).

3.2.1.2 Lecho fluvial

Dependiendo del sustrato en el que se desarrolla, el cauce de un río genera formas de artesa que contienen las aguas de escurrimiento. Estas formas reciben el nombre de lecho fluvial.

Cuando el río está en período de estiaje, el agua solo escurre por el lecho menor, encausado en el canal de estiaje. En cambio en los períodos de crecida, el agua inunda el lecho mayor. En períodos extraordinarios de grandes avenidas, el río ocupa el lecho mayor excepcional.

De acuerdo a su patrón de escurrimiento, los ríos pueden tener lechos con canales con meandros, lechos con canales anastomosados, o bien, lechos rectilíneos. En los ríos meandriformes el canal es sinuoso y circular sobre un valle amplio relleno de aluviones o llanuras de inundación. En los ríos anastomosados los cauces son muy anchos y el flujo se ramifica entre bancos alargados de aluviones. El desarrollo de ríos anastomosados o meandriformes depende fundamentalmente de la pendiente y el caudal. Así, caudales y/o pendientes más elevadas favorecen la formación de ríos anastomosados. (UNICAUCA. 2015).

3.2.1.3 Formas del lecho en cauces fluviales

Las formas del lecho se definen como todas las irregularidades más grandes que el tamaño mayor de las partículas que conforman el lecho de los canales aluviales y

ofrecen la mayor resistencia al flujo que caracteriza estos canales (UNICAUCA. 2015).

La forma del cauce depende principalmente del material que compone el lecho, la intensidad de los procesos erosivos y está ligada a la frecuencia de las crecientes. También se debe al balance de la fuerza del agua y la resistencia del lecho y de los materiales de la bancas(UNICAUCA. 2015).

- **Lechos planos y sin transporte:** la resistencia al flujo anterior al inicio del movimiento de sedimentos es equivalente a la situación de un cauce en lecho fijo. La resistencia al flujo depende básicamente de la rugosidad del lecho los valores del coeficiente n de Manning varía entre 0.012 y entre 0.014 dependiendo del tamaño de la arena. Después que se inicia el movimiento, un lecho plano puede presentar rizos para arenas menores de 0.5 mm o dunas para arenas de tamaños mayores.

- **Rizos:** son ondulaciones triangulares con una pendiente suave en la cara de aguas arriba, y la pendiente natural del material en la cara de aguas abajo. La longitud varía entre 0.4 pies (12 cm) y 2 pies (60 cm), y la altura de 0.02 pies (0.6 cm) y 0.2 pies (6 cm). Su distribución en el lecho es irregular. Se forman si el tamaño del sedimento es menor que 0.5 cm. Las partículas se transportan principalmente en el fondo del lecho. Los rizos causan mínima alteración en la superficie del agua(UNICAUCA. 2015).

- **Lecho plano con transporte:** si el número de Froude sigue aumentando, la dunas tienden a desaparecer y condiciones de lechos planos se pueden volver a presentar, provocando una disminución de la rugosidad del lecho. En este caso, en coeficiente de rugosidad de Manning varía entre 0.010 y 0,013. Un lecho con dunas puede cambiar directamente a uno con ondas estacionarias sin necesariamente implicar la formación del lecho plana (UNICAUCA. 2015).

- **Onda estacionaria:** el lecho adopta aproximadamente una forma sinusoidal, aunque las partículas se muevan aguas abajo, las ondulaciones pueden permanecer en el sitio o también pueden moverse. Las ondas estacionarias mantienen su forma durante algún tiempo. El coeficiente de rugosidad de Manning varía entre 0.011 y 0.016(UNICAUCA. 2015).

- **Dunas:** son ondulaciones mayores que los rizos con pendientes más suave aguas arriba y ángulos de reposo aguas abajo. La longitud de las dunas varía entre 0,6 m a varios metros. Se presentan cuando el esfuerzo constante aumenta para causar movimientos de partículas pero con números de froude menores que uno. Su distribución el lecho y su altura son bastantes irregulares. El coeficiente de rugosidad de Manning varía entre 0.18 y 0.40(UNICAUCA. 2015).]

- **Antidunas:** al igual que las ondas estacionarias, las antidunas adoptan aproximadamente una forma de tren de ondas en el lecho del cauce que se manifiesta también en la superficie del agua. Aunque las partículas se mueven aguas abajo, las ondulaciones pueden permanecer en el sitio o también puede moverse. Las antidunas siguen un proceso de formación cíclico que demora de 0.5 a 2 min. Ellas crecen al moverse aguas arriba, luego se destruyen y después son lavadas por el flujo para después empezar otra vez el ciclo. El coeficiente de rugosidad varía entre 0.12 y 0.20 (UNICAUCA. 2015).

- **Rápidos y pozos:** los cauces naturales pueden presentar caídas y pozos cuando las pendientes del cauce son muy altas. Los coeficientes n de Manning son altos con valores aproximadamente de 0,35 (UNICAUCA. 2015).

- **Barras:** las barras son formaciones que pueden tener longitud igual al ancho del cauce y alturas comparables a la profundidad media del agua. Varias clases de barras se distinguen: barras formadas en la parte interna de las curvas de un cauce; barras alternadas que se presentan en tramos rectilíneos del cauce; barras transversales que ocupan prácticamente todo el ancho del cauce; barras aguas abajo de confluencias de dos causes. Las islas se diferencian de las barras transversales porque tienen vegetación (UNICAUCA, 2015).

3.2.1.4 Terraza de los ríos

Las terrazas de los ríos son superficies topográficas planas que indican niveles anteriores de los pisos de los valles. Principalmente son vestigios de llanuras aluviales antiguas. Se distinguen dos tipos de terrazas: de erosión y aluviales (Moreno, C., 1992).

- **Terrazas de erosión:** son aquellas que tienen poca aluvión. La terraza en sí se forma mediante la acción erosiva del fondo plano del valle por debajo del techo del valle anterior. Estas terrazas pueden estar cubiertas por una capa delgada de aluvión que, por lo general, es poco visible. No se debe confundir con las terrazas estructurales, ya que el declive de éstas, está determinado por la inclinación de la roca, mientras que las terrazas de erosión reflejan el perfil longitudinal del río que anteriormente fluía por encima de ella (Moreno, C., 1992).

- **Terrazas aluviales:** son aquellas que constan de grava, arena y aluvión más fino. Estas terrazas son el producto de varias etapas de erosión a lo largo de los valles de los ríos, y reflejan los periodos de rejuvenecimiento que las han afectados. Se distinguen dos tipos de terrazas aluviales (Moreno, C., 1992).

- **Terrazas cíclicas:** son aquellas cuyos remanentes, en ambos del valle, están en pares o se corresponden en altitud a lo largo de un tramo particular del valle. Esta significa que no hubo profundización continua junto con la erosión lateral, sino que la excavación del valle cesó por un tiempo, lo cual permitió a la erosión lateral formar un fondo plano de valle amplio en el crear ciclos de erosión relacionados con un ascenso intermitente o pueden representar alternancia entre periodos de agradación y degradación relacionados con cambios estáticos. La distancia vertical a la que una terraza está por encima o por debajo de la llanura aluvial actual, representan la cantidad de profundización del valle del rejuvenecimiento (Moreno, C., 1992).

- **Terrazas no cíclicas:** son terrazas impares, es decir, que se presentan en un solo lado del valle y que denotan una excavación continua, acompañada de erosión lateral. Este fenómeno se presenta cuando un río se desplaza por el valle de un lado a otro, lo que origina un descenso o topografía irregular y deja terrazas de altitud diferentes en los castados opuestos del valle (Moreno, C., 1992).

3.2.2 Erosión en río

Todas las secciones y tramos de los ríos pueden estar sujetos, en mayor o menor grado a proceso de erosión, sedimentación o bien en equilibrio[<http://www.fic.umich.mx>].

3.2.2.1 Clasificación de los ríos según la erosión

- a. Está en equilibrio sino varía el perfil medio del fondo y de las márgenes.
- b. Existe erosión si el nivel del fondo desciende o al menos una de las márgenes se desplaza hacia tierra.

c. Hay sedimentación si el perfil del fondo se eleva o al menos unas de las márgenes se desplaza hacia dentro del río
[<http://www.fic.umich.mx>].

3.2.2.2 Tipos de erosión

Erosiones que pueden ocurrir en los cauces tanto en forma natural como por la presencia de las obras que el hombre construye dentro del río, entre las cuales tenemos:

- **General:** consiste en el descenso generalizado del fondo debido a una mayor capacidad de arrastrar y transportar en suspensión el material del fondo durante una avenida. La erosión en un tramo ocurrirá siempre que en la sección de aguas abajo el volumen de material transportado sea mayor que en la sección de aguas arriba

- **Transversal:** por reducción del ancho del río debido a factores humanos o naturales.

- **En curvas:** consiste en el incremento de la profundidad del fondo en la zona cercana a la orilla exterior.

- **Localen obras radiadas por la corriente** (pilas de puente, compuertas etc.).

- **Local en obras unidas a la margen** (estribos de puente).

- **Aguas debajo de presas.**

- **Aguas arribas de cortes de meandros y rectificaciones**

(FIC,2018)

3.2.3 Transporte de sedimentos

La lluvia cuando cae sobre el suelo ejerce una fuerza sobre las partículas de éste capaz de removerlas de sus posiciones hacia otros lugares, en general, a niveles más bajos. Esa acción erosiva de las lluvias lleva anualmente millones de toneladas de suelos a los ríos de todo el mundo (Santiago, J., 2003).

Por otro lado, las corrientes también ejercen una acción erosiva en sus canales. Partículas del lecho, arrancadas de éste, pasan a ser transportadas en suspensión en la corriente por la acción de las componentes verticales en regímenes turbulentos(Santiago, J., 2003).

La acción de la gravedad hace que la mayor concentración de partículas este junto al fondo. Así, es común distinguir dos tipos de transporte de sedimentos: uno en suspensión y otro junto al fondo. No existeun límite bien definido entre esos dos tipos de transporte de sedimentos (Santiago, J., 2003).

3.2.3.1 Característicasgeotécnicas de los sedimentos

Los depósitos sedimentarios se forman por la acción de los procesos geomorfológicos y climáticos, destacando el medio de transporte y la meteorización. Los distintos medios de sedimentación originan una serie de depósitos cuyas características están relacionadas con las condiciones de formación de estos sedimentos. Así, la clasificación de los materiales, granulometría, forma y tamaño, dependiendo del medio de transporte. Conociendo los factores geomorfológicos y

climáticos es posible prever la disposición y geometría del depósito, propiedades físicas y otros aspectos de interés en ingeniería geológica. Con estos objetivos se describen los siguientes tipos de depósitos, en función de sus relaciones geológicas-geotécnicas más características:

- a. Depósitos coluvionales.
- b. Depósitos aluviales.
- c. Depósitos lacustres.
- d. Depósitos litorales.
- e. Depósitos glaciales.
- f. Depósitos de climas áridos y desérticos.
- g. Depósitos evaporíticos.
- h. Depósitos de climas tropicales.
- i. Depósitos de origen volcánico.(González, L., 2002)

3.2.4 Estabilidad de taludes

Entendiéndose por estabilidad de taludes, algo tan simple como el poder decir en un instante dado cual será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén. Aquí radica la esencia del problema y la razón de su estudio. A diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material térreo por mover y,

por lo tanto, diferentes costos. Probablemente muchas de las dificultades asociadas a los problemas de estabilidad de taludes radican en que se involucra en tal denominación a demasiadas cosas diferentes, a veces radicalmente distintas (Rico y Del Castillo, 1984).

3.2.4.1 Análisis de estabilidad

Los análisis de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. Se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costes de ejecución, consecuencias o riesgos que podrían causar su rotura. Para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad a adoptar debe ser igual o superior a 1,5, e incluso 2,0, dependiendo de la seguridad exigida y de la confianza que se tenga en los datos geotécnicos que intervienen en los cálculos; para taludes temporales el factor de seguridad está en torno a 1,3, pero en ocasiones puede adoptar valores inferiores (González, L., 2002).

3.2.4.2 Método de equilibrio límite

Los métodos de equilibrio límite (los más utilizados) analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consiste en comparar las fuerzas tendentes al movimiento de las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura (González, L., 2002). Se basa en:

- a. La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.
- b. El criterio de rotura de Mohr-Coulomb

- c. La definición de coeficiente de seguridad.

Los problemas de estabilidad son estáticamente indeterminados, y para su resolución es preciso considerar una serie de hipótesis de partida diferentes según los métodos (González, L., 2002).

Asimismo, se asumen las siguientes condiciones:

- a. La superficie de rotura debe ser postulada con una geometría tal que permita que ocurra el deslizamiento, es decir, será una superficie cinemáticamente posible.

- b. La distribución de las fuerzas actuando en la superficie de rotura podrá ser computada utilizando datos conocidos (peso específico del material, presión de agua).

- c. La resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de todo el plano de rotura (González, L., 2002).

3.2.4.3 Ángulo de fricción interna

La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal "p" aplicada a dicho plano. Los valores de este ángulo llamada "ángulo de fricción interna" f , varían de prácticamente 0° para arcillas plásticas, cuya consistencia este próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo f para arenas es alrededor de 30° . Para arena mal gradada los valores del ángulo de fricción varían entre 30 y 35.

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física:

Coeficiente de rozamiento = $\tan \phi$

El ángulo de fricción depende de varios factores (Bilz, 1995) entre ellos algunos de los más importantes son:

- a. Tamaño de los granos
- b. Forma de los granos
- c. Distribución de los tamaños de granos
- d. Densidad[ocw.uis.edu.co]

3.2.5 Descripción y clasificación de suelos

Para estudiar un material complejo como el suelo (con diferente tamaño de partículas y composición química) es necesario seguir una metodología con definiciones y sistemas de evaluación de propiedades, de forma que se constituya un lenguaje fácilmente comprensible por los técnicos de diferentes especialidades y países. Así, se ha clasificado los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría (Normas D.I.N, A.S.T.M, A.E.N.O.R, etc.). (González, L., 2002)

3.2.5.1 Distribución granulométrica

Para conocer la proporción de cada material que tiene un suelo se realizan análisis granulométricos, utilizando la vía seca para partículas de tamaños superiores a 0,075 mm, y la granulometría por sedimentación mediante el hidrómetro (vía húmeda) para tamaños iguales o inferiores a 0,075 mm. Los primeros se llevan a cabo tomando una muestra representativa de suelo, sacándola y disgregando en seco el conjunto de partículas. A esta muestra se le hace pasar por un conjunto de tamices (cuyos tamaños suelen ir disminuyendo en progresión geométrica de razón 2) agitando el conjunto. Después se pasa lo retenido en cada tamiz, con lo que, conocido el paso inicial de la muestra, se determina el porcentaje de material, que pasa por un tamiz de diámetro .

Siendo P el peso total de la muestra y el peso retenido por el tamiz del diámetro D. el paso es el retenido por la base ciega que se pone debajo de la columna de tamices (Ecuación 3.4)(González, L., 2002).

$$C = \frac{P}{P} * 100 \quad P = (3.1)$$

3.2.5.2 Análisis granulométrico

Para analizar la granulometría de un lecho es necesario tamizar una muestra y pesar la fracción que pasa por cada tamiz, pero es retenido en el siguiente. Su representación gráfica puede realizarse de manera continua o discreta. En esta última, llamada curva granulométrica, puede verse representado d_n que es el tamaño tal que el n % del peso del material es menor que el. El valor más representativo de una muestra de un lecho es de d_{50} o mediana de la distribución de tamaños.

Las partículas menores de 0.004 mm se llaman arcillas. Entre 0,004 mm a 0,062 mm se llaman limos. Entre 0.062 mm a 2,0 mm se llaman arenas. Entre 2,0 mm y 64 mm se llaman gravas. Entre 64 mm a 25, 6 cm podrían llamarse cantos. A partir 25,6 cm se llaman bolos.

Normalmente, los lechos granulares están compuestos por una mezcla de distintos tamaños. La manera de cuantificar si los tamaños son muy diferentes entre ellos es mediante los cálculos de su desviación típica σ si sigma es > 3 se dice que una granulometría es extendida o que el material es bien graduado. Si sigma es < 3 se dice que una granulometría es uniforme o que el material es mal graduado. El comportamiento de uno y otro lecho es diferente, siendo el acorazamiento la propiedad más destacada de los primeros (González, L., 2002).

3.2.6 Características morfométricas de una cuenca

El comportamiento de los ríos refleja la interacción entre las precipitaciones y las características geomorfológicas de la cuenca. Una cuenca con mayor grado de permeabilidad producirá unos caudales picos menores que una cuenca en igualdad de condiciones pero con menor grado de permeabilidad, condiciones similares se presentan para una cuenca con mayor cobertura vegetal que una cuenca desforestada. Las características morfométricas de una cuenca dependen de la forma, del relieve, de la red de drenaje, del tipo de suelo, de la cobertura vegetal, y de las características geológicas de la zona (Arrieta, A., 2009).

3.2.6.1 Área de drenaje (A)

Es el área en planta de una cuenca contenida entre sus divisorias topográficas (proyección horizontal) (Arrieta, A., 2009).

3.2.6.2 Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (K_c)

Este índice propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. K_c se define entonces como la relación entre el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca (Ecuación 3.4) (FAO, 1997).

(3.2)

Dónde:

K_c =Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad

P= perímetro (km)

A= área de la cuenca (km²)

Cuando más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Para una cuenca perfectamente circular K_c será igual a uno (1) y cuanto más se aleje K_c de uno (1) más alargada será la cuenca (FAO, 1997).

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1997):

a. Clase K_c 1: Rango entre 1 y 1.25, corresponde a forma redondeada a oval redonda (FAO, 1997).

b. Clase K_c 2: Rango entre 1.25 y 1.5, corresponde a forma oval redonda a oval oblonga (FAO, 1997).

c. Clase Kc 3: Rango entre 1.5 y 1.75, corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga (figura 3.1) (FAO, 1997).

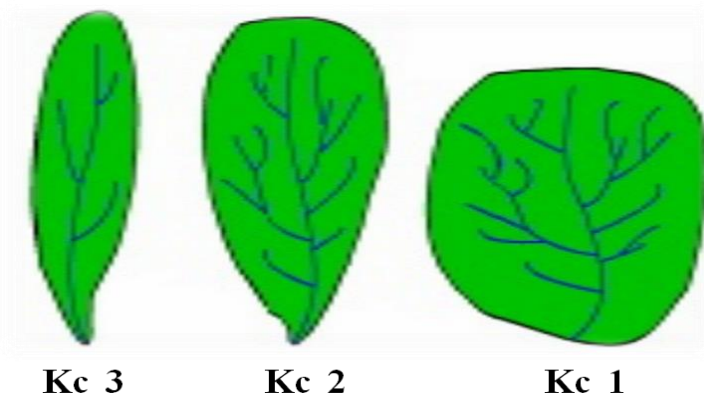


Figura 3.1 Forma de la cuenca en relación al coeficiente de compactación K_c (FAO, 1997).

3.2.6.3 Orden de las corrientes de agua

El orden de una corriente es el reflejo del grado de ramificación o bifurcación que presenta una cuenca u hoya, y se define como: Corrientes de primer orden: son aquellos pequeños canales que no tienen tributarios. Corrientes de segundo orden: se forma cuando se unen dos corrientes de primer orden. Corrientes de tercer orden: se forma cuando se unen dos corrientes de segundo orden. Corrientes de orden n : se forman cuando se unen dos corrientes de orden $n-1$ (Arrieta, A., 2009).

3.2.6.4 Densidad de Drenaje

Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total (Ecuación 3.5)

$$Dd=L/A \quad (3.3)$$

Dónde:

L= Longitud total de las corrientes de agua.

A= Área total de la cuenca.

Como valores de referencia se tienen valores de 0.5 km/km², para cuencas con pobre drenaje hasta valores alrededor de 3.5 km/km², para cuencas bien drenadas. Este indicador es cuestionado porque depende del tamaño de la escala en la que se realicen los planos (Arrieta, A., 2009).

3.2.6.5 Extensión media de la escorrentía superficial

Se define como la distancia media que el agua de lluvia tendría que recorrer en la cuenca para alcanzar el cauce. Para su estimación la cuenca se ha idealizado de forma rectangular con una longitud L, igual a la longitud de todos los cursos de agua de la cuenca expresada en km, y un ancho igual a 4 veces la longitud media recorrida por la escorrentía superficial (Ecuación 3.4)

$$l= A/4L \quad (3.4)$$

Donde l es la longitud media, A es el área de drenaje de la cuenca en km², L es la longitud total de los cursos de agua de la cuenca hidrográfica, en km (Arrieta, A., 2009).

3.2.6.6 Sinuosidad de una corriente de agua

Es la relación entre la longitud del cauce de una corriente y la longitud de su valle (Ecuación 3.5) (Arrieta, A., 2009).

$$S=L/L_T \quad (3.5)$$

Un valor de sinuosidad menor o igual a 1.25 indica una baja sinuosidad, y se define como una corriente con un alineamiento recto (Arrieta, A., 2009).

3.2.6.7 Pendiente de la cuenca

La pendiente de la cuenca responde en gran medida por la velocidad con la que se mueve la escorrentía superficial y define el tiempo de concentración de la cuenca (Arrieta, A., 2009).

3.2.6.8 Curva hipsométrica

Es una representación gráfica del relieve de una cuenca. Se representa el porcentaje de área que existe en la cuenca por encima de un valor de cota determinado. En el eje de las abscisas se grafica el área acumulado y en el eje de las ordenadas se grafica la cota de cada curva o punto analizado. Las curvas hipsométricas sirven para definir características fisiográficas de las cuencas hidrográficas. Cuencas hidrográficas con valles extensos y cumbres escarpadas tienden a tener una curva hipsométrica con concavidad hacia arriba y cuencas con valles profundos sabanas planas tienden a tener curvas hipsométricas cóncavas hacia abajo (Arrieta, A., 2009).

3.2.6.9 Altura media de la cuenca

La altura media de la cuenca se define en la Ecuación 3.6 según Arrieta, A., 2009 como:

(3.6)

3.2.6.10 Pendiente de la corriente principal

Se han planteado varios criterios para calcular la pendiente de la corriente principal de una cuenca, entre los que se tienen los siguientes (Arrieta, A., 2009).

a. Pendiente media: es la diferencia total de altura entre la divisoria de agua de la cuenca y la salida de la corriente, dividida por la longitud del eje del río o corriente (Ecuación 3.7) (Arrieta, A., 2009).

(3.7)

Dónde:

h_1 = Altura en el nacimiento del cauce.

h_0 = Altura en la salida del cauce.

L_1 = longitud del cauce hasta la altura h_1 .

L_0 = Longitud del cauce en el punto de altura h_0 .

b. Pendiente media ponderada: en una gráfica de longitud en las abscisas contra altura en las ordenadas, la pendiente media ponderada está dada por aquella línea inclinada partiendo del punto de salida del cauce, que tiene la misma área bajo la

línea que el área bajo la curva de longitud-vs-altura (Ecuación 3.8) (Arrieta, A., 2009).

(3.8)

c. Pendiente equivalente constante: es la pendiente que produce el mismo tiempo de viaje que tiene el flujo sobre el cauce principal de la cuenca (Ecuación 3.9) (Arrieta, A., 2009).

(3.9)

Dónde:

L_i = Longitud del tramo entre curvas de nivel.

S_i = Pendiente del cauce entre curvas de nivel.

3.2.7 Movimiento de los sedimentos en una corriente fluvial

El movimiento de una partícula de sedimento es función de las condiciones instantáneas del flujo y de su resistencia a moverse. El inicio del movimiento de las partículas se da cuando el flujo de agua está a punto de empezar a mover las partículas de sedimento y depende del esfuerzo cortante que una corriente produce sobre el lecho y de la velocidad media del flujo.

A medida que el líquido empieza a moverse sobre el lecho del cauce constituido por partículas sueltas y sin cohesión, de tamaño uniforme, las fuerzas hidrodinámicas empiezan a actuar sobre las partículas sólidas del lecho y en todo el perímetro mojado.

Debido a la naturaleza estocástica del movimiento del sedimento a lo largo del lecho aluvial, es difícil determinar con precisión para que las condiciones de flujo una partícula sedimentaria comienza a moverse.

3.2.7.1 Método de Hjulstrom, F. (1935)

Presentó el análisis de erosión, transporte y sedimentación con base en la velocidad media del flujo. La velocidad en el fondo de un canal, la cual es directamente responsable del movimiento de los sedimentos la cual es difícil de determinar, él asumió que para profundidades mayores que 1.0 m, la velocidad en el fondo es 40% menos que la velocidad media del flujo ($V_b < 0.4 V$). El diagrama indica que los granos más sueltos (arenas) son los más fáciles de erosionar; la gran resistencia a la erosión de las partículas más pequeñas depende de las fuerzas de adhesión y cohesión. (figura 3.2).

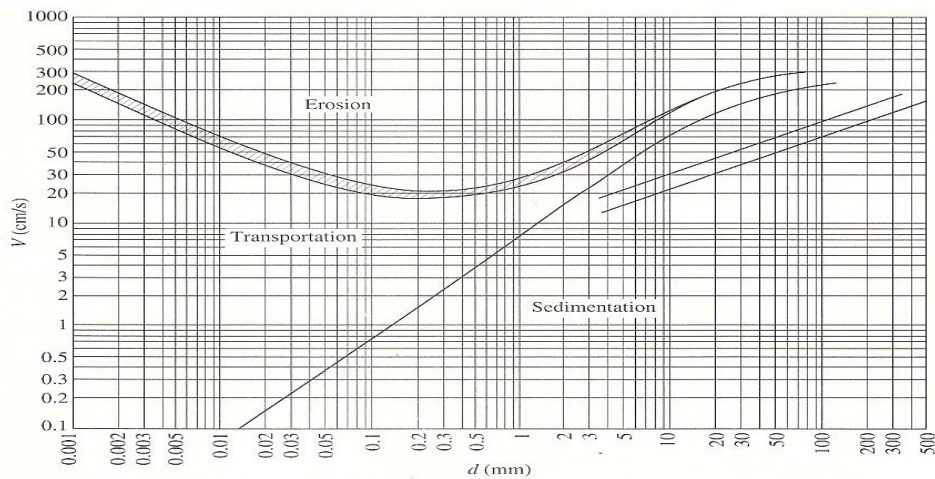


Figura 3.2 Criterio erosión – depositación para partículas uniformes (Hjulstrom, F 1935 en Yang, C. 1996).

3.2.8 Determinación de la magnitud de la socavación local en pilas

Existen varios métodos para el cálculo de la socavación local alrededor de pilares, pero a la fecha no existe ninguna solución rigurosa ni exacta. La mayoría de las ecuaciones son aplicables para cauces aluviales y no consideran la posibilidad de que materiales más gruesos y de mayor peso, presentes en el lecho, acoracen el hoyo que se produce por la socavación, lo que limitaría su profundidad. En 1965, Breusers propuso que la profundidad de socavación era de 1.4 veces el ancho del pilar. Recientemente, otros investigadores como B. W. Melville, Sutherland y Chang, han reportado que la socavación local máxima es aproximadamente 2.4 veces el ancho del pilar para el caso de pilares circulares. En los estudios hechos, el número de Froude fue menor que 1.0.

Otras formas de pilares diferentes a la circular pueden disminuir este valor o la presencia de desechos puede incrementarlo. El valor de la relación profundidad de socavación al ancho de la pilar (d_s/a) puede llegar a 3.0 para números de Froude altos. En conclusión, se sugiere preliminarmente para pilares con punta circular alineadas con el flujo que la constante sea tomada igual a 2.4 para números de Froude menores que 0.8 y a 3.0 para números de Froude mayores que 3.0.

Dentro de los muchos métodos que existen para estimar la profundidad de socavación local en pilares de puentes, se han seleccionado algunos, con la finalidad de ilustrar la gran variedad existente y cuáles son los parámetros involucrados: Laursen y Toch (1953, 1956); adaptación de Neill (1964) al método de Laursen y Toch; Larras (1963); Neill (1964); Arunachalam (1965, 1967); Carsten (1966); Maza Sánchez (1968); Breusers, Nicollet y Shen (1977); Universidad Estatal de Colorado (CSU); y Melville y Sutherland (1988), Froehlich (1991). Entre otros métodos de cálculo reportados en la bibliografía especializada están: Shen, Jain y Fischer, Inglis-Poona, Chitale y Yaroslavtziev.

3.2.8.1 Método de Laursen y Toch (1953,1956)

Este método fue desarrollado en el Instituto de Hidráulica de Iowa y fue confirmado con algunas mediciones en el río Skunk realizadas por P. G. Hubbard, del mismo laboratorio en la década del cincuenta. Se desarrolló bajo condiciones de transporte continuo de sedimentos, (Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A., 1992). El método es aplicable para suelos arenosos, no está claro si se puede aplicar para gravas, pero definitivamente no es válido para el caso de boleas.

Laursen y Toch realizaron sus investigaciones observando la máxima socavación que se puede presentar para un tirante dado de la corriente. Ellos observaron que la máxima profundidad de socavación era independiente de la velocidad del flujo pues la socavación no progresaba al mantener fijo el tirante y aumentar considerablemente la velocidad de la corriente. Este argumento resulta al suponer que un cambio en la velocidad del flujo y en el tamaño de los sedimentos produce un cambio proporcional en el cortante límite, y en la capacidad de transporte de sedimentos en la zona donde se produce la socavación, considerando constantes la profundidad del flujo y la profundidad de socavación. Su mayor interés era la socavación máxima y no dan ningún criterio para el caso de que no exista arrastre en el fondo.

Los resultados fueron presentados en forma gráfica y se resumen en las siguientes ecuaciones.

Caso del flujo de agua paralelo al eje mayor del pilar

$$y_s = K_f K_g a \quad (3.10)$$

Donde:

y_s : Profundidad de socavación local medida a partir del fondo de cauce (m)

K_f : Coeficiente que depende de la forma de la nariz del pilar (figura 3.3)

K_g : Coeficiente que depende de la relación H_s / a (figura 3.4)

H_s : Profundidad de agua después de producida la socavación por contracción (m)

a : Ancho del pilar (m)



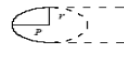
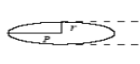
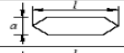
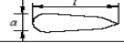
FORMA DE LA NARIZ		COEFICIENTE K_f DE SCHNEIBLE
RECTANGULAR $l/a = 4$		1.00
SEMICIRCULAR		0.90
ELIPTICA		0.81
		0.75
LENTICULAR		0.81
		0.69
FORMA DE LA NARIZ		SEGÚN TISON
BISELADA $l/a = 4$		0.78
PERFIL HIDRODINAMICO $l/a = 4$		0.75

Figura 3.3 Coeficiente K_f , Método de Laursen y Toch (Fuente: Juárez y Rico, 1992).

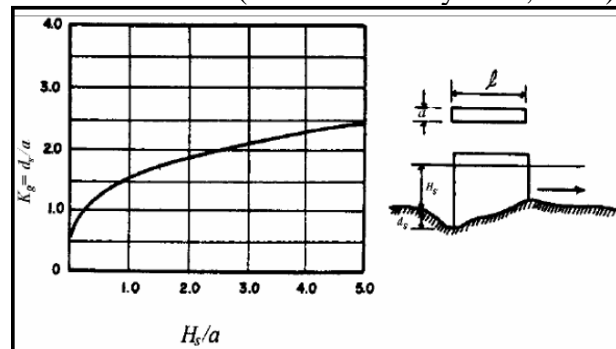


Figura 3.4 Coeficiente K_g . Método Laursen y Toch. (Juárez y Rico, 1992).

Caso de flujo de agua con ángulo de ataque al eje de mayor dimensión del pilar

$$y_s = a K_g K_\phi \quad (3.11)$$

Donde:

K_ϕ : Coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo y de la geometría del pilar (figura 3.5). En este caso la profundidad de socavación no depende de la forma del pilar

Ettema,R. (1990) plantea que las curvas de la Figura 3.5 sugeridas por Laursen y Toch en 1956, presentan una inconsistencia asociada con los ángulos de ataque de 0° y 90° , puesto que considera que el efecto del coeficiente K_ϕ debe ser el mismo si se toma un ángulo de ataque de 90° y el ancho del pilar, o si se considera un ángulo de 0° y el largo del pilar. Lo único claro es que las investigaciones fueron hechas tomando en cuenta el ancho del pilar y así debe usarse el gráfico. También, critica el hecho de que los coeficientes de corrección por forma del pilar y por ángulo de ataque se usen en forma combinada cuando fueron resultado de experiencias independientes.

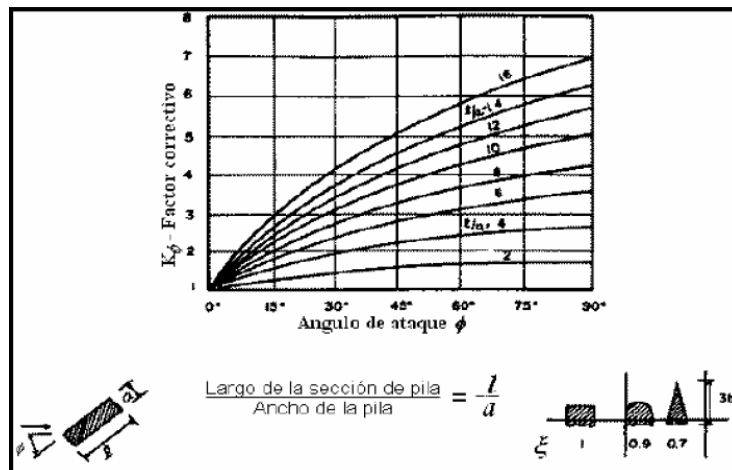


Figura 3.5 Coeficiente K_ϕ . Método de Laursen y Toch (Juarez y Rico, 1992).

3.2.8.2 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.

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

$$Fr^2 = V^2 / (g H_s) \quad (3.12)$$

Donde:

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

V : Velocidad media de la corriente frente al pilar

$$Vr = \alpha h^{3/5} / H_s \quad (3.13)$$

- Evaluación del factor de corrección f_c que considera el ángulo de ataque de la corriente

Tabla 3.1 Factor de corrección f_c . Método de Maza-Sánchez (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:

$$Fr^2 = f_c (V^2 / g H_s) \quad (3.14)$$

- Cálculo de la relación H_s/a'

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

- Selección de la curva a usar dependiendo de la forma del pilar, (figura 3.8, figura 3.9 o figura 3.10).

- 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 .

$$y_s = H_T - H_s \quad (3.15)$$

Donde:

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.

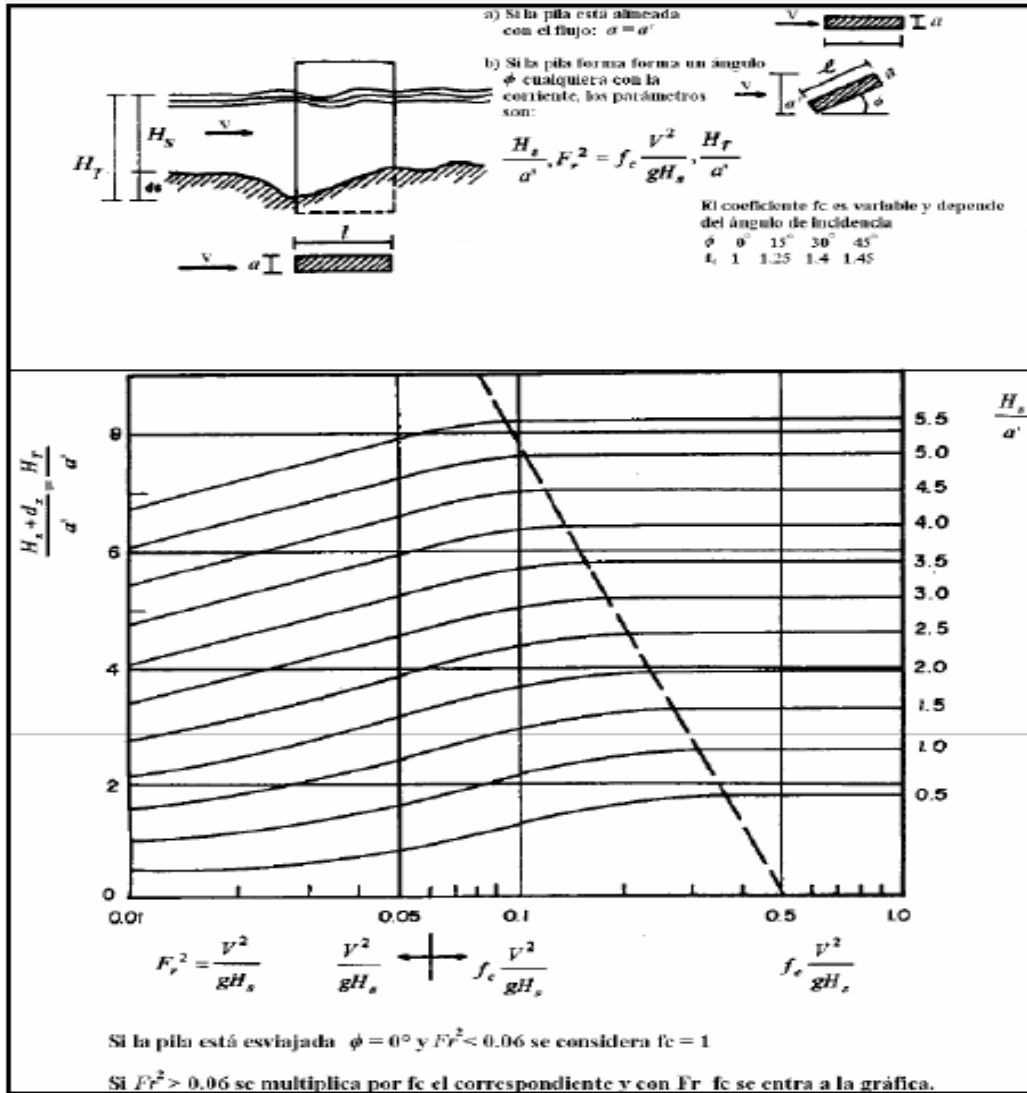


Figura 3.6 Cálculo de la socavación local en un pilar rectangular (Maza Álvarez, 1987).

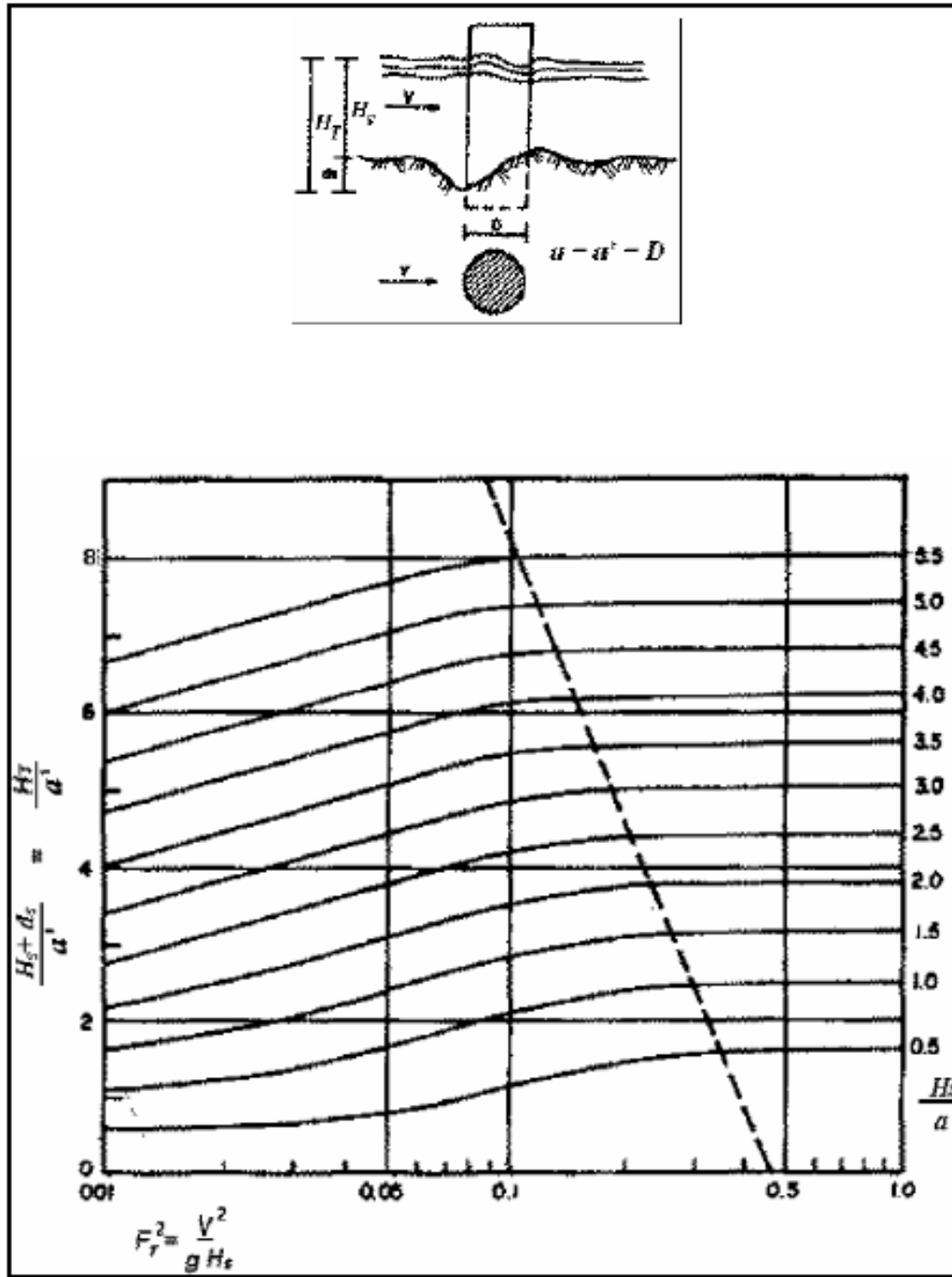


Figura 3.7 Cálculo de la socavación local para un pilar circular (Maza Álvarez, 1987).

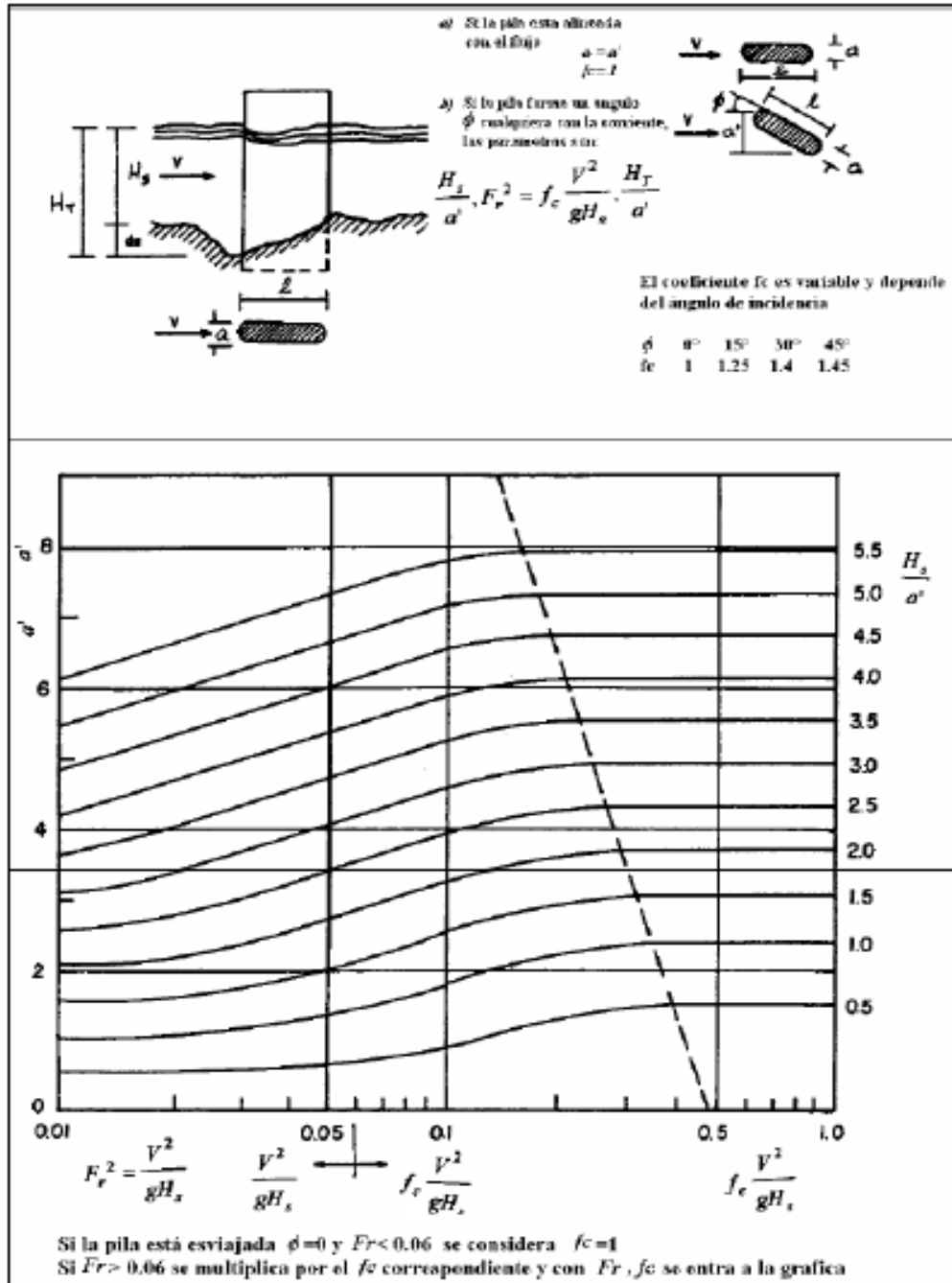


Figura 3.8 Cálculo de la socavación local en una pila elongada (Maza Alvarez, 1987).

3.2.8.3 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).

$$y_s = 0.32 K_f (a')^{0.62} h^{0.47} Fr^{0.22} D_{50}^{-0.09} + a \quad (3.16)$$

Donde:

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)

Fr : 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:

$$y_s \leq 2.4 a, \text{ para } Fr \leq 8.0 \quad (3.17)$$

$$y_s \leq 3.0 a, \text{ para } Fr > 8.0 \dots \dots \dots (3.18)$$

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

3.2.8.4 Método de Yaroslaziev

El autor propone como fórmula para el cálculo de la socavación máxima frente a la pila:

$$S = K_f K_v (\alpha + K_h) (V^2/2g) - 30d \dots \dots \dots (3.19)$$

Donde:

S: socavación máxima frente a la pila (m)

K_f : Coeficiente de forma (figura 3.9)

K_v : Coeficiente función de V^2/gb_1 (figura 3.10)

α : Coeficiente de ubicación que varía de 0.6 para pilas colocadas en el cauce principal a 1 para pilas colocadas en el cauce de expansión o avenidas.

K_h : Coeficiente función de y/b (figura 3.11)

V: Velocidad del agua frente a la pila (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

d: diámetro medio del material de fondo (cm)

b_1 : longitud de la proyección de la pila sobre un plano normal a las líneas de corriente (figura 3.10)

Y: Tirante aguas arriba de la pila (m)

La fórmula anterior tiene las siguientes limitaciones:

- Si $d < 0.5$ cm, no se toma en cuenta el valor $30d$.
- Si $Y/b < 2$, entonces el valor de S no es confiable.

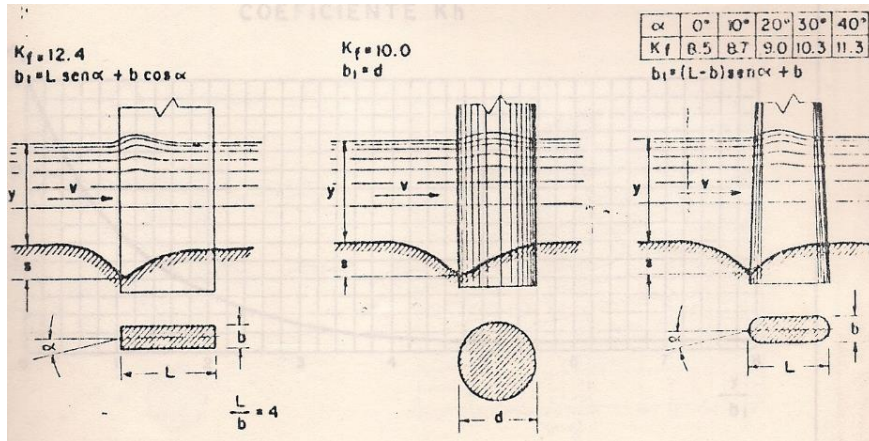


Figura 3.9 Coeficiente K_f (Falcon, 1990).

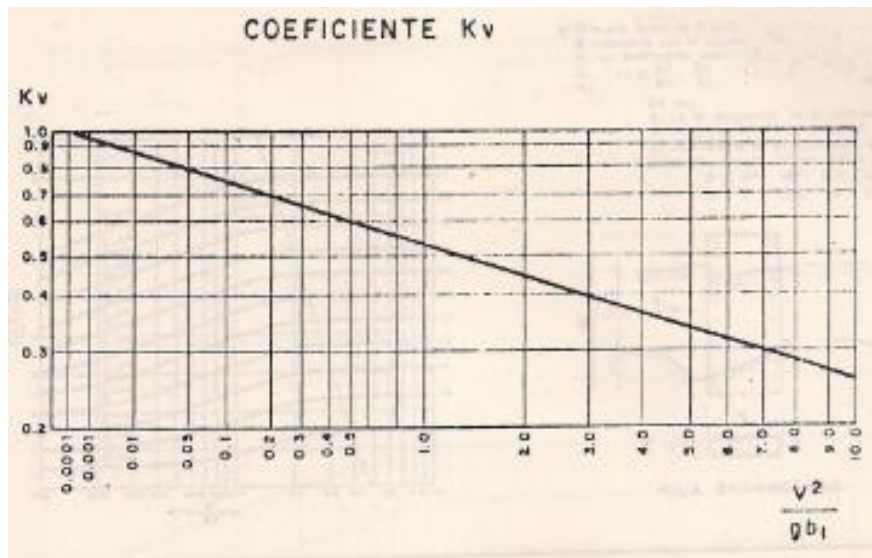


Figura 3.10 Coeficiente K_v (Falcon, 1990)

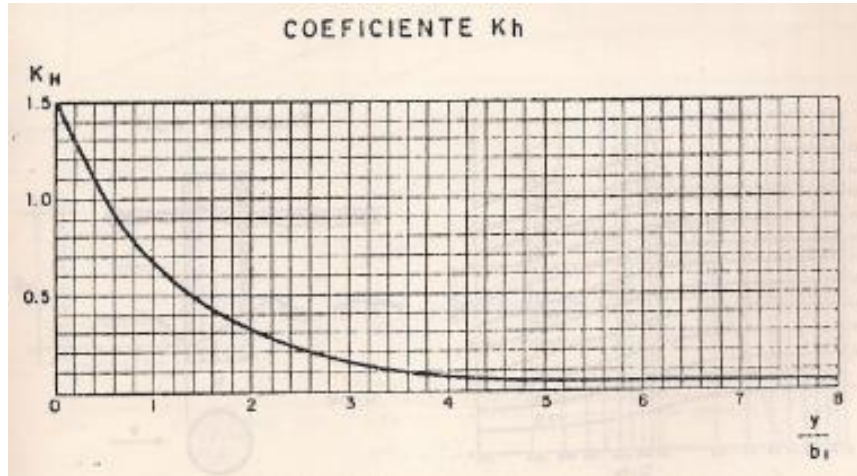


Figura 3.11 Coeficiente K_h (Falcon, 1990).

3.2.8.5 Método de Colorado State University

Richardson (1975) propuso la ecuación siguiente para la estimación de la socavación al pie de la pila:

$$Y_s/y_1 = 2 K_1 K_2 (a/y_1)^{0.65} Fr_1^{0.43} \dots\dots\dots(3.20)$$

Donde:

Y_s : profundidad de socavación

Y_1 : profundidad de la corriente aguas arriba de la pila

K_1 : Factor de corrección por forma de la pila (tabla 3.3)

K_2 : Factor de corrección por ángulo de ataque del flujo (tabla 3.4)

a : ancho de la pila

Fr_1 : Número de Froude = $V_1/(g y_1)^{0.5}$

V_1 : Velocidad aguas arriba de la pila

Tabla 3.3 Factor K_1

Forma de la pila	K_1
De nariz cuadrada	1.1
De nariz redondeada	1.0
Cilíndrica	1.0
De nariz puntiaguda	0.9
Grupo de cilindros	1.0

Tabla 3.4 Factor K_2

Angulo	$L/a = 4$	$L/a = 8$	$L/a = 12$
0	1.0	1.0	1.0
15	1.5	2.0	2.5
30	2.0	2.5	3.5
45	2.3	3.3	4.3
90	2.5	3.9	5.0

L: longitud de la pila
 Ángulo: entre el eje de la pila y la dirección de la corriente

3.3 Bases legales

De acuerdo al contenido del presente trabajo de investigación es necesario tener en consideración los aspectos legales que son utilizados a nivel nacional e internacional, de acuerdo con el trabajo de investigación tomaremos en cuenta las siguientes:

3.3.1 Decreto n° 2.218

Norma para regular actividades capaces de provocar cambios de flujo, obstrucción de cauce y problemas de sedimentación. ()

3.3.1.1 Disposiciones generales

Artículo 1°. Las presentes normas tienen por objeto controlar el desarrollo de actividades que por generar cambios en los sistemas de control de obras hidráulicas, obstrucción de cauces y escorrentías y producción artificial de sedimentos, son susceptibles de ocasionar daños tales como inundaciones, déficit en la distribución de aguas, inestabilidad de cauces y alteración de la calidad de las aguas.

Artículo 2°. Toda actividad capaz de provocar cambios de flujo, obstrucción de cauces y problemas de sedimentación estará sujeto al otorgamiento previo de la autorización a la que alude el artículo 21 de la Ley Orgánica del Ambiente.

Parágrafo Único: se exceptúan del requisito previsto en este artículo las actividades a ser realizadas en áreas urbanas, las cuales serán objeto de control ambiental mediante los procedimientos previstos en la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística.

Artículo 3°. Se consideran actividades capaces de provocar cambios de flujo, obstrucción de cauces y problemas de sedimentación, las siguientes:

1. Construcción de obras de infraestructura ejecutadas en el área de influencia de cuerpos de agua que puedan afectar, alterar o modificar la red de drenaje
2. Movimientos de tierra y cambios de la topografía.
3. Las que tengan por objeto la canalización, derivación, diques o tomas de los cuerpos de aguas.

4. Las que contribuyan a alterar el caudal ecológico del cuerpo de agua.
5. Todas aquellas que propendan a modificar el régimen hidrológico o el balance de erosión, transporte o acumulación de sedimentación en los cuerpos de agua.

3.3.1.2 De la protección de los canales y sistemas de control.

Artículo 4°. A los efectos de las presentes normas se entenderá por:

a. Canal: cauce natural o artificial a través del cual se produce en forma ocasional o continúa el flujo de materiales, tales como, el agua, sedimentos, etc.

b. Sistema de Control: instrumento, dispositivo o mecanismo que permite regular, distribuir o modificar el comportamiento de la energía o de los materiales en un sistema.

Artículo 5°. Cualquier proyecto, actividad u obra que contemple en encauzamiento, alineamiento, revestimiento o protección de los canales, deberá garantizar su eficiente funcionamiento, con la finalidad de evitar el desbordamiento, erosión y disposición de sedimentos.

Artículo 6°. La excavación y disposición de materiales y sedimentos en los canales, podrá realizarse siempre y cuando se mantenga la capacidad hidráulica de los mismos, a los fines de evacuar los flujos de las crecientes.

Artículo 7°. La disposición de materiales producto del corte de taludes y excavaciones se deberá efectuar evitando ocasionar daños a los suelos y alteraciones de los patrones y de los regímenes de escorrentía.

Artículo 8°. Para evitar la modificación de los flujos y alteración de los cauces y a los fines de proteger las obras hidráulicas y viales susceptibles de ser afectadas, se deberán tomar las previsiones técnicas en obras de protección que en cada caso y según las características de las actividades a ejecutar establecerá el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Artículo 9°. La disposición de materiales se efectuará observando las previsiones técnicas y realizando las labores conservacionistas comprendidas en los actos autorizatorios, de forma tal que no se afecte negativamente a poblaciones, usuarios, ribereños y obras situadas aguas abajo del sitio de disposición.

Artículo 10. Los interesados en desarrollar actividades de reforestación, repoblación, o introducción de especies vegetales usía ejecución pudiere producir alguno de los efectos indicados en el artículo 3° deberán presentar, además de los recaudos que para la autorización de tales actividades establezcan las Leyes, Reglamentos o Decretos, consideraciones técnicas acerca de las posibles modificaciones en el régimen hidrológico de la cuenca o región, por causas del cambio producido en la evapotranspiración, en la calidad de las aguas, incremento en los procesos erosivos y suministro de sedimentos a los cauces fluviales.

3.3.1.3 Del procedimiento autorizatorio

Artículo 11. Las personas que pretendan obtener la autorización a la que se refiere el artículo 2, deberán tramitar y obtener previamente por ante la Dirección Regional competente del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, la autorización o aprobación para la ocupación del territorio; a tal efecto se requerirá la presentación de los siguientes recaudos:

a. Documentos de propiedad o documentos que demuestren el derecho que asiste al solicitante.

b. Plano de ubicación.

c. Memoria descriptiva contentiva de las características generales de la actividad, proyecto u obra.

Parágrafo Único: con vista de los recaudos aportados, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables determinará la necesidad de presentar un estudio de impacto ambiental, en cuyo caso, se seguirá el procedimiento previsto en el Reglamento que rige la materia; o la necesidad de producir recaudos técnicos adicionales en razón de las características o magnitud de la actividad a ejecutar, en caso de no requerirse el Estudio de Impacto Ambiental.

“De acuerdo con lo establecido en la norma, la ejecución de este proyecto deberá garantizar su eficiente funcionamiento, para evitar cambios en el cauce del río. Dicho también que cualquier actividad capaz de provocar cambio de flujo, obstrucción de cauce y problemas de sedimentación debe estar sujeta al otorgamiento previo de la autorización tal como lo alude el artículo n° 21 de la ley orgánica del ambiente.”

3.3.2 Norma ASTM D-2488-75

Esta práctica recomendada describe un procedimiento para la identificación y la descripción de suelos con propósitos ingenieriles, basado en el examen visual y pruebas manuales simples.

Nota 1.- No está en conflicto con otros métodos de identificación o clasificación de suelos, se recomienda al usuario suplementar las descripciones recomendadas con términos geológicos, pedológicos o locales. Por otro lado, cuando se requiere una clasificación precisa de suelos con fines de ingeniería, se debe utilizar la Norma ASTM D-2487 "Clasificación de Suelos con propósitos Ingenieriles".

Esta práctica recomendada es para ser usada no sólo en la identificación de suelos en el campo, sino también en la oficina y en el laboratorio o en cualquier lugar en donde se inspeccionen y describen muestras de suelos.

Nota 2.- La capacidad de identificar suelos correctamente se aprende apropiadamente bajo la guía de personal experto, pero también puede sistemáticamente al comparar valores numéricos de resultados de ensayos de suelos típicos con sus características visuales y manuales al ejecutar los procedimientos de identificación.

3.3.3 Norma ASTM D-2487

Esta norma describe un sistema para la clasificación de los suelos con fines de ingeniería basados en la determinación de laboratorio de las características de tamaño de partícula, límite líquido y el índice de plasticidad y se utilizan cuando se requiere una clasificación precisa.

1. Clasifica a los suelos en cuatro principales categorías, cada una de estas categorías usa un símbolo que define la naturaleza del suelo:

a. Suelos de grano grueso. Son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50% pasando por el tamiz N° 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo

G para la grava o suelo gravoso del inglés "*Gravel*" y S para la arena o suelo arenoso del inglés "*Sand*".

b. Suelos de grano fino. Son aquellos que tienen 50% o más pasando por el tamiz N° 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M para limo inorgánico del sueco "*mo y mjala*", C para arcilla inorgánica del inglés "*Clay*".

c. Suelos orgánicos. Son limos y arcillas que contienen materia orgánica importante, a estos se los denomina con el prefijo O del inglés "*Organic*".

d. Turbas. El símbolo Pt se usa para turbas del inglés "*peat*", lodos y otros suelos altamente orgánicos.

2. Presenta las siguientes definiciones, según el tamaño y naturaleza de las partículas del suelo:

a. Cantos rodados. Partículas de roca que no pasan una malla con abertura cuadrada de 12" (300 mm).

b. Guijarros. Partículas de roca que pasan una malla con abertura cuadrada de 12" (300 mm) y quedan retenidas en un tamiz de 3" (75 mm).

c. Grava. Partículas de roca que pasan el tamiz de 3" (75 mm) y quedan retenidas en el tamiz N° 4 (4.75 mm), con las siguientes subdivisiones:

i. Gruesa. Partículas que pasan el tamiz de 3" (75 mm) y quedan retenidas en el tamiz de $\frac{3}{4}$ " (19 mm.).

ii. Fina. Partículas que pasan el tamiz de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y quedan retenidas en el tamiz N° 4 (4.75 mm).

d. Arcilla. Suelo que pasa por el tamiz N° 200 (0.075 mm), el cual exhibe plasticidad dentro de un cierto intervalo de humedad, pero que muestra considerable resistencia cuando se seca al aire. Para su clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino, o la porción fina de un determinado suelo, con propiedades plásticas.

e. Limo. Suelo que pasa el tamiz N° 200 (0.075 mm), de naturaleza no-plástica o ligeramente plástica y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca al aire. Para su clasificación, un limo es un suelo de grano fino o la porción fina de un determinado suelo, con ninguna o muy poca plasticidad.

f. Arcilla Orgánica. Es una arcilla con suficiente contenido de materia orgánica como para influir en las propiedades del suelo. Para su clasificación, una arcilla orgánica es un suelo que es clasificado como arcilla, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75% de este valor antes de ser secado.

g. Limo Orgánico. Es un limo con suficiente contenido de materia orgánica como para influir en las propiedades del suelo. Para su clasificación, un limo orgánico es un suelo que es clasificado como limo, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75% de este valor antes de ser secado.

h. Turba. Es un suelo compuesto principalmente de materia vegetal en diferentes estados de descomposición, usualmente con olor orgánico, color entre marrón oscuro a negro, consistencia esponjosa, y contextura que varía de fibrosa hasta amorfa.

3. Para este sistema de clasificación son también usados sufijos que identifican algunas características particulares del suelo:

- a. Bien gradado (W) del inglés “*Wellgraded*”.
- b. Mal gradado (P) del inglés “*Poorlygraded*”.
- c. Baja plasticidad (L) límite líquido menor a 50%, del inglés “*Lowplasticity*”.
- d. Alta plasticidad (H) límite líquido mayor a 50%, del inglés “*High plasticity*”.

Con los prefijos y sufijos anteriormente mencionados se pueden hacer combinaciones que ayudan a describir de mejor manera el suelo en cuestión, por ejemplo a una arena S, si tuviera la característica de estar bien gradada será SW, de la misma manera un limo M, con una alta plasticidad se simbolizara MH.

4. Un símbolo doble. Corresponde a dos símbolos separados por un guion, e.g. GP-GM, SW-SC, CL-ML, los cuales se usan para indicar que el suelo tiene propiedades de dos grupos. Estos se obtienen cuando el suelo tiene finos entre 5 y 12% o cuando las coordenadas del límite líquido y el índice de plasticidad caen en el área sombreada CL-ML de la carta de plasticidad. La primera parte del doble símbolo indica si la fracción gruesa es pobremente o bien gradada. La segunda parte describe la naturaleza de los finos. Por ejemplo un suelo clasificado como un SP-SM significa que se trata de una arena pobremente gradada con finos limosos entre 5 y 12%. Similarmente un GW-GC es una grava bien gradada con algo de finos arcillosos que caen encima la línea A.

5. Un símbolo de frontera. Corresponde a dos símbolos separados por el símbolo divisorio (/) y deberá usarse para indicar que el suelo cae muy cerca de la línea de división entre dos símbolos de grupo. En estos casos es aceptable el uso de ambos

símbolos en la clasificación, con el símbolo de grupo “correcto” por delante seguido del símbolo de grupo “casi correcto”. Por ejemplo, una combinación de arena – arcilla con ligeramente un poco menos del 50% de arcilla podría ser identificada como SC/CL, de la misma manera pasa con otros tipos de suelos como por ejemplo CL/CH, GM/SM.

6. La línea “U”. Mostrada en la carta de plasticidad (Figura 3.12) ha sido determinada empíricamente en base a análisis de suelos extremos, para ser el “límite superior” de suelos naturales, por lo que no deberían obtenerse resultados por encima de esta línea. Esta línea es una buena manera de comprobar que los datos no sean erróneos y algunos resultados de ensayos que caigan arriba o a la izquierda deben ser verificados. La ecuación de la línea U es:

$$IP=0.9 (LL - 8) \quad (3.10)$$

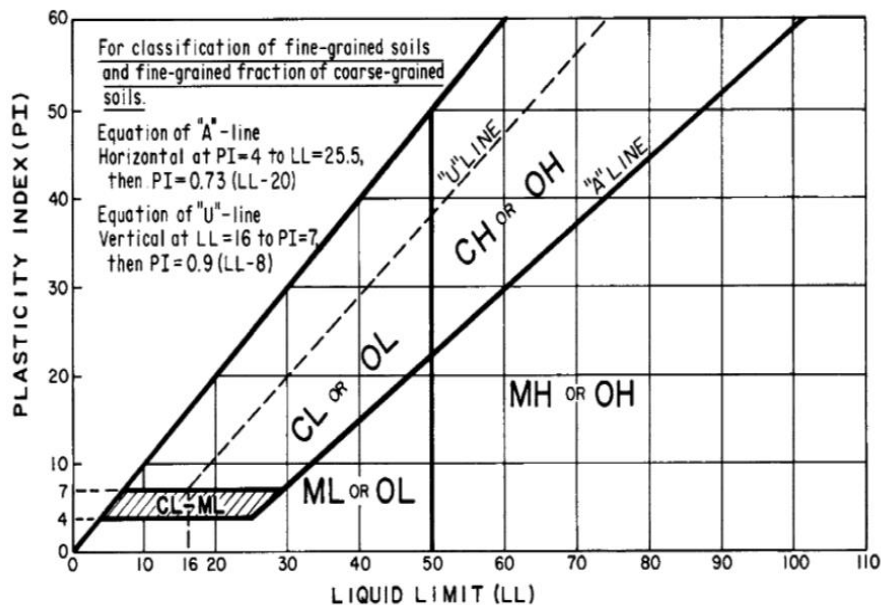


Figura 3.12 Carta de plasticidad. (Norma ASTM, 2003).

7. En casos donde el límite líquido excede de 110% o el índice de plasticidad excede de 60% (Ecuación 3.11), la gráfica de plasticidad puede ser expandida pero manteniendo igual escala en ambos ejes y extendiendo la línea "A" con la misma pendiente, (figura 3.12). La ecuación de la línea A es:

$$IP=0.73 (LL - 20)(3.11)$$

8. Este sistema de clasificación solo considera la porción que pasa a través del tamiz de 3" (75 mm) para la realización de los ensayos de clasificación en laboratorio. Las partículas mayores a este diámetro deberán ser retiradas de la muestra a ensayar en laboratorio, pero el porcentaje de estas partículas debe ser anotado y colocado en los resultados finales de la clasificación.

9. El índice de plasticidad y el límite líquido son determinados con material que pasa el tamiz de N° 40 (0.425 mm).

10. La línea de división entre el bajo y alto límite líquido es tomada arbitrariamente como 50%, (figura 3.12).

11. Puede ser necesario una extrapolación lineal en la curva de distribución de tamaño de partículas para obtener el diámetro efectivo, D_{10} .

12. Una vez ya clasificado el suelo, es decir ya hallado el símbolo y nombre de grupo adecuados, el reporte debe incluir el nombre de grupo, símbolo de grupo y los resultados de los ensayos de laboratorio. En la distribución del tamaño de partículas deben estar los porcentajes de grava, arena y finos.

El informe se coloca de la siguiente manera, primero se pone el símbolo de grupo correspondiente al suelo entre de la paréntesis, seguido del nombre de grupo y demás resultados.

3.3.4. Norma venezolana COVENIN 1125-77

Suelos Método de ensayo para la determinación para los límites líquido y plástico, este método permite clasificar los suelos de acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos y poder determinar los límites de consistencia.

3.3.4.1. Normas COVENIN a consultar:

- Covenin 254-77 Cedazo de ensayo.
- Covenin 1303 Método de preparación de muestras para los análisis granulométricos y para determinación de los límites de consistencia.
- Covenin 36:7-003 Suelos. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de los suelos por secado en el horno.

3.3.4.2 Definiciones

- Límite líquido (WL): es el contenido de humedad correspondiente a un límite convencional entre los estados de consistencia líquida y plástica.
- Límite plástico (WP): es el contenido de humedad de un suelo correspondiente a un límite convencional entre los estados de consistencia plástica y sólido.

- Límite de encogimiento (WS): es la máxima humedad por debajo de la cual una reducción del contenido de agua no causa disminución del volumen de la masa del suelo.

3.3.4.3 Equipos de ensayo

a. Aparatos:

1. Aparato de límite líquido de Casagrande.
2. Ranuradora.

b. Útiles generales de laboratorio:

1. Capsula de evaporación, preferiblemente de porcelana de unos 12cm a más de diámetro.
2. Espátula pequeña con una hoja delgada que tenga unos 8cm de largo por 2cm de ancho.
3. Recipiente pequeño con tapa hermética para las determinaciones del contenido de humedad.
4. Balanza con sensibilidad mínima de 0,01g.
5. Horno para secar.
6. Desecador de vidrio.

7. Cedazo de 0.42 mm (número 40) que cumpla con la norma Covenin 254.

8. Mortero de porcelana u otro material apropiado y mazo de punta de goma o material similar.

3.3.4.4 Material a ensayar

El material a ensayar consiste en una muestra representativa del suelo preparada según la norma COVENIN 1303 cuyo peso sea de 100 a 150 gramos.

Preparación de la muestra de ensayo:

a. Se coloca la muestra en una capsula de evaporación y se mezcla con agua destilada a desmineralizada hasta que quede una consistencia uniformemente pastosa; en caso de encontrarse partículas mayores de 0,42mm estas se separan.

b. Se deja reposar en ambiente saturado por 12 horas o más para que la humedad se distribuya uniformemente en ella. La muestra se debe mezclar nuevamente antes de iniciar el ensayo (nota 1).

Nota 1: para evitar que la muestra se seque se guarda en ambiente húmedo o al cubrir la capsula de evaporación con un paño mojado.

3.3.4.5 Determinación del límite líquido

- Método convencional: para la el cálculo del límite liquido se procede de la siguiente manera:

a. Se ajusta 10mm en el aparato indicado, la elevación máxima de la taza sobre la base.

b. Se coloca en la taza una porción de la muestra de ensayo, evitando que se formen burbujas de aire en ella.

c. Se nivela la superficie con la espátula procurando obtener 1,0cm en el punto de máximo espesor. Se abre una ranura en la pasta, moviendo la ranadura a lo largo del diámetro de la taza desde en eje del aparato hacia el borde libre de la taza formando un canal limpio y claro de las dimensiones producidas por el ranurado.

d. Se gira la manivela alzando y dejando caer la taza sobre la base con una frecuencia de 2 veces por segundo, hasta que las paredes de la ranura se lleguen a tocar en una longitud de 1cm aproximadamente, medido en el sentido de la ranura.

e. Se anota el número de golpes y se toma una muestra representativa de la pasta en el sitio de la unión, abarcando las dos paredes de la ranura para la determinación del contenido de humedad.

f. Se repiten las operaciones b., c., d. limpiando y secando previamente la taza, disminuyendo el contenido de humedad de la muestra, hasta obtener un mínimo de 3 determinaciones en las cuales el número de golpes necesario para que el cierre de la ranura este en los intervalos de 10 a 20, de 20 a 30, de 30 a 40 respectivamente.

g. Se puede usar para acelerar el secado de la muestra, un chorro de aire caliente, mezclando continuamente la pasta con la espátula, evitando que la muestra se caliente. En ningún caso se debe agregar material seco para disminuir la humedad de la muestra.

h. En caso de tener que humedecer más la muestra, se agrega agua destilada mezclando bien o dejando reposar en ambiente húmedo por un tiempo suficiente para que el agua quede absorbida uniformemente.

- Expresión de los resultados:

1. Se calcula el contenido de humedad a cada una de las determinaciones según la Norma COVENIN 3: 7 – 003, y se representa en papel semilogarítmico el contenido de humedad Vs números de golpes

2. Se dibujan los tres puntos, se traza la recta media entre ellos y se determina como límite líquido, el contenido humedad-leído sobre la vertical correspondiente a 25 golpes.

- Método alternativo: en este método se toma en consideración el método convencional, el procedimiento para la determinación del límite líquido es el siguiente:

- a. Se sigue el procedimiento del punto f. del método convencional (determinación del límite líquido) con la salvedad que se hace solo dos observaciones de cierre de la ranura, las cuales deben estar en los intervalos de 15 a 25 y de 25 a 40 golpes respectivamente

- Expresión de los resultados:

1. Se calcula, a cada una de las determinaciones, en el contenido de la humedad (W) (Ecuación 3.12) según la norma COVENIN 3:7-003 y el límite líquido (W_L) (Ecuación 3.13)

$$W = (N/25)^{0,12} \quad (3.12)$$

Dónde:

N = número de golpes

$$WL = W = (N/25)^{0,12} \quad (3.13)$$

Dónde:

W_L = límite líquido

W = contenido de humedad

N = número de golpes para el cierre de la ranura

Nota 2. Con las ecuaciones 3.6 y 3.7 (tabla 3.1).

2. Se informa con límite líquido el promedio de las dos determinaciones, si las diferencias entre ellas es menor que el 3% del límite líquido. En caso contrario se repite el ensayo.

Nota 3: Para facilitar el cálculo del límite líquido se pueden emplear los valores del coeficiente $()^{0,12}$ indicados en la tabla 3.1

Tabla 3.5 Valores de la expresión $(N/25)^{0,12}$ para el cálculo del límite líquido, utilizando una sola observación.

N	$(N/25)^{0,12}$	N	$(N/25)^{0,12}$
15	0.941	28	1.014
16	0.948	29	1.018
17	0.955	30	1.022
18	0.961	31	1.026
19	0.968	32	1.030

N	(N/25) ^{0,12}	N	(N/25) ^{0,12}
20	0.974	33	1.034
21	0.979	34	1.038
22	0.985	35	1.041
23	0.990	36	1.045
24	0.995	37	1.048
25	1.000	38	1.052
26	1.005	39	1.055
27	1.009	40	1.058

3.3.4.6 Determinación del límite plástico

Procedimiento:

a. Se toma la muestra de ensayo una porción de 5 a 10 g, la cual se separa a conveniencia del operador en varias porciones.

b. Se amasa cada porción con los dedos en una superficie lisa, formando hebras de diámetros uniformes en toda su longitud; cuando el diámetro de la hebra alcance los 3 mm, se comprime y se repite el amasado continuando el proceso hasta que la hebra se quiebre durante el mismo.

c. Se reúnen todas las porciones de hebras en un envase con tapa hermética; cuando toda la muestra se haya procesado se determina el contenido de humedad. Se repite el procedimiento anterior por lo menos una vez más.

- Expresión de resultados:

1. Se calcula el contenido de humedad según las Norma COVENIN 3:7-003, de ambas muestras y se reporta como límite plástico su valor promedio si la diferencia entre ambos es menor que el 2 %. En caso contrario se repite el ensayo.

3.3.4.7 Determinación de los índices derivados

- Índice de plasticidad (I_p)

Expresión de los resultados:

Se calcula el índice de plasticidad (Ecuación 3.14) como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico:

$$I_p = W_L - W_P \quad (3.14)$$

Dónde:

W_L = Límite líquido

W_P = Límite plástico

3.4 Definición de términos básicos

3.4.1 Cuenca

Depresión cerrada de la superficie terrestre de paredes suaves de alimentación natural y que canaliza el agua de lluvia en un solo desagüe (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

3.4.2 Cuenca hidrográfica

Territorio cuyas aguas fluyen todas al mismo río, lago o mar, está delimitada por divisiones de agua(Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

3.4.3 Drenaje

Encañamiento o derrame de las aguas mediante desagüe(Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

3.3.4 Erosión

Conjunto de fenómenos exteriores de la corteza terrestre que contribuyen a modificar las formas creadas por el tectonismo y el vulcanismo y en donde actúan los agentes erosivos (ríos, torrentes, mares); distinguiéndose entre ellos, la lluvia, viento, hielo, el mar, biológicos y el hombre (erosivo antrópica)(Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

3.4.5 Erosión fluvial

Producto de la acción lineal o vertical del flujo concentrado de corriente de agua (Martínez Ferla y Pérez Eneida, 2007).

3.4.6 Suelo

Se define como un agregado de minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, separados por medios mecánicos de poca energía o por agitación de agua (González, L., 2002)

3.4.7 Granulometría

Es la distribución de tamaño de los granos de un suelo(González, L., 2002)

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

La investigación descriptiva, según Tamayo, M., (2001):

“comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos. La investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hechos y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de un fenómeno específico que se somete a un análisis”.

La investigación se cataloga de tipo descriptiva debido a que en ella se describirá las características sedimentológicas, estratigráficas, estructurales y ciertos aspectos geológicos importantes de los elementos del relieve en estudio.

En el caso de la presente investigación se considera que es de carácter descriptivo por cuanto se hará una descripción de los parámetros climáticos, parámetros texturales de los sedimentos, parámetros hidráulicos del río La Canoa, parámetros dimensionales y geométricos de la pila de fundación y las relaciones entre esta y los parámetros anteriores sin plantear modificación o alteración de ellos .

4.2 Diseño de investigación

Dada la naturaleza de la investigación tratada en este documento se puede afirmar que las estrategias metodológicas que serán aplicadas corresponden a investigaciones de tipo documental y de campo.

De acuerdo a Sabino, C., (2002). El diseño se refiere a una estrategia general, que tiene como objeto proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de un plan de trabajo que permita al investigador determinar las operaciones necesarias para hacerlo.

4.2.1 Investigación documental

Arias, F. (2012), define 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. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (p.27)

Esta investigación es documental porque la información como los datos climatológicos fueron obtenidos, analizados y procesados a partir de los registros medidos, registrados y almacenados por el Estado Venezolano, específicamente por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y la ubicación geográfica por medio de documentos cartográficos provenientes de la Alcaldía del Municipio Heres y de los mapas emitidos por el Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar

4.2.2 Investigación de campo

Según Arias, F., (1999) establece que una investigación de campo:

“...es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental”.

La investigación se considera de campo ya que los datos topográficos, los dimensionales y geométricos de las estructuras civiles y los de velocidades de corrientes son tomados directamente en el área de estudio.

Debido que el objetivo planteado con propósitos ingenieriles se debe analizar geotécnica y geomorfológicamente el área de estudio para determinar las características hidrológicas y los aspectos morfodinámicos que actúan en el proceso erosivo de lechos y riberas del río, para determinar el diseño de fundaciones y estribos de un puente.

4.3 Población de la investigación

Una población se refiere a un conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para la cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación (Balestrini, M. 2001).

Para fines de esta investigación, la población estaría representada por los sedimentos, el agua y los eventos de carácter antrópico que se encuentren en la cuenca media del río La Canoa, específicamente en la ubicación del puente y sus adyacencias.

4.4 Muestra de la investigación

La muestra es, en esencia un subgrupo de la población. Al seleccionarla es conveniente que ésta sea representativa de la población. Pocas veces es posible medir la población por lo que se obtiene o seleccionan subgrupos que sean un reflejo fiel de la misma. En atención a esto, Tamayo, M., (2001), enuncia: “cuando no es posible medir cada uno de los individuos de la población se toma una muestra representativa de la misma”.

En este caso, la muestra estará representada por los sedimentos que han sido arrastrados por el río La Canoa y que han sido colectados para su posterior análisis textural en los laboratorios de la Escuela de Ciencias de la Tierra de la UDO.

Cabe destacar que el proceso de muestreo de los sedimentos fue de carácter opinático por cuanto una vez realizada la inspección en el campo y habiendo efectuado un análisis visual de los sedimentos en el área de estudio se consideró que mantenía homogeneidad en color, textura y granulometría aparente por lo que las seis (6) muestras podrían ser colectadas en cualquier punto del cauce en el área de estudio (tabla 4.1).

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Se conocen como técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de la información a todos los procedimientos formales o no, y los equipos, herramientas, adminículos que de alguna manera permitan la captura de datos durante el proceso de investigación

4.5.1 Técnicas para la recolección de datos

4.5.1.1 Revisión literaria

La revisión literaria, permitirá extraer las bases teóricas y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto, como lo expresa Tamayo, (2006): “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”. (p. 325).

Se recurrirá a la recopilación de datos, a través de la consulta de textos, tesis, manuales usando la biblioteca de la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar. También a través del servicio electrónico de Internet se realizarán consultas para obtener información actual con respecto al tema investigado.

4.5.1.2 Entrevista no estructurada

La entrevista no estructurada, según Arias, F. (1999), expresa: “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” (p.73).

Estas entrevistas no estructuradas fueron hechas a los habitantes de las riberas del río La Canoa en el área de estudio, a quienes se les realizó preguntas sencillas que podían responder fácilmente, tales como: ¿Hasta que nivel, ha observado usted, que el río asciende ante la ocurrencia de lluvias importantes?, ¿Cada cuánto tiempo ud. ha observado que dragan el cauce del río en dirección hacia aguas arriba y hacia aguas abajo del puente?

4.5.1.3 Observación directa

La observación directa, según Arias, F. (2006), 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.

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

Para 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 de recolección de datos que se utilizaron en esta investigación son:

- a. GPS
- b. Cámara Fotográfica Digital
- c. Correntómetro
- d. Equipo topográfico: Nivel Abney (clinómetro), brújula, cinta métrica y jalón.
- e. Equipo de computación: Computadora Portátil, impresora y escáner.
- f. Equipo de toma de muestreo de suelos
- g. Equipo de laboratorio: tamizadora, balanza, horno, tamices, lupa y lámpara.

4.6 Flujograma de la investigación

La metodología planteada en este trabajo se muestra descrita en el siguiente flujograma (figura 4.1).

Figura. 4.1 Flujograma de trabajo (Brines y Sambrano, 2019).

4.7 Procedimiento para el logro de los objetivos

Se describe a continuación en forma sucinta el procedimiento para llegar a cabo en forma eficiente, cada uno de los objetivos específicos planteados.

4.7.1 Recopilación de información bibliográfica

En el desarrollo de la investigación fue necesaria la integración de fuentes bibliográficas las cuales se obtuvieron de algunos ejemplares de la biblioteca de la Universidad De Oriente, núcleo bolívar, escuela ciencias de la tierra, y consulta de trabajos personales electrónicos y páginas web de internet.

Una vez recopilada la información, se pasó a la selección de información basándose en los objetivos de la investigación y las características geológicas, hidromorfológicas locales y regionales del área de estudio.

4.7.2 Describir las características físico natural del río La Canoa

Para la descripción se partió de la observación directa en campo donde se pudo establecer las características básicas como: la vegetación, relieve y tipo de suelo que rigen el área de estudio y la recopilación de información climatológica del área el cual permitió conocer el tipo de clima que gobierna en la zona

4.7.3 Levantamiento topográfico

El levantamiento se representó mediante una poligonal abierta estableciendo sus coordenadas correspondientes para cada estación. En el proceso se utilizó G.P.S, cinta métrica, brújula, eclímetro y hojas de cálculo de topografía. En levantamiento topográfico se busca cubrir el área total de la zona en estudio, con la finalidad de

obtener una representación gráfica del lugar. Que nos permita evidenciar las características que la definen. Con el levantamiento topográfico se procederá posteriormente a la construcción del plano topográfico y las secciones transversales del lecho.

4.7.4 Caracterizar geomorfológicamente el tramo medio del río la canoa.

Para su caracterización se comenzó por el análisis e interpretación de mapas y fotografías aéreas cercanas al área de estudio, luego se hizo un reconocimiento visual en campo, el cual permite una mejor apreciación de la forma superficial que posee el terreno en el tramo medio del río la Canoa.

4.7.5 Determinar las características hidrológicas del río La Canoa

A tal efecto, se efectuarán mediciones de la velocidad del flujo en la zona de ubicación del puente; asimismo, se realizarán mediciones de los patrones de flujo mediante la corrida de flotadores en el tramo aguas arriba de la ubicación del puente. Se determinará el caudal de diseño que aportará la cuenca del río La Canoa hasta el sitio del puente. Se calculará el área de la sección transversal y las velocidades teóricas para períodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

4.7.6 Determinación las características texturales de los suelos

En la recolección del muestreo de suelos se tomaron seis (6) muestras de sedimentos, en dos (2) secciones determinadas del río, ubicadas en la margen derecha descendente (MDD), en el centro de canal (CC) y en la margen izquierda descendente (MID). A dichas muestras se le realizaron los ensayos para su caracterización textural: análisis de distribución granulométrica y análisis morfoscópico de las partículas.

4.7.7 Determinación de la socavación en el sitio de fundación de la pila del puente

El método empleado se basó en el estudio de los factores y procesos que intervienen en la erosión y socavación que proporcionan modificaciones en el terreno. Para esto se hizo un reconocimiento detallado del área. Donde se pudo identificar los elementos que nos permite determinar los procesos erosivos y de socavación del lecho del río la Canoa en la ubicación del puente. Se utilizará para ello los criterios de, Laursen-Toch, Maza Alvarez, y Frohlich.



Figura 4.2 Tratamiento de muestra (Brines y Sambrano, 2019).

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Características climáticas del área de estudio

Según la clasificación climática de Koppen, W., y otros (1936) es la diversidad fisiográfica del territorio nacional y su ubicación latitudinal la que determinan la existencia de 13 zonas climáticas distintas en Venezuela. La zona de estudio conforme a este sistema de clasificación es característica de los llanos centrales por el relieve entre plano y ondulado por lo cual le corresponde un clima de bosque húmedo tropófito y sabanas (herbazales). Los factores que determinan este tipo climático son la baja latitud que le confiere temperaturas altas durante todo el año, la altitud sobre el nivel del mar que la ubican en el piso tropical, la distribución anual de las lluvias que definen dos períodos y la influencia de los vientos (Figura 5.1).

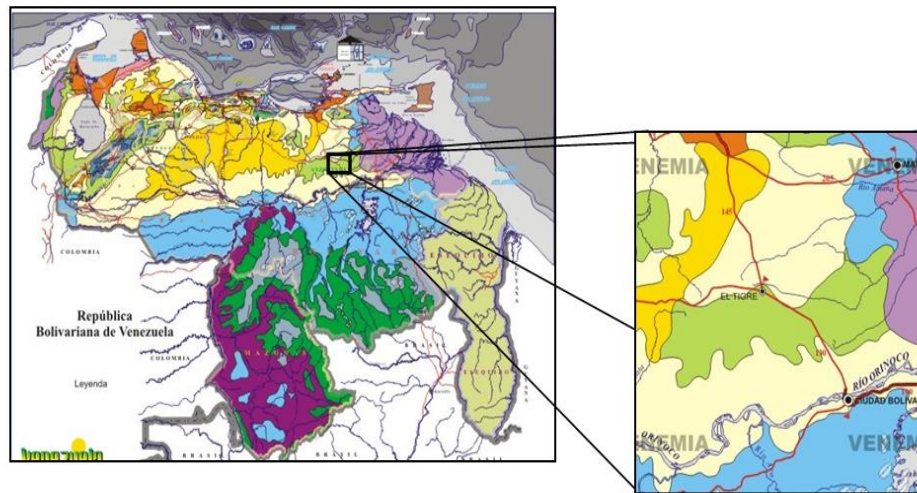


Figura 5.1 Clasificación climática del área de estudio según Koppen, W., 1936 (Venemia.com).

Para la clasificación climática del río La Canoa se utilizaron los datos de las variables climatológicas registradas en la estación meteorológica La Viuda de coordenadas 8.716667latitud norte y 63.86666 longitud oeste; por ser la más cercana a la zona en estudio. La estación fue instalada el 1 de Enero de 1958 es de tipo C1 (registra evaporación, precipitación, temperatura, radiación, nubosidad, insolación y velocidad media del viento) y es manejada por el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas.

Dicha estación no tiene registros actualizados de algunas variables es por esto que en su mayoría se hizo el análisis con datos comprendidos entre los años 1971 y 1976 aproximadamente, con excepción de la precipitación la cual posee un registro desde el año 1971 hasta el año 2002.

5.1.1 Precipitación

En el registro climático cuya precipitación data de los años 1971 al 2002 (31 años) revela una curva pluviométrica de tipo unimodal en la que se observa que las máximas precipitaciones ocurren durante los meses de Junio con un valor promedio de 102,65 mm, Julio con 133,23 mm y el mes de Agosto con 154,882 mm, siendo este el mes más lluvioso. El período de mínimas precipitaciones se desarrolla durante los meses de Enero con un valor promedio de 16,68 mm, Febrero con 15,04 mm y el mes de Marzo con un promedio de 9,92 mm siendo este el mes más seco; en el Apéndice E.1 se muestra de forma más detallada los valores obtenidos (Figura 5.2).

Figura 5.2 Promedio de precipitación mensual Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 2002. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).

5.1.2 Evaporación

Los índices de evaporación dependen de varios factores tales como la radiación solar, la temperatura, la humedad y el viento. Este elemento es un fenómeno gradual que se incrementa proporcionalmente, de acuerdo con la cantidad total de superficie expuesta y con períodos máximos y mínimos asociados al régimen de precipitación. Los meses de mayor evaporación son Marzo con 270,816 mm, Abril con 308,36 mm, siendo este el valor más alto y Mayo con 289,6 mm; lo cual se debe a las altas temperaturas, la mayor cantidad de horas de brillo solar así como el sensible aumento de la velocidad del viento en esos meses. Por otra parte, la evaporación registra su valor más bajo durante los meses de Noviembre con 189,76 mm y Diciembre con 179,82 mm(figura 5.3).

Figura 5.3 Promedio de evaporación mensual. Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 1976. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).

5.1.3 Temperatura

Para el lapso establecido, la temperatura media registrada presenta una distribución bimodal con dos períodos máximos (Abril-Mayo y Septiembre-October) y dos períodos mínimos (Junio-Julio y Diciembre-Enero). Los meses más cálidos presentan valores entre 26 °C y 26,3°C, mientras que los menos cálidos comprenden niveles entre los 24,4°C y 24,9°C en este caso los valores más bajos de temperatura media durante el año se dan en la época húmeda lo que podría ser explicado por el efecto de la nubosidad, la cual es máxima en esta época debido a la activación de la Zona de Convergencia Intertropical; en el Apéndice E.1 se muestra de forma más detallada los valores obtenidos(figura 5.4).

Figura 5.4 Promedio de temperatura media mensual. Estación meteorológica LaViuda. Período 1971 – 1975. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).

5.1.4 Radiación media

Los valores de energía emitida por el sol en forma de radiación electromagnética determinan la [dinámica](#) de los [procesos](#) atmosféricos y el [clima](#). Durante el período analizado se observa una variación de tipo bimodal en el cual los niveles máximos de radiación ocurren en los meses de Mayo y Septiembre con valores de 403 Cal/cm² y 399 Cal/cm² respectivamente, los niveles mínimos ocurren en los meses de Diciembre y Enero con valores de 320 Cal/cm² y 344 Cal/cm²; en el Apéndice E.1 se muestra de forma más detallada los valores obtenidos (figura 5.5).

Figura 5.5 Promedio de radiación media mensual. Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 1976. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).

5.1.5 Nubosidad media

La nubosidad en la zona de estudio está íntimamente relacionada con las precipitaciones, se presentan dos períodos máximos en los meses de Julio y Octubre ambas con un valor de 6 octavos y las mínimas en los meses de Febrero y Marzo con 5,2 y 5 octavos respectivamente (figura 5.6).

Figura 5.6 Promedio de nubosidad media mensual. Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 1975. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).

5.1.6 Insolación

El área de estudio recibe una insolación muy variante durante el año, presentándose las máximas en los meses de febrero y Mayo con 7,6 y 7,5 horas/décimo respectivamente y las mínimas en los meses de Junio con 6,4 horas/décimo y en Diciembre con 6,58 horas/décimo. La variación temporal de la

insolación depende del movimiento anual aparente del sol, nubosidad, las precipitaciones y el estado de transparencia de la atmosfera (figura 5.7).

Figura 5.7 Promedio de insolación media mensual. Estación meteorológica La Viuda. Período 1971 – 1976. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).

5.1.7 Velocidad del viento

El viento constituye un elemento importante en las modificaciones de la temperatura diaria. Este parámetro presentan valores claramente diferenciables durante el año, presentándose una época de velocidades máximas que se registran en los meses de Mayo y Marzo con 8,1 y 7,5 m/s comenzando a disminuir a partir de Junio hasta llegar a los registros mínimos de 3,4 m/s y 3,7 m/s en los meses de Septiembre y Octubre respectivamente (figura 5.8).

Figura 5.8 Promedio de velocidad del viento mensual. Estación meteorológica LaViuda. Período 1971 – 1976. INAMEH. (Brines y Sambrano, 2019).

Considerando los factores climáticos: precipitación, evaporación, temperatura, insolación solar y humedad relativa anteriormente expuestos y según el Informe Geoambiental del estado Anzoátegui (2011), en el municipio Independencia, de acuerdo con la clasificación Köppen el clima del área de estudio se clasifica como Tropical Lluvioso de Sabana (Aw).

5.2 Caracterización textural de los suelos presentes en el área de estudio.

El área de estudio se caracteriza por estar compuesta por sedimentos de arena y gravas la cual corresponde a la unidad geológica de la Formación Mesa; según González de Juana et all. (1980), la Formación Mesa es producto de una

sedimentación fluvio-deltáica y paludal. Los sedimentos de esta formación acuerdo su granulometría van desde gravas, arenas gruesas a muy finas, cantos rodados pocos seleccionados que se pueden observar en algunos afloramientos por erosión o por buzamiento.

5.2.1 Distribución granulométrica de los suelos

Este ensayo se realizó en el laboratorio de sedimentología, utilizando las Norma ASTM D-2488-75 y Norma ASTM d-2487 para la clasificación del suelo de cada una de las muestras tomadas del tramo medio del río La Canoa

De acuerdo con la norma ASTM d-2487 para la clasificación de los suelos, las muestras sometidas al ensayo, se clasifican como: suelo de grano grueso debido que el material pasante por el tamiz n° 200 es menos del 50%. Por otro lado, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) las muestras se clasifican como Arenas mal gradadas (SP) (figuras 5.9 a 5.14 y apéndices A.1 hasta A.6).

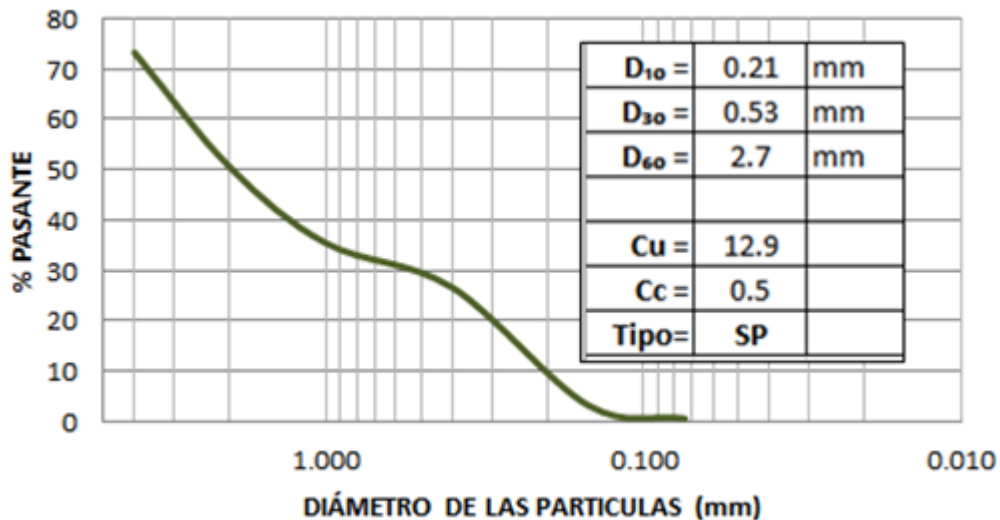


Figura 5.9 Curva granulométrica de la muestra M3I (Brines y Sambrano, 2019).

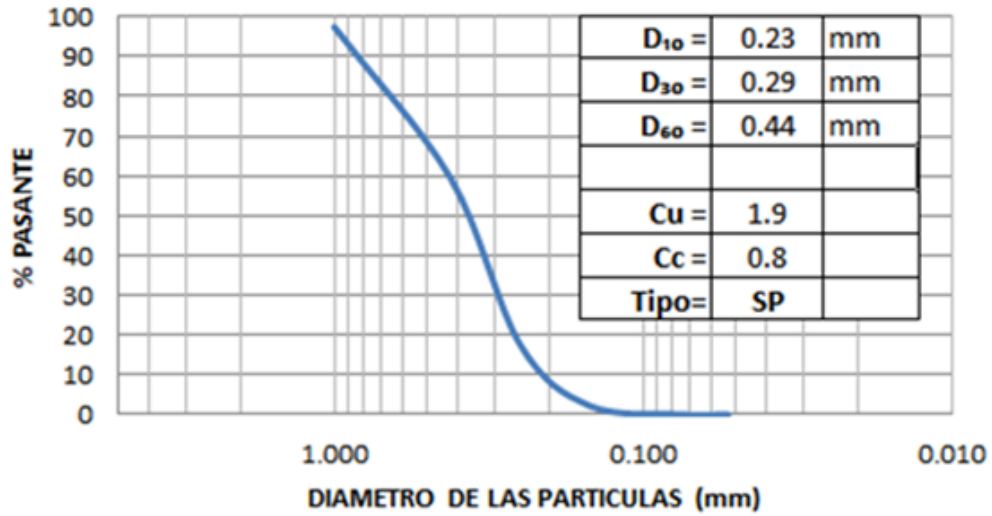


Figura 5.10 Curva granulométrica de la muestra M3C (Brines y Sambrano, 2019).

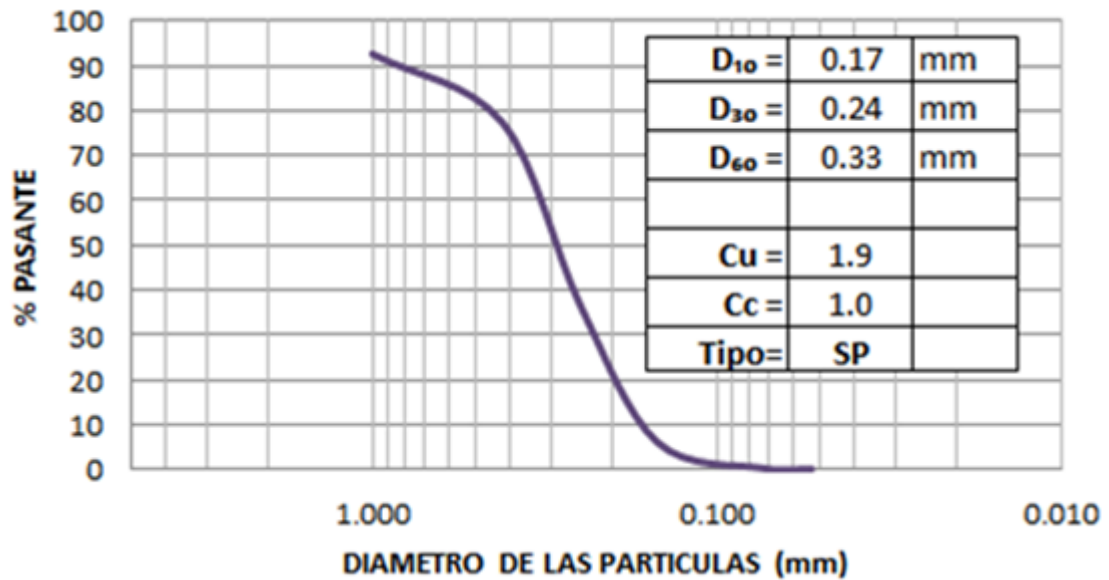


Figura 5.11 Curva granulométrica de la muestra M3D (Brines y Sambrano, 2019).

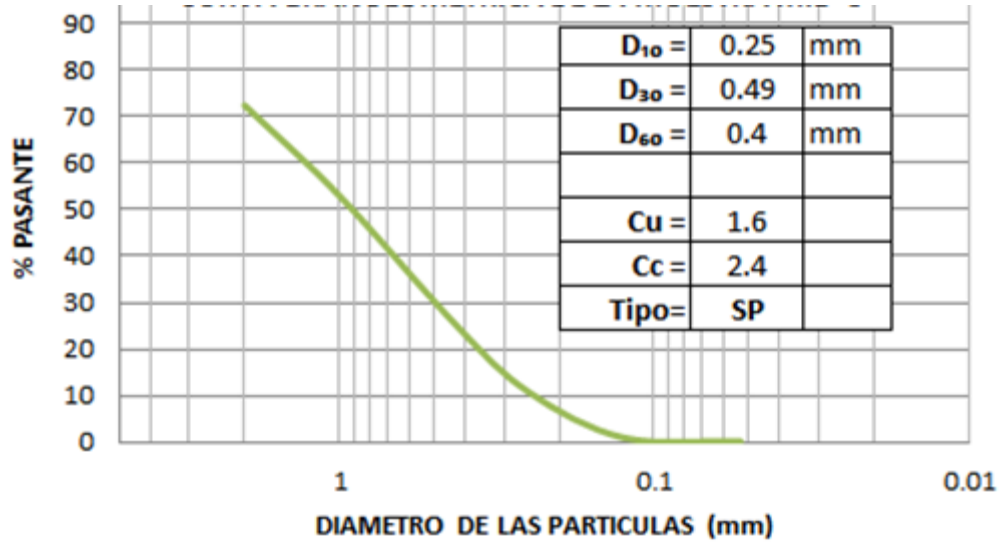


Figura 5.12 Curva granulométrica de la muestra M4I (Brines y Sambrano, 2019).

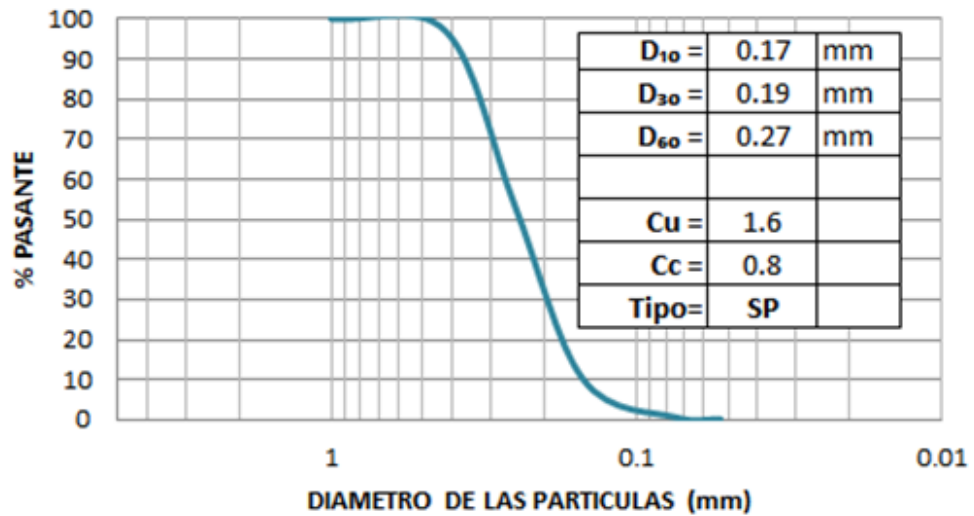


Figura 5.13 Curva granulométrica de la muestra M4C (Brines y Sambrano, 2019).

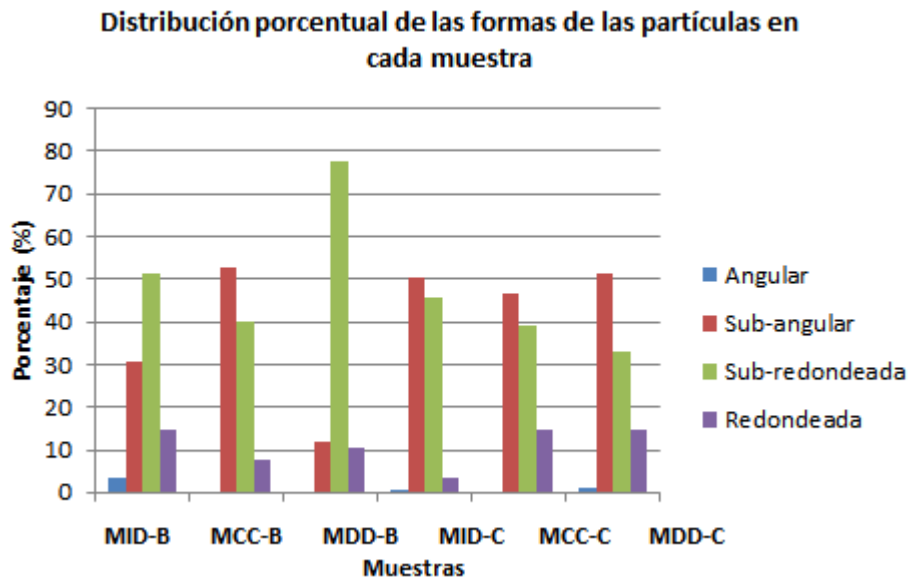


Figura 5.15 Distribución porcentual de las formas de las partículas en cada muestra (Brines y Sambrano, 2019).

A través del gráfico anterior se infiere que los sedimentos han sufrido desgaste presumiblemente por fricción, por el proceso de transporte que han tenido las partículas, desde su origen hasta su asentamiento en el área de estudio.

5.3 Características hidrológicas e hidráulicas del río La Canoa

Es necesario determinar parámetros hidráulicos fundamentales para poder estimar las condiciones de socavación que se producirán en torno a la futura pila cilíndrica que tendrá el puente. En primer lugar se determinará el caudal de diseño utilizando el método racional, se determinará la geometría del cauce del tramo de estudio mediante un levantamiento topográfico taquimétrico. Posteriormente, considerando el coeficiente de rugosidad del lecho y haciendo uso del programa HEC-RAS se determinará la velocidad del flujo y nivel del agua en el sitio de interés.

5.3.1 Caudal de diseño

Este método amerita la determinación del coeficiente de escurrimiento ponderado de acuerdo a la distribución de uso del suelo, la intensidad de las precipitaciones y el área de la cuenca.

5.3.1.1 Coeficiente de escurrimiento ponderado

La cual se determina por la relación entre la sumatoria de los productos de cada tipo de cobertura presente en la cuenca por el área que ocupa, entre el área total de la cuenca:

(5.1)

La observación de las características de la superficie de la cuenca hidrográfica del río La Canoa, observada en imágenes satelitales Landsat del Google Earth, se estableció el uso de la tierra como el de un área no desarrollada (rural) cubierta por pastizales, las zonas ribereñas cubierta de bosques de galerías y el resto cubierta de cultivos. Los coeficientes de escurrimientos se asignan de acuerdo al criterio de Benitez (1980) (tabla 5.2).

Tabla 5.2 Coeficientes de escurrimiento según Benitez (1980).

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla 5.3 Estimación del coeficiente de escurrimiento ponderado (Brines y Sambrano, 2019).

Tipo de cobertura	Area (A) (km ²)	Coeficiente de escurrimiento	Ce x Área	Coeficiente de escurrimiento
-------------------	--------------------------------	------------------------------	-----------	------------------------------

		(Ce)		ponderado (Cep)
Pastizales	120	0.35	42.00	0.324
Bosques de galería	62	0.25	15.50	
Cultivos	19	0.40	7.60	
Totales	201		65.1	

5.3.1.2 Estimación de la intensidad de las precipitaciones

Para ello se considerarán las curvas IDF producidas por Gutiérrez y Macías (2015) y el tiempo de concentración para la cuenca.

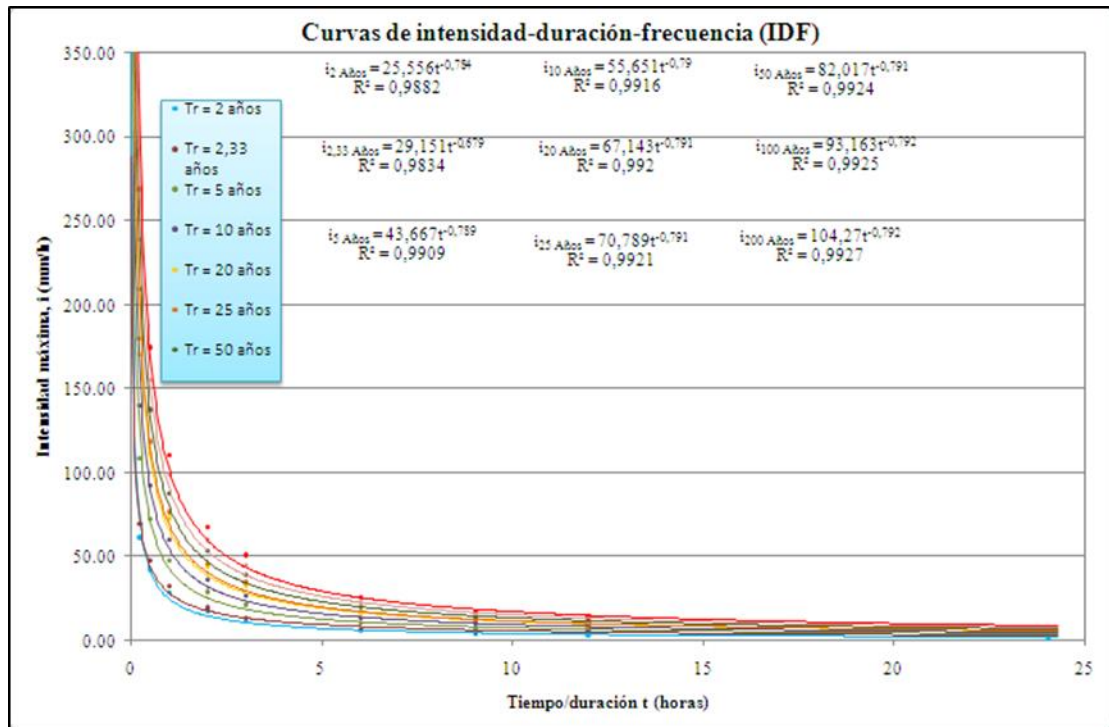


Figura 5.16 Curvas IDF para la estación La Viuda (Gutiérrez y Macías, 2015).

De la California CulvertPractice (1942) se deduce el tiempo de concentración:

Para un tiempo de concentración 4.06 horas y un período de retorno de 25 años se estima una intensidad de precipitación de 20 mm/hr.

El caudal de diseño para un periodo de 25 años será:

$$Q_{25} = (Cep \cdot A \cdot I) / 360$$

$$Q_{25} = (0.324 \times 2010\text{ha} \times 20 \text{ mm/hr}) / 360 = 36.18 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sin embargo, una de las limitaciones del método racional es que no es conveniente su uso en cuencas superiores a 500 ha. Gutiérrez y Macías (2014) estimaron el caudal de diseño de la misma cuenca por los métodos de Creager y de Kresnick obteniendo valores de 35.04 m³/s y de 36.44 m³/s respectivamente.

En vista de ello, se asumirá un caudal de diseño para la cuenca de 36.44 m³/s.

5.3.2 Estimación de la velocidad y nivel del flujo

En este sentido, se utilizará el modelo matemático unidimensional de flujo permanente implementado en la aplicación computarizada del US ArmyCorp of Engineering: HEC-RAS. Se utilizarán los datos del levantamiento topográfico taquimétrico mediante el cual se definieron diez (10) secciones transversales al flujo del cauce que se muestran en las figuras 5.17 a la 5.26.

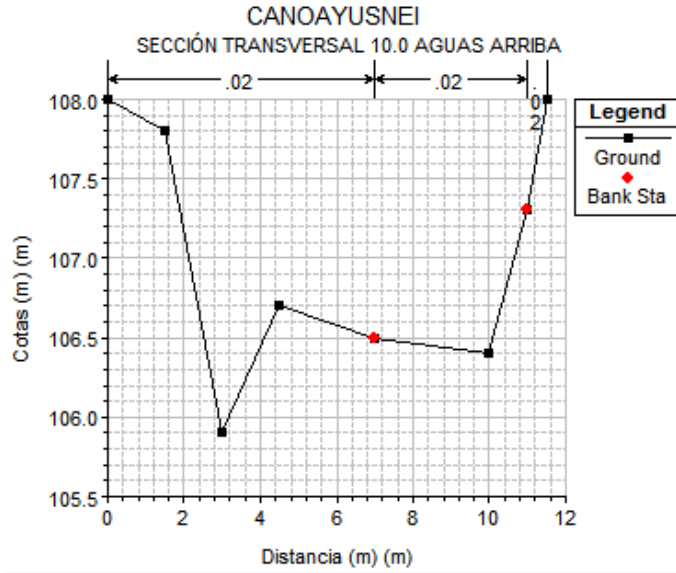


Figura 5.17 Sección transversal 10.0 (Brines y Sambrano, 2019).

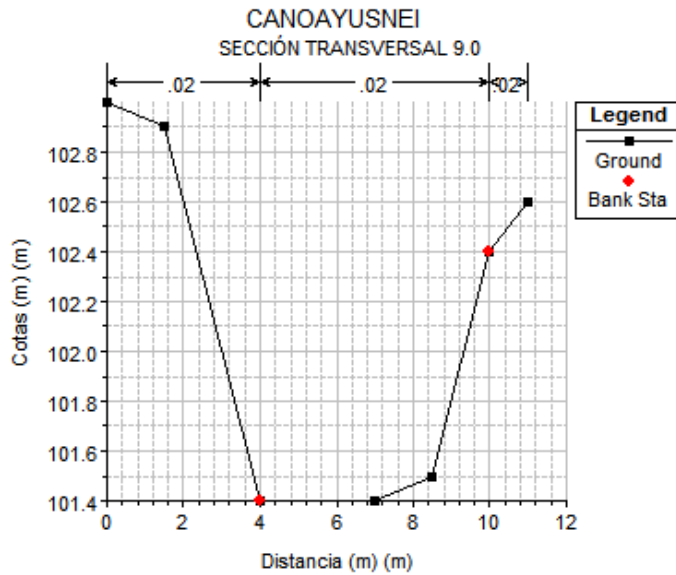


Figura 5.18 Sección transversal 9.0 (Brines y Sambrano, 2019).

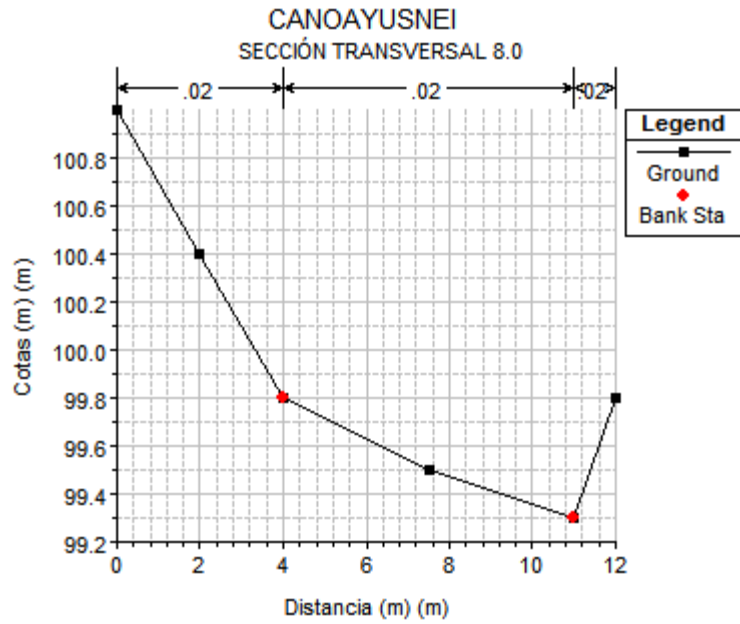


Figura 5.19 Sección transversal 8.0 (Brines y Sambrano, 2019).

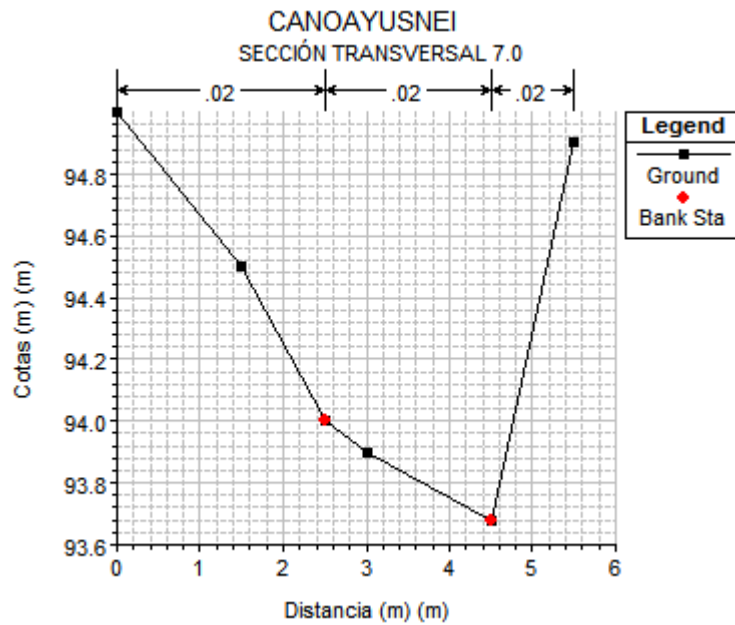


Figura 5.20 Sección transversal 7.0 (Brines y Sambrano, 2019).

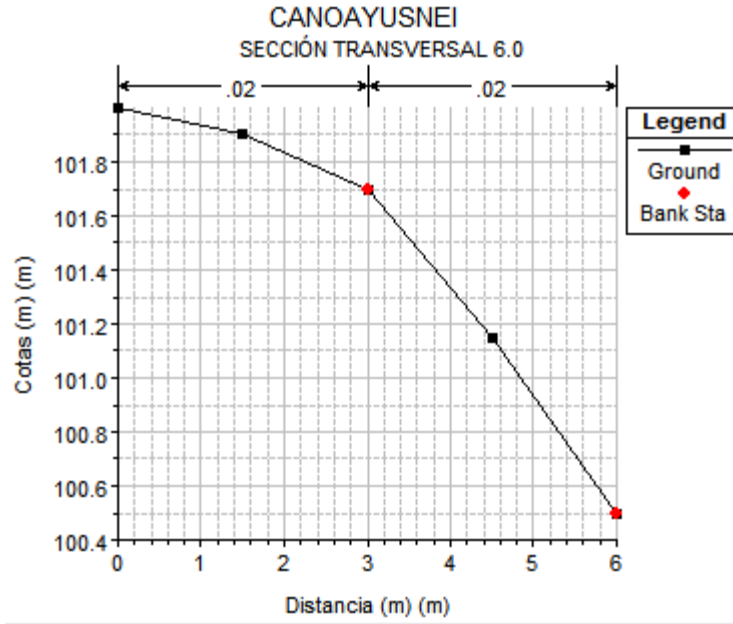


Figura 5.21 Sección transversal 6.0 (Brines y Sambrano, 2019).

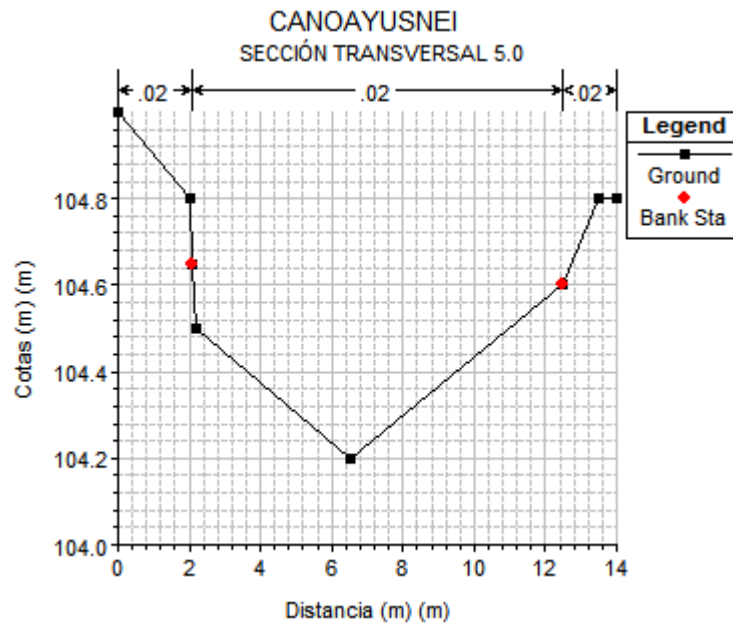


Figura 5.22 Sección transversal 5.0 (Brines y Sambrano, 2019).

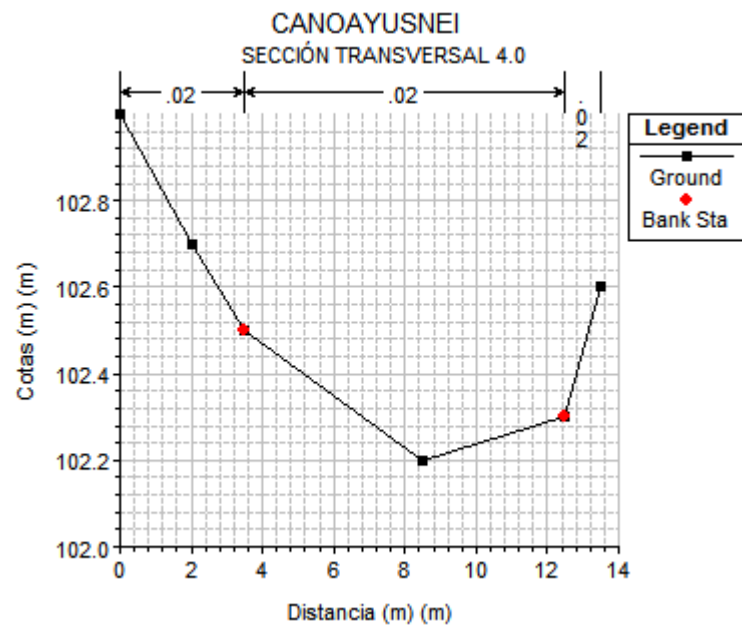


Figura 5.23 Sección transversal 4.0 (Brines y Sambrano, 2019).

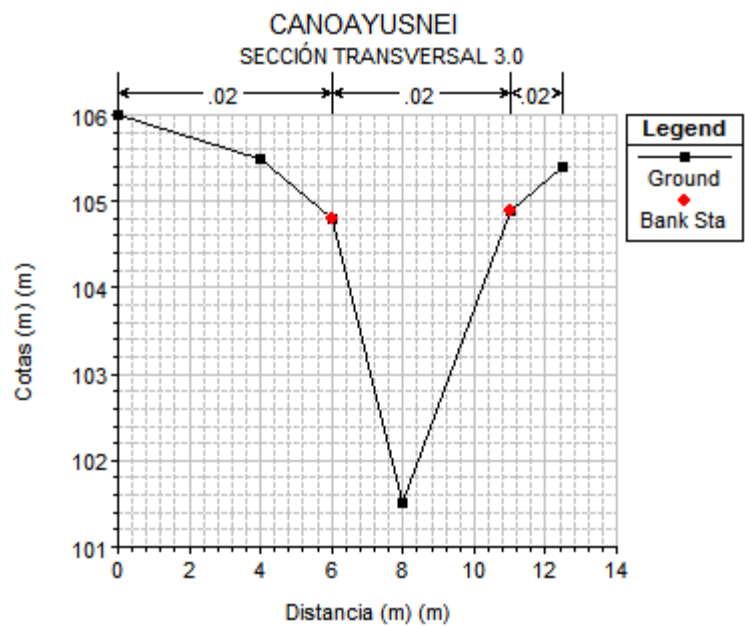


Figura 5.24 Sección transversal 3.0 (Brines y Sambrano, 2019).

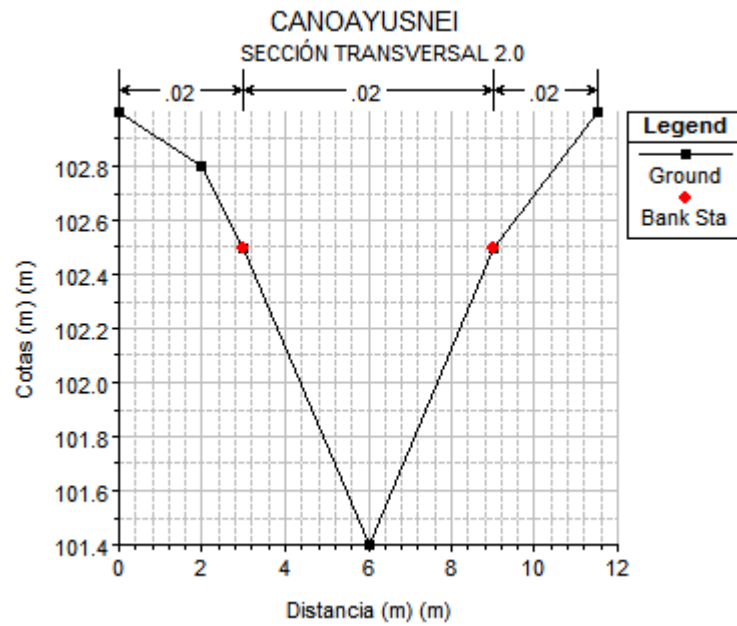


Figura 5.25 Sección transversal 2.0 (Brines y Sambrano, 2019).

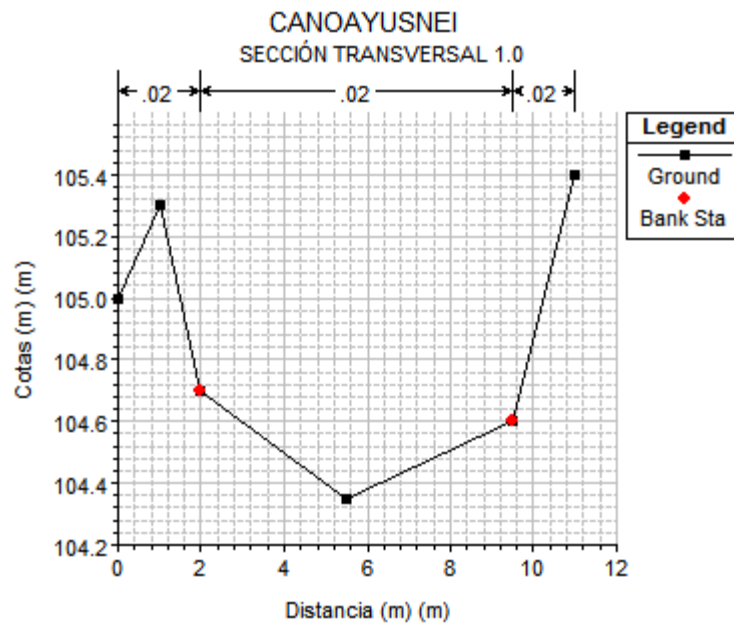


Figura 5.26 Sección transversal 1.0 (Brines y Sambrano, 2019).

Considerando la geometría de las secciones transversales, el caudal de diseño de la cuenca se estimará la velocidad del flujo y el nivel de las aguas mediante el uso de la aplicación computarizada HEC RAS.

De los datos arrojados por el programa se observó que para las condiciones extremas para un período de retorno de 50 años, la velocidad del flujo en el lugar de fundación de la pila (sección transversal 3.0) será de 2.05 m/s y se tendrá una profundidad hidráulica de 1.64 m (tabla 5.4).

Tabla 5.4 Parámetros Hidráulicos del tramo en estudio del río La Canoa (Brines y Sambrano, 2019).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	W.S. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Hydr Depth (m)	Hydr Radius (m)	Froude # Chl
CUENCA MEDIA	10	Tr = 50 años	36.40	107.71	0.004528	3.51	10.87	9.72	1.12	0.96	1.04
CUENCA MEDIA	9	Tr = 50 años	36.40	106.42	0.000044	0.92	48.97	11.00	4.45	2.59	0.13
CUENCA MEDIA	8	Tr = 50 años	36.40	106.43	0.000010	0.58	79.34	12.00	6.61	3.26	0.07
CUENCA MEDIA	7.0	Tr = 50 años	36.40	106.41	0.000014	1.00	66.91	5.50	12.16	2.29	0.09
CUENCA MEDIA	6.0	Tr = 50 años	36.40	106.36	0.000291	1.23	29.15	6.00	4.86	1.77	0.17
CUENCA MEDIA	5.0	Tr = 50 años	36.40	106.32	0.000415	1.57	25.49	14.00	1.82	1.50	0.36
CUENCA MEDIA	4.0	Tr = 50 años	36.40	106.37	0.000040	0.80	53.26	13.50	3.95	2.57	0.13
CUENCA MEDIA	3.0	Tr = 50 años	36.40	106.20	0.000767	2.05	20.54	12.50	1.64	1.20	0.38
CUENCA MEDIA	2.0	Tr = 50 años	36.40	106.30	0.000061	1.00	45.40	11.50	3.95	2.44	0.15
CUENCA MEDIA	1.0	Tr = 50 años	36.40	105.74	0.003494	3.41	11.79	11.00	1.07	0.94	0.98

5.4 Características geomorfológicas del río La Canoa

El relieve en la zona se presenta en forma de planicie con pendientes suaves (figura. 5.x.), el tramo medio del río La Canoa se caracteriza por poseer llanuras fluviales que están sujeta a inundaciones recurrentes, por lo que esta no es estática ni estable, debido a la erosión y socavación de los márgenes. El cauce presenta curvas alternadas unidas por tramos rectos y cortos, este tipo de cauce se le denomina meandriforme, el desarrollo de meandros incrementa la longitud y por consiguiente disminuye la pendiente, la geometría de un cauce con meandros está determinada por la erosión y socavación del margen exterior o cóncava y el depósito de sedimentos a lo largo del margen interior o convexa.



Figura 5.27 Relieve de las riberas del río La Canoa (Brines y Sambrano, 2019).

5.4.1 Parámetros morfométricos de la cuenca del río La Canoa.

En la figura 5.x se muestra el área que comprende el río La Canoa.

5.4.1.1 Línea divisoria

En la figura 5.x se muestra parte de las hojas cartográfica 7441 y 7442 con la línea divisoria de la cuenca ya trazada.

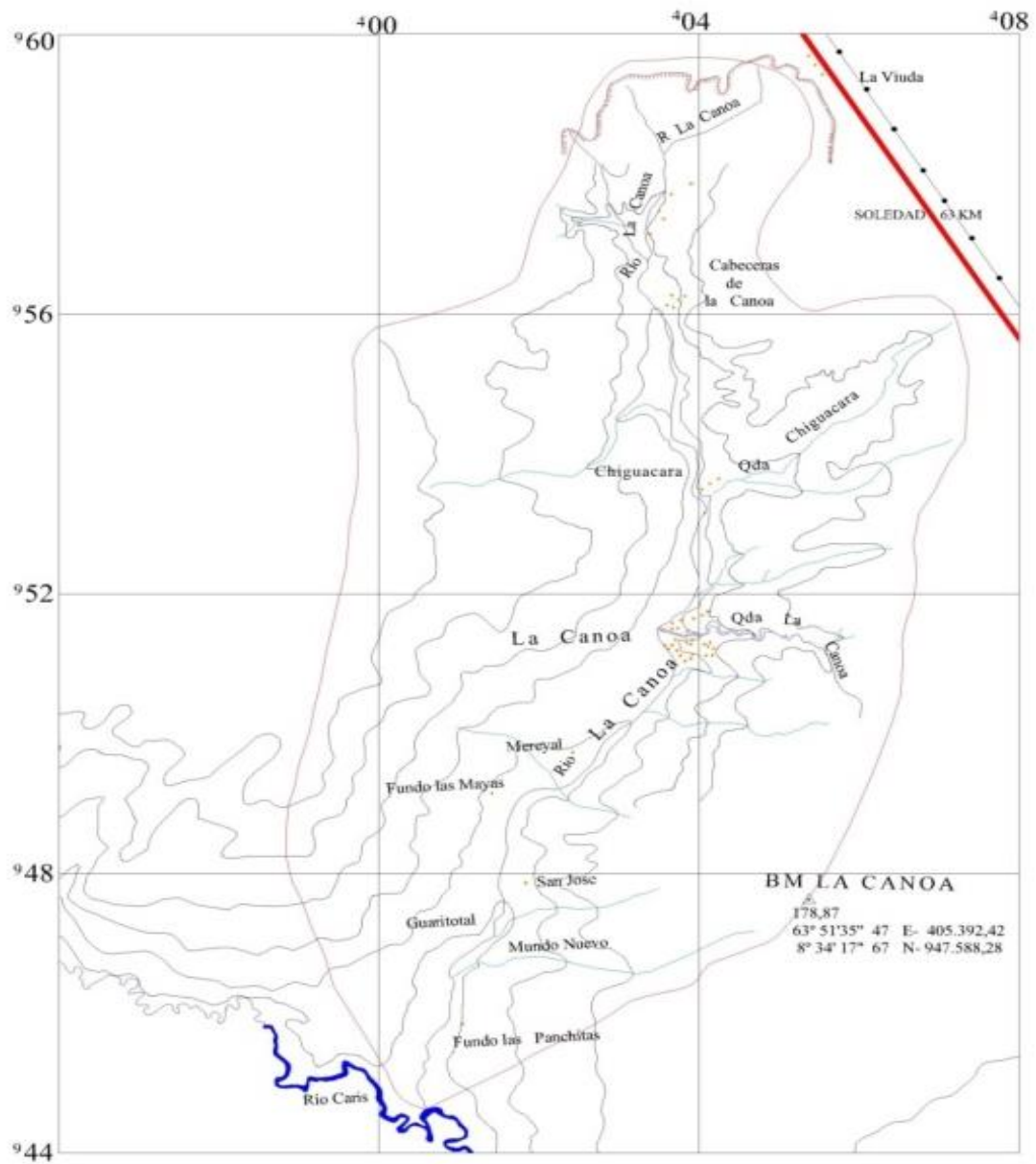


Figura 5.28 Parte de las hojas cartográficas 7441 y 7442 que comprenden la cuencadel río La Canoa (modificado de Brines y Sambrano, 2019).

5.4.1.2 Área de la cuenca

El cálculo del área de la cuenca realizado con la ayuda del programa AutoCAD dió como resultado 20.1 km².

5.4.1.3 Perímetro de la cuenca

El cálculo del perímetro de la cuenca realizado con la ayuda del programa AutoCAD dió como resultado 39,714 km.

5.4.1.4 Longitud del cauce

El cálculo de la longitud del cauce realizado con la ayuda del programa AutoCAD dió como resultado 18,120 km.

5.4.1.5 Longitud axial

El cálculo de la longitud axial de la cuenca realizado con la ayuda del programa AutoCAD dió como resultado 15,488 km.

5.4.1.6 Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (K_c)

Para el cálculo del índice de Gravelius se utilizó la Ecuación 3.2 y se obtuvo un valor de 0,99257. El cual se encuentra dentro del rango clase K_c 1 correspondiente a una forma oblonga a oval para la cuenca.

5.5 Erosión del lecho en la pila de fundación del puente sobre el río La Canoa

Los lechos y riberas de un río están sujetos a procesos erosivos y socavación, estos están relacionados directamente con el factor geomorfológicos, hidrológico, hidráulico y sedimentológico. En el presente estudio fueron analizados tres (3) factores: geomorfológico, hidrológico y textural.

En el caso de la erosión en las riberas del río se pudo constatar la presencia de erosión laminar, estas se producen cuando el agua de lluvia excede la capacidad infiltración del suelo lo que origina aguas superficiales las cuales van formando este tipo de erosión. La textura del suelo está constituido por arenas, gravas y gravillas, por lo que su compactación la hace menos resistentes a agentes erosivos, este tipo de erosión se encontraron en las zonas donde la cobertura vegetal es escasa o ausente (figura 5.x)



Figura 5.29 Evidencias de erosión en riberas del río La Canoa (Brines y Sambrano, 2019).

También se encontró en el lecho del río, escombros (árboles) en una de las curvaturas (meandros) del tramo medio del río La Canoa, lo que nos hace suponer que el perfil del río ha sufrido cambios a lo largo del tiempo y por lo que la pendiente se hace más pronunciada en el margen cóncava o exterior (figura 5.x). Este tipo de erosión y socavación del lecho generalmente ocurre en avenidas del río, causando cambios en su pendiente.



Figura 5.30 Socavación de ribera del río La Canoa (Brines y Sambrano, 2019).

5.5.1 Socavación al pie de la pila cilíndrica del futuro puente

El análisis de la socavación que a continuación se presentará pretenderá mostrar las estimaciones de la socavación local que se produciría en la pila central cilíndrica del puente proyectado sobre el río La Canoa.

5.5.1.1 Método de Laursen y Toch (1953 – 1956)

| Se evaluará la socavación para la condición dada proyectada y para un período de retorno de 50 años. Adicionalmente, se considerarán las variables de profundidad existentes en la sección transversal aguas arriba de la pila. Luego, aplicando la ecuación propuesta por sus autores:

$$y_s = k_f k_g a$$

$K_f = 0.8$ pila cilíndrica (figura 3.5).

Hs para Tr 50 años =1.64 m (Profundidad en la sección transversal 3.0, según tabla 5.x)

a= 0.50 m.pila cilíndrica

$K_g =$ (depende de Hs/a en figura 3.6)

Tabla 5.5 Estimación de la socavación local en la pila circular según el método de Laursen – Toch (Brines y Sambrano, 2019).

Condición	k_f	Hs (m)	a (m)	Hs/a	k_g	y_s (m)
Tr = 50 años	0.8	1.64	0.50	3.28	2.2	0.88

5.5.1.2 Método de Maza Sánchez

Para la aplicación de la metodología propuesta por Maza – Sánchez se considerarán la profundidad y la velocidad existentes en la sección transversal 3.0 que se encuentra en el sitio de fundación de la pila y se emplearán entonces las variables siguientes para las mismas condiciones analizadas en el método anterior:

Hs para Tr 50 años =1.54 m (Profundidad en la sección transversal 3.0, según tabla 5.x)

V para Tr50 años = 2.05 m/s (de Sección transversal 3.0 en tabla 5.x).

a= 0.5 m

$H_T =$ (Depende de Fr^2 , de H_s/a en la Figura 3.9)

$Y_s = H_s - H_T$

Tabla 5.6 Estimación de la socavación local en la pila cilíndrica según Maza - Sánchez (Brines y Sambrano, 2019).

Condición	V (m/s)	g (m/s ²)	Hs (m)	Fr ²	a (m)	Hs / a'	H _T / a'	H _T (m)	y _s (m)
Tr=50 años	2.05	9.8	1.54	0.278	0.5	3.08	3.4-	1.7-	0.16-

5.5.1.3 Método de Froehlich (1991)

Para este método se aplicará la ecuación 3.16. .

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

v

Donde:

$K_f =$ 1 (para pila punta circular)

a= 0.5 m

a'= 0.5 m porque el ángulo de esviaje es 0° y es una pila circular

h para Tr 50 años =1.54 m (Profundidad en la sección transversal 3.0, según tabla 5.2)

V para Tr50 años = 3.78 m/s (de Sección transversal 3.0 en tabla 5.x).

$D_{50} =$ 0.37 mm (figura 5.10, muestra M3C, centro de canal de sección transversal 3.0).

Se efectúan las estimaciones de la socavación local al pie de la pila, y_s , (aplicando la ecuación 3.16) y considerando un $Tr= 50$ años.

Tabla 5.7 Estimación de la socavación local en la pila cilíndrica según Froehlich (Brines y Sambrano, 2019).

Condición	k_r	a' (m)	h (m)	V (m/s)	g (m/s ²)	Fr	D_{50} (m)	y_s (m)
Tr=50 años	1.0	0.50	1.54	2.05	9.8	0.38	0.00037	0.73

Los tres (3) métodos para estimar la socavación de la pila cilíndrica arrojaron resultados variables, siendo el más conservador o menor fue el método de Maza-Sánchez (0.16 m). Los otros dos métodos aplicados se consideran válidos por presentar resultados semejantes.

Tabla 5.8 Resumen de estimaciones de socavación local en pila circular (Brines y Sambrano, 2019).

Condición	Laursen-Toch	Maza-Sánchez	Froehlich
Tr=50 años	0.88	0.16-	0.73

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Considerando los factores climáticos: precipitación, evaporación, temperatura, insolación solar y humedad relativa del área de estudio y de acuerdo con la clasificación de Köppen el clima del área de estudio se clasifica como Tropical Lluvioso de Sabana (Aw).

2. De acuerdo con la norma ASTM d-2487 para la clasificación de los suelos, las muestras se clasifican como: suelo de grano grueso debido que el material pasante por el tamiz n° 200 es menos del 50%. Por otro lado, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) las muestras se clasifican como Arenas mal gradadas (SP). Asimismo, el análisis morfosκόpico de las partículas indica que son subangulares y subredondeadas de lo que se infiere un nivel de transporte moderadamente friccionante.

3. El tramo de la cuenca media del río La Canoa tiene características semimeandrantas con escasa pendiente del lecho, Los flujos predominantes mantienen velocidades entre 1 y 4 m/s aproximadamente para un caudal de 36.4 m³/s para un periodo de retorno de 50 años. Sin embargo el flujo en el tramo se puede considerar subcrítico.

4. La cuenca del río La Canoa presenta forma oblonga es decir que se puede considerar medianamente generadora de inundaciones o creciente significativas. Asimismo presenta en sus riberas un relieve relativamente de bajas pendientes entre 0 y 3%. La morfología del lecho muestra variaciones significativas del cauce presentando condiciones de inversión de pendientes a la salida del tramo.

5. El análisis de la socavación de la pila propuesta, de acuerdo a los resultados de los métodos utilizados (Laursen y Torch, Maza-Sánchez y Froehlich) indican que la socavación estimada no superarán los 0,88 m.

Recomendaciones

Se sugiere evaluar la socavación que ocurriría en la fundación de la pila cilíndrica aplicando los modelos Yaroslaziev, el método de Colorado StateUniversity y cualquier otro diseñado para tal fin.

REFERENCIAS

Autodesk, Inc. (2014). **AUTOCAD**. 20 de Enero de 2014. [<http://www.autodesk.es/products/autodesk-autocad/overview>].

Balestrini, M. (2006). **COMO SE ELABORA UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. BL Consultores y Asociados, Caracas, Venezuela, 6ta Edición, pp 220.

BlancoLagardere, L. (1991).**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS, GEOHIDROLÓGICAS Y AMBIENTALES DE LA CUENCA DE CAÑAFÍSTOLA**, trabajo de grado inédito, Núcleo Bolívar, Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar. pp. 18-74.

Betancourt, C. y Guevara Z. (1998). **ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO CON FINES DE ORDENACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAN RAFAEL**. Ciudad Bolívar estado Bolívar. Universidad de Oriente (UDO), Escuela de Ciencias de la Tierra. Trabajo especial de grado para optar por el título de Ingeniero Geólogo. Ciudad Bolívar. Pág. 12-20,42-51,56, 57,90.

Chow, V. (1994). **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS**. McGraw Hill, Santafé de Bogotá Colombia. 667 p.

Danhke, G.L. (1986). **INVESTIGACIÓN Y COMUNICACIÓN**. En C. Fernández—Collado y G.L. DANHKE(comps.). *La comunicación humana: ciencia social*. México, D.F.:McGraw—Hill de México, pp 385—454.

Diaz, J. S., (2010), **ESFUERZO_Y_RESISTENCIA_AL_CORTANTE**
Consultado el 12/10/2014 http://ocw.uis.edu.co/ingenieria-civil/estabilidad-de-taludes/clase3/3_esfuerzo_y_resistencia_al_cortante.pdf.

Dirección de Cartografía Nacional (1966). **HOJA 7441, LA CANOA, VENEZUELA.** Edición 1 DCN.

Dirección de Cartografía Nacional (1966). **HOJA 7442, LA VIUDA, VENEZUELA.** Edición 1 DCN.

Gaceta Oficial N° 4.418 (27/04/1992). **NORMA PARA REGULAR ACTIVIDADES CAPACES DE PROVOCAR CAMBIOS DE FLUJO, OBSTRUCCIÓN DE CAUCE Y PROBLEMAS DE SEDIMENTACIÓN.** Decreto N° 2.218 23/04/1992, Publicada en

González, C., Iturralde A. J., y Picard, C., (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS.** tomo I y II, ed. facsimilar 1.993,: Ed. Foninves. Caracas

Google Earth, (2012). **MAPA DEL RÍO LA CANOA, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI.**

Herrera, J., (1998). **REDONDEZ Y ESFERICIDAD DE LAS PARTÍCULAS.** trabajo inédito, Ciudad Bolívar: Universidad De Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra, Departamento de Geología, Laboratorio de Sedimentología, pp 1-14.

Hernández, R. (2004). **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.** Mc. Graw- Hill. México, pp 12-18.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2011). **REPORTE DE ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA.** 15 de julio de 2013.

[http://www.inameh.gob.ve/mensual/info_serial_climatologica_busqueda_reporte.php].

Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. (2015) **CATALOGO DE MAPAS.** Consultado el 23/10/2018. [http://www.igvsb.gob.ve/documentos/mapas_fis/anzoategui.pdf]

Juárez, Badillo y Rico, R. (2006). **MECÁNICA DE SUELOS.** Tercera Edición. Tomos I y II. Editorial Limusa, S.A. México.

Knighton, D. (1998). **FLUVIAL FORMS AND PROCESSES.** A new perspective. Oxford University Press, New York, 400 p.

Koppen, W & Geiger, R., (1936). **HANDBUCH DE KLIMATOLOGIE 1.** Berlin.

Macabril, M. y Serrano, A.(2010). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ALTA A MEDIA DEL RIO SAN RAFAEL CON FINES DE ORDENAMIENTO URBANÍSTICO Y MEJORAS. MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR.**

Martínez, F. y Pérez, E. (2007). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA AMBIENTAL DEL RÍO SAN RAFAEL, EN ÉPOCAS DE SEQUÍA Y LLUVIA. MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR.** Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Trabajo especial de grado para optar por el título de geólogo. Pág.19-21,55-57, 77,78.

Martínez M. (2002) **CURSO DE QUIMIO-ESTRATIGRAFÍA.** Consultado el 15 de Marzo 2002, [<http://www.sedimentología.com/curso.html>].

Maza, J. y García, M. (2011). **MANUAL DE INGENIERÍA DE RÍOS**. México. 119 p.

Moreno O., C., **FUNDAMENTOS DE GEOMORFOLOGIA**. Segunda edición 1992

Mosquera, U. y Parravano, V. (2005), **EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO DE LA MESA DE GUANIPA, ESTADO ANZOÁTEGUI**. Inédito, Trabajo Especial de Grado, U.L.A

Nanía, L., y Molero, E., (2007). **MANUAL BASICO HEC-RAS 3.1.3 Y HEC-GEORAS 3.1.1**.Granada. Universidad de Granada., Área de Ingeniería Hidraulica. Área de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Pp 59.

Norma venezolana CONENIN 1125-77 **SUELOS. METODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE LOS LIMITES LÍQUIDO Y PLASTICO**.

Petróleos de Venezuela S.A. (1997)– Centro Internacional de Educación y Desarrollo (PDVSA- CIED) **CÓDIGO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA (CGV)**, 14 de Noviembre 2001, [<http://www.pdv.com/lexico>]

PDVSA-Intevep (1999-2001). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA**. versión electrónica en CD.

Pettijohn F (1970). **ROCAS SEDIMENTARIAS**. Editorial Eudeba 3° edición. Buenos Aires pp 106, 107, 108, 119.

Ruiz López, E. (2010). **FUERZA TRACTIVA**. Instituto tecnológico de Tapachula, Consultado el 10/10/2010. <http://www.slideshare.net/C3poruiz/metodo-f-t>

Tiapia, Y., (2004). **ESTUDIO COMPARATIVO PERÍODOS SECOLLUVIOSO PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO SAN RAFAEL. CIUDAD BOLÍVAR-ESTADO BOLÍVAR.** Tesis de Grado. U.D.O., Núcleo Bolívar Escuela de Ciencias de la Tierra, Ciudad Bolívar. pp. 21-22, 49-51.

Universidad del Cauca. (2015) **GEOMORFOLOGÍA.** Consultado el 22/09/2018. http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/t_geomorfologia.pdf

Universidad de Oriente (2000). **GUÍA DE REDONDEZ Y ESFERICIDAD DE LAS PARTÍCULAS.** Departamento de Geología inédito, Ciudad Bolívar.

Universidad de Oriente (2001). **GUÍA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.** Departamento de Geología inédito, Ciudad Bolívar.

Waddell P., (1932). **FORMA DE LOS CLASTOS Y EL PROCESO DE TRANSPORTE SELECTIVO.** Editorial Technologies, U.S.A, pp 62-74.

Yang, C., (1973). **SEDIMENT TRANSPORT: THEORY AND PRACTICE.** McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering, New York. 396 pages.

Yalin, M., Da Silva, A., (2001): **FLUVIAL PROCESSES.** IAHR Monograph, IAHR, Delft, The Netherlands, 197 pages.

Zorrilla, S. y Torres, M., (1993). **GUÍA PARA ELABORAR LA TESIS.** México, McGraw-Hill. 108p.

APÉNDICES

APÉNDICE A
TABLAS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS

A.1 Análisis granulométrico de la muestra M3I (Brines y Sambrano, 2019).

TAMIZ Nº	DIAMETRO DEL TAMIZ (mm)	PESO DEL TAMIZ (gr)	TAMIZ + MATERIAL (gr)	MATERIAL RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	MATERIAL PASANTE (%)
5	4.000	730	864	134	26.8	73.2
10	2.000	661	775	114	22.8	50.4
18	1.000	600	675	75	15	35.4
40	0.400	308	352	44	8.8	26.6
100	0.149	319	436	117	23.4	3.2
200	0.074	504	517	13	2.6	0.6
PAN		482	483	1	0.2	0.4
			Total	498		

A.2 Análisis granulométrico de la muestra M3C (Brines y Sambrano, 2019).

TAMIZ Nº	DIAMETRO DEL TAMIZ (mm)	PESO DEL TAMIZ (gr)	TAMIZ + MATERIAL (gr)	MATERIAL RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	MATERIAL PASANTE (%)
18	1.000	600	613	13	2.60	97.40
40	0.420	310	500	190	38.00	59.40
60	0.250	521	730	209	41.80	17.60
100	0.149	319	396	77	15.40	2.20
200	0.074	504	515	11	2.20	0.00
270	0.053	400	400	0	0.00	0.00
PAN		482	482	0	0.00	0.00
			Total	500		

A.3 Análisis granulométrico de la muestra M3D (Brines y Sambrano, 2019).

TAMIZ Nº	DIAMETRO DEL TAMIZ (mm)	PESO DEL TAMIZ (gr)	TAMIZ+ MATERIAL (gr)	MATERIAL RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	MATERIAL PASANTE (%)
18	1.000	600	637	37	7.40	92.60
40	0.420	309	385	76	15.20	77.40
60	0.250	521	723	202	40.40	37.00
100	0.149	319	473	154	30.80	6.20
200	0.074	504	533	29	5.80	0.40
270	0.053	400	401	1	0.20	0.20
PAN		482	482	0	0.00	0.20
			Total	499		

A.4 Análisis granulométrico de la muestra M4I (Brines y Sambrano, 2019).

TAMIZ Nº	DIAMETRO DEL TAMIZ (mm)	PESO DEL TAMIZ (gr)	TAMIZ+ MATERIAL (gr)	MATERIAL RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	MATERIAL PASANTE (%)
10	2	661	799	138	27.6	72.4
18	1	600	697	97	19.4	53
40	0.42	309	450	141	28.2	24.8
60	0.25	520	590	70	14	10.8
120	0.125	478	536	49	9.8	1
270	0.053	400	404	4	0.8	0.2
PAN		482	482	0	0	0.2
			Total	499		

A.5 Análisis granulométrico de la muestra M4C (Brines y Sambrano, 2019).

TAMIZ Nº	DIAMETRO DEL TAMIZ (mm)	PESO DEL TAMIZ (gr)	TAMIZ + MATERIAL (gr)	MATERIAL RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	MATERIAL PASANTE (%)
18	1	600	600	0	0	100
40	0.42	309	325	16	3.2	96.8
60	0.25	520	737	217	43.4	53.4
100	0.149	319	536	217	43.4	10
200	0.074	504	551	47	9.4	0.6
270	0.053	400	402	2	0.4	0.2
PAN		482	482	0	0	0.2
			Total	499		

A.6 Análisis granulométrico de la muestra M4D (Brines y Sambrano, 2019).

TAMIZ Nº	DIAMETRO DEL TAMIZ (mm)	PESO DEL TAMIZ (gr)	TAMIZ + MATERIAL (gr)	MATERIAL RETENIDO (gr)	MATERIAL RETENIDO (%)	MATERIAL PASANTE (%)
10	2.000	661	793	132	26.40	73.60
18	1.000	600	704	104	20.80	52.80
40	0.420	309	379	70	14.00	38.80
60	0.250	520	545	25	5.00	33.80
120	0.124	487	627	140	28.00	5.80
270	0.053	400	428	28	5.60	0.20
PAN		482	483	1	0.20	0.00
			Total	500		



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

CONSTANCIA DE CONFORMIDAD DE TUTORIA

A través de la presente hago de su conocimiento que el trabajo de grado intitulado **“ANÁLISIS DE LA EROSIÓN DEL LECHO EN EL SITIO DE FUNDACIÓN DE LA PILA CILÍNDRICA DE UN PUENTE EN UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO LA CANOA EN LA POBLACIÓN DE LA CANOA, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA”**, el cual fue desarrollado por las bachilleres **BRINES A., YUSGLADIS M. y SAMBRANO G., NEILE C.**, 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

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso

– 1/6

Título	“ANÁLISIS DE LA EROSIÓN DEL LECHO EN EL SITIO DE FUNDACIÓN DE LA PILA CILÍNDRICA DE UN PUENTE EN UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO LA CANOA EN LA POBLACIÓN DE LA CANOA, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.”,
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
	BRINES ASCANIO YUSGLADIS MAOLIS	CVLAC
e-mail		yusgladis@gmail.com
e-mail		
SAMBRANO GUDIÑO NEILE CAROLINA	CVLAC	16.648.571
	e-mail	neilikar3110@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Erosión del lecho
Características físico natural
Características geotécnica del suelo
Características hidrológicas
Características geomorfológicas
Secciones transversales

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de geotecnia	Ingeniera geológica
Departamento de geología	Geología

Resumen (abstract):

El presente trabajo tuvo como objetivo Analizar la erosión del lecho en el sitio de fundación de la pila cilíndrica central de un puente en el tramo medio del río La Canoa en la población de La Canoa, municipio Independencia, estado Anzoátegui, Venezuela. Con la finalidad de analizar geotécnicamente y geomorfológicamente el área de estudio, con propósitos ingenieriles tales como el diseño de fundaciones y estribos de un puente. Las conclusiones más relevantes para este estudio se considero los factores climáticos, de acuerdo con la clasificación de Köppen el clima del área de estudio se clasifica como Tropical Lluvioso de Sabana (Aw). Para la clasificación de los suelos, las muestras se clasifican como: suelo de grano grueso de acuerdo con la norma ASTM d-2487 Por otro lado, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) las muestras se clasifican como Arenas mal gradadas (SP). Asimismo, el análisis morfoscópico de las partículas indica que son subangulares y sub-redondeadas. El tramo de la cuenca media del río La Canoa tiene características semi meandranes con escasa pendiente del lecho, Los flujos predominantes mantienen velocidades entre 1 y 4 m/s aproximadamente para un caudal de 36.4 m³/s para un periodo de retorno de 50 años. Sin embargo el flujo en el tramo se puede considerar subcrítico. El análisis de la socavación de la pila propuesta, de acuerdo a los resultados de los métodos utilizados (Laursen y Torch, Maza-Sánchez y Froehlich) indica que la socavación estimada no superarán los 0,88 m.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

<p>Apellidos y Nombres</p>

Echeverría, Dafnis	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
España, Juan	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
Echeverría, Beatriz	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2022	10	25
-------------	-----------	-----------

Lenguaje Spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
Tesis análisis de la erosión del lecho de un tramo de la cuenca media del río la canoa.doc

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M
N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1
2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: Universidad De Oriente

Temporal:

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero geólogo y Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Pregrado

Área de Estudio:

Ingeniera geológica y Geología

Otra(s) Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso
– 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *Martínez*
FECHA *5/8/09* HORA *5:30*

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

Juan A. Bolanos Curvelo
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso –
6/6

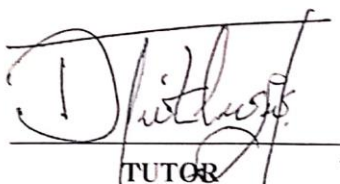
Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009)
: “Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.”



AUTOR
Yusgladis M. Brines A.
C.I.: V-15.467.660



AUTOR
Neile C. Sambrano G.
C.I.: V- 16.648.571



TUTOR
Dafnis Echeverría