

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



PROPUESTA DE OBRAS HIDRÁULICAS PARA LA PROFUNDIZACIÓN DEL CANAL DE NAVEGACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LAS MÁRGENES DE LAS RIBERAS DEL RÍO ORINOCO EN EL SECTOR GUASINA, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA.

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PRESENTADO POR LAS
BACHILLERES RIVAS R.,
ZULIANNY A. Y PARRA G.,
AMAIRUS J. DE LAS N. PARA
OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO.**

CIUDAD BOLÍVAR, 21 DE ABRIL DE 2025



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

HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **PROPUESTA DE OBRAS HIDRÁULICAS PARA LA PROFUNDIZACIÓN DEL CANAL DE NAVEGACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LAS MÁRGENES DE LAS RIBERAS DEL RÍO ORINOCO EN EL SECTOR GUASINA, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA.** presentado por los bachilleres **RIVAS R., ZULIANNY A.** de cédula de identidad N° **21.124.158**, y **PARRA G., AMAIRUS J. DE LAS N.** de cédula de identidad N° **26.047.675** como requisito parcial para optar por el título: **INGENIERO GEÓLOGO**, ha sido expuesto, defendido y aprobado de acuerdo al reglamento de la Universidad de Oriente por el jurado integrado por los profesores:

Nombre y Apellido del Prof.:

Prof. Dafnis Echeverría Díaz
(Asesor)

Prof Beatriz Echeverría Coa.
(Jurado)

Prof. Francisco Monteverde S.

Prof. Francisco Monteverde
Jefe del Departamento de Ing. Geológica



Pirma
Dafnis Echeverría Díaz
Beatriz Echeverría Coa.

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

En Ciudad Bolívar a los 21 días del mes de abril de 2025

DEDICATORIA

Amairus José de las Nieves Parra González.

Le dedico mi trabajo de grado primeramente a Dios, ya que gracias a Él he podido llegar hasta este momento y por no desampararme.

A mis padre Jesús Parra y Amanda González por su amor, dedicación y apoyo incondicional. De ustedes he aprendido que todo lo puedo lograr con esfuerzo, dedicación y disciplina; que son importar el tiempo que conlleve lograr una meta si eso me hace feliz ustedes siempre me darán su apoyo y bendición. Soy muy afortunada y bendecida por tenerlos como mis padres, ustedes son perfectos para mí.

A mí hermana Amauris Parra por siempre estar para mí y aclarar mi pensar, cuando puedo llegar a tener una duda de si lo estoy haciendo bien o no; tienes las palabras que necesito sin saber. Eres el regalo más hermoso que han podido dar nuestros padres.

A mi Tía Arbelina González a la cual considero mi segunda madre, por su cariño único y maravilloso hacia mí, por siempre apoyarme, aconsejarme y estar pendiente de mí.

A mis primos Orlan Guzmán, Jesús González y Adán González que han sido un apoyo muy importante para mí, me han ayudado cuando lo he necesitado, me han animado siempre a luchar por mis sueños. Se alegran por mis logros como si fueran de ustedes por eso y más tienen un lugar especial en mi corazón.

A la familia Bastardo Guzmán por su apoyo y consejos en cada momento. A su hermosa hija Charlotte Bastardo Guzmán por ser esa luz radiante que llena de amor, cariño y alegría mis días.

Finalmente, y no menos importante, a mis mosqueteras Zulianny Rivas y Auglimar Ochoa; mis buenas amigas que me regaló mi casa de estudio con las cuales he podido contar siempre. Hemos creado memorias inolvidables y las que están por venir.

Que Dios los Bendiga hoy y Siempre.

DEDICATORIA

Zulianny Audimary Rivas Rondón.

Dedico esta tesis a mis queridos abuelos, Delia Carpio y Luis Rosendo Rondón, cuyo amor y sabiduría han sido una luz en mi vida. Su ejemplo de esfuerzo y dedicación me ha inspirado a alcanzar mis sueños

AGRADECIMIENTOS

Amairus José de las Nieves Parra González

Le doy las gracias a Dios, Ya que sin Él no habría llegado a obtener ningún logro; como dice mi papi " a nadie le falta Dios" y conmigo siempre fue así. Gracias por cuidarme a mí, a mis padres, a mi hermana, a todos mis familiares y amigos.

A mí Anima del Taguapire y Santa Bárbara por acompañarme en toda mi carrera y a nivel personal.

A mí Vieja Elena González por su apoyo constante y cariño.

A mis compañeros de clases que se han convertido en mis sinceros amigos Moisés Pérez, Daniela Pérez, Raul Jiménez, Soheimar Merchan, Jesús Rojas, Yorgelis García, Luis Felipe Cabello, Ariannys Chacare, Julio La Cruz, Saulimar Guerrero, Fabiangely Franco, Ámbar Emilia y Isabela Doble por su apoyo y por todas las oportunidades en las cuales nos reunimos a estudiar y compartir. Gracias por el cariño que me han dado, espero poder tenerlos siempre presentes en mi vida.

A mí casa de estudio, la Universidad de Oriente; Núcleo Bolívar y a todos los profesores por las enseñanzas dadas.

A todos muchísimas gracias

Zulianny Audimary Rivas Rondón

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en la realización de este trabajo y en mi formación personal y académica.

A mis abuelos, Delia Carpio y Luis Rosendo Rondón, por su amor incondicional y por ser un ejemplo de perseverancia y dedicación. Su apoyo ha sido una fuente constante de inspiración en mi vida.

A mi madre, Zulay Rivas, por su sacrificio y por enseñarme la importancia de la educación. Gracias por siempre estar a mi lado y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mis tíos, por su apoyo y consejos, que han enriquecido mi vida de múltiples maneras. Su presencia ha sido un pilar en mi camino.

A mi esposo, Mariano Jurambey, por su amor, paciencia y motivación. Tu apoyo ha sido invaluable en este proceso, y no podría haber llegado hasta aquí sin ti.

A mi hija, Nicole Dantas, por recordarme cada día la razón por la que lucho. Eres mi mayor alegría y mi inspiración constante.

A mis primas, Ormary y Oriéliza, por su compañía y amistad. Siempre han estado ahí para brindarme su apoyo y ánimo.

A la señora Miriam Marrero, por su orientación y por creer en mis capacidades. Su dedicación como mentor ha dejado una huella imborrable en mi formación.

Y, por último, a mis profesores, quienes con su conocimiento y pasión por la enseñanza han guiado mi camino académico. Gracias por compartir su sabiduría y por motivarme a alcanzar mis metas.

A todos ustedes, gracias desde lo más profundo de mi corazón. Este logro es tan suyo como mío.

RESUMEN

El objetivo general de la investigación es el de dimensionar estructuras tipo espigón para el control del flujo, a fin de estabilizar el canal de navegación del río Orinoco en el sector Guasina entre las millas 99.4 y 101.5, estado Delta Amacuro. El trabajo de investigación se enmarcó dentro de las características del nivel de investigación denominado proyecto factible. La estrategia que se adoptó para dar respuesta al problema planteado fue documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se determinaron las características geotécnicas del material del lecho, a través ensayos de granulometría, de corte directo, de redondez, se clasificó el tipo de suelo por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S). Por otra parte, se determinó la morfología del lecho del río, mediante la digitalización de planos batimétricos del área, que posteriormente sirvieron para hacer comparaciones de las márgenes, asimismo se elaboraron secciones transversales, también se realizaron modelos digitales tridimensionales del lecho con el fin de observar la morfología y los distintos cambios ocurridos en el lecho. Además, se estableció el comportamiento hidrodinámico empleando los registros de los niveles, así como también los aforos realizados en las campañas del Instituto Nacional de Canalizaciones, con la información disponible se construyeron hidrogramas de frecuencia de niveles del río, correlaciones de caudales, niveles y velocidades donde se señalaron algunos aspectos importantes relacionados con el comportamiento del río. También se logró proponer un nuevo alineamiento del canal de navegación y en este se estimó que el volumen a ser dragado es de $2.430.512,54 \text{ m}^3$, luego se dimensionaron las estructuras tipo espigón, que en total fueron 10 estructuras. Posteriormente, con el programa HEC-RAS, se pudo realizar un modelado de las condiciones del flujo con la presencia de los espigones y el nuevo alineamiento y compararlas con las condiciones actuales, según en el modelo con espigones se logró un incremento de las velocidades del flujo, en especial para los espigones 3, 4 y 5 donde se redujo mayormente el área de la sección debido a la longitud de estos espigones, con velocidades de 0.64, 0.71 y 0.62 m/s respectivamente, y antes de introducir las modificaciones el programa mostraba velocidades de 0.52, 0.54 y 0.51 m/s.

CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vii
CONTENIDO	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE APÉNDICES	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	4
SITUACIÓN A INVESTIGAR	4
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Objetivos de la investigación.....	7
1.2.1 Objetivo general.....	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
1.3 Justificación de la investigación.....	8
1.4 Alcance de la investigación.....	9
CAPÍTULO II	11
GENERALIDADES	11
2.1 Venezuela y el río Orinoco.....	11
2.2 Canal del Orinoco.....	14
2.3 Puertos del río Orinoco.....	15
2.4 Ubicación geográfica del área de estudio.....	28
2.5 Acceso al área de estudio.....	29
CAPÍTULO III	31
MARCO TEÓRICO	31
3.1 Antecedentes de la investigación.....	31
3.2 Fundamentos teóricos.....	34
3.2.1 Morfología y dinámica fluvial.....	34
3.2.2 Sinuosidad en ríos.....	35
3.2.3 Trazado de los ríos.....	36
3.2.4 Concepto de río en equilibrio.....	38
3.2.5 Sedimentos.....	40
3.2.6 Formas del lecho.....	42
3.2.7 Rápidos y remansos.....	43
3.2.8 Procesos fluviales.....	45
3.2.9 Dinámica fluvial.....	49
3.2.10 Inestabilidad lateral del cauce.....	50

3.2.11 Orillas de roca.....	52
3.2.12 Estabilización y rectificación de ríos.....	53
3.2.13 Diseño de espigones	62
3.2.14 Erosión local al pie de espigones.....	85
3.2.15 Criterio para el diseño de los primeros espigones	87
3.3 Definición de términos básicos	89
CAPÍTULO IV	92
METODOLOGÍA DE TRABAJO	92
4.1 Tipo de investigación	92
4.2 Diseño de investigación	92
4.3 Población y muestra de la investigación	93
4.3.1 Población de la investigación	93
4.3.2 Muestra de la investigación	94
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	94
CAPÍTULO V.....	96
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	96
5.1 Caracterización físico naturales del sector Guasina.....	96
5.1.1 Clima	96
5.1.2 Caracterización biótica.....	97
5.2 Características geotécnicas de los materiales del lecho en el sector Guasina... ..	99
5.3.1 Sinuosidad y trazado	102
5.3.2 Cambios morfológicos ocurridos en el tiempo	103
5.3.3 Geomorfología del lecho	106
5.3.4 Evolución morfológica del lecho	108
5.4 Comportamiento hidrodinámico del sector Guasina en el tramo en estudio... ..	109
5.4.1 Hidrogramas	109
CAPÍTULO VI.....	112
FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA	112
6.1 Alternativa de realineamiento y dragado capital en el tramo en estudio	112
6.1.1 Realineamiento.....	112
6.2 Dimensiones de los espigones.....	116
6.2.1 Forma de los espigones	116
6.2.2 Orientación de los espigones (α)	116
6.2.3 Longitud de los espigones (L):	117
6.2.4 Separación entre espigones (S).....	117
6.2.5 Pendiente longitudinal de los espigones (K_c)	118
6.2.6 Ubicación de los espigones.....	119
6.2.7 Talud de las paredes del espigón	122
6.2.8 Peso de la roca de la coraza del espigón (W_r)	122
6.2.9 Ancho de la cresta del espigón.....	122
6.2.10 Características del filtro.....	123
6.3 Modelado de las condiciones finales del flujo en torno al campo de espigones.....	126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129

Conclusiones	129
Recomendaciones.....	131
REFERENCIAS	133
APÉNDICES	137

LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Cuenca hidrográfica del río Orinoco. (León, 2006).....	13
2.2	Tramos El Jobal – Matanzas y Matanzas – Boca Grande. (I.N.C, 2003).....	16
2.3	Ubicación del puerto el Jobal, Tramo El Jobal – Matanzas. (I.N.C, 2003)...	17
2.4	Ubicación del puerto de Sidor, Tramo Matanzas – Boca Grande. (I.N.C,2003)	18
2.5	Ubicación del puerto ACBL, Tramo Matanzas – Boca Grande. (I.N.C, 2003)	19
2.6	Ubicación del puerto de Venalum, T2003).....	20
2.7	Ubicación del puerto de Cementos Guayana, Tramo Matanzas – Boca Grande.(I.N.C, 2003).....	21
2.8	Ubicación del puerto de Alcasa, Tramo Matanzas – Boca Grande. (I.N.C, 2003)..	22
2.9	Ubicación del puerto de Bauxilum, Tramo Matanzas – Boca Grande. (I.N.C,2003)	23
2.10	Ubicación del puerto Punta Cuchillo, Tramo Matanzas – Boca Grande. (I.N.C,2003).....	24
2.11	Ubicación del puerto de Ferrominera, Tramo Matanzas – Boca Grande. (I.N.C,2003).....	25
2.12	Ubicación del puerto de Paula, Tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).....	26
2.13	Ubicación del puerto de San Félix, Tramo Matanzas – Boca Grande. (I.N.C,2003).....	27
2.14	Ubicación del puerto de Punta de Piedra, Tramo Matanzas – Boca Grande. (I.N.C,2003).....	28
2.15	Ubicación geográfica del área de estudio. (I.N.C, 1992).....	29
3.1	Sección Transversal del cauce, indicándolos distintos niveles de las aguas.(González, 1998).....	32
3.2	Parámetro de una planta sinuosa. (Martín, 2000).....	33
3.3	Diferentes tipos de trazados meandriforme. (Church, 1992).....	34
3.4	Trazado trenzado. (Martín, 2000).....	35
3.5	Caudal dominante, definido por su magnitud y frecuencia. (Knighton, 1984)	37
3.6	Velocidades críticas de la corriente para el inicio del movimiento y transporte desedimentos, en función de su tamaño. (Hjulström, 1956)...	40
3.7	Formas del lecho en ríos arenosos. (Chang, 1988).....	41
3.8	Perfil longitudinal y en planta de un cauce, mostrando la secuencia de rápidos yremansos. (Leopold, 1978).....	42
3.9	Flujo secundarios en la formación de rápidos y remansos, en tramos rectos y	43

sinuosos. (Hey, 1986)	
3.10 Variación de las velocidades del agua en una sección transversal del cauce, y cálculo de la velocidad media. (González, 1998).....	44
3.11 Corriente secundaria (Sección, planta y perspectiva de trayectoria helicoidal).(Martín, 2000).....	45
3.12 Desplazamientos laterales de un cauce. (Maza, 1997).....	53
3.13 Erosión y sedimentación en curvas. (Maza, 1997).....	53
3.14 Una posible forma de falla y erosión de la margen. (Maza, 1997)....	54
3.15 Obras de protección marginal. (Maza, 1997).....	55
3.16 Recubrimiento marginal. (Maza, 1997).....	56
3.17 Dique Marginal. (Maza, 1997).....	57
3.18 Espigones. (Maza, 1997).....	58
3.19 Trazo del eje del río y líneas extremas de defensa en una rectificación. (Maza,1997).....	64
3.20 Trazo del eje del río y líneas extremas de defensa para proteger márgenes sensiblemente paralelos al eje del río. (Maza, 1997).....	65
3.21 Eje del río y radios de curvatura. (Maza, 1997).....	66
3.22 Trazo del eje del río. (Maza, 1997).....	68
3.23 Espigón empotrado. (Maza, 1997).....	71
3.24 Espigón apoyado en la margen y en un río sin escurrimiento en estiaje. (Maza,1997).....	73
3.25 Falla de un espigón. (Maza, 1997).....	74
3.26 Forma en planta de los espigones. (Maza, 1997).....	75
3.27 Método para obtener el espaciamiento entre espigones. (Maza, 1997)	76
3.28 Construcción de espigones en función de la altura de las márgenes. (Maza,1997).....	80
3.29 Sección típica de un espigón. (Headquarters, Department Of The Army Office OfThe Chief of Engineers, 1963).....	86
3.30 Erosión del fondo durante la construcción. (Maza, 1997).....	87
3.31 Forma de evitar la erosión durante la construcción. (Maza, 1997)....	87
3.32 Diseño de los primeros espigones en una obra de protección.(Maza,1997)	89
4.2 Dimensiones a considerar para determinar el volumen a dragar.....	101
4.3 Esquema del río en el área de estudio.....	109
4.4 Asignación de valores a una sección en estudio.....	110
4.5 Esquema en planta con las secciones transversales.....	111
4.6 Ventana para datos del flujo.....	112
4.7 Nivel del agua para el caudal.....	112
4.8 Análisis del flujo en los tramos.....	113

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1 Características del puerto El Jobal (I.N.C ,2003).....	17
2.2 Características del puerto de Sidor (I.N.C, 2003).....	18
2.3 Características del puerto ACBL (I.N.C, 2003).....	19
2.4 Características del puerto de Venalum (I.N.C, 2003).....	20
2.5 Características del puerto Cementos de Guayana (I.N.C, 2003).....	21
2.6 Características del puerto de Alcasa (I.N.C, 2003).....	22
2.7 Características del puerto de Bauxilum (I.N.C, 2003).....	23
2.8 Características del puerto Punta Cuchillo (I.N.C, 2003).....	24
2.9 Características del puerto de Ferrominera (I.N.C, 2003).....	25
2.10 Características del puerto de Paula (I.N.C, 2003).....	26
2.11 Características del puerto de San Félix (I.N.C, 2003).....	27
2.12 Características del puerto de Piedra (I.N.C, 2003).....	28
3.1 Clasificación del caudal solido atendiendo a su origen y principal forma detransporte (González, 1998).....	39
3.2 Escala de tamaños de sedimentos (American Geophysical Unión).....	40
4.1 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo, coordenadas U.T.M...	98
5.1 Características climáticas del sector Guasina. (Consultora Caura, 1994).....	115
5.2 Especie de peces más comunes en el rio Orinoco (Consultora Caura, 1994).....	116
5.3 Características geológicas del sector Guasina (diferentes fuentes).....	117
6.1 Criterios para ancho y profundidades de canal en el río Orinoco (T.A.M.S.,1970).....	129
6.2 Dimensiones del canal de navegación en el sector Guasina (I.N.C, 2003)	129
6.3 Volumen a dragar en el nuevo alineamiento.....	130
6.4 Uso de las balizas flotantes en el río Orinoco (I.N.C, 2003).....	131
6.5 Longitud de los espigones.....	133
6.6 Separación entre espigones.....	134
6.7 Pendiente de los espigones.....	134
6.8 Ubicación geográfica de los espigones propuestos, mediante coordenadas U.T.M,con respeto a su propio eje.....	135
6.9 Diámetros D ₁₅ , D ₅₀ y D ₈₅ del núcleo y la coraza.....	137

LISTA DE APÉNDICES

A	TABLAS	127
	A.1 Niveles promedios mensuales registrados en la estación limnigráfica TG-Socoroco durante el período 1990-2002, correspondientes al sector Guasina del canal de navegación del río Orinoco (Información suministrada por el Dpto. de Hidrografía del I.N.C.).....	128
	A.2 Datos de niveles, velocidades, gastos líquidos y gastos sólidos de la sección de aforo Isla Paloma Sur ubicada en la milla 101.5, sector Guasina.....	128
	A.3 Resultados del modelo con espigones y el nuevo alineamiento mediante el usoHEC- RAS.....	129
	A.4 Resultados del modelo sin espigones mediante el uso HEC-RAS.....	129
B	FIGURAS	130
	B.1 Análisis granulométrico realizado a la muestra N° 1 ubicada en las coordenadas (N=944659.7715 E=659529.9713), sector Guasina del canal de navegación del río Orinoco.....	131
	B.2 Análisis granulométrico realizado a la muestra N° 2 ubicada en las coordenadas (N=944613.7185 E=658912.4007), sector Guasina del canal de navegación del río Orinoco.....	132
	B.3 Análisis granulométrico realizado a la muestra N° 3 ubicada en las coordenadas (N=943813.7472 E=662405.9524.5), sector Guasina del canal de navegación del río Orinoco.....	133
	B.4 Análisis granulométrico realizado a la muestra N° 4 ubicada en las coordenadas(N=943251.4366 E=661240.7051), sector Guasina del canal de navegación del río Orinoco.....	134
	B.5 Análisis de redondez de las partículas para la muestra N° 1.....	135
	B.6 Análisis de redondez de las partículas para la muestra N° 2.....	136
	B.7 Análisis de redondez de las partículas para la muestra N° 3.....	137
	B.8 Análisis de redondez de las partículas para la muestra N° 4.....	138

INTRODUCCIÓN

Esta tesis se enfoca en diseñar propuestas que permitan la profundización del canal de navegación y la estabilización de las márgenes del río Orinoco en el sector Guasina. El presente trabajo se realizó con la intención de indagar y conocer sobre las estructuras tipo espigón como medida para mejorar las profundidades, para este fin se recaudó un conjunto de información acerca de este tipo de estructuras, con la finalidad de comprender el funcionamiento de las mismas y proponerlas en el sector Guasina del canal de navegación del Orinoco específicamente entre las milla 91.4 – 101.5. Durante el desarrollo de esta investigación se pudo vislumbrar que no existen normas técnicas para el planteamiento de estas estructuras; sin embargo, la bibliografía consultada permitió conocer algunas recomendaciones que han sido promovidas por algunos investigadores, las cuales han sido ampliamente aceptadas como estatutos hasta el presente. Cabe destacar que los espigones en gran parte de Europa y en los Estados Unidos de América han sido una de las principales opciones al momento de intervenir ríos para su encauzamiento, bien sea para prevenir inundaciones que puedan afectar cultivos, vías de comunicación y cualquier otra construcción importante que pueda ser afectada por una crecida abrupta; estas estructuras también son utilizadas para defender márgenes que sean fácilmente erosionables.

El ente encargado para el buen funcionamiento del canal de navegación del Orinoco, en los últimos años ha tenido problemas para mantener las profundidades aptas para las embarcaciones que transitan por esta vía fluvial debido al alto costo de las operaciones de dragado, el sector Guasina es uno de los tramo que presenta estos inconveniente debido a los procesos de sedimentación y erosión, esto ha contribuido al desarrollo de una configuración del cauce que ha dificultado la navegación, por tal motivo en esta investigación se propuso una solución a esta problemática, mediante estructuras tipo espigón.

El trabajo realizado se divide en los siguientes capítulos:

Capítulo I. Situación a investigar: en esta fase de investigación se exponen los argumentos que sustenten 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 Orinoco y el canal del Orinoco, también se mencionan las características de puertos importantes y por último se señala la ubicación geográfica y acceso al área de estudio.

Capítulo III. Marco teórico: se resumen 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 desarrollará 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 realizar a 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 cuales sirvieron como información necesaria para conocer las características de suelo, morfología e hidrodinámica del área en estudio.

Capítulo VI. Formulación de la propuesta: en esta etapa se contempla la realización de los tres últimos objetivos, como el planteamiento de realineamiento, el

dimensionamiento de los espigones y el modelado de las condiciones finales del flujo con la presencia de los espigones y el nuevo alineamiento.

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

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

Desde tiempos inmemorables, el hombre ha manejado y controlado los ríos para su propio beneficio, con los trabajos aportados por la ingeniería hidráulica, mediante la ampliación y mejora de las técnicas de construcción, los cuales se han extendido en todo el mundo, efectuando infinidad de presas, canalizaciones, encauzamientos, etc. Los ríos, como principal protagonista son elementos naturales que recogen las aguas de su cuenca vertiente y las transportan hasta su desembocadura, durante este proceso ocurre un fenómeno conocido como erosión, que es el transporte de las partículas del suelo pertenecientes a la cuenca donde la corriente de agua que desciende por escorrentía causan un desgaste de los materiales que conforman la superficie y los arrastra al cauce del río, luego ésta corriente en su recorrido produce un nuevo desgaste dentro del cauce, en las orillas y el fondo por todo el trayecto siendo algunas zonas más propensas a la erosión que otras, donde el nivel de erosión depende de factores como el tipo de suelo, pendientes, velocidad, intensidad del caudal y su duración, todo esto origina un cambio gradual en el cauce agrandándose en unas partes y en otras reduciéndose al depositarse y acumularse el material proveniente de aguas arriba causando cambios en el trazado del río y su cauce.

En Europa y en otras partes del mundo a finales del siglo XIX se comenzaron a construir obras para encauzar los ríos con estructuras conocidas como espigones o espolones que en un principio fueron utilizados para drenar aguas en ríos pantanosos que se perfilaban como una amenaza a la población por la incubación de enfermedades contagiosas como el paludismo. A finales del mismo siglo y durante el siglo XX, se

siguieron utilizando para tratar de mantener un cauce estable para la navegación, como también en las avenidas con potencial para provocar inundaciones.

Hoy en día, se ha hecho una práctica el uso de espigones como medida para revertir y controlar los problemas de erosión de orillas y depósito de sedimentos que pueden originar cambios significativos en el trazado y cauce de los ríos, tal es el caso del río Elba en Alemania, que después de un respectivo estudio de ingeniería decidieron intervenirlo con espigones transversales dentro de su cauce, lo cual sirvió para estabilizarlo, cuyo resultado hasta la fecha ha sido catalogado como exitoso.

En Venezuela sin embargo, estas estructuras no han sido aplicadas y muy poco se conoce de ellas, a pesar de ser necesarias para solucionar problemas de canalización de ríos, donde podemos mencionar lo que viene sucediendo en el estado Delta Amacuro por donde pasa el extenso y caudaloso río Orinoco el cual en su recorrido por este estado se encuentra un tramo conocido como sector Guasina, el cual forma parte del llamado Canal de Navegación del Orinoco, dicho sector está enmarcado entre las millas 98 – 107 , y dentro de éste intervalo están las millas 99.4 – 101.5, donde las grandes embarcaciones que por allí transitan pudiesen disponer de mayores profundidades en el sector. Esta situación ha originado que las embarcaciones tengan que hacer un recorrido más largo, navegando por las zonas que presentan una mayor profundidad para seguir su rumbo hacia la desembocadura en el océano Atlántico y viceversa.

El trazado del río en este sector está determinado por una curva, donde el lado interno presenta la menor profundidad y el lado externo la mayor, esto se debe a que el agua tiende a desplazarse al exterior por la fuerza centrífuga que concentra la corriente de agua, provocando una mayor velocidad que desgasta la orilla R5 y la profundiza, mientras que la orilla interna, el agua pierde velocidad y como consecuencia se deposita el material que transporta la corriente, formando un banco de sedimento que posteriormente el río no puede mover, a pesar de realizar trabajos de dragado para

retirar el material depositado en el lecho y dar mayor hondura no tienen un efecto duradero ya que, un nuevo material se deposita y sustituye el que es retirado, intensificando los trabajos de dragado, lo cual representa un costo enorme para el mantenimiento de este importante canal de navegación donde se ven perjudicadas las embarcaciones que se trasladan por este cauce hacia su destino.

Esto se debe a que en los tramos anteriores al sector Guasina, el río tiene una formación conocida como “trazado trenzado” los cuales se conocen por tener un amplio régimen de caudales y además se caracteriza por tener una elevada carga de sedimentos con moderadas pendientes lo que facilita el transporte de sólidos ríos abajo y trae como consecuencia que parte del material quede retenido en el sector, la tendencia de esta constante sedimentación causa que el área del canal se reduzca y posteriormente en el período de crecidas, el caudal aumenta como también lo hace la velocidad producto de esta reducción del cauce, esto trae como consecuencia que el río busque retomar un equilibrio tratando de adaptarse a su nuevo cauce, pero a su vez va erosionando la orilla exterior, tratando de recuperar el área perdida, esto ocasiona que el río se vuelva más ancho y menos profundo dificultando más la navegación.

Es importante evitar que este fenómeno siga erosionando las orillas de este tramo del canal de navegación del río Orinoco, porque este permite el transporte fluvial que es de gran importancia para la región, donde el estado venezolano a través de las empresas básicas de Guayana han sido las principales beneficiadas como C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A. que debe comercializar, distribuir y vender mineral de hierro y sus derivados al territorio venezolano y exportar a diversos países ubicados en Europa, Asia y América Latina. Se tiene también el caso de Sidor que es la principal siderúrgica de Venezuela que exportaba el acero y está tratando de recuperar la producción. No resolver esta problemática pudiera afectar a futuro las empresas básicas ya que actualmente se está tratando de recuperar la producción y si no se

mejoran las condiciones del canal se les dificultaría el transporte rápido de sus productos.

Una solución a esta problemática sería la colocación de una serie de estructuras para controlar el flujo como son los espigones, colocados a lo largo del tramo, en la curva exterior que servirá para modificar la dirección de la corriente en dicho tramo dirigiéndola hacia el centro del canal de navegación lo que ocasionará una erosión en el fondo lavándolo continuamente e impidiendo la sedimentación, evitando así los constantes trabajos de dragado, donde en estas nuevas condiciones sería posible implementar un realineamiento más seguro que serviría para dar paso a las embarcaciones de gran calado, los espigones, además protegerán y ayudarán a restaurar la orilla, aquietando o frenando las aguas entre los espacios o compartimiento de los espigones produciendo un aterramiento de los sedimentos restableciendo en forma mecánica la orilla destruida.

Por toda la exposición señalada, el fin que persigue esta investigación es dar una solución a la problemática planteada mediante el estudio de estas estructuras y de cómo pueden ser aplicadas en el sector Guasina con el fin de mejorar el tránsito fluvial del canal de navegación entre las millas 99.4 -101.5 del río Orinoco, estado Delta Amacuro.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Dimensionar estructuras tipo espigón para el control del flujo, a fin de mejorar el tránsito fluvial del canal de navegación en el sector Guasina entre las millas 99.4 y 101.5 del río Orinoco, estado Delta Amacuro.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Establecer las características texturales de los materiales del lecho en el área de estudio.
2. Determinar la morfología del lecho en el área de estudio.
3. Establecer el comportamiento hidrodinámico del sector Guasina en el tramo en estudio.
4. Proponer alternativa de realineamiento y dragado capital del nuevo canal de navegación.
5. Dimensionar las estructuras tipo espigón para el control de flujo en el sector Guasina en el tramo en estudio.
6. Modelar las condiciones finales del flujo con la presencia de los espigones y con el alineamiento final del canal en el tramo en estudio del sector Guasina.

1.3 Justificación de la investigación

Esta investigación es una iniciativa, en la cual se pretende demostrar la utilidad y los efectos positivos que ofrecen los espigones como estructuras para canalizar ríos y estabilizarlos, a objeto de hacerlos más navegables sin recurrir a los costosos trabajos de dragado, como los realizados por más de 50 años en el río Orinoco por el I.N.C (Instituto Nacional de Canalizaciones), para mantener este canal natural navegable a las embarcaciones de alto calado, que deberían trasladar los productos provenientes de

las empresas básicas de Guayana desde los muelles ubicados en el área de Puerto Ordaz hacia el océano Atlántico.

La presente investigación aportará un conjunto de conocimientos sobre la canalización de ríos basadas en bibliografías de autores de diferentes nacionalidades, que tienen experiencia en este campo, considerando esta investigación como un preámbulo que servirá para adentrarse en la rama de la ingeniería fluvial, y es poco conocida en Venezuela, donde se estudiará en particular el problema existente en el sector Guasina entre las millas 99.4 y 101.5 que presenta inconvenientes para la navegación.

Los resultados obtenidos por esta investigación, servirán para contribuir al estudio de otros sectores del canal del Orinoco, que presentan problemas para la navegación, como también en otros lugares del país que así lo ameriten, con la finalidad de que estas estructuras puedan ser aplicadas a futuro como solución definitiva para mejorar el tránsito fluvial, y así minimizar las grandes inversiones que se realizan por los trabajos de dragado, ya que las dragas del I.N.C adscritas a la Gerencia del canal Orinoco están fuera de servicio, para el momento de elaboración de esta investigación y actualmente acuden a la contratación de dragas, que se encargan del mantenimiento del canal, que en ocasiones no son muy efectivas y provocan retardo a las embarcaciones, lo cual trae como consecuencia cuantiosas pérdidas a las empresas básicas de Guayana por conceptos de multas, debido al incumplimiento en los tiempos de entrega establecidos con las empresas navieras internacionales

1.4 Alcance de la investigación

La presente investigación se enfocará en dimensionar estructuras tipo espigón para estabilizar el cauce del río Orinoco en el sector Guasina entre las millas 99.4 y 101.5, considerando el comportamiento hidrodinámico predominante en la zona que

será establecido en el desarrollo de ésta, así como también se fijarán las singularidades geotécnicas del material del lecho. Por otra parte, se planteará un nuevo alineamiento para la navegación donde se estimará el material que deberá ser dragado; posteriormente con toda la información recopilada se utilizará un software que permitirá modelar las condiciones finales del flujo en el área de estudio, con la presencia de los espigones y el nuevo alineamiento a fin de predecir su comportamiento, con el propósito de ofrecer mejoras en el tránsito fluvial una vez finalizada la investigación.

1.5 Limitaciones de la investigación

Los datos de batimetría, aforos del río y niveles del río con los cuales se realizarán los cálculos datan de hace algunos años, dichos datos son los que están disponibles para la universidad. Es importante recordar que los entes encargados de realizar mediciones en campo por diferentes razones no han continuado con los planes de medición y no se dispone de datos actualizados.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Venezuela y el río Orinoco

El primer río de Venezuela es el Orinoco, el tercero de América y el noveno de los grandes ríos del mundo, es un gran recolector cuyo cauce depende la defensa integral de nuestros ríos fronterizos. Nace entre las Sierra de Parima y Tapirapeco, en los límites con Brasil, a 1.070 m de altitud y a 70 m de la cumbre de la montaña Delgado Chalbaud. Está ubicado en las tierras más antiguas del planeta sus riquezas naturales han atraído las industrias de la zona de hierro de Guayana y sus aguas permiten que barcos transiten del océano Atlántico y lleguen hasta Puerto Ordaz.

Hasta 1951 no se conocían las fuentes de este río, debido a lo impenetrable de la zona. Después de recorrer las tierras de Venezuela, sobre una longitud de 2.060 km, su caudal promedio llega a tener al principio del Delta unos 35.000 m³/seg y durante las crecientes se aproxima a 100.000 m³/seg. Desde este punto de vista, es el tercer río más caudaloso del mundo, al descargar al océano Atlántico más de un billón de m³, cada año, recibiendo el aporte de más de 2.000 ríos, riachuelos y quebradas de los cuales los más importantes son 195 por la margen derecha y 99 por la izquierda.

La cuenca del Orinoco cubre alrededor de 830.000 Km², de los cuales 640,000 Km², representan territorio venezolano. El resto de la cuenca está en territorio colombiano y parte de sus aguas van al Casiquiare y éste al río Negro, que desemboca en el Amazonas en Brasil formando mediante confluencias parte de la cuenca del Amazonas. (Figura 2.1).

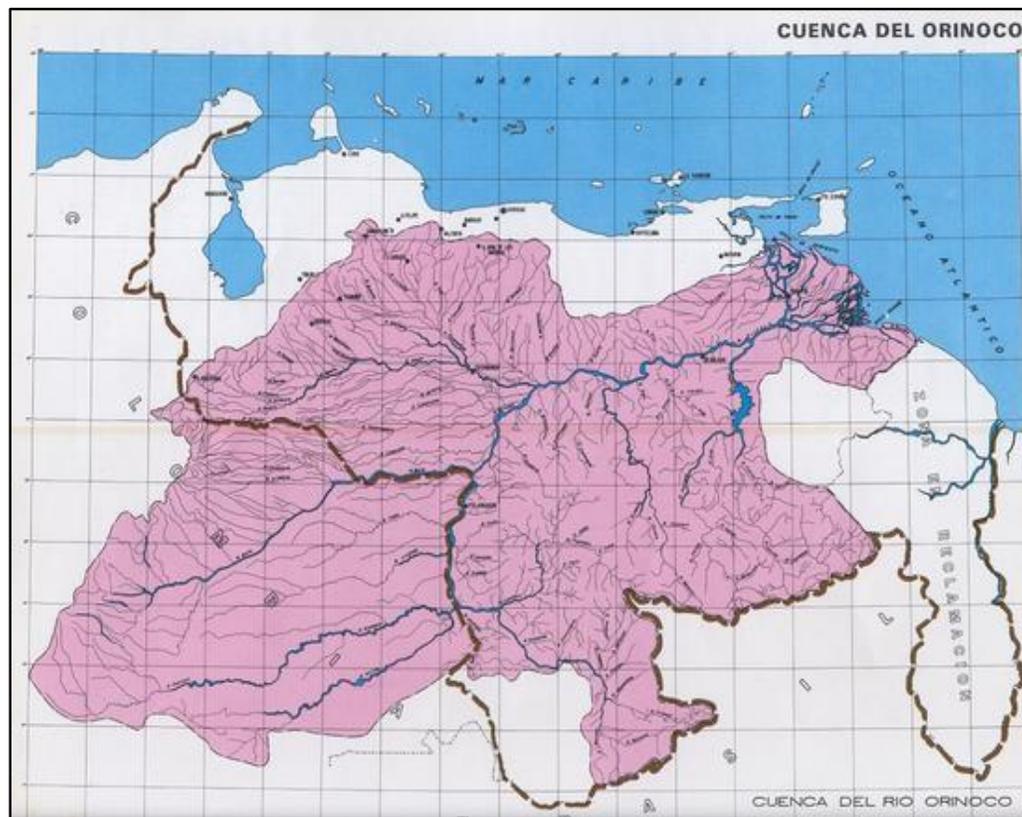


Figura 2.1 Cuenca hidrográfica del río Orinoco (León, 2006).

Diecisiete (17) de los veintidós (22) estados venezolanos drenan total o parcialmente hacia la cuenca del Orinoco, contribuyendo con sus aguas a incrementar su caudal. El Orinoco divide a Venezuela: en dos secciones de áreas aproximadamente iguales, su red de afluentes drena el 70% del país, al recibir caudales aportados desde los Andes, la Cordillera Norte, los Llanos y la Guayana.

El Orinoco se estudia en sus tres tramos: Alto Orinoco. Desde sus cabeceras hasta San Fernando de Atabapo. En este tramo cerca de Tama-Tama, el Orinoco

pierde parte de sus aguas que se van por el Casiquiare hasta el río Negro y a la cuenca del Amazonas.

El Orinoco Medio comprendido entre el puerto de San Fernando de Atabapo y el río Apure. El Bajo Orinoco desde el río Apure hasta el océano Atlántico, a donde llega mediante el llamado Delta del Orinoco.

Al llegar al Delta, el Orinoco deposita millones de metros cúbicos de sedimentos, avanzando sobre el Atlántico unos 45 metros cada año. En el Delta predominan las islas planas llenas de vegetación herbácea, que alimenta al ganado en la estación seca. En el Delta la continuación del curso del Orinoco es la que fuera Boca de los Navíos, hoy Boca o Río Grande.

El río Orinoco constituye un factor preponderante para la seguridad del país por su ubicación geográfica, características, recursos naturales: agropecuarios y ganadería; faja petrolífera, cinturón ferro-minero y sus posibilidades de navegación, cuyas conexiones con otros ríos y las zonas por las cuales transcurre, amerita el establecimiento de una política de seguridad, para la protección y mantenimiento de estos elementos antes mencionados. El río permite integrar el norte con el sur; en pleno corazón del país hacia el Océano Atlántico. A ello se suma, que constituye una de las vías más expeditas para la integración latinoamericana e incrementa la presencia nacional en todo este vasto territorio muchas veces de frontera. Constituye, además un eje de vertebración nacional por cuanto es bien sabido cómo el río une al oeste con el este del país, transportando los productos de una región a otra e inclusive, su salida al Atlántico permite, que estos productos sean llevados a otros continentes. La preservación de sus aguas, permite la navegación y la salida a los mercados de los productos de las empresas básicas de Guayana. En cuanto al Delta, la pesca representa un potencial resaltante y las áreas forestales son muy importantes.

2.2 Canal del Orinoco

El río Orinoco constituye una hidrovía natural que es de vital importancia, dado que es la salida al mundo de la producción de la zona de desarrollo de Guayana, y es también la entrada en donde se reciben los insumos necesarios para las diferentes industrias. De allí la gran importancia para el complejo industrial el uso del Canal del Orinoco.

El canal del Orinoco se divide en dos tramos, el primer tramo es El Jobal-Matanzas, el cual es un canal que no requiere de dragado y mantenimiento anual. Tiene una longitud de 350 millas y une las minas de bauxita de Los Pijiguaos con la zona industrial de Guayana, destinado principalmente al transporte de bauxita con trenes de gabarra. Este canal de navegación es muy cambiante y presenta grandes diferencias en profundidades, tanto en el espacio como en el tiempo.

Por otra parte, tenemos el tramo Matanzas-Boca Grande, el cual tiene 195 millas de longitud donde navegan buques de gran calado. Se extiende desde la milla 0 en Boca Grande, en las proximidades de la boya de mar, hasta la milla 195 en Matanzas y une la zona industrial de Guayana con el océano Atlántico. Este canal requiere dragado de mantenimiento anualmente. El transporte se hace con barcos de hasta 80.000 toneladas.

El dragado de este canal, se realiza a partir de 1961, donde el I.N.C y posteriormente C.V.G. Han desarrollado programas de trabajo específicos para mantener un canal seguro que garantice la navegación de buques de gran calado. Periódicamente, se realizan estudios de hidrografía a fin de proporcionar la información básica requerida en cuanto a la profundidad y naturaleza del lecho del

río, con la misma se determinan las condiciones de navegabilidad, para minimizar el sobredragado. En la figura 2.2, se puede apreciar la ubicación de los tramos El Jobal – Matanzas y Matanzas – Boca Grande.



Figura 2.2 Tramos El Jobal – Matanzas y Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

2.3 Puertos del río Orinoco

El río del Orinoco cuenta con doce (12) puertos de carga importantes para las empresas básicas de Guayana y otras industrias vitales para la región, a continuación, se dan a conocer sus características y respectiva ubicación, mediante las siguientes tablas y figuras.

Tabla 2.1 Características del puerto El Jobal (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen derecha del río Orinoco, milla 554
Tipo de muelle	Dos (2) puestos fijos con estructura y pilotes de concreto armado
Calado	9.0 pies máximo permitido aguas abajo
Puesto de atraque	Una (1) rampa para carga general
Tipo de carga	°Bauxita
Sistema de carga	Cargador continuo de 3.600 TM/hora a gabarras (barcazas o chatas) para formar trenes de 20 a 25 gabarras para un total por viaje de 35.000 a 45.000 TM
Clientes	C.V.G Bauxilum, C.A
Situación legal	Bajo convenio de habilitación CVG/INEA 2003



Figura 2.3 Ubicación del puerto el Jobal, tramo El Jobal – Matanzas (I.N.C, 2003).

Tabla 2.2 Características del puerto de Sidor (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen derecha del río Orinoco, milla 195
Tipo de muelle	fijos con estructura de concreto armado
Calado	32 pies máximo permitido en época de estiaje
Puesto de atraque	Seis (6) buques simultáneamente
Equipamiento	Dos (2) grúas de Ansaldo de 32 TM, tres (3) de 16 TM y seis (6) grúas C.M.I. de 30 TM
Capacidad de almacenamiento	Diez (10) naves techadas con área de 3.000 m ² c/u, cuatro (4) patios con área de 60.000 m ²
Tipo de carga	Productos siderúrgicos y materiales e insumos a granel
Clientes	Negocios productos planos y productos largos y terceros (externos a Sidor).
Situación legal	Empresa Nacional.

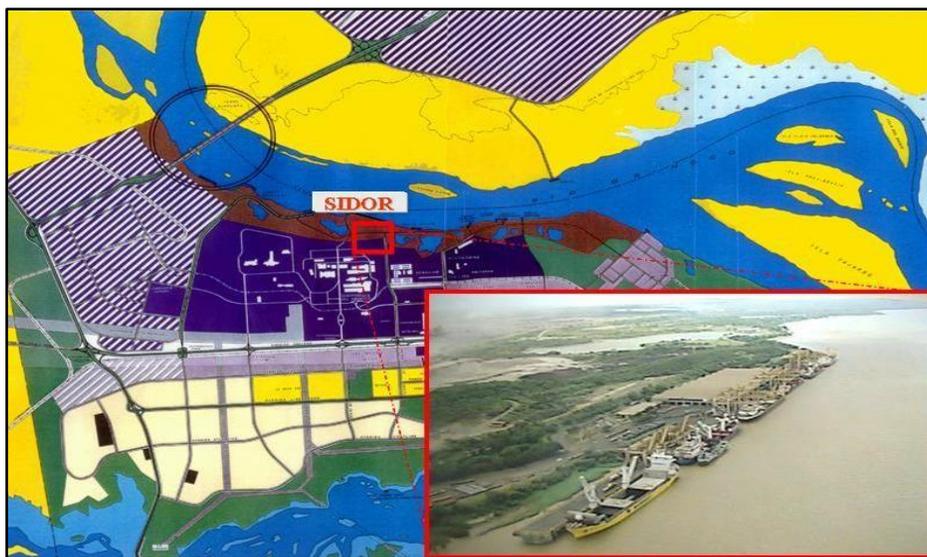


Figura 2.4 Ubicación del puerto de Sidor, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

Tabla 2.3 Características del puerto ACBL (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen derecha del río Orinoco, milla 194.5 entre los muelles de Sidor y Venalum.
Tipo de muelle	Gabarra anclada y sujeta a boyas.
Puesto de atraque	Solo uso de Gabarras
Tipo de carga	Clinker, Bauxita, Coque, Productos Siderúrgicos, Aluminio y contenedores.
Situación legal	Contratación bajo el Convenio de habilitación C.V.G



Figura 2.5 Ubicación del puerto ACBL, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

Tabla 2.4 Características del puerto de Venalum (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen derecha del río Orinoco, milla 194
Tipo de muelle	Marginal de estructura de acero con planchada pavimentada
Calado	28 pies máximo permitido en época de estiaje
Puesto de atraque	Un (1) puesto de carga y descarga
Equipamiento	Dos (2) Grúas tipo pórtico sobre rieles de 35 TM c/u, Dos (2) Electroiman De 2.4 TM, Un (1) Sistema Succionador y correas con Cap 400 TM, Siete (7) chutos con 14 bateas con Cap 70 TM
Capacidad de almacenamiento	No dispone de almacenes techados, dos (2) silos con cap. 22.500 TM, patio abierto para 15.000 TM de aluminio y patio de 4.000 m2 para carga general
Tipo de carga	Aluminio
Clientes	Uso de propio empresa
Situación legal	Bajo convenio de habilitación CVG/INEA 2003



Figura 2.6 Ubicación del puerto de Venalum, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

Tabla 2.5 Características del puerto Cementos de Guayana (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen derecha del río Orinoco, entre los puertos de Venalum y Alcasa
Tipo de muelle	Flotante, formado por una gabarra anclada y sujeta a boyas
Calado	26 pies máximo permitido en época de estiaje
Puesto de atraque	Un (1) puesto de carga y descarga
Equipamiento	Equipos de bombeo de cemento en polvo y tuberías.
Capacidad de almacenamiento	Posee silos
Tipo de carga	Cemento a granel (en polvo)
Clientes	Solo presta servicio de descarga de cemento desde el muelle flotante hasta los silos de la empresa
Situación legal	Privado

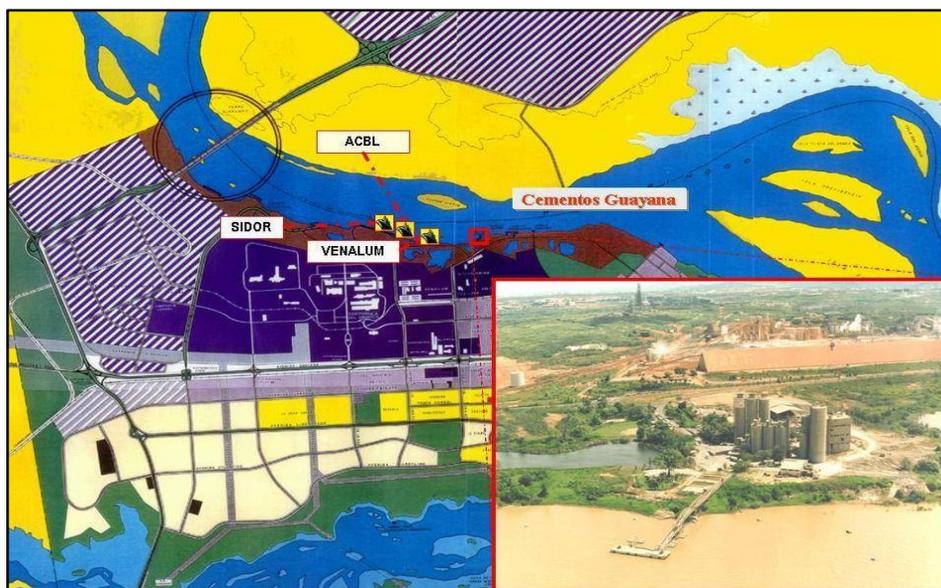


Figura 2.7 Ubicación del puerto de Cementos Guayana, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

Tabla 2.6 Características del puerto de Alcasa (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen derecha del río Orinoco, milla 193
Tipo de muelle	Flotante constituido por dos gabarras unidas y fijadas en duques de alba.
Calado	28 pies máximo permitido en época de estiaje
Puesto de atraque	Un (1) buque auto descargable. solo se recibe material
Equipamiento	Dos (2) tolvas, una en cada gabarra, correas transportadoras desde el muelle a los silos.
Capacidad de almacenamiento	Almacenes cubiertos con cap. de 7.000 TM y 35.000 TM, seis (6) silos verticales de 2.000 a 2.400 TM de cap., tres (3) silos horizontales con cap. de 4.000 TM y 30.000 TM c/u
Tipo de carga	Coque de petróleo, Brea, Antracita, Alúmina
Clientes	Uso de propio empresa
Situación legal	Bajo convenio de habilitación CVG/INEA 2003



Figura 2.8 Ubicación del puerto de Alcasa, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

Tabla 2.7 Características del puerto de Bauxilum (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen derecha del río Orinoco, milla 192.8
Tipo de muelle	Marginal fijo con estructura de acero.
Calado	32 pies máximo permitido en época de estiaje
Puesto de atraque	Un (1) puesto de carga y descarga.
Equipamiento	Dos (2) grúas tipo pórtico con jaiba cap. 25 TM c/u, un (1) cargador de Alúmina cap. 1.000 TM, un (1) descargador continuo para bauxita cap. 2.400 TM, dos (2) bombas para descargar soda caustica cap. 1.000 TM, un (1) sistema de correas transportadora cap. 2.400 TM
Capacidad de almacenamiento	Una (1) pila abierta para 295.800 TM, una pila techada para 221.850 TM, un (1) tanque para soda caustica de 40.000 TM
Tipo de carga	bauxita, Soda caustica, Alúmina
Situación legal	Bajo convenio de habilitación CVG/INEA 2003



Figura 2.9 Ubicación del puerto de Bauxilum, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

Tabla 2.8 Características del puerto Punta Cuchillo (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen derecha del río Orinoco, milla 192
Tipo de muelle	fijo con estructura de concreto armado
Puesto de atraque	Un (1) puesto de descarga.
Tipo de carga	Hidrocarburos líquidos a granel
Situación legal	Convenio P.D.V.S.A y C.V.G
Usos futuros	Atención a las empresas de C.V.G en general



Figura 2.10 Ubicación del puerto Punta Cuchillo, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

Tabla 2.9 Características del puerto de Ferrominera (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Milla 184.0 del canal de navegación en el río Caroní, cerca de su desembocadura en el río Orinoco
Tipo de muelle	Marginal, en estructura y pilotes de acero.
Calado	31.0 – 37.0 pies promedio/año
Puesto de atraque	Tres (3) dividido en tres secciones: 1 y 2 descarga a granel y 3 carga a granel
Equipamiento	Un (1) cargador de 4.000 T/H, un sistema de cintas transportadoras, una (1) grúa móvil cap. 110 TM, dos (2) grúas móviles cap. 35 TM c/u, una (1) grúa de 15 TM y dos (2) montacargas de 4 TM c/u
Capacidad de almacenamiento	Dos (2) patios cap. 600.000 TM y 1.200.000 TM c/u, almacenamiento de 500 m2 y un (1) patio de 1.000 m2
Tipo de carga	Hierro fino y grueso
Situación legal	Bajo convenio de habilitación CVG/INEA 2003



Figura 2.11 Ubicación del puerto de Ferrominera, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

Tabla 2.10 Características del puerto de Palúa (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen derecha del río Orinoco, milla 181.4
Tipo de muelle	Dispone de dos muelles: uno flotante y otro marginal de estructura y pilotes de acero.
Calado	37.0 pies en época de estiaje
Puesto de atraque	Dos (2) muelles, uno (1) flotante y uno (1) marginal
Equipamiento	Un (1) cargador de mineral de hierro cap. 4000 T/H, un (1) sistema de cintas transportadoras de 2.500 T/H.
Capacidad de almacenamiento	Un (1) patio con cap. 1.000 TM, un pequeño sitio para 1.000 TM.
Tipo de carga	Hierro reducido briqueteado en caliente y sus derivados (virutas) y finos reducidos, gruesos y finos lavados
Clientes	Empresas briqueteras.
Situación legal	Bajo convenio de habilitación CVG/INEA 2003



Figura 2.12 Ubicación del puerto de Paula, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

Tabla 2.11 Características del puerto de San Félix (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen derecha del río Orinoco, milla 179
Tipo de muelle	Flotante, formado por una gabarra anclada
Calado	19.0 pies en época de estiaje
Puesto de atraque	Un (1) buque auto descargable.
Equipamiento	Dos (2) grúas móviles sobre rieles (eléctricas) que van desde el patio hasta el muelle, con cap. 10 TM c/u
Capacidad de almacenamiento	Área pavimentada de 8.000 m ² , un (1) almacén techado con capacidad aprox. 4.000 TM, silos para cereales
Tipo de carga	Aluminio primario, Alambρόn, Ánodos de carbón, Carburo de silicio, palanquillas de acero, refractarios alúmina electrofundida, madera, repuestos, granos.
Clientes	Complemento de las empresas tuteladas de C.V.G sin terminales.
Situación legal	Bajo convenio de habilitación C.V.G./I.N.E.A 2003

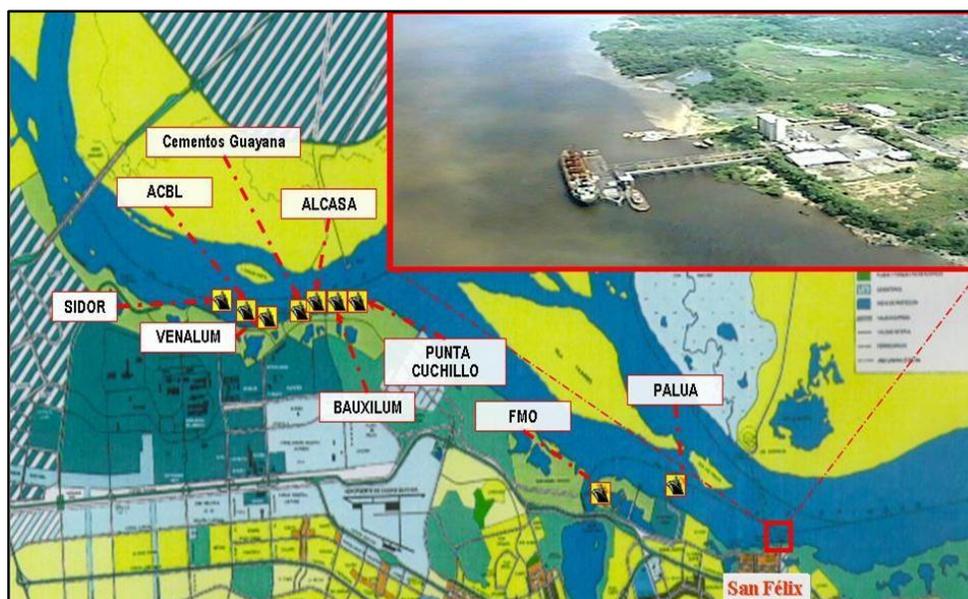


Figura 2.13 Ubicación del puerto de San Félix, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

Tabla 2.12 Características del puerto de Piedra (I.N.C, 2003).

	Característica
Ubicación	Margen izquierda del rio Orinoco, milla 170. (Punta de piedra sur del edo. Monagas)
Tipo de muelle	Fijo es un astillero.
Puesto de atraque	Un (1) puesto
Tipo de carga	Astillas de madera para exportación
Situación legal	Habilitado provisionalmente por el I.N.E.A uso privado.

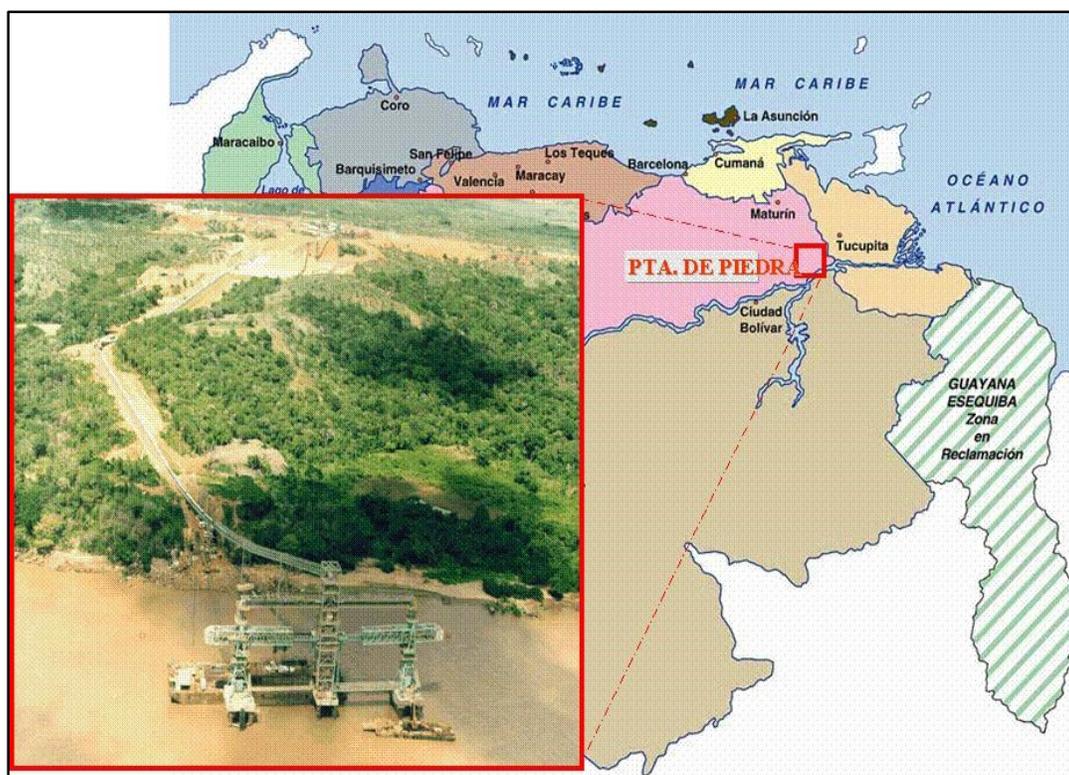


Figura 2.14 Ubicación del puerto de Punta de Piedra, tramo Matanzas – Boca Grande (I.N.C, 2003).

2.4 Ubicación geográfica del área de estudio

El sector Guasina está ubicado entre las millas 107 y 98, cuyas coordenadas UTM corresponden a 947557 N – 941841 N y 656318 E - 665236 E. Comprende esta zona un tramo del río Orinoco limitado al norte con la Isla Paloma y la curva conocida como Vuelta del Diablo, en su extremo occidental por las islas Santa Elena y Guasina, y en su extremo sur por el Brazo de Imataca, en el estado Delta Amacuro. (Figura 2.15).

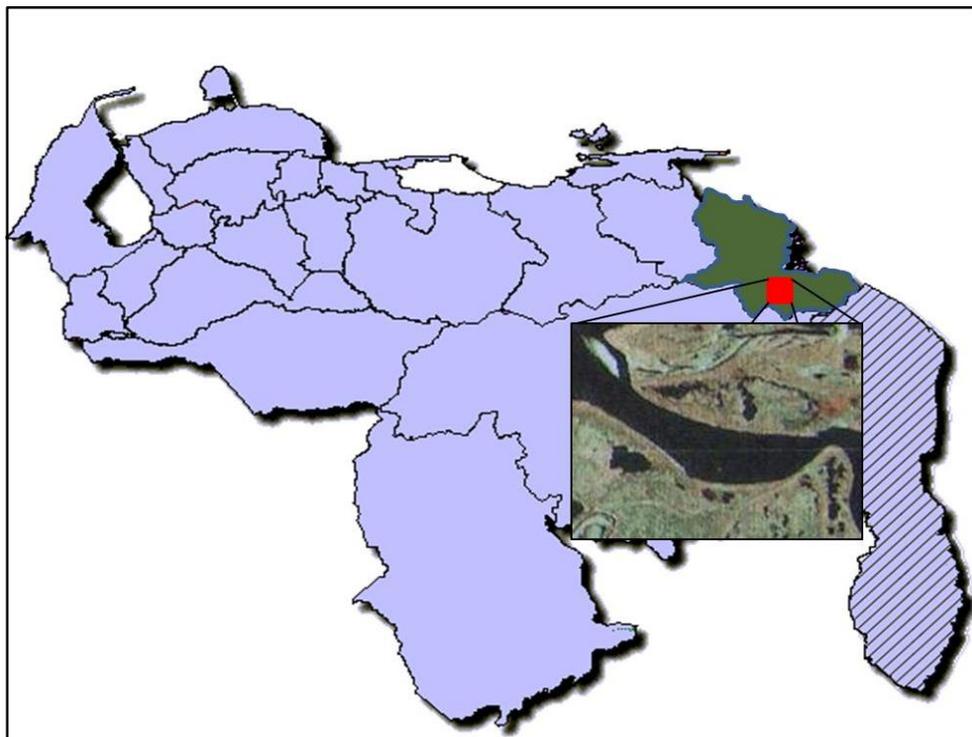


Figura 2.15 Ubicación relativa del área de estudio (I.N.C, 2003).



Figura 2.16 Ubicación geográfica del área de estudio.

2.5 Acceso al área de estudio

La vía de acceso a la zona sólo es posible por vía fluvial a través del río Orinoco, donde el puerto de Barrancas del Orinoco en el estado Monagas representa la población más cercana con respecto a la mayor parte del territorio venezolano, y está se encuentra ubicado al noroeste del sector Guasina a 33 millas de distancia.



Figura 2.17 Ruta de acceso al área de estudio.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

Naisargi, D. y Mittelstet A. (2017). En el estudio "**QUANTIFYING EFFECTIVENESS OF STREAMBANK STABILIZATION PRACTICES ON CEDAR RIVER, NEBRASKA**" abordaron la estabilización de ríos con espigones desde el punto de vista del seguimiento a largo plazo para cuantificar su éxito. Plantean que existe una necesidad crítica de documentar el éxito a largo plazo de los proyectos de restauración de riberas. Los objetivos de esta investigación fueron la cuantificación del retroceso de las riberas antes y después de la estabilización de 18 riberas en el río Cedar en el centro norte de Nebraska, EE. UU.; la evaluación del impacto de una gran inundación; y determinar la práctica de estabilización más rentable. El retroceso y la acumulación de las riberas se cuantificaron utilizando imágenes aéreas de 1993 a 2016. Aunque la retirada de las riberas fue significativa durante todo el período de estudio, una presa rota en 2010 causó importantes inundaciones y erosión de las riberas en el río Cedar. Esta inundación a gran escala permitió cuantificar el efecto de un evento extremo y evaluar la efectividad de las riberas estabilizadas. Con una tasa de éxito del 70%, los embarcaderos fueron la práctica más rentable y produjeron la mayor cantidad de deposición. Concluyeron que si el riesgo mínimo es inaceptable, se recomienda una práctica más costosa pero inmóvil, como un banco de grava o un muro de contención. La metodología seguida en este trabajo de investigación sirvió de base para el análisis de las estructuras a proponer en el sector Guasina

Portella E. y Alfio A. (2019) presentaron el trabajo de investigación titulado "DISEÑO DE ESPIGÓN MEDIANTE HEXÁPODO DE CONCRETO COMO

DEFENSA RIBEREÑA EN EL DISTRITO DE SAN ANTONIO DE CUMBAZA” el cual fue desarrollado con la finalidad de proponer una alternativa de defensa ribereña para dar solución a los constantes problemas de inundación y pérdida de terreno por erosión que viene afectando el cauce del río Cumbaza ubicado en el distrito de San Antonio de Cumbaza. Para el desarrollo del diseño de defensa ribereña se realizó la investigación bibliográfica y linkográfica, que permitió conocer el procedimiento de diseño, formulas y tablas que se emplearon. Se realizó el trabajo de campo que comprende la recolección de información histórica de máximas avenidas, el levamiento topográfico, toma de muestras para el estudio de mecánica de suelos en la zona. Se realizó el estudio hidrológico de máximas avenidas a partir de la información hidrométrica de la Estación HLG SAN ANTONIO. Para el diseño de defensa ribereña propuesta se determinaron los indicadores mediante cálculos matemáticos y el uso de SOFTWARE (RIVER) especializado en dimensionamiento y verificación de estabilidad. Finalmente se propuso el diseño de espigón mediante hexápodos de concreto como defensa ribereña fuera del cauce como muro paralelo a la ribera del río Cumbaza en el distrito de San Antonio de Cumbaza. Los procedimientos presentados en este trabajo en cuanto al uso de software para el dimensionamiento de las estructuras sirvieron de base para este trabajo de grado.

González y Veracierta, en el año 1996 en su trabajo de grado titulado: “EVALUACIÓN DEL CANAL DE NAVEGACIÓN EN EL SECTOR GUASINA DEL ORINOCO”, concluyen que: “No es posible la realineación del canal de navegación en el sector Guasina debido a los inconvenientes sedimentológicos que ocasionan la geomorfología predominante de la zona tales como las bermas que se forman entre las millas 100 y 101 entre el canal actual y el propuesto”, en su recomendaciones manifiestan: “Realizar estudios detallados acerca de obras civiles, como la construcción de espigones que sirvan para remodelar la configuración geomorfológica de la zona”. Esta investigación es importante, ya que aporta información de interés ya que la presente investigación busca proponer como solución

un realineamiento del canal, haciendo un recorrido más corto basándose en la colocación de espigones como medida para controlar el flujo en sector Guasina y revertir el proceso de erosión de la orilla destruida.

En el mismo año de 1996, Blanco y Yépez realizan un trabajo denominado “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS MAREAS QUE OCURREN EN EL SECTOR BOCA GRANDE SOBRE LOS NIVELES DEL TRAMO NOINA-PUERTO ORDAZ DEL RÍO ORINOCO”, este trabajo permitió conocer las magnitudes de las mareas en el sector Guasina.

En el año 2000, Mota y Rodríguez en su trabajo de grado titulado: “Estudio geomorfológico y geotécnico de las bermas en el sector Guasina y taludes sumergidos del canal de navegación en los sectores Guarguapo, Barrancas, Yaya, Araguaito y Guasina del río Orinoco” en una de sus conclusiones dice lo siguiente: “las velocidades medias en función del diámetro de las partículas indican que los sectores el río se encuentra en un régimen de erosión”. Esta investigación se considera relevante para la presente, ya que afirma el proceso degenerativo que está sufriendo el canal de navegación del Orinoco en los últimos años.

Pérez en el año 2004 en su trabajo de grado titulado: “ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DE LOS SECTORES ARAGUAITO, SACUPANA Y GUASINA DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA”, concluye que: “el río Orinoco presenta un rendimiento líquido con una magnitud que origina grandes variaciones en su caudal, lo cual es reflejado en las fluctuaciones observadas del nivel de agua entre el período seco y lluvioso, contribuyendo a la formación de diversas estructuras fluvio-morfológicas.” Esta investigación es relevante, ya que demuestra el dinamismo de los sedimentos transportados por el río Orinoco, debido al régimen variante de caudales que causan modificaciones en su lecho.

3.2 Fundamentos teóricos

3.2.1 Morfología y dinámica fluvial

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

La morfología en combinación con la dinámica fluvial se refiere al estudio de las formas que presentan los cauces y su relación con los procesos fluviales de erosión y sedimentación, donde intervienen como fuerza activa los caudales circulantes, y como elementos pasivos los sedimentos del contorno del cauce, interviniendo en dichos procesos la forma y pendiente del valle. Típicamente, el cauce queda definido longitudinalmente por el espacio ocupado por el río en su recorrido desde su nacimiento hasta su desembocadura. Transversalmente se puede definir el cauce atendiendo al nivel que alcanzan las aguas, y a la frecuencia de las inundaciones que determina la presencia de un tipo u otro de vegetación. En la figura 3.1 se pueden diferenciar el nivel de aguas bajas o de estiaje; el nivel que alcanzan las avenidas ordinarias o más frecuentes, denominado nivel de "bankfull", reconocido por la presencia de un ángulo o cambio brusco de pendiente en uno o ambos márgenes; y el nivel de la llanura de inundación, alcanzado por las avenidas extraordinarias o menos frecuentes, conectando ya con las terrazas fluviales o laderas vertientes donde se desarrolla una vegetación típicamente terrestre.

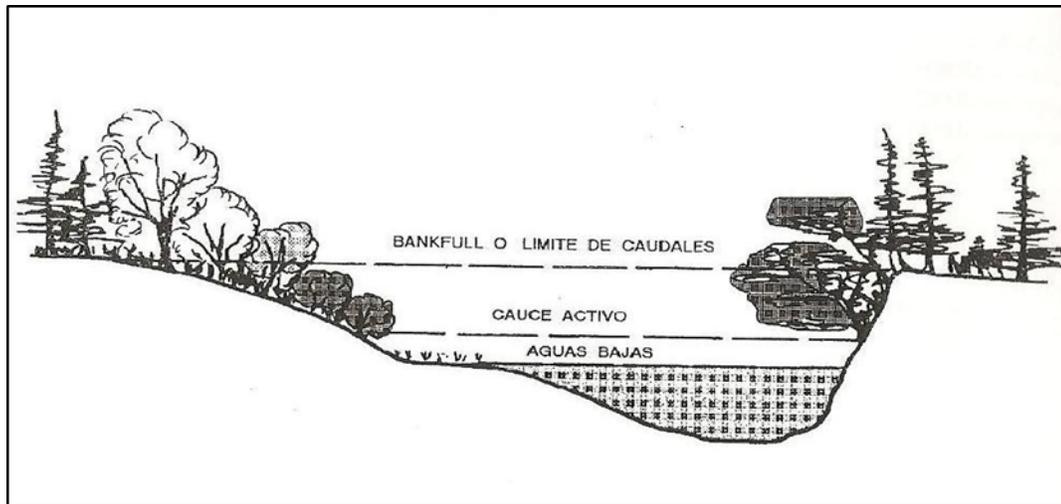


Figura 3.1 Sección transversal del cauce, indicando los distintos niveles de las aguas.

3.2.2 Sinuosidad en ríos

La sinuosidad de un río es el índice que representa cuando el trazado del río se aparta de una línea recta. Se mide por la relación entre la distancia que separa dos puntos a lo largo de la parte más profunda del cauce, o línea thalweg y la distancia en línea recta entre ellos, tal como se muestra en la figura 3.2.

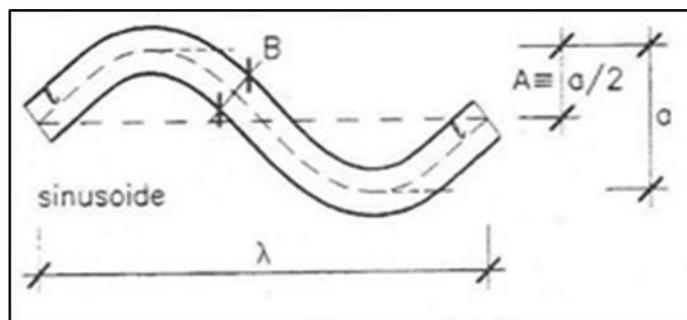


Figura 3.2 Parámetro de una planta sinuosa. (Martín, 2000).

$$P = \ell / \lambda \quad (3.1)$$

Donde:

P = Sinuosidad.

ℓ = Longitud de la línea thalweg.

λ = Longitud del valle.

3.2.3 Trazado de los ríos

El trazado de los ríos se refiere al tipo de trayectoria que desarrollan en planta, y que fácilmente puede observarse sobre una fotografía aérea, (Church, 1992). La diferente sinuosidad, estimada como cociente entre la longitud del río y la longitud del valle en un determinado tramo, permite diferenciar básicamente tres tipos de trazados:

3.2.3.1 Trazado recto

Son los que tienen coeficientes de sinuosidad inferiores a 1,5, donde no se aprecian curvas en el cauce si bien la línea del thalweg se desplaza alternativamente de una orilla a la otra, haciéndose ello más visible en aguas bajas.

3.2.3.2 Trazado meandriforme

Se refieren a los que tienen un coeficiente de sinuosidad superior a 1,5 debido a las curvas que desarrolla el cauce desplazándose en sentido transversal del valle hacia un lado y otro. Este tipo de meandros pueden ser muy diferente de unos ríos a otros, pudiéndose diferenciar entre ellos a su vez diferentes tipos de trazados. (Figura 3.3).

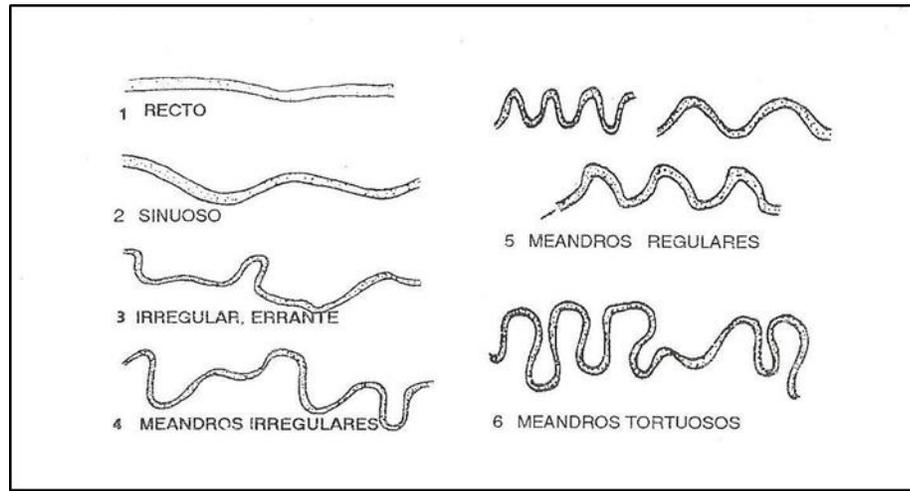


Figura 3.3 Diferentes tipos de trazados meandriforme (Church, 1992).

3.2.3.3 Trazado trenzado

Son los que se desarrollan en tramos de mayor pendiente o cuando la carga sólida es elevada, y se caracteriza por la formación de un curso de agua ancho y poco profundo, que se divide en varios brazos dejando islas intercaladas, uniéndose hacia aguas abajo y volviéndose a separar, a modo de trenzas. (Figura, 3.4).

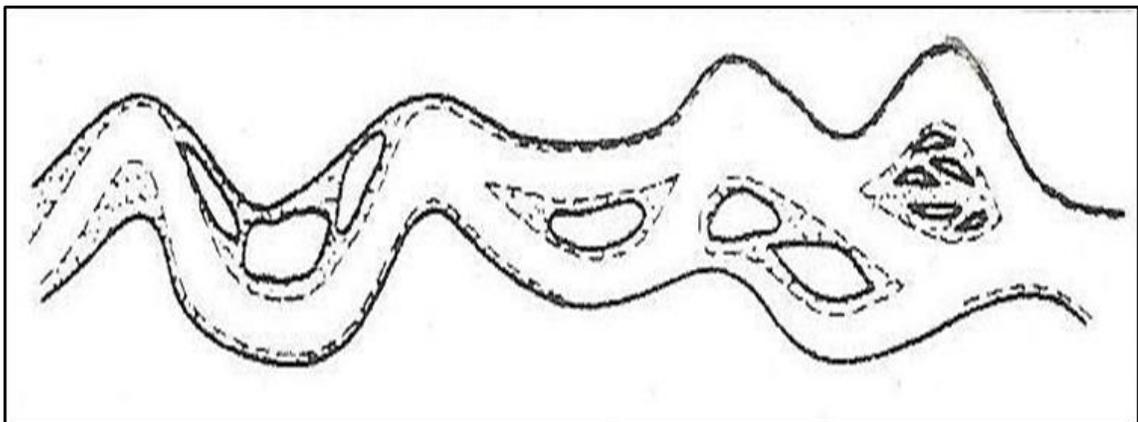


Figura 3.4 Trazado trenzado (Martín, 2000).

3.2.4 Concepto de río en equilibrio

Una característica importante de los sistemas abiertos es su habilidad para autorregularse, adaptándose a factores externos de forma que mantengan un estado de equilibrio alcanzando una cierta estabilidad. En los ríos naturales el estado de equilibrio se refiere a la regulación de su morfología y dinámica ante las variables de control o independientes (régimen de caudales de sedimentos) que impone su cuenca vertiente. En un río estable, o en equilibrio, la forma y trazado se mantienen en el tiempo, aún cuando este último se vea sometido a desplazamientos laterales, pero en los que no se modifica su sinuosidad.

Existen varias teorías que tratan de explicar la forma en que el río trata de ajustarse o alcanzar este estado de equilibrio dinámico. Una de las más utilizadas es la propuesta por Yalin (1976), basada en el principio de la entropía, según la cual los ríos ajustan su flujo y la sección transversal del cauce para minimizar la tasa de trabajo efectuado, o la energía utilizada por unidad de superficie, lo que equivale a minimizar el producto velocidad por pendiente.

El concepto de equilibrio, o existencia de formas del río más o menos estables o ajustadas a un determinado régimen de caudales, permite establecer relaciones empíricas entre éstos y las variables morfológicas, y ello es muy útil para analizar cambios o efectos en los ríos, así como para diseñar cauces estables mediante obras de ingeniería.

Atendiendo a la existencia de un cierto equilibrio en los ríos, podemos relacionar la forma de la sección transversal del cauce con un determinado régimen de caudales, o con el valor del caudal más representativo del mismo, que tenga mayor influencia en la configuración y mantenimiento de dicha sección.

Bajo estas hipótesis se plantea el concepto de "caudal dominante", que puede definirse como el caudal que determina ciertos parámetros del cauce, como la longitud de curvatura de los meandros; o el caudal que efectúa mayor trabajo en términos de transporte de sedimentos. Mientras que el orden de magnitud del cauce puede venir condicionado por caudales mayores, menos frecuentes, el mantenimiento de una determinada forma y las características a escala menor están en general estrechamente relacionadas con caudales inferiores, más frecuentes.

El caudal dominante, o con mayor influencia en la forma de la sección, será el que llene dicha sección hasta sus orillas superiores (nivel de "bankfull"), pudiéndose obtener con este criterio, o con el de ser el que realiza mayor trabajo en el transporte de sedimentos.

En la figura 3.5, la curva A representa la tasa de transporte de sedimentos de cada caudal que pasa por la sección, la cual aumenta de forma exponencial al aumentar la magnitud de este último. La curva B es la de duración de los caudales a lo largo del período considerado, en términos de frecuencia de ocurrencia, indicando los caudales mínimos y avenidas extraordinarias poco frecuente, y los caudales intermedios de mayor frecuencia en torno al caudal medio anual.

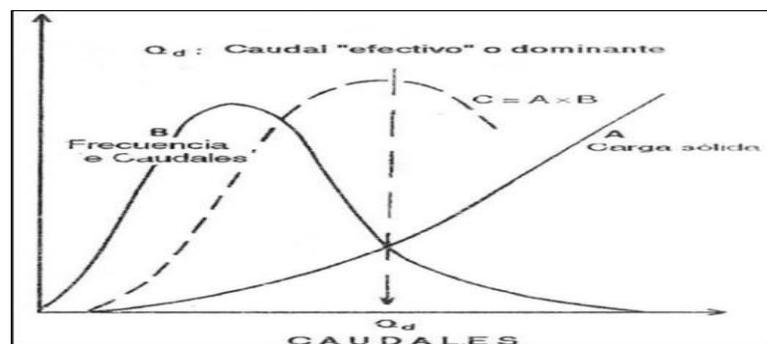


Figura 3.5 Caudal dominante, definido por su magnitud y frecuencia (Knighton, 1984).

La curva C es el producto de la curva A y la B, y refleja la cantidad acumulada de sedimentos exportados en el período considerado en B, por cada caudal. El valor máximo de esta curva indica el caudal que exporta una cantidad mayor de sedimentos, el que efectúa un mayor trabajo en la sección considerada, denominado caudal dominante (Qd). Si se compara este valor de caudal con el que ocupa toda la sección transversal, se observa que ambos tienen un valor muy similar, considerándose su valor como el caudal dominante, o más representativo del régimen de caudales en dicho tramo.

Experimentalmente se ha comprobado que el caudal dominante corresponde en la mayoría de los casos a un período de retorno comprendido entre 1,5 y 2 años, aunque puede referirse a otros períodos de recurrencia (Knighton, 1984).

3.2.5 Sedimentos

En la estructura morfológica de los ríos, es necesario considerar los sedimentos presentes en el cauce, su naturaleza, granulometría y distribución, formando acumulaciones a un lado y otro de los meandros, o lechos con distinta rugosidad creando secuencias de rápidos y remansos.

Muchas de las obras hidráulicas o diseños de cauces fallan por no tener en cuenta de forma suficiente la influencia de los sedimentos, y el hecho de que por los ríos circulan no sólo los caudales líquidos, sino que se mueven y distribuyen también partículas sólidas.

Respecto a la naturaleza y origen de los sedimentos en los cauces, podemos considerar por una parte la fracción que está representada en el lecho del río, puesta eventualmente en movimiento por los caudales mayores, en general durante un corto recorrido, determinando lo que se denomina "carga de fondo"; y la fracción más

pequeña, en general procedente de la erosión en las laderas de la cuenca vertiente, aunque en muchos casos procede de la erosión de las propias orillas del cauce, que no está representada en el lecho y que se mantiene en suspensión en las aguas efectuando recorridos mucho más largos, constituyendo la denominada "carga de lavado".

Esta diferenciación por tamaños, relacionada con el origen principal de los sedimentos y su forma de transporte, no siempre es clara, pero responde a fines prácticos, y así es considerada en la mayoría de los tratados de Hidráulica fluvial. En la tabla 3.1, se muestra la clasificación de los caudales sólidos, considerando su origen y medio de transporte.

Tabla 3.1 Clasificación del caudal sólido atendiendo a su origen y principal forma de transporte.

Tipo de caudal sólido	Medio de transporte	Origen
Carga de lavado	Suspensión	Erosión en la cuenca Erosión en márgenes (partículas finas)
Carga de fondo	Acarreo Saltación	Erosión en el cauce Erosión en márgenes (partículas gruesas)

En relación a la granulometría, quizás la clasificación propuesta por el Subcomité de Terminología de Sedimentos de la American Geophysical Union sea la más utilizada, habiendo sido recogida en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Escala de tamaños de sedimentos (American Geophysical Union).

Tamaño (mm)	Clases
4.000-250	Cantos rodados
250-64	Guijarros
64-2	Gravas
2-0,062	Arenas
0,062-0,004	Limos
0,004-0,00024	Arcillas

El tamaño de los sedimentos tiene una gran importancia, determinando la tensión crítica de la corriente que es capaz de ponerlos en movimiento, representando en la Figura 3.6 la relación entre el tamaño de las partículas y la velocidad de las aguas necesaria para su movimiento, estrechamente ligada a esta tensión crítica. Las partículas de mayor tamaño pesan más y ofrecen más dificultad al inicio de su movimiento, mientras que la mayor resistencia ofrecida por las más pequeñas responde a su cohesión.

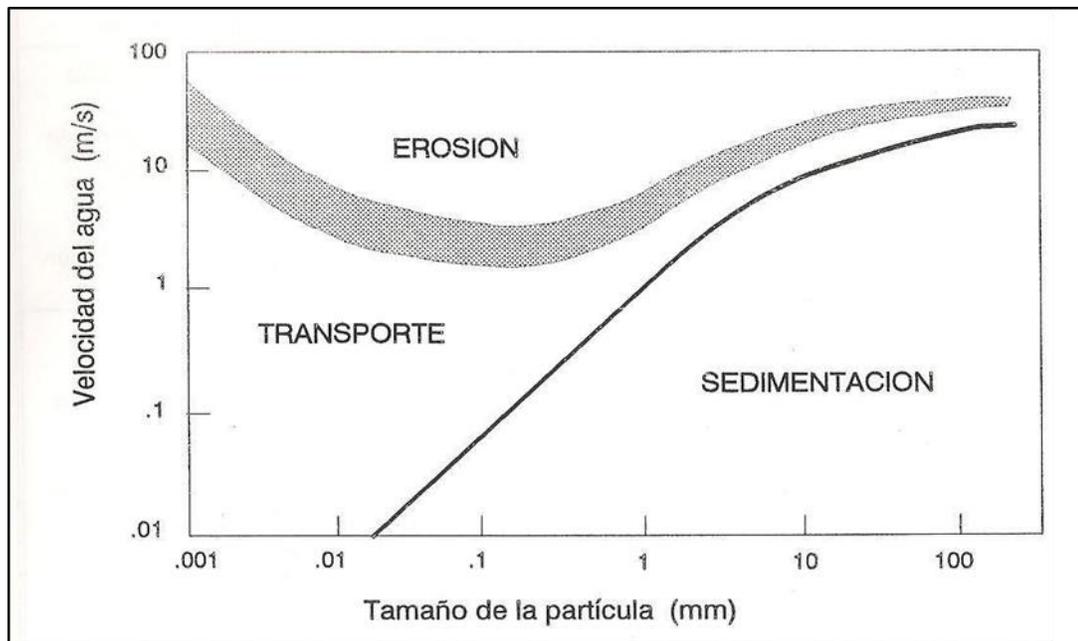


Figura 3.6 Velocidades críticas de la corriente para el inicio del movimiento y transporte de sedimentos, en función de su tamaño (Hjulström, 1956).

3.2.6 Formas del lecho

Los sucesivos y continuos procesos de erosión y sedimentación en las aguas de los ríos dan lugar a diferentes formas del lecho, con una redistribución de las partículas formando acumulaciones más o menos regulares, intercaladas por espacios sin ellas. En los tramos o ríos arenosos se desarrollan las denominadas rizaduras, dunas, lecho

liso o antidunas, en función del tipo de régimen de los caudales. La aparición de estas formas del lecho tiene un significado especial en la rugosidad o resistencia que ofrece al paso de las aguas, y así debe ser tenida en cuenta para calcular el coeficiente de rugosidad "n" de Manning en ríos arenosos tal como puede apreciarse en la figura 3.7 donde se muestran las distintas formas que pueden adoptar el lecho de un río.

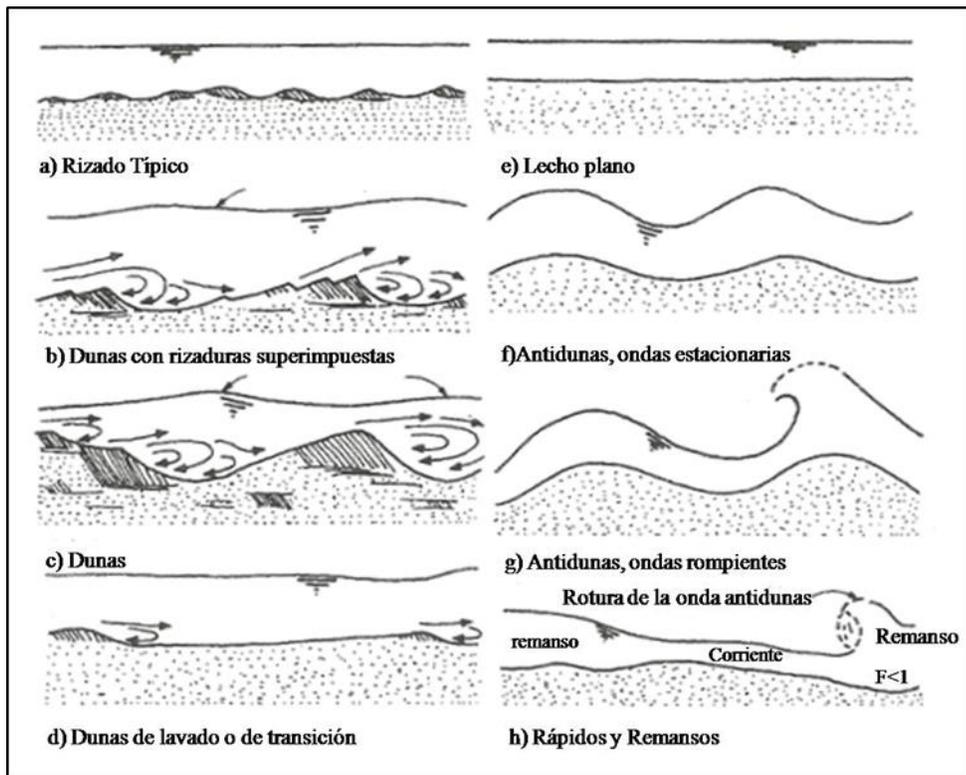


Figura 3.7 Formas del lecho en ríos arenosos (Chang, 1988).

3.2.7 Rápidos y remansos

La formación de rápidos y remansos dentro del cauce es una constante de los ríos de sustrato grueso, los rápidos son los tramos del río donde los caudales descienden, las variaciones de profundidad y superficie mojada disminuyen notablemente, debiéndose acelerar velocidad de las aguas en secciones anchas, y menos profundas,

en cambio los remansos se localizan en las denominadas pozas, donde el río es más profundo y estrecho donde las velocidades son inferiores. Una de las características más significativas en la secuencia de rápidos y remansos es su regular espaciamiento, a una distancia entre 5 y 7 veces la anchura del cauce y el tamaño de los sedimentos también varía, siendo el de los rápidos 1,47 veces mayor que el de los remansos. (Figura 3.8).

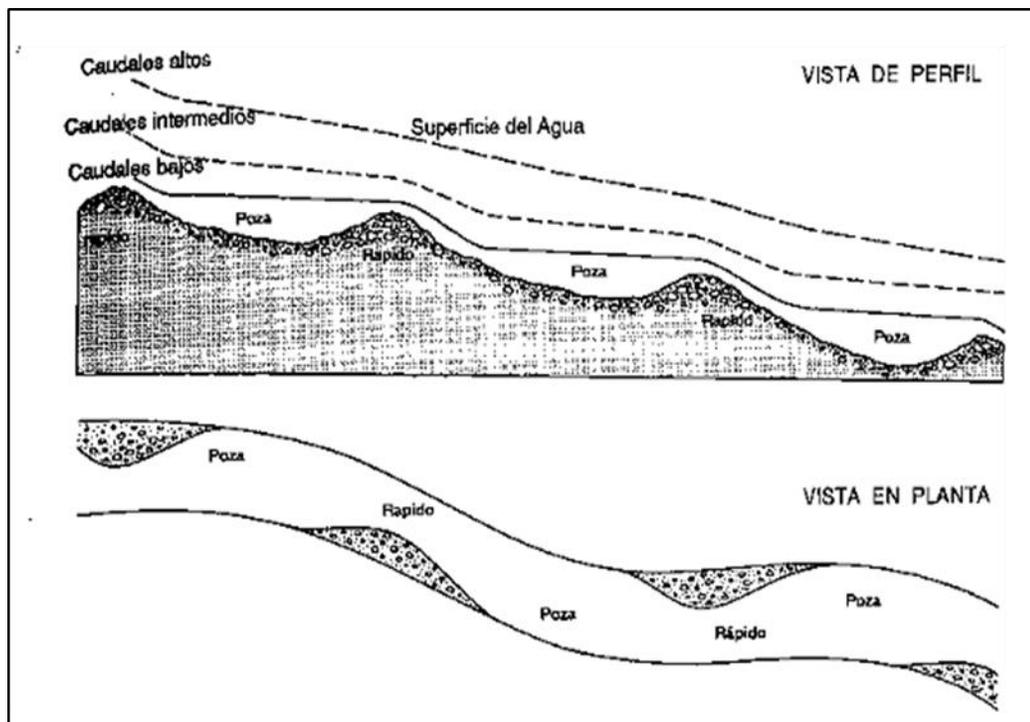


Figura 3.8 Perfil longitudinal y en planta de un cauce, mostrando la secuencia de rápidos y remansos (Leopold, 1978).

En tramos curvos las pozas se localizan en las partes más externas del meandro, mientras que los rápidos aparecen en los tramos rectos, entre meandros. En los tramos rectos se distribuyen de forma similar, siguiendo la sinuosidad que traza la línea del thalweg.

La formación y mantenimientos de rápidos y remansos se ven favorecidos por la aparición de flujos secundarios asociados a diferentes tensiones de arrastre, que determinan la aparición de células de flujo convergente que favorecen la socavación del cauce, en las pozas; y la aparición de células de flujo divergente que favorecen la acumulación de sedimentos en el centro del lecho, en los rápidos. Las secciones transversales en las curvas (pozas) son asimétricas tendiendo a formas triangulares, al verse favorecida la remoción o socavación del fondo en uno solo de sus lados, mientras que las secciones transversales de los tramos rectos entre curvas (rápidos) tienden a ser más rectangulares y simétricas. (Figura 3.9).

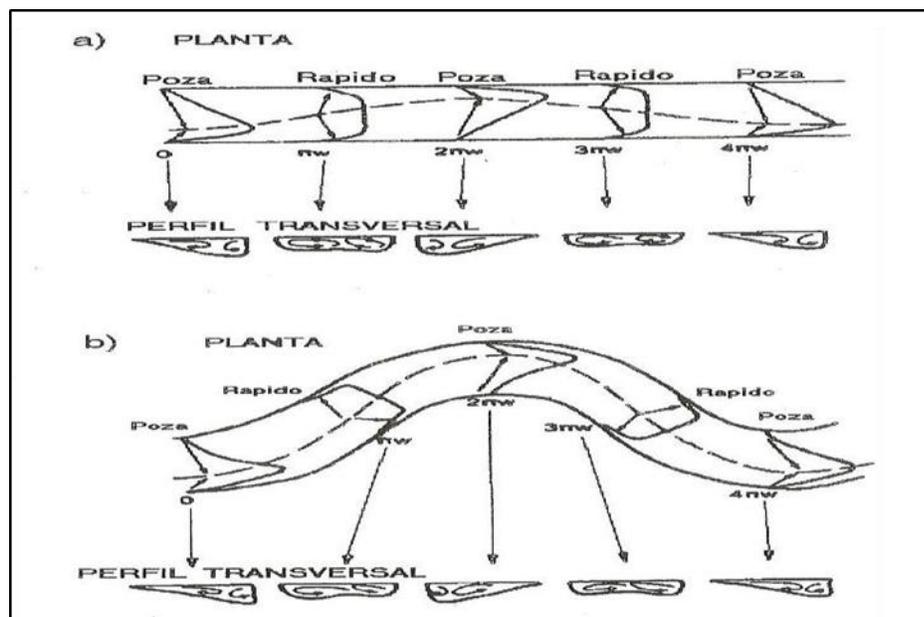


Figura 3.9 Flujo secundarios en la formación de rápidos y remansos, en tramos rectos y sinuosos (Hey, 1986).

3.2.8 Procesos fluviales

La morfología del cauce, está determinada por la interacción del caudal líquido con los materiales erosionables del contorno del cauce. El balance entre los procesos de erosión, transporte y sedimentación efectuados por los primeros da lugar a las

distintas formas, tamaño y trazado que observamos en la Naturaleza. Una variable fundamental en los procesos fluviales es la velocidad de las aguas, y la distribución de la tensión de arrastre asociada a la distribución de las velocidades en el cauce.

La velocidad del agua varía en cada punto de la columna del agua, siendo mínima en las proximidades del perímetro del cauce, y máxima hacia el centro de la sección, pudiéndose establecer como valor medio el obtenido a una distancia 0,6 de la profundidad. (Figura 3.10).

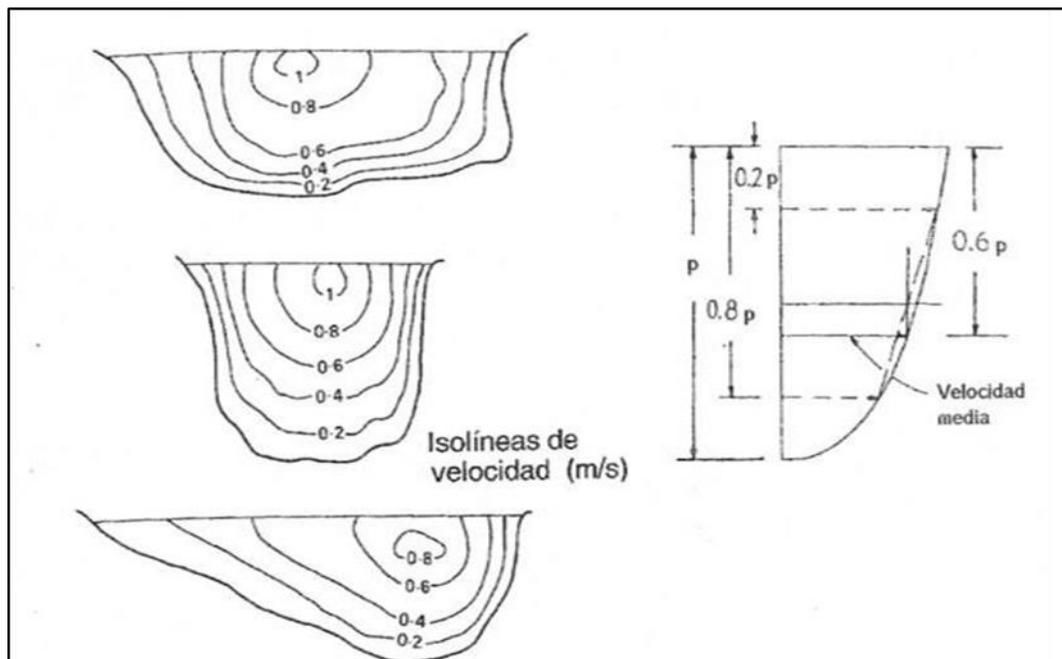


Figura 3.10 Variación de las velocidades del agua en una sección transversal del cauce, y cálculo de la velocidad media.

Asociada a una variación de la velocidad de las aguas dentro de cada sección, y a una variación de esta velocidad hacia aguas abajo, está la presencia de flujos secundarios o trayectorias helicoidales de las líneas de corriente, que tienen un significado especial en el desarrollo de los meandros y en la formación de pozas. (Figura 3.11).

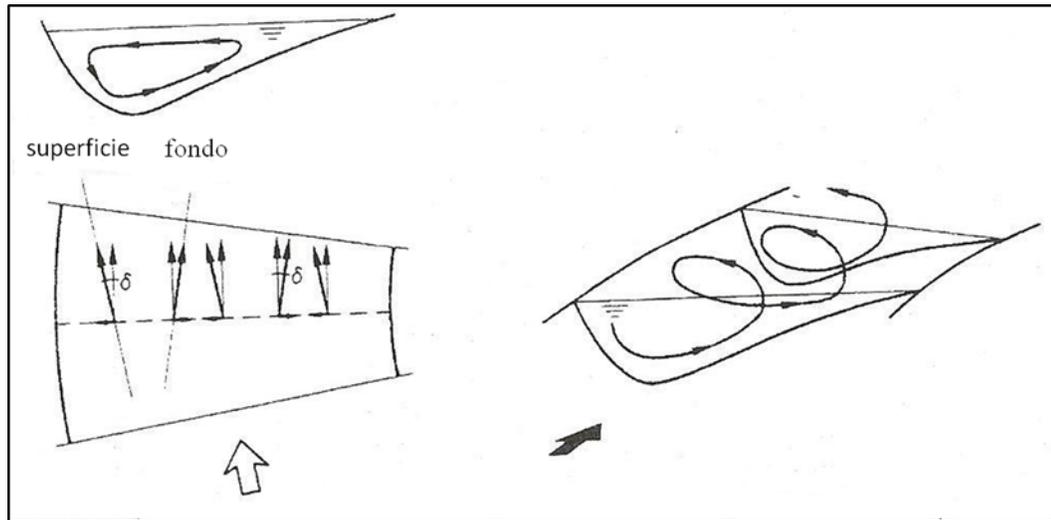


Figura 3.11 Corriente secundaria (Sección, planta y perspectiva de trayectoria helicoidal). (Martín, 2000).

En el movimiento de las aguas intervienen dos tipos de fuerzas, la de la gravedad, que actúa en la dirección hacia aguas abajo, y la de fricción, que se opone a este movimiento. La relación entre ambas fuerzas determina la capacidad de la corriente para erosionar y transportar sedimentos. La fuerza de fricción que determina la resistencia que opone el contorno del cauce, puede expresarse por unidad de superficie como tensión de arrastre, siendo proporcional al gradiente de velocidades, y equivalente a la componente del peso del agua paralela a la superficie de desplazamiento.

Esta tensión de arrastre es máxima en el fondo, donde es mayor el peso del agua o calado y en este caso se denomina τ_0 calculada como:

$$\tau_0 = Y.R.S \quad (3.2)$$

Donde:

τ_o = Tensión es máxima en el fondo (N/m^2).

γ = Peso específico del agua (Kg/m^3).

R = Radio hidráulico que en un río (m).

S = Pendiente del cauce.

Igualando la componente de la fuerza de la gravedad a esta fuerza de fricción, y haciendo ésta proporcional al cuadrado de la velocidad, se obtienen las fórmulas de resistencia de Chezy:

$$v = C (RS)^{1/2} \quad (3.3)$$

Donde:

v = Velocidad media para la sección (m/seg).

C = Coeficiente de rugosidad de Chezy

R = Radio hidráulico que en un río (m).

S = Pendiente del cauce.

También se puede aplicar la fórmula de Manning, cuya expresión es:

$$v = (1/n) R^{2/3} S^{1/2} \quad (3.4)$$

La ecuación especializada "potencia hidráulica", definida inicialmente por Bagnold (1966) como:

$$w = \tau_o V \quad (3.5)$$

Donde:

w = Energía hidráulica ($watts/m^2$)

τ_o = Tensión es máxima en el fondo (N/m^2)

V= Velocidad media en la sección transversal (m/seg).

La energía hidráulica puede definirse también como la tasa de gasto de energía potencial a lo largo de un tramo, en este caso referida a la unidad de longitud del río, en la forma:

$$w = Y Q S \quad (3.6)$$

Donde:

w = Energía hidráulica (watts/m).

Y = Peso específico del agua (Kg/m^3).

Q = Caudal (m^3/seg).

S = Pendiente del cauce.

3.2.9 Dinámica fluvial

Aunque los principios básicos, obedeciendo a las leyes físicas o mecánicas, son bien conocidos, no es posible plantear soluciones analíticas que permitan predecir con exactitud la morfología del cauce ante determinados cambios en el régimen de caudales, tratándose del movimiento simultáneo de agua y sedimentos, sobre un espacio o cauce a su vez deformable.

Hey (1982) refiere la dinámica de los ríos a la identificación de las variables que definen la sección transversal del cauce, y a las relaciones que pueden establecerse entre ellas y las variables independientes (régimen de caudales, de sedimentos y pendiente del valle), determinando los grados de libertad o posibilidades de ajuste que el río tiene en cada caso.

Relaciones como la de continuidad, resistencia del flujo o transporte de sedimentos pueden ser establecidas con una cierta precisión, pero resulta complicado, o en la mayoría de los casos casi imposible, llegar a fórmulas o soluciones acerca de la erosión de orillas, de la sedimentación en barras, formación de rápidos y remansos etc. teniendo el río siempre más grados de libertad que ecuaciones disponibles para la predicción de su comportamiento. Ello obliga a considerar en todos los proyectos de ingeniería de hidráulica fluvial un cierto grado de incertidumbre sobre la respuesta del río a lo proyectado, y a diseñar proyectos flexibles, dejando al cauce libertad para su propio reajuste.

3.2.10 Inestabilidad lateral del cauce

El problema de la inestabilidad lateral de los cauces se refiere al de erosión de las orillas, ligada generalmente a un proceso de agradación o sedimentación en el lecho. Esta erosión determina un progresivo retraimiento de las orillas, haciéndose el río cada vez más ancho y menos profundo.

Los mecanismos de erosión en las orillas pueden estar ligados a la acción de la propia corriente, o asociados a una pérdida de cohesión de las orillas debida a su contenido de humedad. En el primer caso, se trata de procesos fluviales determinados por las características hidráulicas del flujo, que pueden actuar a su vez de dos formas, erosionando directamente la orilla, poniendo en movimiento y transporte el material que constituye las partes laterales del cauce; o socavando la base del talud por erosión de fondo, con lo cual se incrementa la pendiente del talud y su altura, provocando la caída de su parte superior por gravedad, en forma de bloque o porción de suelo. La naturaleza de las partículas erosionadas directamente por la corriente, y los mecanismos de caída o desmoronamiento de la parte superior del talud de la orilla, depende del tamaño, geometría y propiedades geotécnicas de los materiales presentes.

Los procesos de erosión asociados a un exceso de humedad en las orillas que provocan su rotura y caída hacia el cauce dependen de las condiciones climáticas en general, y del movimiento del agua a través del suelo en particular. La presencia del agua en el suelo, llegando a la saturación, disminuye la cohesión y estabilidad del talud, provocando formas de caída o rotura que dependen asimismo de la estructura del talud y de las propiedades geotécnicas del material que lo componen.

Cuando los materiales no son cohesivos, como sucede con las arenas, gravas, etc., la erosión de las partículas se hace de forma individual. Pero generalmente en las orillas existen materiales con una granulometría más fina y abundancia de agregados, que hace que se comporten como materiales de baja densidad pero de mayor tamaño, por lo que el proceso erosivo es muy variable y difícil de predecir (Thorne, 1982).

Refiriéndonos a un tramo concreto de río donde se produce esta erosión de las orillas con rotura del talud, se puede considerar que están actuando uno o varios de los siguientes mecanismos (Shields, 1984):

Erosión de la base del talud por la acción directa de la corriente, provocando la rotura de la orilla que queda por encima de la porción erosionada. Este tipo de mecanismos actúa en la fase de descenso de las avenidas, cuando el nivel de las aguas desciende por debajo de la altura media del talud.

Erosión del suelo de las orillas, causada por escorrentías.

Reptación de porciones de orillas con materiales cohesivos en saturación y con dificultad de drenaje.

Deslizamientos en suelos limosos o arenosos saturados.

Erosión del suelo por movimiento del agua subterránea hacia el exterior en el talud.

Erosión de la parte superior de las orillas o de su parte inferior, debida al oleaje de las aguas por el viento o paso de embarcaciones.

Según sea la estructura y composición de las orillas predominan uno o varios de estos mecanismos, ante la acción de la corriente y la presencia de agua en el suelo.

Por otra parte, se pueden diferenciar los siguientes tipos de orillas (Shields, 1984):

3.2.11 Orillas de roca

Generalmente muy estables y sometidas únicamente a una erosión gradual y rotura intermitente de bloques, debida a la acción de cambios de temperatura, meteorización, etc. Cuando aparece la roca en el lecho o en una de las orillas, aumenta el riesgo de erosión de la parte restante del cauce.

3.2.11.1 Orillas de material no cohesivo

Consistentes en una mezcla de limos, arenas y gravas. En este caso se trata de suelos sin elementos eléctricos o químicos que agreguen unas partículas otras, y la erosión se realiza partícula a partícula, estando controlada por las fuerzas gravitacionales de la corriente y las características de los sedimentos.

3.2.11.2 Orillas de material cohesivo

Constituidas por suelos con un elevado porcentaje de arcillas, con minerales activos que determinan la formación de agregados. Estas orillas son más resistentes a la erosión superficial, pero más susceptibles a la rotura cuando se produce un descenso rápido del nivel de las aguas, debido a su escasa permeabilidad.

3.2.11.3 Orillas con materiales estratificados

Generalmente las más frecuentes, donde se observan sucesivas capas o estratos de material diverso en cuanto a su tamaño, permeabilidad y cohesión. La respuesta a la erosión de este tipo de orillas depende de la erosionabilidad de los materiales de cada capa, y del espesor y posición de los estratos no cohesivos.

3.2.12 Estabilización y rectificación de ríos

3.2.12.1 Aspectos generales

En los ríos que escurren a través de material aluvial, los desplazamientos laterales ocurren principalmente en las orillas exteriores de las curvas, sobre todo durante la época de crecientes. Los márgenes interiores también se desplazan, pero hacia dentro del río, por efecto de la sedimentación del material que el río transporta. (Figura 3.12).

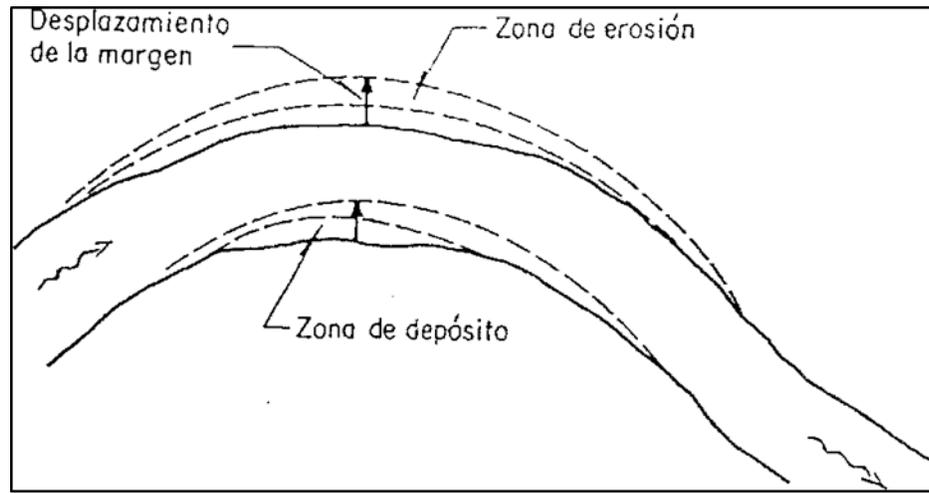


Figura 3.12 Desplazamientos laterales de un cauce. (Maza, 1997).

El fenómeno de erosión y depósito en las curvas se debe a la fuerza centrífuga que se genera en ellas, la que produce una sobreelevación del nivel del agua en la margen exterior y dicha sobreelevación genera una corriente de retorno por el fondo hacia la orilla interior, de esta manera el arrastre de partículas de fondo genera una erosión en el extrados de la curva y un depósito en el intrados de la misma. (Figura 3.13).

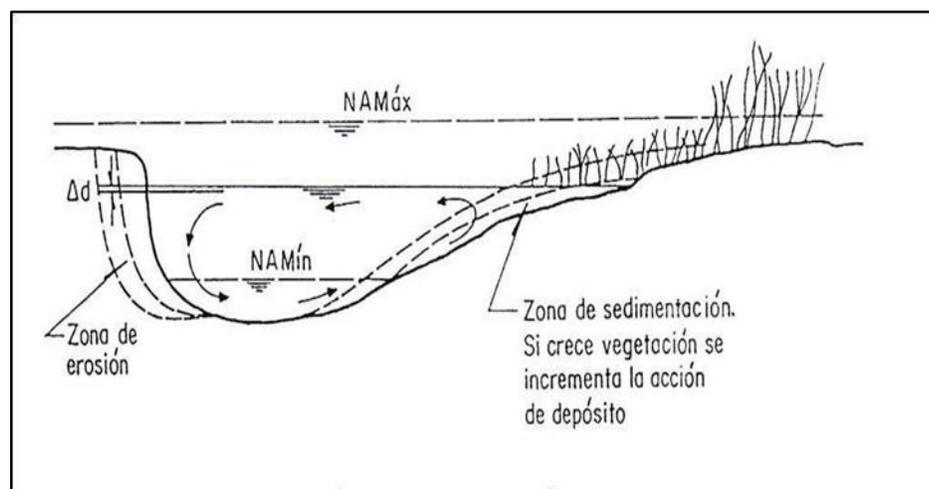


Figura 3.13 Erosión y sedimentación en curvas (Maza, 1997).

La suma de la corriente normal del río más esa corriente de retorno transversal forman una corriente helicoidal en las curvas, tal como se había mencionado con anterioridad en los procesos fluviales. Por ello, en las curvas, las secciones transversales tienen mayores profundidades cerca de la orilla exterior y en la interior disminuyen debido a la existencia de mayores velocidades, lo que facilita aún más la remoción y transporte de las partículas de la orilla y en consecuencia la erosión de la margen.

Durante el proceso erosivo, el flujo remueve y arrastra principalmente las partículas del pie y zona baja del talud de la orilla, con lo que éste tiende a hacerse vertical. Cuando la margen está formada principalmente por material no cohesivo como arenas y gravas, el talud falla antes de ser vertical. Dicha falla se produce ya sea por deslizamiento o por fracturamiento, con lo que algunos bloques caen dentro de la corriente. Si la margen está constituida por material cohesivo se pueden llegar a formar cavidades al pie del talud antes de que se produzca el colapso y falla de un tramo de esa margen. Después de la falla, la pendiente del talud disminuye y se mantiene así mientras la corriente arrastra todo el material fallado y el ciclo erosivo vuelve a repetirse. (Figura 3.14).

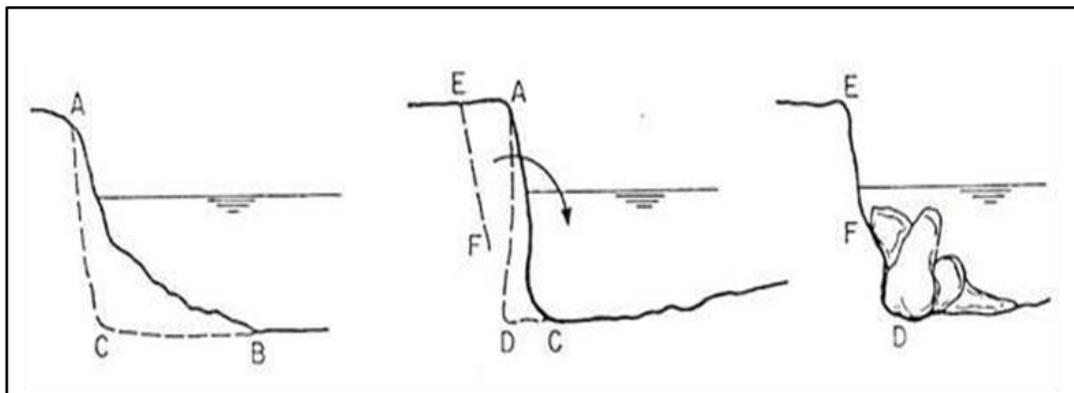


Figura 3.14 Una posible forma de falla y erosión de la margen (Maza, 1997).

Si bien es cierto, que existen problemas de erosión de orillas y cauces, también existen obras de ingeniería capaces de mitigar los procesos de erosión, con el fin de obtener un determinado resultado, a continuación, se dará una breve explicación de las obras hidráulicas más comunes utilizadas en la actualidad para revertir los efectos de erosión y canalizar ríos donde se profundizará en las estructuras tipo espigón la cual es motivo estudio en la presente investigación.

3.2.12.2 Medidas para la protección y formación de márgenes

Los procedimientos más comunes para proteger las márgenes de los ríos, sobre todo las exteriores de las curvas, son: recubrimientos marginales, diques marginales y espigones. El propósito principal de las obras mencionadas consiste en evitar el contacto directo entre el flujo con alta velocidad y el material que forma la orilla, además permiten guiar o conducir el flujo en una dirección deseada y conveniente. (Figura 3.15).

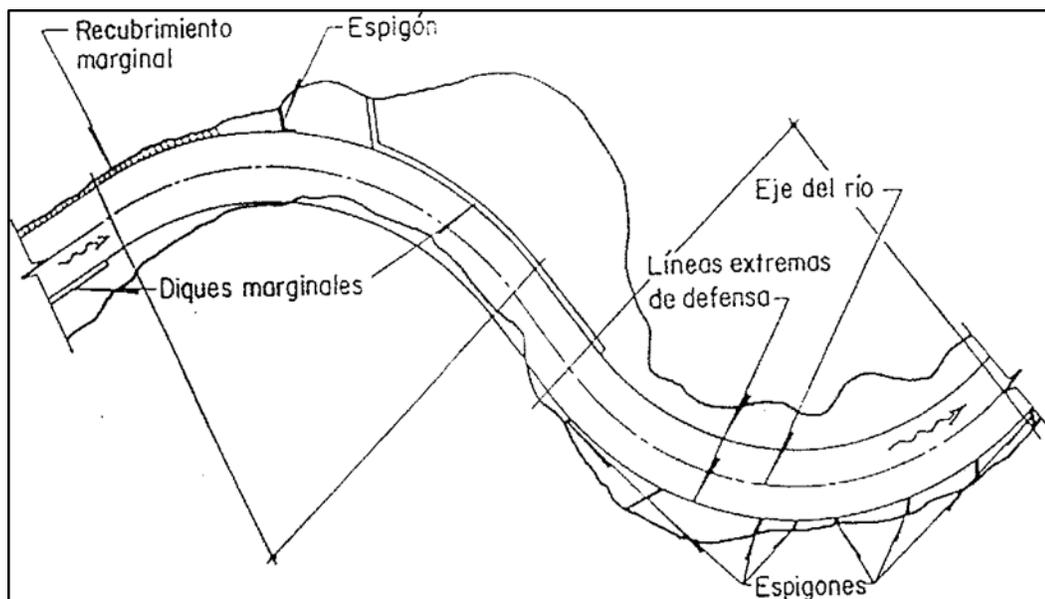


Figura 3.15 Obras de protección marginal. (Maza, 1997).

3.2.12.3 Recubrimientos marginales

Son protecciones que consisten en colocar, directamente sobre la orilla, un material natural como las rocas o sacos llenos de mortero o concreto, en otras palabras con materiales artificiales que no puedan ser arrastrados por la corriente. Para ello, normalmente se perfila la orilla con un talud que permita la colocación fácil y segura del material de protección. Entre este último material y el que forma la margen usualmente se coloca un filtro, ya sea artificial como puede ser un geotextil o natural con materiales pétreos formando una o varias capas con elementos cuyo tamaño decrece de afuera hacia la margen. El objeto del filtro es evitar que las partículas finas de la orilla salgan a través de los huecos que pueden tener la capa exterior o coraza, que es diseñada para resistir las altas velocidades del flujo. (Figura 3.16).



Figura 3.16 Recubrimiento marginal. (Maza, 1997).

3.2.12.4 Diques marginales

Son estructuras, en ocasiones de gran longitud, colocadas dentro del cauce y que se utilizan cuando se quiere formar una nueva orilla que permita encauzar al flujo en forma más adecuada o cuando se desea reducir el ancho del río. Al igual que los espigones pueden iniciarse y estar unidos a la margen mientras que toda la obra está dentro del cauce. La principal diferencia entre ellos y los espigones consiste en que estos últimos interfieren con las líneas de flujo mientras que los diques se colocan y diseñan para lograr que las líneas de corriente sean paralelas a esas obras. Son construidos normalmente con materiales como arcilla, arena o materiales pétreos; su sección transversal es trapecial y el talud en contacto con la corriente del río es formado en forma similar a los recubrimientos marginales. (Figura 3.17).



Figura 3.17 Dique Marginal. (Maza, 1997).

3.2.12.5 Espigones

Son estructuras interpuestas a la corriente, uno de cuyos extremos está unido a la margen. El propósito de estas estructuras consiste en alejar de la orilla a las líneas de corriente con alta velocidad, y evitar así que el material de la margen pueda ser transportado y ella se erosione. Además, los espigones facilitan que los sedimentos se depositen entre ellos, con lo que se logra una protección adicional de la orilla. Los espigones pueden estar unidos simplemente a la orilla en contacto con ella, o bien, estar empotrados una cierta longitud dentro de la margen. (Figura 3.18).



Figura 3.18 Espigones. (Maza, 1997).

3.2.12.6 Ventajas y desventajas de cada tipo de protección

Si se comparan los espigones y los recubrimientos marginales, los primeros presentan las siguientes ventajas:

Son sencillos de construir.

Su construcción es fácil de supervisar.

Su conservación es sencilla cuando se utilizan materiales pétreos, gaviones o tabla- estacados debidamente empotrados.

El costo de conservación disminuye con el tiempo, aunque puede ser alto, durante los dos primeros años, cuando se utilizan materiales pétreos.

La falla de un espigón no hace peligrar a los demás. Se ha observado que aún cuando se produzca una erosión en la zona de contacto entre un espigón y la orilla, ésta se erosione, se separe el espigón de la orilla y parte del escurrimiento pase entre ambos, el resto de los espigones continúa trabajando satisfactoriamente.

Entre las principales desventajas de los espigones se pueden mencionar:

Reducen el ancho del cauce, cuando ambos márgenes se protegen con espigones. Sin embargo, téngase en cuenta que en ríos navegables el reducir el ancho del cauce puede representar una ventaja y una necesidad.

Producen pérdidas adicionales de energía.

No son económicos en curvas que tienen un reducido radio de curvatura.

No protegen toda la orilla, ya que las zonas entre ellos pueden erosionarse antes de alcanzar un estado de equilibrio.

Por su parte, los revestimientos marginales presentan las principales ventajas que a continuación se indican:

Fijan la orilla protegida en forma definitiva, lo que no ocurre con los espigones, ya que la margen entre espigones puede sufrir algún grado de erosión.

No reducen el área hidráulica original.

Son eficiente para evitar los deslizamientos de las márgenes.

radio de curvaturas muy reducido los recubrimientos marginales son los que mejor se adaptan a estos casos.

El sistema construcción es más simple que el empleado para los espigones.

Debido a la primera ventaja indicada, los revestimientos marginales se utilizan siempre que se desean proteger orillas cerca de las cuales hay poblaciones, ciudades, vías de comunicación o canales de irrigación.

Las desventajas más importantes de este tipo de protección consisten en:

Son más difíciles de construir cuando requieren filtros.

Su procedimiento constructivo es más delicado y complejo, sobre todo cuando el río lleva agua todo el año y el tirante o la profundidad del flujo es grande aun en estiaje.

Requieren de un mantenimiento cuidadoso, ya que la falla de una parte la estructura se propaga hacia los lados y puede dañar un gran tramo la protección

Son más costosos que los espigones.

Los diques marginales son estructuras aún más costosas, ya que constan de todos los elementos de un revestimiento marginal y además requieren de un cuerpo o apoyo a esa protección. Cuando un dique es necesario no puede ser sustituido por un recubrimiento marginal. Si se deseara utilizar espigones para lograr el efecto de un dique, estos normalmente son más costosos y no trabajan tan eficientemente.

3.2.13 Diseño de espigones

Se ha mencionado con anterioridad que los espigones son estructuras que están unidas a la margen y están interpuestas a la corriente, lo que permite desviar y alejar la corriente de la orilla y evitar que ésta arrastre las partículas que la forman, los datos necesarios para el diseño de espigones son los siguientes:

La topografía y batimetría del río en la zona por proteger: abarcará todo el cauce y orillas. En ríos de Planicie se cubrirán además 20 m a cada lado de las orillas y en cauces con orillas muy elevadas, hasta 10 m arriba de la elevación máxima del agua.

Secciones transversales a lo largo de las orillas que serán protegidas: la separación entre ellas puede variar entre 50 m y 200 m dependiendo de las dimensiones del cauce. Fuera del agua cubrirán lo indicado en el inciso anterior, se prolongarán a lo largo del talud de la orilla y se extenderán sobre el fondo del río hasta una distancia de $1/3$ el ancho del cauce, como mínimo.

Características hidráulicas de la corriente: normalmente se deben conocer el gasto dominante y el gasto asociado a un periodo de retorno entre 50 y 100 años, la elevación de la superficie del agua correspondiente a esos gastos, así como las

velocidades medias de los escurrimientos y, de ser posible, la velocidad del flujo a lo largo de las orillas por proteger.

Características del lecho: granulometría de los materiales del fondo y las orillas del cauce.

Materiales de construcción disponibles: incluye la localización de bancos de roca y peso específico del material de cada uno de ellos. Así como bancos de grava o boleas que puedan servir para rellenar gaviones.

Los aspectos más importantes a tener en cuenta cuando se diseña una protección con espigones son los siguientes:

- a. Localización en planta.
- b. Longitud de los espigones.
- c. Forma de los espigones en planta.
- d. Separación entre espigones.
- e. Pendiente longitudinal y elevación de la cresta de los espigones.
- f. Ángulo de orientación de cada espigón, con respecto al flujo.
- g. Permeabilidad de los espigones.
- h. Conformación del cuerpo de espigón y materiales de construcción.
- i. Erosión al pie del espigón en el extremo dentro de la corriente.
- j. Localización en planta: para ubicar los espigones en planta, lo primero que se requiere es trazar el eje del río tal como quedará una vez que él sea rectificado, (Figura 3.19) o bien el eje existente si sólo se van a proteger las orillas, sin efectuar ningún cambio a la geometría del río ni a la dirección de la corriente. Al terminar el trazo del eje del río se conoce el radio o radios que forman cada curva y la longitud de los tramos rectos.

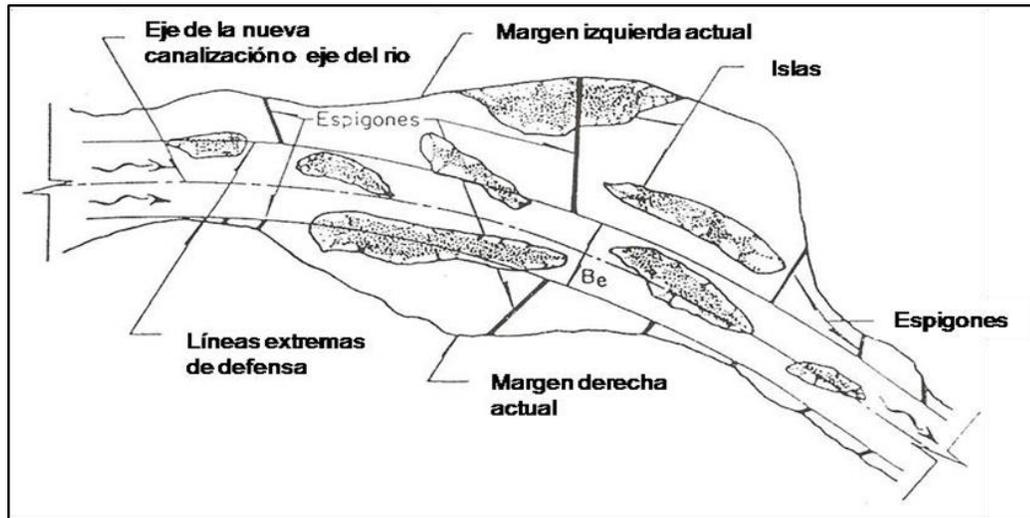


Figura 3.19 Trazo del eje del río y líneas extremas de defensa en una rectificación, (Maza, 1997).

Posteriormente se trazan dos líneas paralelas a ese eje y separadas entre sí una distancia igual al ancho que tendrá el río una vez protegido. Dichas líneas se denominarán líneas extremas de defensa. Todos los espigones partirán de las márgenes y llegarán hasta una de esas dos líneas, por lo que la longitud final de cada espigón es función de la separación que existe entre cada una de esas líneas y su margen correspondiente. La separación entre las dos líneas extremas de defensa podrá ser igual al ancho estable del río, teniendo en cuenta el cambio de pendiente que se introduce cuando el tramo en estudio es rectificado y además si el río va a ser navegable o no. Se entenderá por ancho estable el que tiene un tramo de río cuando en él no hay islas o bifurcaciones y las márgenes son sensiblemente paralelas, (Figura 3.20). Si en el tramo en estudio no se tiene la condición señalada, el ancho estable se puede conocer observando fotografías aéreas de los tramos aguas arriba y abajo, hasta localizar una zona donde haya un solo cauce, siempre y cuando el material del fondo y orillas sea el mismo.

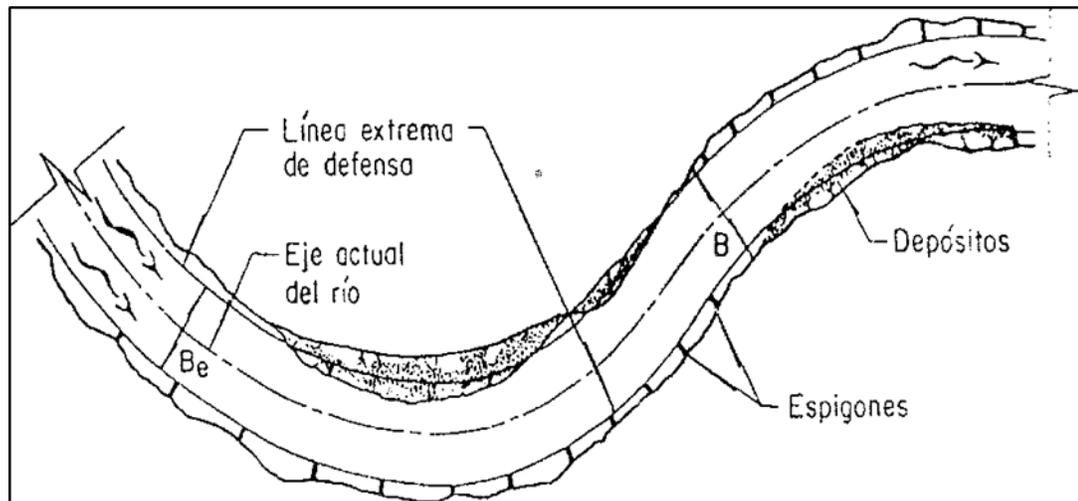


Figura 3.20 Trazo del eje del río y líneas extremas de defensa para proteger márgenes sensiblemente paralelos al eje del río, (Maza, 1997).

Cuando el río es navegable y se desea incrementar la profundidad, la separación entre ambas líneas puede ser menor que el ancho estable. El ancho de la superficie libre del cauce estable se designará con B . Si el agua escurre por un solo cauce, B es igual al ancho de la superficie libre cuando escurre el gasto dominante. La separación entre las dos líneas extremas de defensa se designará Be . Si los espigones son utilizados para defensa y estabilización de las márgenes, sólo se colocan en los lados exteriores de las curvas, y por tanto la orilla interior de las mismas la fijará el río libremente. De esta forma, el ancho de la superficie libre asociado al gasto dominante tenderá a ser B .

En cambio, si se desea mejorar la navegación y los espigones se construyen para reducir el ancho de B a Be , se tendrán que colocar espigones en ambas márgenes uno frente a otro. Con ello el río pasa a tener únicamente dos grados de libertad.

En caso de que se desee rectificar un tramo de río o defender sus curvas y si las márgenes son arenosas o ligeramente limosas, los radios de curvatura r , medidos hasta el eje del río conviene que estén comprendidos entre los siguientes límites, (Figura 3.21).

$$2B \leq r \leq 8B \quad (3.7)$$

Donde:

B = es el ancho medido de la superficie libre en los tramos rectos.

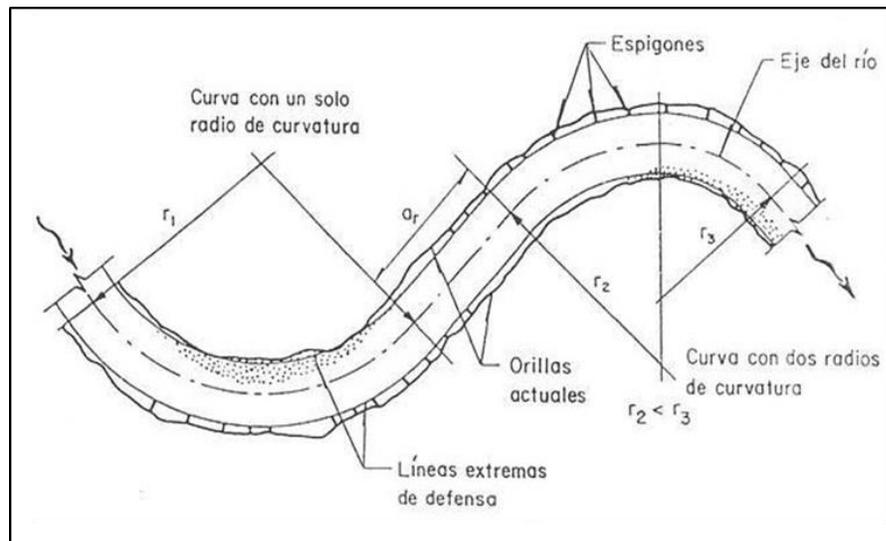


Figura 3.21 Eje del río y radios de curvatura, (Maza, 1997).

Con la recomendación dada por la ecuación 3.7 se logra que las mayores profundidades siempre se encuentren cercanas a la orilla exterior de la curva y que en ésta no se formen islas o bancos de arena cercanos a la orilla cóncava.

Lo expresado por la ecuación 3.7 ha sido obtenido de la observación de ríos con anchos no mayores de 150 m. En grandes ríos se han observado curvas con relación r/B hasta de 20 que una vez protegidas se comportan satisfactoriamente; es decir, no hay bancos de arena en medio de las secciones de la curva, el canal más profundo se forma cerca de la orilla exterior y el sedimento tiende a acumularse sólo en la orilla interior.

Las relaciones r/B posiblemente dependan de los gastos líquidos y sólidos transportados por el río, los materiales y resistencia de la margen, velocidad del flujo y distribución anual de los gastos mencionados; sin embargo, la relación entre los parámetros señalados aún no ha sido establecida para una amplia gama de ríos.

Por lo anterior, cuando se desea proteger un tramo de río conviene conservar los radios de curvatura de las curvas por proteger, modificando aquellas cuyo r/B sea menor que 2. En cambio, cuando se desea efectuar una rectificación, se deben observar las curvas estables del río aguas abajo y arriba del tramo por rectificar, o de alguna corriente semejante que se encuentre cercana a la que está en estudio. Esto último presupone que los gastos, pendientes y materiales de ambas corrientes sean casi iguales o muy semejantes.

Si el radio de curvatura es menor que $2B$, la distancia entre los espigones decrece y desde el punto de vista económico llega a ser preferible construir un revestimiento marginal. En cambio, si el radio es mayor que $8B$, el río puede llegar a formar un cauce con radio menor que el de la curva y consecuentemente no todos los espigones trabajarán eficientemente y la corriente podrá incidir, aguas abajo de la curva, en lugares no previstos y por tanto no protegidos.

Si una curva es trazada con varios radios de curvatura, el tamaño de dichos radios debe decrecer hacia aguas abajo, tal como se muestra en la figura 3.22, si no se cumple con esta recomendación el flujo podrá separarse de la margen exterior, dando lugar a la formación de bancos de arena cercanos o adyacentes a la margen cóncava. Cuando se protege una curva trazada con un único radio de curvatura y la margen exterior es uniforme, todos los espigones tendrán la misma longitud y ángulo de orientación y, por tanto, la separación entre ellos será la misma.

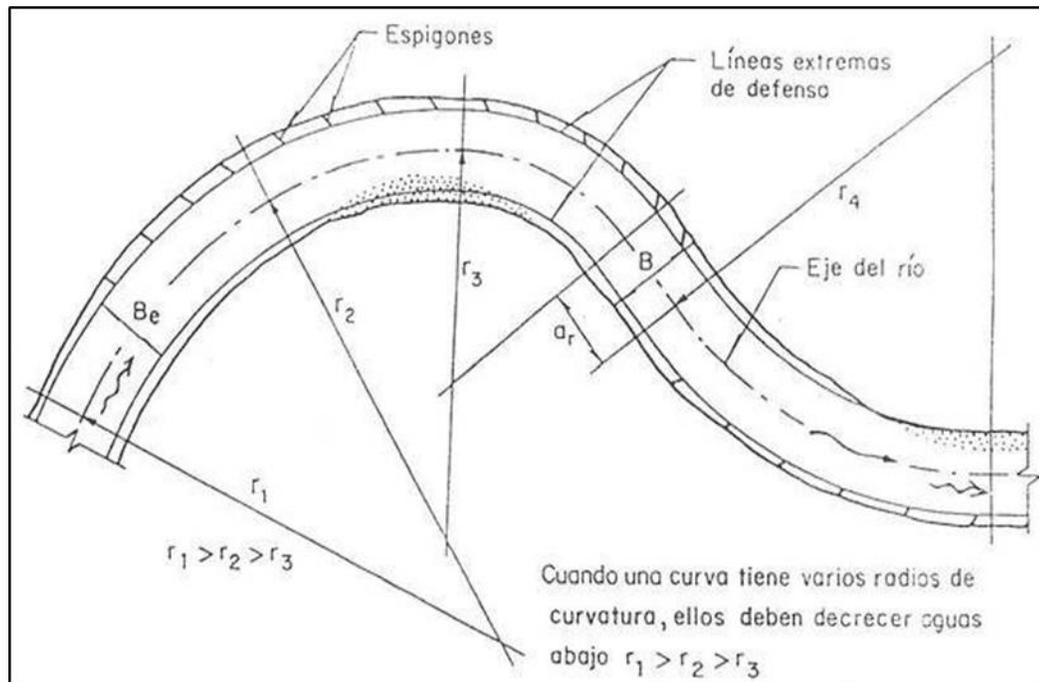


Figura 3.22 Trazo del eje del río, (Maza, 1997).

Si la margen es uniforme en una curva que se define con dos o más radios de curvatura, lo único que varía es la separación entre los espigones, lo que es constante dentro de los segmentos con igual radio de curvatura. Esta separación será menor cuanto menor sea el radio, teniendo cuidado que ellos cumplan la recomendación dada por la ecuación 3.8.

Cuando no se efectúa ninguna rectificación, sino que se desea proteger la margen actual de un río, la línea extrema de defensa deberá trazarse lo más uniforme y paralela posible a esa margen, cuidando que los radios de curvatura no crezcan hacia aguas abajo. Puesto que la margen actual puede tener entrantes y salientes o zonas más erosionadas que otras, la longitud de todos los espigones también puede ser diferente.

Se ha mencionado que la línea extrema de defensa a la que llegan los espigones influye en la longitud de éstos y además, esta longitud influye en la separación entre

espigones y en ocasiones en su orientación. Por tal motivo, en un proyecto dado, podrían plantearse diferentes alternativas tanto de ubicación de las líneas extremas de defensa como de la colocación y distribución de los espigones, para seleccionar finalmente la más económica y también la que, por experiencia, se presuponga que pueda trabajar más adecuadamente.

Téngase en cuenta que si se protege una única curva de un río se debe tener la seguridad de que las márgenes de las curvas situadas aguas arriba no puedan ser erosionadas y por tanto, tener la seguridad de que la corriente incidirá aproximadamente con la misma dirección contra la margen protegida. Si esto último no ocurre, en pocos años el río escurrirá por otro sitio, abandonando completamente los espigones que fueron colocados. Por ello, en ríos de planicie que son divagantes o que sufren erosión constantemente en sus curvas, se deben proteger tramos completos de río y no sólo una curva aislada; esto último se justifica únicamente como emergencia, cuando el río está erosionando una curva en la que hay una construcción importante. Este proceder tiene el inconveniente de que nuevas erosiones se estarán presentando continuamente en otras curvas y aunque se protejan cuidadosamente, el río no es encauzado ni su cauce fijado permanentemente.

En ríos de planicie que corren sobre material aluvial, la longitud de los tramos rectos a_r , que están entre curvas, suele estar comprendida entre:

$$0 \leq a_r \leq 3B \quad (3.8)$$

En la Figura 3.22 señalada con anterioridad se puede apreciar como es tomada a_r . Se deben evitar tramos rectos con mayor longitud, ya que de existir se formarán bancos de arena alternados y cerca de las márgenes obligarán al flujo a seguir una trayectoria senoidal. Los tramos rectos sólo existen en forma natural en las zonas de

montaña o intermedia con márgenes rocosas o muy resistentes; por ejemplo, cuando el río corre a lo largo de una falla.

3.2.13.1 Longitud de los espigones

La longitud total L , de un espigón queda definida por la longitud de trabajo, L_t que es aquella que está dentro del cauce y la longitud de empotramiento L_e que está dentro de la margen, como se muestra en la figura 3.23.

$$L = L_t + L_e \quad (3.9)$$

Donde:

L = Longitud total.

L_e = Longitud de empotramiento.

L_t = Longitud de trabajo.

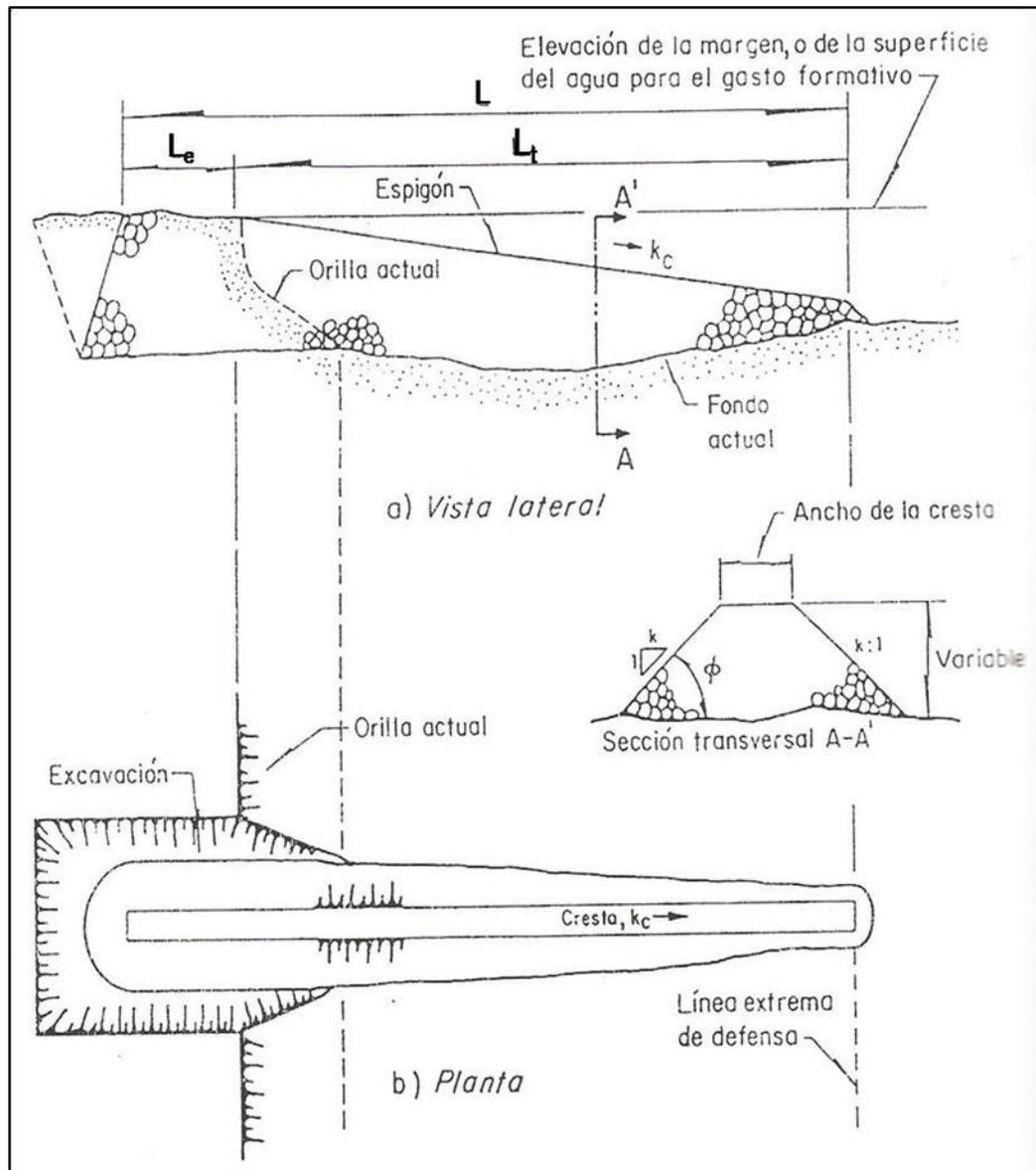


Figura 3.23 Espigón empotrado, (Maza, 1997).

La longitud de trabajo de los espigones está dada por su distancia entre el cruce de la margen con la corona del espigón, y la línea extrema de defensa comentada en el inciso anterior, y normalmente debe estar comprendida entre los siguientes límites.

$$d \leq Lt \leq B/4 \quad (3.10)$$

Donde:

d = Tirante o profundidad del río, asociado al gasto dominante, en el sitio donde se construirá el espigón.

Los espigones pueden empotrarse en la margen o bien terminar en contacto con ella; cuando esto último ocurre $L_e = 0$, ver la figura 3.25. La máxima longitud de anclaje recomendada es igual a un cuarto de la longitud de trabajo, $0.25 Lt$. De esta manera la longitud máxima de un espigón llega a ser:

$$L = 1.25Lt \quad (3.11)$$

Se ha mencionado que la longitud de trabajo puede ser seleccionada en forma independiente, sin embargo, también ya se ha indicado que todos los espigones deben de llegar a la línea extrema de defensa preseleccionada, por lo que en realidad dicha longitud depende de la posición de esa línea.

Para anclar o empotrar un espigón se requiere excavar una trinchera con ancho de plantilla igual al de la base del espigón, cuyo fondo debe tener la misma elevación que el fondo del río y cuya longitud es la que se seleccione sin sobrepasar la distancia de $0.25 Lt$; posteriormente dentro de la zanja hay que construir la parte del espigón que va en ella. Como el procedimiento indicado es costoso no conviene empotrar los espigones y sólo se justifica cuando no se puede permitir que falle ninguno de ellos. Esto último también se logra reduciendo la separación entre los espigones.

Cuando se terminan o se apoyan directamente los espigones contra la margen, algunos de ellos pueden ser flanqueados. Se ha observado que en no más del 4% de los espigones construidos ha ocurrido este fenómeno, siempre que se han respetado las recomendaciones dada por la ecuación 3.15. (Figura 3.24).

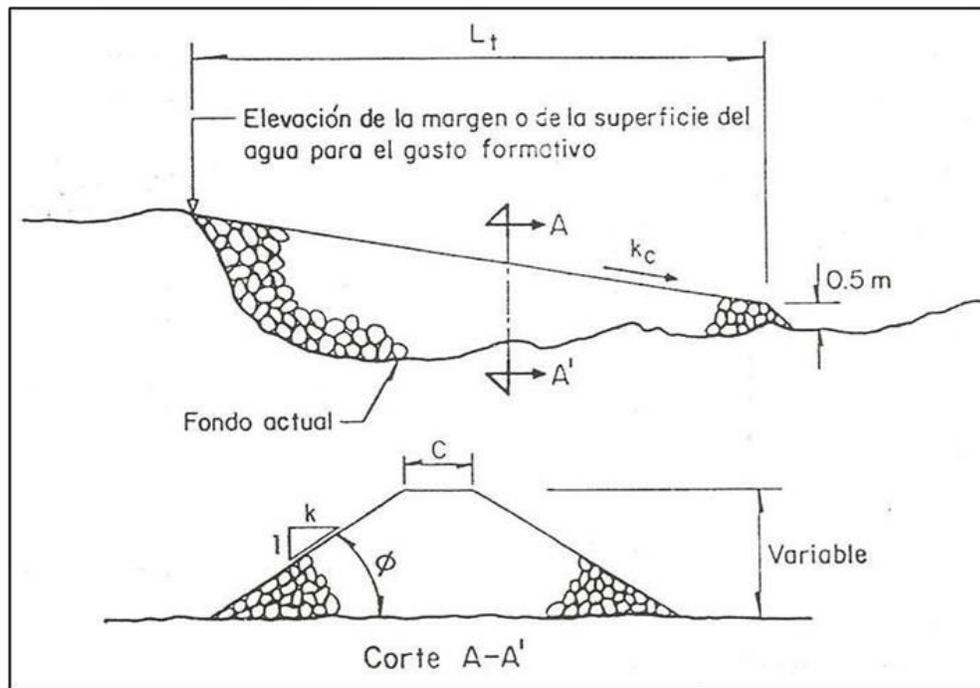


Figura 3.24 Espigón apoyado en la margen y en un río sin escurrimiento en estiaje, (Maza, 1997).

Al fallar un espigón, la orilla se erosiona rápidamente frente a él y parte del flujo escurre entre el espigón y la orilla erosionada, sin que esto repercuta en el buen funcionamiento de los ubicados inmediatamente aguas abajo. La reparación de esas fallas se lleva a cabo en el estiaje siguiente formando el cuerpo del espigón desde la nueva orilla hasta el espigón fallado, como se muestra en la figura 3.25.

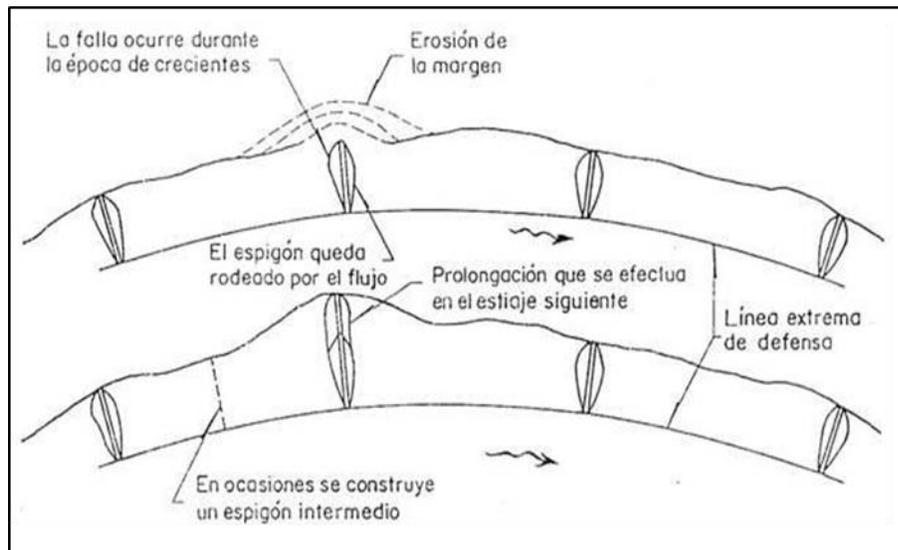


Figura 3.25 Falla de un espigón, (Maza, 1997).

Estas reparaciones, que son sencillas, tienen un costo menor que el que se tendría si todos los espigones se hubieran empotrado. La falla descrita tiene lugar, generalmente, durante la primera o segunda época de avenidas, cuando aún no se han formado depósitos de arena entre los espigones, y por tanto, la orilla se encuentra menos protegida. Cuando este tipo de falla no pueda permitirse, porque haya construcciones importantes cercanas a la orilla del río, conviene reducir la separación entre espigones.

3.2.13.2 Forma de los espigones en planta

La forma en planta de los espigones puede ser: recta, curvadas hacia aguas arriba o hacia aguas abajo, en L con el brazo también dirigido hacia aguas arriba o hacia aguas abajo y en T, figura 3.26. Los más usuales son los rectos por su facilidad constructiva y ser más económicos. Los espigones con forma de L o T son los más costosos, ya que su parte extrema debe construirse en la zona más profunda del río. La principal diferencia entre los espigones y los diques marginales consiste en que los primeros se

interponen a las líneas de corriente, mientras que éstas son paralelas a la cara exterior de los diques. Por ello, cuando las ramas extremas de los espigones en L o T tienen una longitud mayor que LT se consideran más como diques marginales que como parte de un espigón.

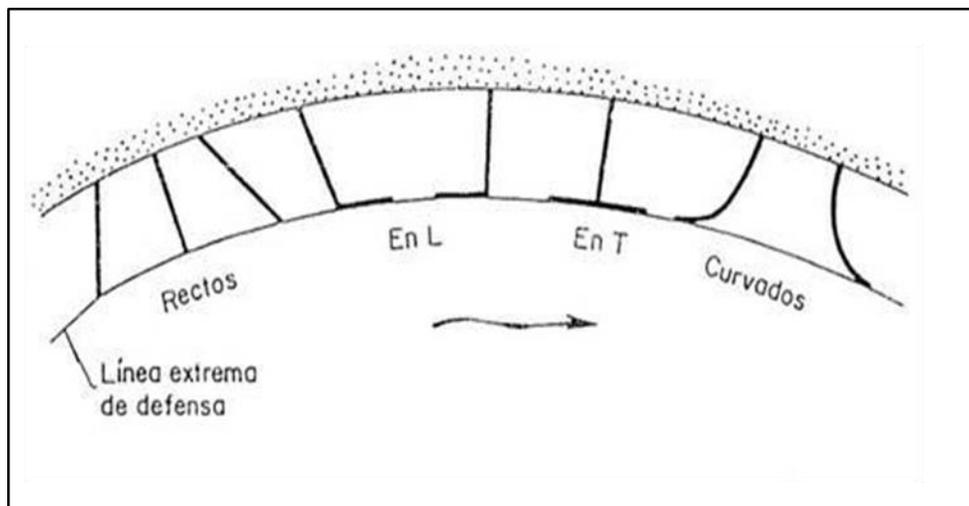


Figura 3.26 Forma en planta de los espigones, (Maza, 1997).

3.2.13.3 Separación entre espigones: I

La distancia entre espigones está medida a lo largo de la margen entre los puntos medios de los arranques de cada espigón y depende de la longitud del espigón de aguas arriba y de su orientación, así como de la configuración de la margen. Para calcular la separación entre dos espigones es necesario tener en cuenta la expansión teórica que sufre la corriente al pasar frente al extremo del espigón, figura 3.27. Normalmente se considera que el ángulo de expansión β varía entre 9° y 11° . Dicho ángulo se mide en la punta del espigón, con respecto a la tangente a la línea extrema de defensa. En modelos hidráulicos se han observado ángulos de expansión hasta de 14° , por lo tanto, se recomiendan estos límites:

$$9^\circ \leq \beta \leq 14^\circ \quad (3.12)$$

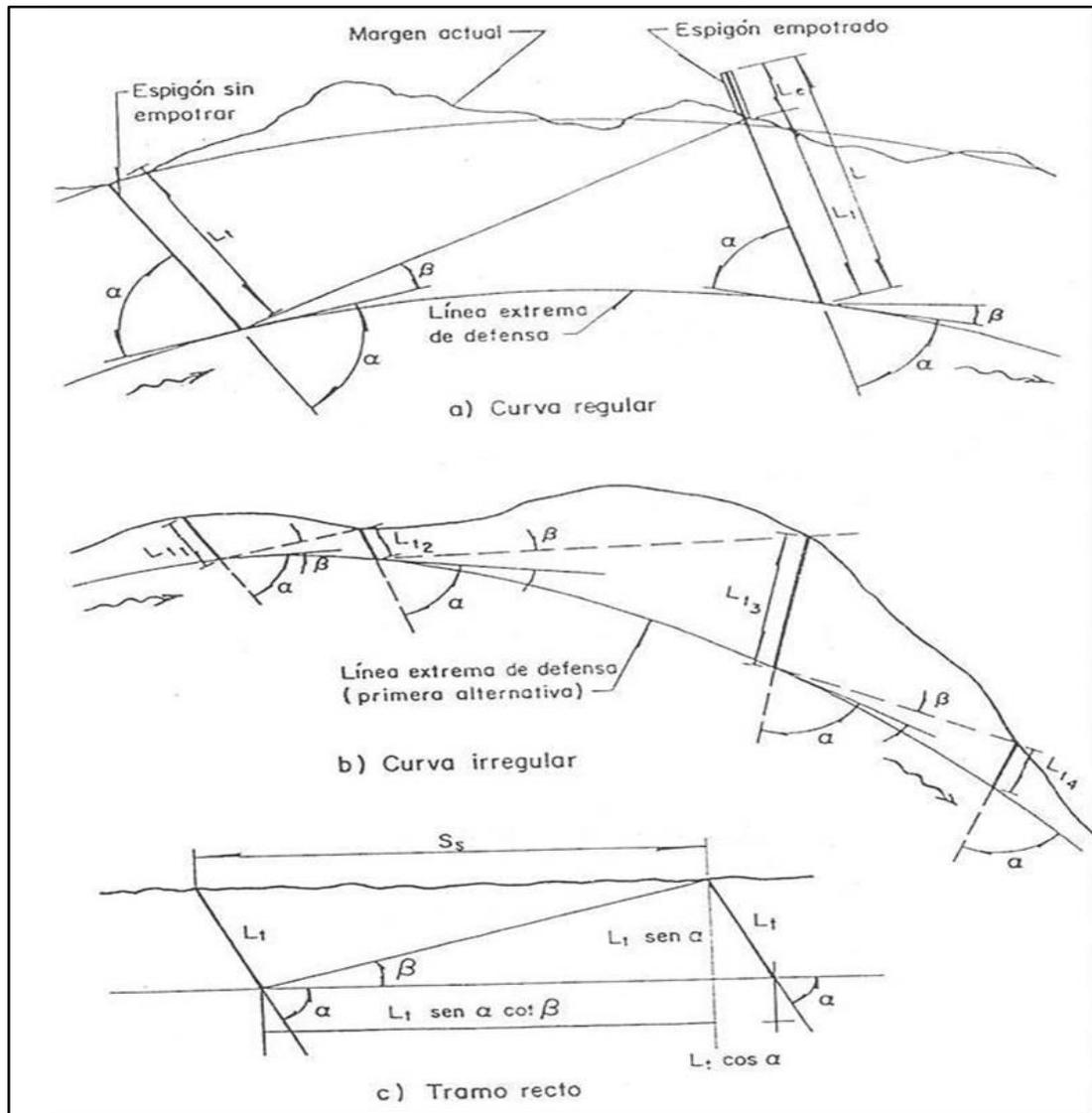


Figura 3.27 Método para obtener el espaciamiento entre espigones. (Maza, 1997).

La práctica usual consiste en considerar como ángulo de expansión 9° cuando se desea obtener un diseño económico y 14° cuando se quiere un diseño más conservador.

Las fórmulas y recomendaciones se muestran a continuación:

Separación entre espigones cuando la margen es paralela a la línea extrema de defensa: cuando la línea extrema de defensa y la margen del río son sensiblemente paralelas, es decir, que la margen no tiene irregularidades ni entrantes ni salientes, las separaciones que se recomiendan entre espigones se indican adelante y son aplicables únicamente a espigones que son utilizados para defender las márgenes de un río. Si se construyen para reducir el ancho de la superficie libre del agua e incrementar la profundidad en ríos navegables, las separaciones son menores a las que aquí se indican.

Separación en tramos rectos, (S_s): la separación entre espigones en un tramo recto, cuando la línea extrema de defensa y la margen son paralelas, y está dada por la siguiente relación:

$$4 L_t \leq S_s \leq 6.3 L_t \quad (3.13)$$

Desde el punto de vista práctico y económico conviene que la separación inicial sea $S_s = 6L_t$. Si así separados se observa que la corriente ataca e inicia la erosión de la orilla cerca del punto de arranque de alguno de los espigones, se deberá construir un nuevo espigón intermedio aguas arriba de él, con lo que la separación entre los espigones, en esa zona, se reduce a $3L_t$. Si por falta de observaciones o por la intensidad de la corriente durante una avenida, falla uno de los espigones y queda separado de la orilla por ser ésta erosionada, el espigón fallado se deberá prolongar hasta unirlo con la nueva orilla. Esta acción conviene efectuarla en el estiaje siguiente.

El espigón intermedio entre un espigón fallado o por fallar y el siguiente aguas arriba, puede no necesariamente quedar a $3L_t$ de cada espigón, sino a $2L_t$ del espigón por proteger. Bajo estas circunstancias la longitud de este nuevo espigón puede ser menor que la de los restantes.

Cuando en las márgenes de un tramo recto hay construcciones de importancia, la separación inicial entre espigones debe ser como máximo de $4L_t$.

Separación en curvas, S_c : la separación entre espigones ubicados en las márgenes exteriores de las curvas puede variar entre los siguientes límites:

$$2.5 L_t \leq S_t \leq 4L_t \quad (3.14)$$

En curvas, la separación entre espigones depende del radio de curvatura. A menor radio menor separación. En algunas curvas con radios menores de $1.5B$ los espigones pueden llegar a quedar tan juntos y tan orientados hacia aguas abajo que, por economía, es preferible sustituirlos por un recubrimiento marginal.

Cuando una curva tiene un radio igual o mayor a 4 veces el ancho del río, $4B$, la práctica usual consiste en colocar los espigones con una separación igual a $4L_t$. Si al proteger una curva siguiendo esta recomendación uno de ellos llega a fallar, se efectúa la reparación ya mencionada en el inciso anterior y para mayor seguridad se podrá construir otro espigón aguas arriba del fallado, a una separación igual a $2L_t$.

Separación entre espigones cuando la margen es irregular: cuando la línea extrema de defensa no es paralela a la orilla del río, y esta última es irregular, la separación entre espigones deberá obtenerse en forma gráfica como se muestra en la figura 3.27, y el procedimiento a seguir sería el siguiente:

Trazar en la punta del espigón una tangente a la línea extrema de defensa.

Con respecto a esa línea, y hacia aguas abajo medir el ángulo β que se haya seleccionado, con la ecuación 3.12.

Con ese ángulo trazar una línea hacia aguas abajo hasta que intercepte la margen.

En el punto de intersección con la margen trazar un nuevo espigón al que se le dará el ángulo de orientación α deseado, con la ecuación 3.15, y se prolongará hasta alcanzar la línea extrema de defensa. En ese punto se traza la tangente a dicha línea y con respecto a esa tangente se mide nuevamente el ángulo de expansión β , para repetir el procedimiento ya descrito.

3.2.13.4 Pendiente longitudinal, elevación y ancho de la cresta de los espigones

Los espigones pueden ser construidos con pendiente horizontal o teniendo una pendiente hacia el centro del río que puede llegar a ser hasta de 0.25.

Los espigones con cresta horizontal se construyen principalmente cuando se desea reducir artificialmente el ancho del río, por ejemplo, cuando se desea mejorar la navegación. En cambio, cuando el propósito de los espigones consiste en proteger una margen o rectificar un tramo de río, la cresta del espigón debe tener una pendiente longitudinal de la margen hacia el extremo que se encuentra en el interior del río. (Figuras 3.28).

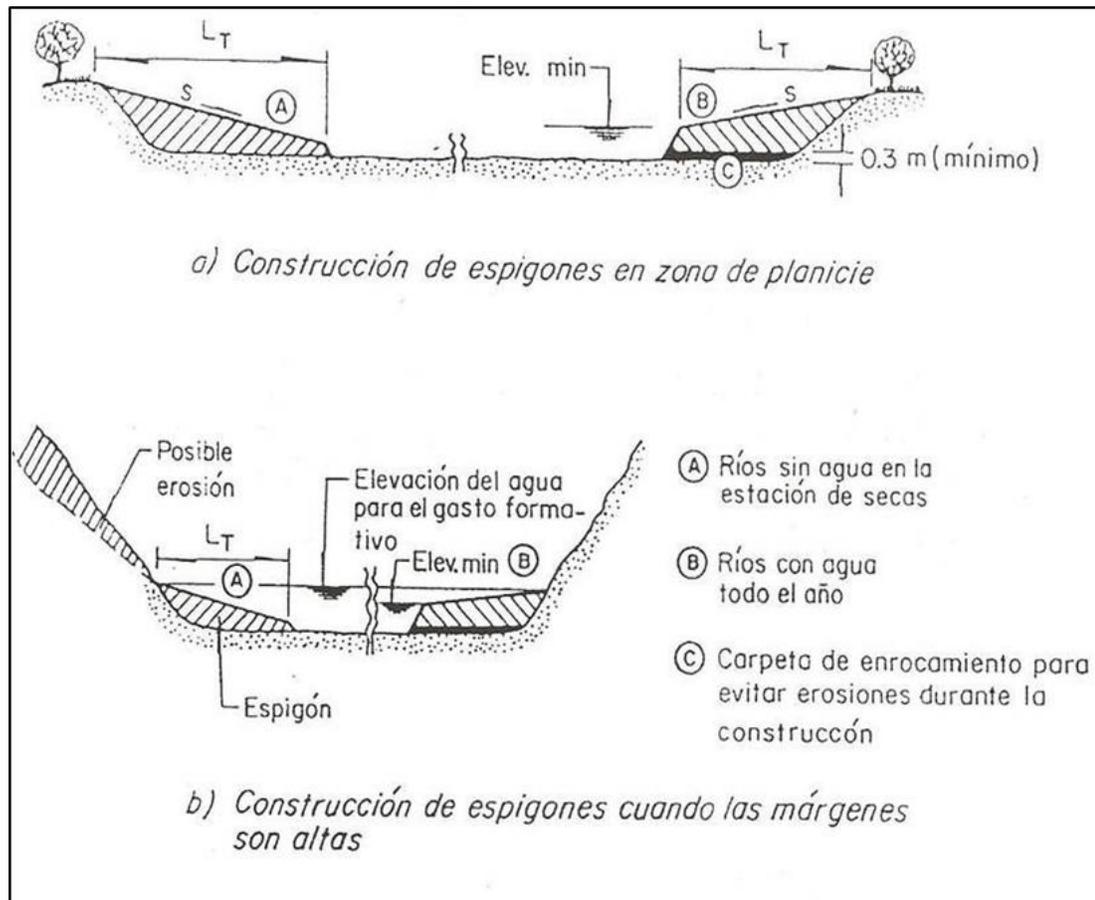


Figura 3.28 Construcción de espigones en función de la altura de las márgenes. (Maza, 1997).

De la figura se anterior se entiende lo siguiente:

En ríos de planicie será igual a la elevación de la margen.

En zonas intermedias o de montaña será igual a la elevación del agua que corresponde al gasto dominante.

Al seleccionar la pendiente longitudinal del espigón, conviene tener en mente lo siguiente:

Lograr que el extremo del espigón que se encuentra dentro del río quede a una elevación de unos 50 cm arriba del fondo del cauce. Esto es posible únicamente en ríos que casi no llevan agua en la época de estiaje.

La pendiente longitudinal no debe ser mayor que la que permita el manejo del equipo de construcción. En los espigones construidos con enrocamiento se utilizan camiones que entran en reversa descargando en el extremo del espigón y un pequeño tractor empuja la roca y forma la corona.

Los espigones construidos con pendiente longitudinal igual o mayor que 0.1 presentan las siguientes ventajas:

Favorecen el depósito de sedimentos entre ellos. Dicho depósito es mayor del que se hubiera tenido si la cresta fuera horizontal.

Cuando los espigones tienen paredes verticales, como ocurre con los construidos con tabla-estacado, sólo se presenta una ligera erosión que tiene lugar al pie del talud de aguas arriba, como ocurre con los construidos con enrocamiento, se forma un depósito de sedimentos en el talud de aguas arriba que ayuda a proteger al espigón.

No se han observado fallas de espigones cuando estos han tenidos las pendientes que se mencionan, siempre y cuando la separación entre ellos no haya sobrepasado 4 veces la longitud de trabajo. No se han probado espigones con pendiente longitudinal, con separaciones mayores.

El ancho de la corona de los espigones depende de los materiales con que se construyen y del procedimiento de construcción empleado. Así, por ejemplo, si el espigón es construido con enrocamiento, el ancho de la corona debe ser tal que permita

el acceso de camiones de volteo, los cuales entrarán en reversa para descargar la roca, la que será posteriormente empujada por un tractor.

3.2.13.5 Orientación de los espigones

Los espigones pueden estar orientados hacia aguas abajo, hacia aguas arriba o ser perpendiculares a la dirección del flujo. Su orientación está dada por el ángulo α que forma el eje longitudinal del espigón con respecto a la tangente trazada a la línea extrema de defensa en el punto de unión con el espigón y medido hacia aguas abajo, como se muestra en la figura 3.27. El ángulo de orientación conviene que esté comprendido entre los siguientes límites:

$$60^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ} \quad (3.15)$$

En curvas con márgenes uniformes se recomienda

$$\alpha = 70^{\circ}$$

En curvas con márgenes irregulares conviene, en ocasiones, variar el ángulo de orientación de alguno de los espigones; esto ocurre sobre todo cuando una curva tiene un radio menor que $2B$. Se ha llegado a situaciones extremas en que el ángulo α ha sido de 30° . Cuando esto ha ocurrido, hubiera sido preferible proteger la margen con un recubrimiento marginal y no utilizar espigones, ya que estos últimos resultarán más costosos.

Orientaciones con ángulos mayores de 90° requieren distancias menores entre espigones y por tanto, un mayor número de ellos para proteger la misma longitud de río. Experimentalmente se ha encontrado que espigones con orientaciones de 120° y

con pendiente longitudinal en su corona, no trabajan satisfactoriamente y aún más, cuando un espigón falla, la erosión de la margen es mayor que la que se produce cuando los espigones tienen ángulos entre 60 y 70°.

Es importante destacar que los espigones con pendiente horizontal, sí se pueden orientar hacia aguas arriba formando un ángulo no mayor de 115°. Para ángulos iguales o mayores que 120° no trabajan satisfactoriamente. Téngase en cuenta que el ángulo de orientación de los espigones repercute en la separación entre ellos.

3.2.13.6 Permeabilidad de los espigones:

Los espigones pueden ser impermeables o permeables. Los primeros alejan de la orilla a las líneas de corriente con alta velocidad, mientras que los segundos reducen la velocidad del flujo por debajo de su límite erosivo. Estos últimos, cuando están bien diseñados, facilitan de inmediato la sedimentación de arena entre los espigones. Infortunadamente no existe un criterio confiable para determinar las pérdidas de carga producidas por espigones permeables, ni para cuantificar la reducción de la velocidad del flujo. Ello se determina experimentalmente en el sitio.

Los espigones permeables tienden con el tiempo a perder permeabilidad debido a toda la basura, ramas y troncos que llegan a detener. Por ello se deben diseñar para resistir, tanto el empuje del agua, como el de los elementos mencionados. La mayoría de los espigones permeables se construyen con troncos de árbol y pilotes de madera formando una pantalla en la que dichos elementos no están juntos, aunque unidos con travesaños de madera y en ocasiones con alambre. Usualmente, los espigones contruidos con roca o gaviones no son totalmente impermeables al inicio de su vida útil; lo llegan a ser cuando sus huecos se rellenan con la arena y limo que transporta el agua.

Los espigones permeables deben llegar también a la línea extrema de defensa. Su separación entre ellos es menor que para los espigones impermeables y depende de la reducción de la velocidad, que se obtenga con cada uno de ellos; generalmente están separados entre 10 a 50 m independientemente de su longitud. Su corona es siempre horizontal longitudinalmente y siempre deben empotrarse. Además requieren de una observación y mantenimiento constante, ya que pueden ser destruidos por troncos y árboles que arrastre la corriente.

3.2.13.7 Material de construcción

Los espigones pueden ser construidos con una gran variedad de materiales, como, por ejemplo: tabla-estacados de madera o concreto, troncos de árboles y ramas, enrocamiento, elementos prefabricados de mortero o concreto.

La mayoría de los espigones se construyen con enrocamiento, pero en aquellos lugares donde la roca o grava se encuentra a grandes distancias, es conveniente utilizar bolsas o sacos de plástico rellenos con mortero o concreto. Con bolsas comunes de plástico o sacos para el transporte de azúcar o granos, se llegan a obtener elementos hasta de 100 kgf de peso.

Cuando se desea construir espigones en ríos anchos y profundos, por lo general se hacen de enrocado, ya que, en estos ríos normalmente escurren grandes caudales y por lo tanto se necesitan de elementos lo suficientemente pesado para que no sean arrastrados, sin embargo resultarían costosos si se construyen de enrocado en su totalidad, debido a los grandes volúmenes de roca que demandarían, en estos casos se recomiendan que estén compuestos por capas de distintos materiales con la finalidad de hacerlo más económicos, como se muestra en la figura 3.29, dichas capas de material estarían constituidas de las siguientes manera:

Coraza: es el elemento resistente, generalmente está formado por dos o más capas de rocas.

Filtro: constituido por piedras cuyo peso aproximado es la décima parte del peso de los elementos que forman la coraza. Proporciona mayor porosidad a la estructura e impide, adicionalmente, la salida del material de núcleo.

Núcleo: constituye la parte central y su finalidad es la de servir de apoyo tanto al filtro como a la coraza, y este no está sometido directamente al embate del río. Está formado por material arenoso o granular como también desecho de cantera y se considera prácticamente impermeable.

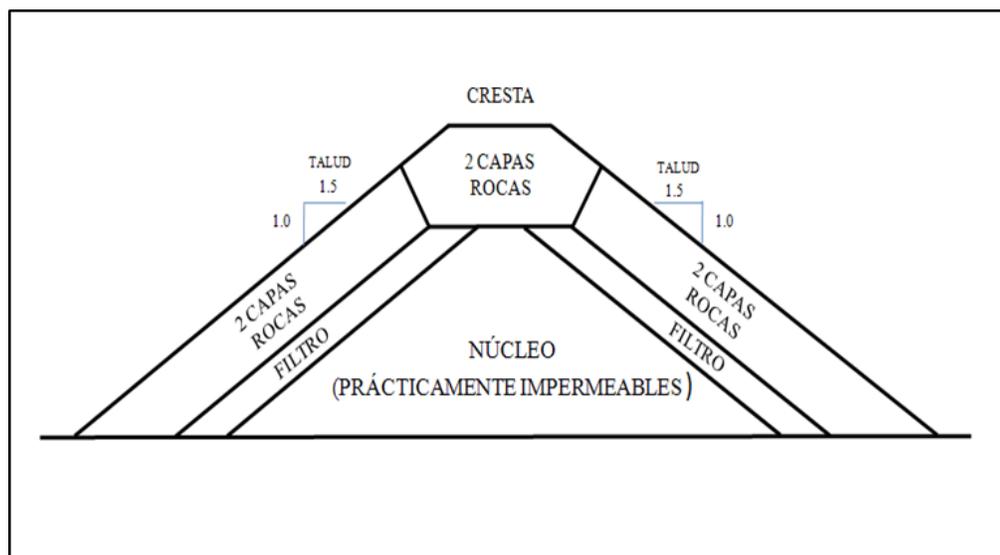


Figura 3.29 Sección típica de un espigón. (Headquarters, Department Of The Army Office Of The Chief of Engineers, 1963).

3.2.14 Erosión local al pie de espigones

La erosión más importante que se produce al pie de un espigón ocurre en el extremo que se encuentra dentro del agua. Cuando los espigones son construidos en

ríos que casi no tienen escurrimiento durante la época de estiaje, no existe socavación durante su construcción. Si además se les da una pendiente longitudinal y su extremo final queda casi a la elevación del fondo, tampoco sufren erosiones durante su vida útil.

No ocurre lo mismo cuando son construidos en ríos que llevan aguas todo el año, y aún la velocidad de la corriente en estiaje es elevada. Si ello ocurre, a medida que se construye el espigón se produce una socavación en su extremo y por tanto, al continuar la construcción también se tiene que ir rellenando la depresión que se forma por efecto de esa erosión, como se muestra en la figura 3.30.

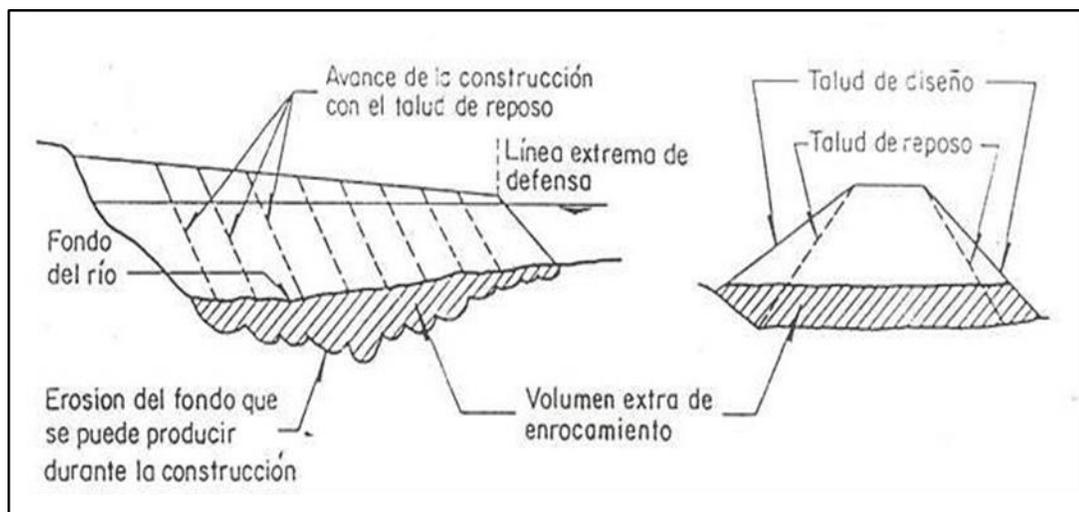


Figura 3.30 Erosión del fondo durante la construcción, (Maza, 1997).

Conviene primero colocar una capa de grava o enrocamiento de unos 30 a 50 cm de espesor, cuyos elementos no sean arrastrados por la corriente, y que ocupe toda la base del futuro espigón. (Figura 3.31).

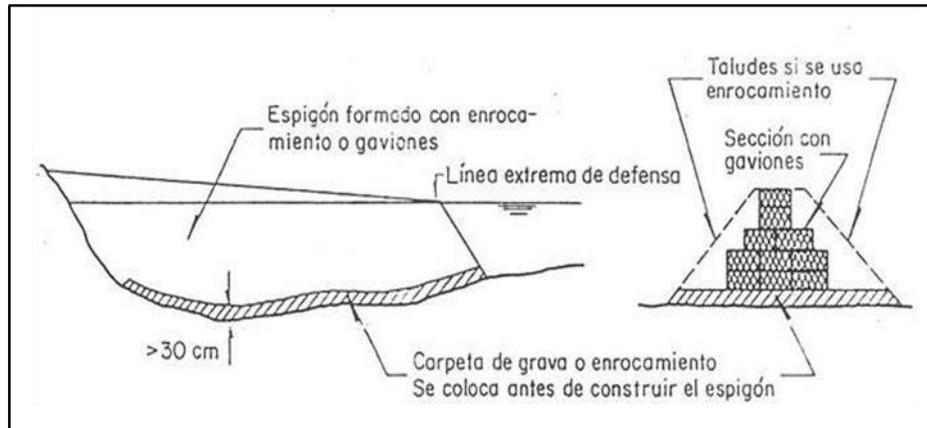


Figura 3.31 Forma de evitar la erosión durante la construcción, (Maza, 1997).

3.2.15 Criterio para el diseño de los primeros espigones

Al diseñar una protección con espigones, el primero por dibujar puede colocarse libremente en cualquier parte y todos restantes quedarán situados siguiendo los procedimientos mencionados con anterioridad según sea el caso. Cuando se trate de márgenes muy irregulares y se obtengan separaciones muy amplias es conveniente reducir la separación entre espigones en un 20% para obtener un diseño conservador, se debe dibujar la ubicación de un espigón ya reducida su separación, con respecto al anterior. Una vez ubicado se repite el procedimiento señalado para localizar el siguiente espigón aguas abajo, y así sucesivamente.

3.2.15.1 Separación y longitud de los primeros espigones:

Al diseñar la defensa marginal de un tramo de río, los primeros espigones de aguas arriba se diseñan como se indica en la figura 3.32. Para ello, en el tramo recto aguas arriba de la curva, la línea extrema de defensa se prolonga, hacia aguas arriba hasta unirla con la margen. La línea de la margen y la extrema de defensa forman un ángulo γ , que varía entre 8° y 10° , respetando las recomendaciones ya explicadas se

obtiene la localización, longitud y separación de los espigones en el tramo en que convergen la línea extrema de defensa y la margen.

La pendiente longitudinal de la corona de estos espigones puede ser la misma que la de los espigones normales de la protección ó variar de acuerdo a alguna consideración en particular, como se muestra en la figura 3.32b. Con la colocación de estos primeros espigones se evita un cambio brusco de la dirección del flujo al llegar al primer espigón de la defensa propiamente dicha.

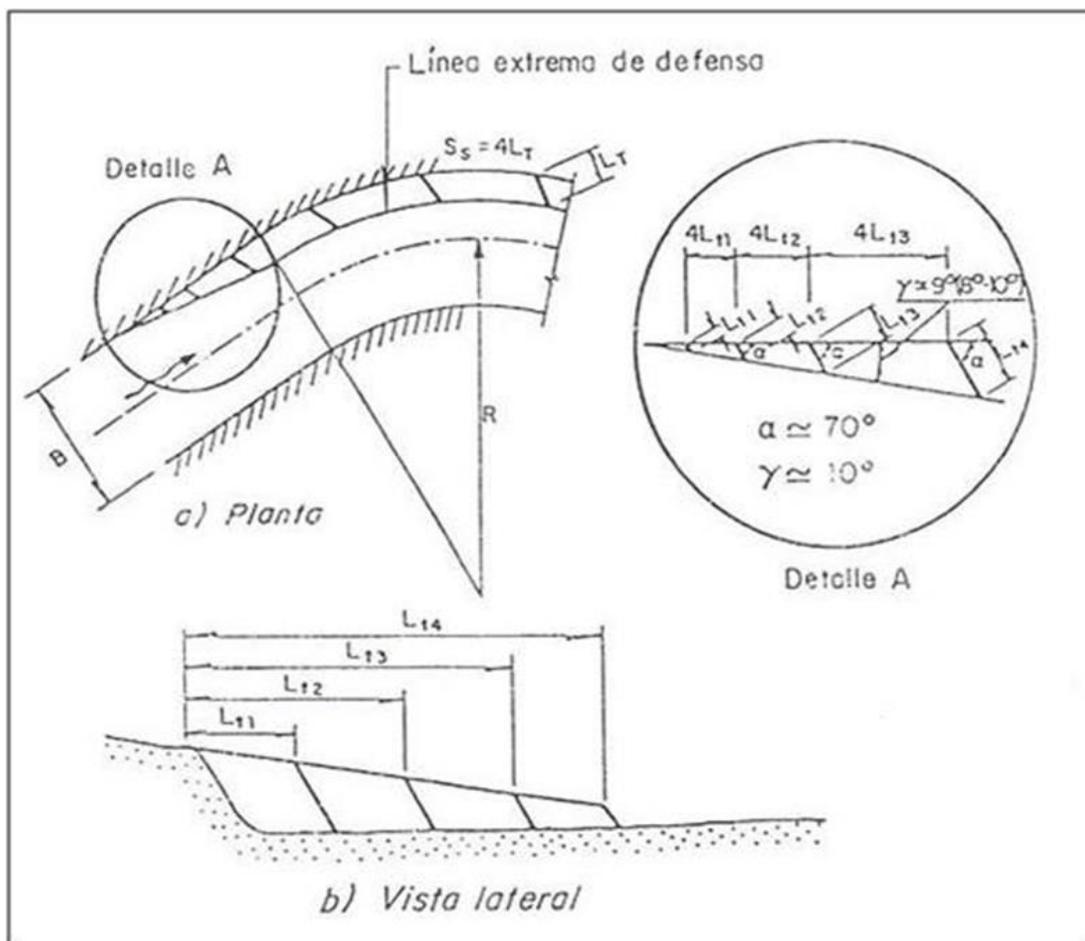


Figura 3.32 Diseño de los primeros espigones en una obra de protección. (Maza, 1997).

3.3 Definición de términos básicos

a. Aforo: medida del caudal de agua que fluye en un punto (cauce superficial, pozo, manantial, conducción artificial de agua, etc.) en un momento dado.

b. Aguas abajo: con relación a una sección de un curso de agua, se dice que un punto está aguas abajo, si se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de la corriente.

c. Aguas arriba: Es el contrario de la definición anterior.

d. Batimetría: es la determinación y estudio de las profundidades de los ríos, mares y lagos, con el objeto de efectuar el levantamiento de fondo.

e. Berma: es la acumulación de arena, grava o guijarros a lo largo del litoral o en el lecho de un río.

f. Boya: una boya es una baliza flotante situada en el mar, río o lago, y generalmente anclada al fondo, que puede tener diversas finalidades, principalmente para la orientación de las embarcaciones.

g. Calado: es la profundidad de la parte sumergida de un barco, que va desde la línea de flotación y base de la quilla.

h. Canal de navegación: es una vía de agua hecha por el hombre que normalmente conecta lagos, ríos u océanos. Se utilizan para el transporte, a menudo surcados por barcazas en los canales fluviales y por barcos en los canales que conectan océanos.

i. Caudal: volumen de agua que pasa por un punto (sección de un área) en un intervalo de tiempo. La unidad más usada para expresar el caudal es m³/seg.

j. Dragado capital: consiste en la excavación del fondo del mar o de un río para aumentar la profundidad o para extraer las arenas, gravas o sedimentos que se realiza en lechos vírgenes.

k. Eslora: es la dimensión de un navío tomada a su largo, desde la proa hasta la popa.

l. Erosión: la erosión de un cauce es el descenso del fondo (o el retroceso de las orillas) como consecuencias de fenómenos de dinámica fluvial naturales o suscitados por obras del hombre.

m. Espigón: son estructuras interpuestas a la corriente, uno de cuyos extremos está unido a la margen. El propósito de estas estructuras es alejar de la orilla las líneas de corriente con alta velocidad, y evitar así que el material de la margen pueda ser transportado y ella se erosione.

n. Estiaje: nivel más bajo que, en ciertas épocas del año, tienen las aguas de un río por causa de la sequía.

o. Hidrograma: es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como: nivel de agua, caudal, carga de sedimentos, etc.

p. Lecho: fondo de un cauce natural.

q. Limnómetro: es un aparato (puede ser una regla graduada) que sirve para medir los niveles o alturas del río.

r. Manga: es el ancho máximo del casco de un barco.

s. *Marea*: es el cambio periódico del nivel del mar, producido principalmente por las fuerzas gravitacionales que ejercen la Luna y el Sol.

t. *Niveles del río*: se denomina “nivel del río o altura del río” la distancia comprendida entre la superficie del río y el datum del nivel de aguas bajas.

u. *Popa*: terminación posterior de la estructura del buque.

v. *Proa*: parte delantera de un barco que va cortando las aguas del mar.

w. *Quilla*: es la pieza de madera o hierro que forma la base del barco, que va de popa a popa por la parte inferior del mismo y que sostiene toda su armazón.

x. *Sedimentación*: Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.

y. *Socavación Local*: fosa que se produce en el lecho del río por la presencia de una pila o un estribo de un puente.

z. *Sondeo costa a costa*: son mediciones de profundidades efectuadas a todo lo ancho del río siguiendo los brazos por donde pasa el canal de navegación. Su objeto es determinar cualquier posible variación de las condiciones generales del río que puedan afectar el canal.

aa. *Talud*: superficie de un muro oblicuo. Pared lateral de un cauce cuya inclinación está en función del ángulo de reposo del material que lo conforma.

ab. *T.P.M*: abreviatura para acotar el término tonelaje de peso muerto.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este capítulo de la investigación consistió en generar información útil para lograr obtener la ejecución secuencial de manera precisa, de los objetivos propuestos en el desarrollo de este trabajo.

4.1 Tipo de investigación

Esta investigación consiste en elaborar una propuesta alternativa de cambio para el realineamiento del canal de navegación, mediante el dimensionamiento de espigones en el área de estudio, que servirá para resolver la situación problemática planteada.

Esta investigación se encuentra enmarcada en los estudios de factibilidad o “proyecto factible” más no necesariamente deberá ser ejecutado, por eso recibe el nombre de investigación proyectiva, tal como lo expresa Hurtado (2008) que define como investigación proyectiva: “Consiste en la elaboración de una propuesta o de un modelo como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea social o de una institución, en un área particular del conocimiento a partir de un diagnóstico de necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y las tendencias futuras”.

4.2 Diseño de investigación

La estrategia empleada para esta investigación es mixta, debido que para responder al problema planteado se acudirán a fuentes: documental y de campo.

Esta investigación es documental porque se utilizarán datos obtenidos de otras fuentes, como los registros de aforos de caudales en la zona de estudio, nivel de las aguas en distintas épocas del año, levantamientos batimétrico del sector, cuya información será suministrada por el Instituto Nacional de Canalizaciones como también se acudirá a información recopiladas de libros que permitirán el desarrollo de la presente, tal como lo expresa Cázares (1990):

“La investigación documental depende fundamentalmente de la información que se recoge o consulta en documentos, entendiéndose este término, en sentido amplio, como todo material de índole permanente, es decir, al que se puede acudir como fuente o referencia en cualquier momento o lugar, sin que se altere su naturaleza o sentido, para que aporte información o rinda cuentas de una realidad o acontecimiento.” (p. 18)

También es de campo ya que se recolectarán muestras de los materiales que conforman el cauce del río en el sector Guasina, que posteriormente servirán para determinar sus características geotécnicas mediante ensayos granulométricos, de corte directo y de redondez, por lo que esta investigación se ubica dentro del contexto de diseño de campo, tal como lo expresa Sabino (2006):

“Los diseños de campo son los que se refieren a los métodos a emplear cuando los datos se recogen en forma directa de la realidad; estos datos son obtenidos directamente de la experiencia empírica”. (p.80)..

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

El ámbito del presente estudio sólo abarcará el tramo del sector Guasina entre la milla 99.4 y 101.5 del canal de navegación del Orinoco, en la cual se desea investigar

y conocer el material que conforman el cauce, así como el comportamiento de las corrientes de aguas, los niveles de aguas en las distintas época del año, la batimetría, el clima, la vegetación, el alineamiento actual del canal de navegación, para poder realizar el dimensionamiento de estructuras tipo espigón y plantear el realineamiento, en este sentido, estos elementos engloban la totalidad del fenómeno a estudiar; como lo establece Balestrini, (1998): “La población se define como cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación” (p.122).

4.3.2 Muestra de la investigación

Como anteriormente se ha indicado, la población o el universo en el caso de la presente investigación, solamente comprenderá el estudio del tramo correspondiente al sector Guasina entre la milla 99.4 y 101.5 del Canal de Navegación del Orinoco, y esta constituye el total de los elementos que se desean indagar, y solamente se efectuará un muestreo opinático de los materiales del lecho, el cual no aplica ningún criterio técnico-estadístico, sino que se realiza de forma intencional en lugares de interés, el resto de los elementos que intervienen en la presente investigación se estudiarán de forma global, la cual propone soluciones a una situación claramente determinada.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Entre las técnicas de recolección de datos que se deben utilizar para el desarrollo de la presente investigación se encuentran: la observación directa, el fichaje, la entrevista no estructurada, entre otras.

Entre los instrumentos que se utilizarán se encuentra: la internet, equipos de computación, programas de diseño asistidos por computador, equipos de comunicación, entre otras.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Caracterización físico naturales del sector Guasina

5.1.1 Clima

A lo largo del río Orinoco se presentan dos tipos de climas que se pueden definir como: un bosque húmedo tropical que se extiende desde la milla 30 hasta la milla 85 y un bosque seco tropical que va desde la milla 85 hasta la milla 195 donde se encuentra el área de estudio de esta investigación, comprendida entre las millas 99.4 y 101.5

La temperatura a lo largo de este tramo del canal de navegación se mantiene, casi en su totalidad, inalterada y está por el orden de los 27.6 °C.

Es una zona de precipitación media que varía linealmente en forma descendente desde valores que van de 2.200 mm (milla 30) hasta valores de 950 mm (Matanzas). La evaporación media anual y la evapotranspiración presentan valores constantes a lo largo de todo el tramo, con valores que están entre los 1.700 mm y 1.300 mm, respectivamente. Esto se produce durante 5 a 6 meses de sequía y 7 a 6 meses de humedad, en todo el canal de navegación. (Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Características climáticas del sector Guasina. (Consultora Caura, 1994).

Bioclima	Temp. Media Anual (°c)	Precipit. Media Anual (Mm)	Evapora. Media Anual (Mm)	Evapo-Transpi-Racion (Mm)	Meses Secos	Meses Húmedos
Bosque Seco tropical	27	1.650 a 1.400	1.800 a 1.750	1.350 a 1.313	5 - 6	7 - 6

5.1.2 Caracterización biótica

5.1.2.1 Vegetación

Esta caracterización fue tomada del informe Caura, suministrado por el I.N.C, donde se describe que en el área de estudio existen bosques bajos densos, BBD (árboles con altura inferior a los 18 metros, cuyas copas en los individuos de estratos superiores se superponen); para sectores de límites muy definidos a partir de los bordes del río, particularmente en la margen sur del tramo en estudio (sector Guasina) los individuos de estratos superiores son densos, continuos y muy homogéneos, lo que sugiere que se trata de comunidades aisladas que ocupan los suelos con tendencia a mal drenaje y anegamiento periódico.

Además, se pueden distinguir sectores a lo largo de tramo donde existen panoramas diferentes. Por ejemplo, existen variedades con tendencia a nivel alto (mayores de 25 metros). En la margen norte los bosques son densos y semidensos ubicados en grandes extensiones donde se muestran a veces individuos mayoritariamente medios (18 a 25 metros).

5.1.2.2 Fauna

Tiene una gran variedad de especies características de los territorios del sur del río Orinoco, llegándose a reportar hasta 212 especies de mamíferos pertenecientes a 31 familias, de las cuales 37 especies presentan un interés económico y cinegético, esto según datos oficiales de animales de caza del Ministerio de Ambiente.

La zona posee alrededor de 1.108 especies de aves, de las cuales 41 presentan un interés económico y cinegético. De igual manera se reportan 133 especies de reptiles

repartirlos en 18 familias y existen diversos lugares en los cuales posiblemente se encuentren especies endémicas.

5.1.2.3 Ictiofauna

Al igual que otros ríos de Latinoamérica, el Orinoco presenta un ciclo hidrológico bien marcado que periódicamente implanta cambios en el ecosistema afectando a todos los componentes internos, tanto en la flora como en la fauna, debiéndose producir, por parte de estos comportamientos adaptivos que le garanticen la sobrevivencia.

La Ictiofauna del río Orinoco se estima en aproximadamente 500 especies de peces la mayoría de ellas realizan movimientos migratorios para diversos fines, como reproducción, dispersión o alimentación. A continuación, se muestran en la tabla 5.2 algunas variedades de peces del río Orinoco.

Tabla 5.2 Especies de peces más comunes en el río Orinoco (Consultora Caura, 1994).

Coporo	Cachama	Guabina
Curvinata	Pijotero	Palometa
Bagre Rayao	Bagre Dorado	Caribe
Morocoto	Bagre Paisano	Sardina
Blanquita	Guitarrilla	Zapoara
Guaraguara	Palambra	Pavón

5.1.2.4 Geología del área

Geológicamente, la zona en estudio está limitada hacia el sur por las rocas del precámbrico inferior del complejo Imataca y hacia el norte por la formación Mesa del Pleistoceno y depósitos aluvionales recientes del oriente de Venezuela (principalmente Monagas y Delta Amacuro). Siendo el complejo Imataca el que más aporta sedimentos al río Orinoco.

Este tramo posee una caracterización litológica comprendida entre la milla 85 hasta la milla 195 del canal de navegación del río Orinoco, la cual está formada por rocas clásticas no consolidadas (aluviones), con una permeabilidad variable generalmente alta y con una edad aproximada que data del cuaternario reciente. Sus suelos están formados por texturas medias a arcillosas, muy variables en su distribución con intercalaciones de estratos arenosos en el subsuelo, formados por materias muy recientes con alto contenido de mica. En la tabla 5.3 se muestra las características geológicas del sector Guasina.

Tabla 5.3 Características geológicas del sector Guasina (diferentes fuentes).

Ribera	Litología	Geomorfología	Suelos	Uso Actual
NORTE	Sedimentos aluviales y Arcilla marina blanca	Zona depositacional correspondiente a meandro	Texturas finas amedias (Arcilloso, orgánico arcilloso)	Vegetación natural.
SUR	Sedimentos aluviales y Arcilla marina blanca	Zona erosiva correspondiente a meandro	Texturas finas amedias (Arcilloso, orgánico arcilloso)	Vegetación natural.

5.2 Características geotécnicas de los materiales del lecho en el sector Guasina

Para determinar y conocer las características de los materiales del lecho en el sector Guasina, se tomaron cuatro (4) muestras, luego de aplicársele los ensayos de análisis granulométrico respectivos (según norma ASTM D422) los resultados arrojaron lo siguiente:

El ensayo de granulometría, indican que las cuatro muestras que se analizaron son muy similares, según el sistema unificado de clasificación de suelo (S.U.C.S.).

Una vez obtenidas las curvas granulométricas de cada uno de las muestras, se determinó que la muestra 1 es un suelo uniforme, formado por arena mal gradada (SP) media con poca presencia finos. (Figura 5.1).

En la muestra 2 tiene un suelo muy uniforme, constituido por arenas mal gradadas (SP) de medias a gruesas con baja presencia de finos. (Figura 5.1).

Para la muestra 3 se tiene un suelo uniforme, formado por arenas mal gradadas (SP) medias con baja presencia de finos. (Figura 5.1).

En la muestra 4 tomada justo en la berma se encontró un suelo muy uniforme, formado casi en su totalidad por arenas mal gradadas (SP) medias, con baja presencia finos. (Figura 5.1).

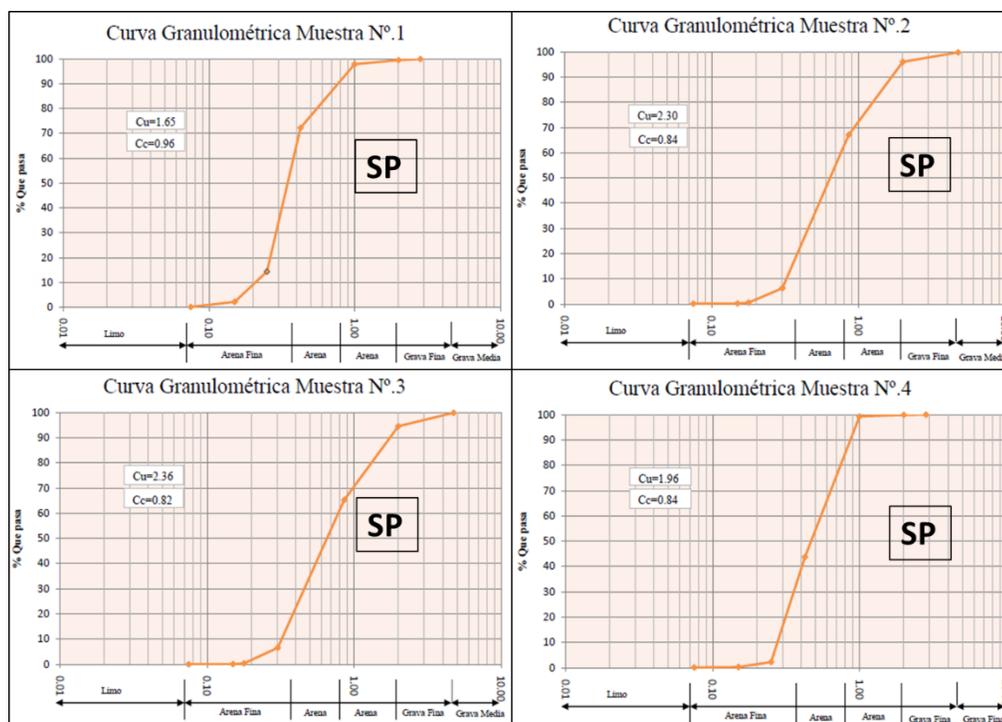


Figura 5.1 Curvas granulométricas de las muestras 1 a 4 del lecho.

En el ensayo de redondez los resultados para las diferentes muestras fueron variables. Las muestras 1 y 2 se encuentran formadas por granos angulosos y sub-angulosos, con predominio de los sub-angulosos en ambos casos, lo cual nos indica que el material ha permanecido relativamente en un mismo sitio o ha sufrido poco transporte; en cuando a la muestra 3, esta presenta una gran cantidad de granos angulosos y sub-angulosos con un ligero predominio de los granos angulosos, lo que indica también que han sufrido poco transporte, de hecho, menos que en las muestras 1 y 2; por último los granos que conforman a la muestra 4, correspondiente a la berma, con predominio de los sub-angulosos pero con una gran presencia de granos sub-redondeados, lo cual nos indica que la berma posiblemente se ha formado por una mezcla de materiales provenientes de zonas cercanas y de otras distantes a ella. (Figura 5.2).

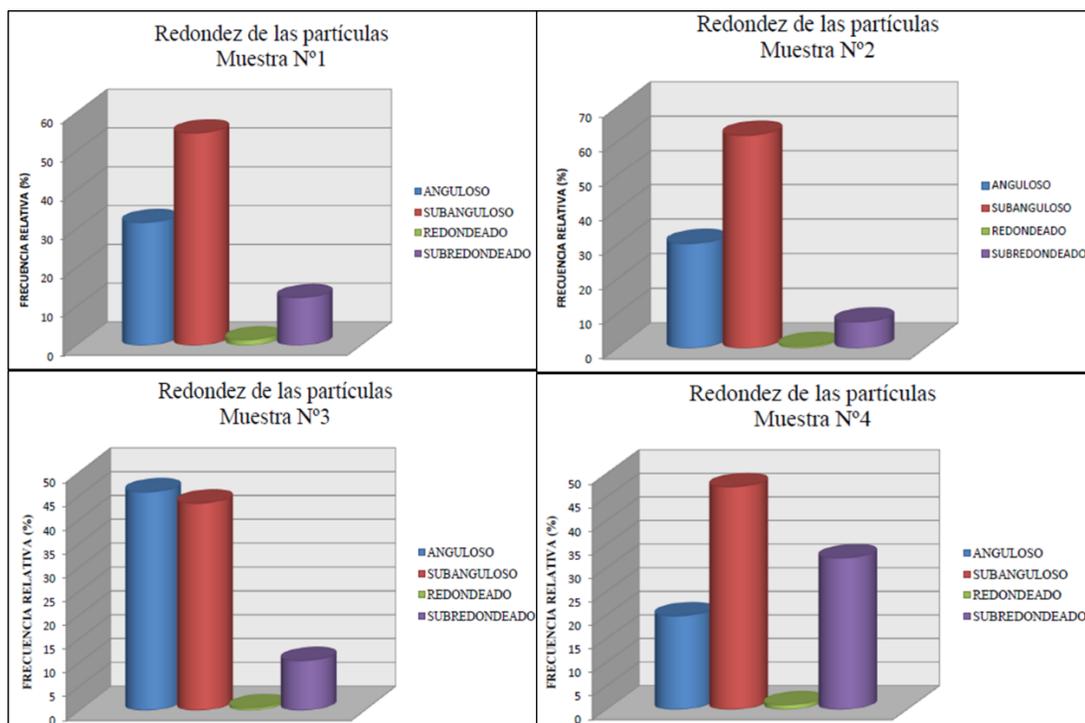


Figura 5.2 Histograma de frecuencia de análisis morfosκόpico de las muestras 1 a 4 tomadas en el lecho del sector Guasina.

Los ángulos de falla o de fricción para las muestras ensayadas van desde 26.5° a 31.5°. (Figura 5.3).

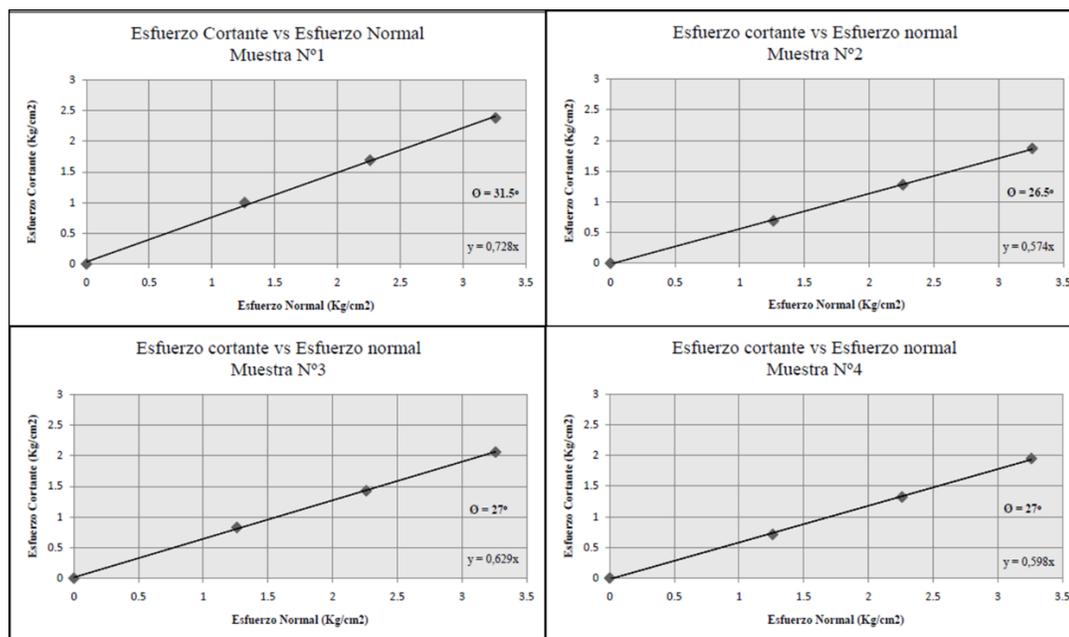


Figura 5.3 Ángulo de fricción interna de las muestras 1 a 4.

5.3 Morfología del lecho en el sector Guasina

5.3.1 Sinuosidad y trazado

Por medio de la relación entre la distancia que separa dos (2) puntos a lo largo de la línea más profunda del cauce (línea thalweg) y la distancia en línea recta entre ellos se pudo determinar la sinuosidad de tramo en estudio, de acuerdo con la fórmula 3.1, se midió la línea thalweg y la línea recta del plano batimétrico del año 2009, anexo 2, obteniendo valores de 6296.64 y 5792.86 metros respectivamente, aplicando la fórmula se obtuvo como resultado un valor de 1.09, de acuerdo con esto estamos en presencia de un tramo con baja sinuosidad.

$$P = \frac{6296.64 \text{ m}}{5792.86 \text{ m}} = 1.09$$

De este resultado podemos decir que estamos en presencia de una trazado recto según la definición, debido a que la sinuosidad es menor a 1.5, a pesar de que el plano nos indica que en este existe una curvatura, ésta no es lo suficientemente sinuosa para entrar en la clasificación de trazado meandriforme, sin embargo podemos asegurar que sólo el tramo individualmente es recto y el trazado del río es del tipo trezado, ya que con la ayuda de las imágenes satelitales del año 1992 facilitadas por el I.N.C, es posible observar el trazado del río, que visto de manera general presenta un trazado trezado ya que de acuerdo a la trayectoria que desarrolla en planta lo hace cumplir con la definición teórica expuesta para este tipo de trazado (3.2.2.3 Trazado trezado y Figura 3.4).

En la figura 2.16 (Capítulo II) se puede observar el sector Guasina y parte de río hacia aguas arriba donde se puede apreciar la gran cantidad de islas y bifurcaciones, como también se puede ver la irregularidad de los anchos variables que el río presenta.

5.3.2 Cambios morfológicos ocurridos en el tiempo

5.3.2.1 Morfología de las riberas en el área de estudio:

Con la finalidad de analizar los cambios morfológicos que han ocurrido el sector Guasina, específicamente entre las millas 99.4 y 102.3, en los últimos 18 años, se establecieron comparaciones entre los planos batimétricos de los años 1991, 2001 y 2009, estudiando primeramente el desarrollo de las márgenes del río con el propósito de identificar las zonas con tendencias hacia la erosión o sedimentación (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Evidencias de variaciones morfológicas medidas en las márgenes del sector Guasina.

Período	Tramo	Ubicación	Proceso	Tendencia
1991-2009	101.4-102.3	Margen sur	Erosión	82 m a 33 m hacia el sur
		Margen norte	deposición	85 m a 40 m hacia el sur
2001 - 2009		Margen sur	Erosión	26 m a 5 m hacia el sur
		Margen norte	deposición	47 m a 4 m hacia el sur

Lo antes señalado demuestra que existe un claro desplazamiento lateral del cauce, el cual se puede considerar equilibrado ya que lo que perdió una margen, lo ganó la otra. Esto demuestra que el desplazamiento lateral del cauce es un proceso continuo en el sector y no es proporcional al tiempo transcurrido (Figura 5.4).

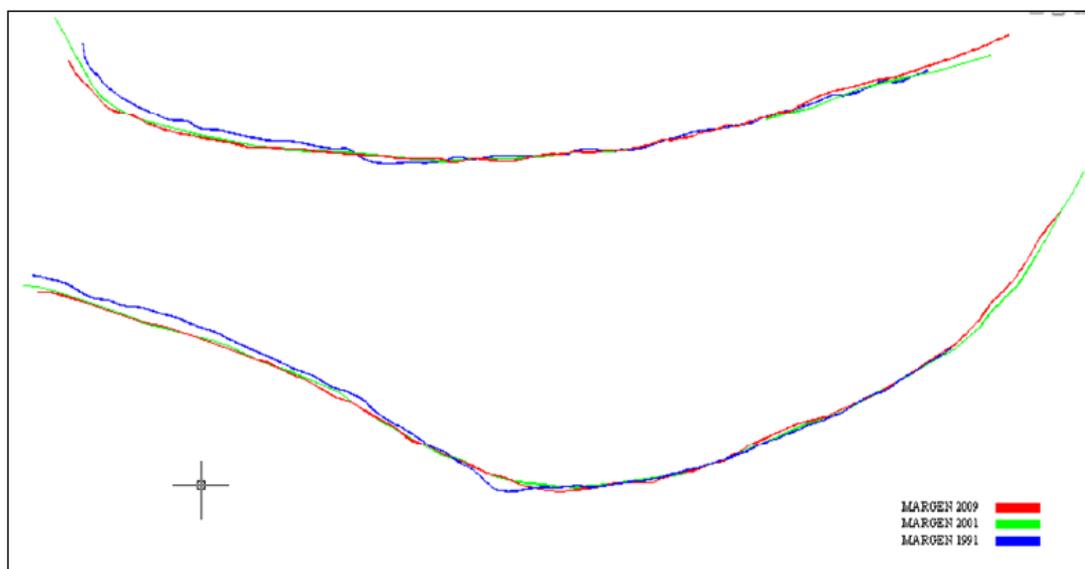


Figura 5.4 Superposición de márgenes de los planos batimétricos de los años 1991, 2001 y 2009 del sector Guasina entre las millas 99.4 y 102.3 del canal de navegación del Orinoco.

5.3.2.2 Movimiento de los bancos de arena

Esto se logró con la comparación de los planos batimétricos ya mencionados del área estudiada. El sector tiende a formar un banco de arena producto de la baja capacidad de transporte que tienen las aguas al llegar a esta curva, especialmente por el ensanchamiento existente en la parte central de la curva, donde el cauce mide 1750 metros en las adyacencias de la milla 100.5 en contraposición con los 1012 metros al inicio, en la milla 102.3.

Este ensanchamiento ocasiona una reducción de la velocidad que facilita la sedimentación, este banco se ha formado a través de los años en las inmediaciones de las millas 100.5 y 100.7 (Tabla 5.5 y Figura 5.5).

Tabla 5.5 Variación temporal de volúmenes acumulados de material en las adyacencias de las millas 100.5 y 100.7.

Año	Progresiva de ubicación (millas)	Volumen acumulado (m³)	Altura de los sedimentos
1991	100.5	100543.98	1.0 a 0.2
2001	100.7	104756.53	1.5 a 0.1
2009	100.5	379675.95	1.4 a 0.1

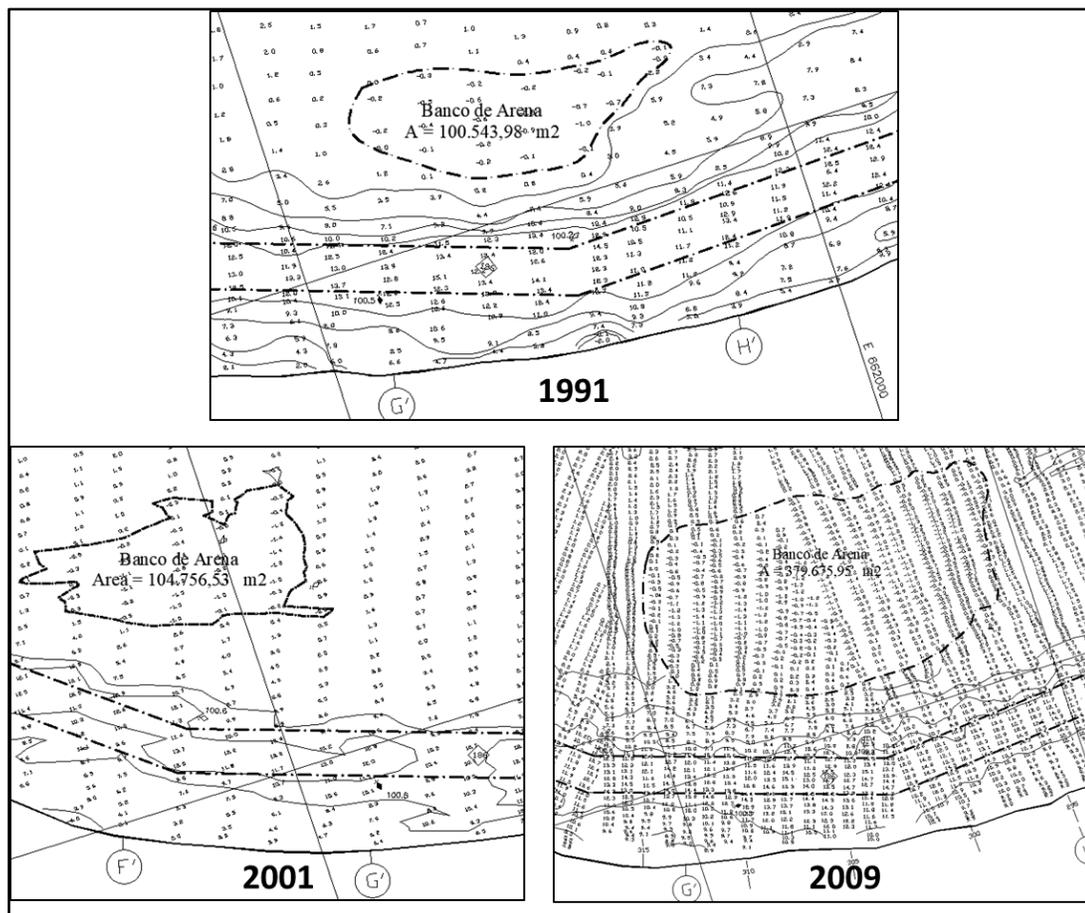


Figura 5.5 Ubicación relativa de acumulación de sedimentos.

5.3.3 Geomorfología del lecho

Basándose en los planos de levantamiento batimétricos de costa a costa, del año 2001 se construyeron diez (10) secciones transversales (Figura 5.6). En la totalidad de los perfiles elaborados se puede visualizar la gran actividad sedimentaria y erosiva ocurrida en el sector Guasina durante el período estudiado, donde la tendencia a la sedimentación se manifiesta hacia la margen norte y el efecto erosivo en la margen sur.

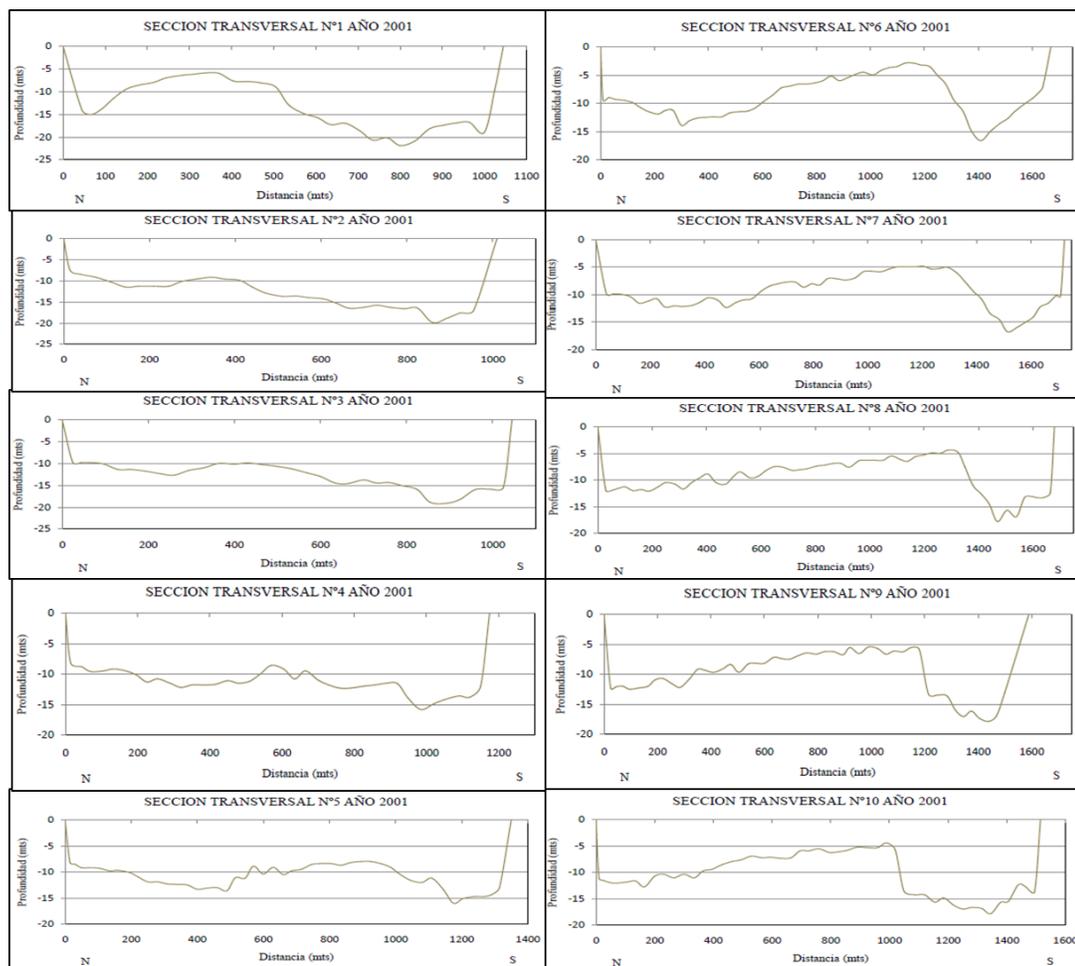


Figura 5.6 Secciones transversales No 1 a la No 10 del sector Guasina.

También se aprecia la formación de un banco de arena en el centro del cauce que ha aumentado paulatinamente. En cuanto a la zona sur, donde está situado el canal de navegación, presenta algunas variaciones de profundidad a lo largo del tramo en estudio y las mismas se puede inferir se deben a diferenciaciones de las fuerzas erosivas generadas en la concavidad de la curva del sector dragado.

5.3.4 Evolución morfológica del lecho

A fin de visualizar de manera general los cambios morfológicos en los dieciocho (18) años en que está comprendido este estudio, se logró construir modelos digitales de la superficie del lecho mediante el programa Surfer 8 para cada plano batimétrico de los años de 1991, 2001 y 2009. En cada uno de estos modelos se puede ver como ha variado el fondo de lecho, en lo que se refiere a su profundidad y configuración del cauce, debido al proceso de sedimentación y erosión que impera en la zona, además de ver los modelos desde una perspectiva en 3D y 2D los modelos digitales cuentan con una escala de colores la cual sirve para indicar las profundidades referidas al N.A.B. en ellos se puede apreciar cómo se ha incrementado gradualmente el volumen del banco de arena para el año 2009. (Figura 5.7).

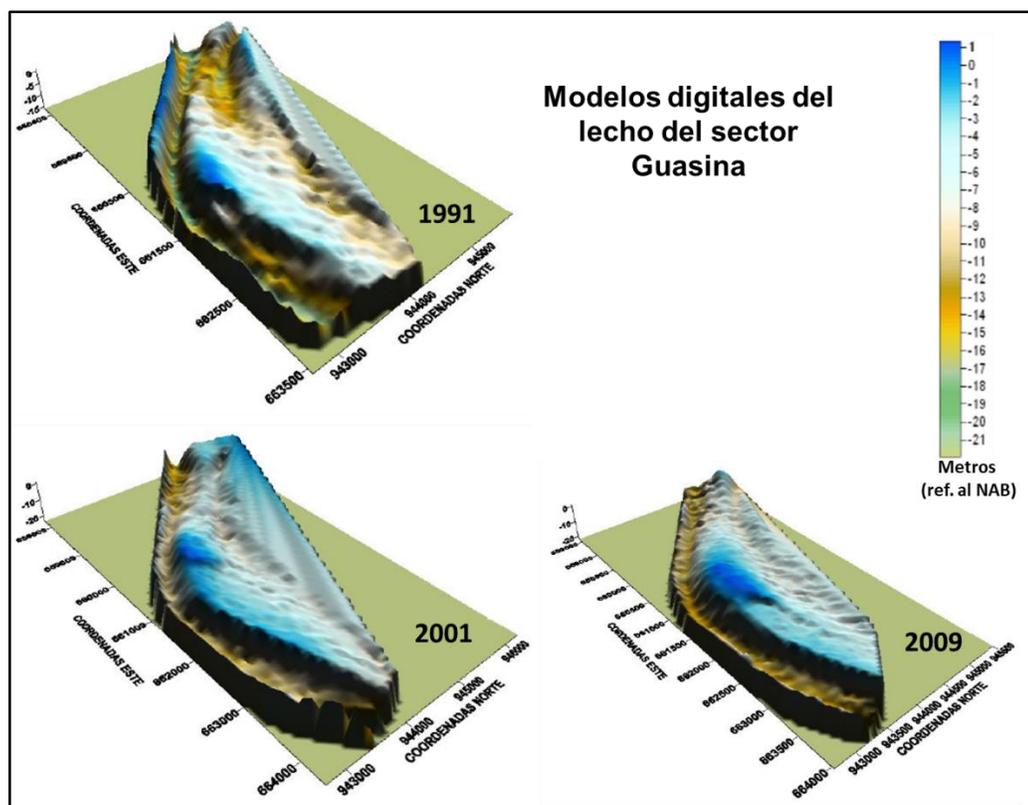


Figura 5.7 Modelos digitales del lecho en el sector Guasina.

5.4 Comportamiento hidrodinámico del sector Guasina en el tramo en estudio

De acuerdo a los datos suministrados por el I.N.C se logró establecer el comportamiento hidrodinámico en el área de estudio.

5.4.1 Hidrogramas

Como resultado de la variación estacional de las lluvias en la cuenca del Orinoco, el río experimenta significativas variaciones anuales en los niveles del agua, su ascenso paulatino se inicia a fines del mes de Marzo o comienzos del mes de Abril, con algunos recesos ocasionales; durante el mes de Septiembre comienza el declinamiento del hidrograma y continúa con bastante regularidad hasta el mes de Marzo. En la figura 5.8 se muestran el Hidrograma de los niveles promedios mensuales registrados en la estación TG Socoroco durante el año 2001, el cual fue construido con los datos extraídos de la tabla A.1. El comportamiento general del hidrograma resultante presenta una distribución unimodal produciéndose el pico de máxima crecida entre los meses de Julio y Septiembre. Además, se puede apreciar que no se produce un desfase notable de los picos de la onda creciente en cada hidrograma, La estación TG Socoroco registró niveles históricos máximos y mínimos de 6.21 m y 0.4 m, durante los meses de Agosto y Febrero para los años 1996 y 1998 respectivamente.

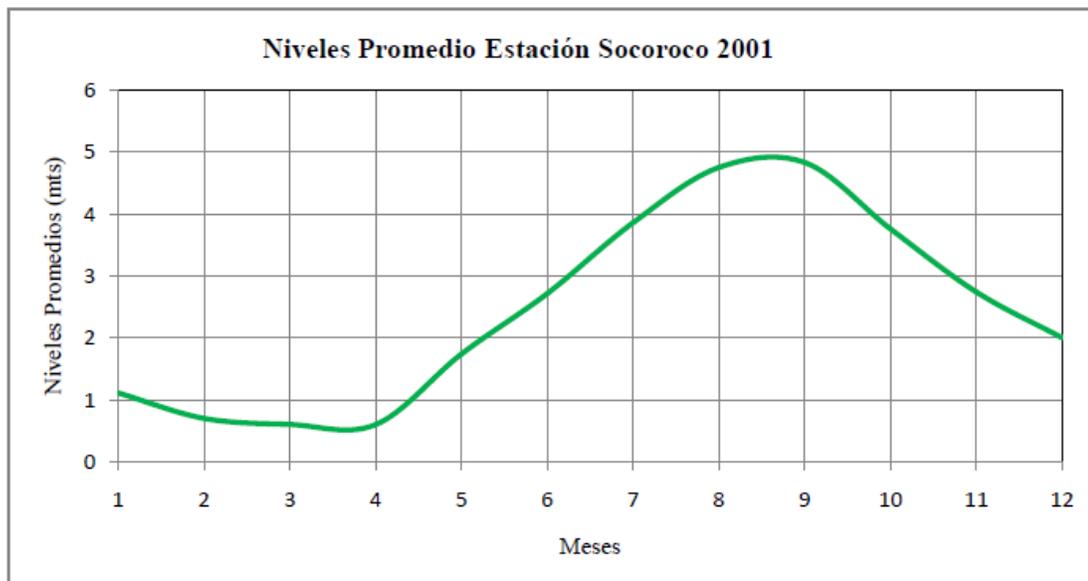


Figura 5.8 Hidrograma de los niveles promedios mensuales de la estación limnigráfica de Socoroco, sector Guasina, para el año 2001.

Datos de niveles del río, velocidades y gastos:

La tabla A.2 muestra los valores de nivel de agua, velocidades, gastos líquidos y gastos sólidos obtenidos en mediciones de campo ejecutadas por el I.N.C a la altura de la milla 101.5 aforada durante el período (1990-2001), de esta tabla se puede observar que el gasto líquido máximo registrado fue de 18238 m³/s en época de aguas altas (A.A) y el mínimo fue de 4617.95 m³/s en época de aguas bajas (A.B), las velocidades variaron entre un rango de 1.22 m/s y 0.30 m/s y los caudales sólidos oscilaron entre 142872 Ton/día y 6734.48 Ton/día.

Posteriormente, con la misma tabla A.2 se construyó la figura 5.9 que permiten correlacionar los caudales, niveles del río y velocidades en el área de estudio, con el objetivo de poder estimar un caudal cualquiera con su respectiva velocidad y su correspondiente nivel en el río. La ventaja de este gráfico es que permite visualizar el comportamiento del río de acuerdo su ciclo hidrológico. Para establecer el caudal

dominante en el sector Guasina se tomó en cuenta el caudal mayor de la tabla A.2, cuyo valor para el gasto líquido fue de 18238 m³/seg y 142872 Ton/día para el gasto sólido, ya que el I.N.C no cuenta con registros detallados que permitan ver las frecuencias de duración de caudales líquidos y sólidos para establecer con mayor precisión el caudal que logra la mayor influencia en la configuración del cauce.

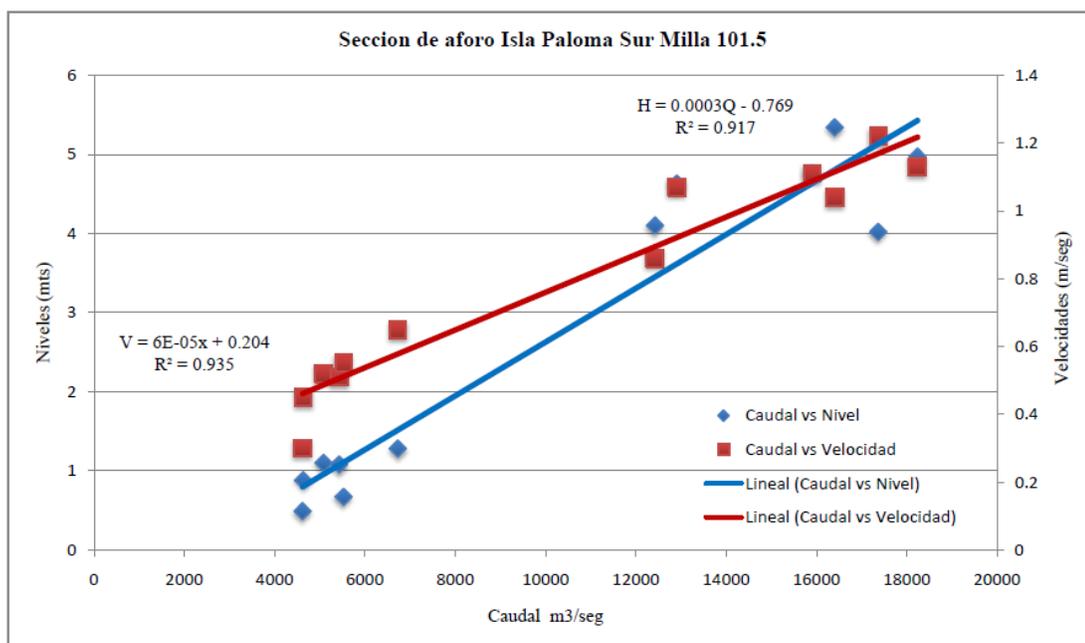


Figura 5.9 Correlación de caudales, niveles y velocidades de la corriente registradas en la sección de aforo de Paloma Sur ubicada en la progresiva milla 101.5 para el período 1990 – 2001 en el sector Guasina.

CAPÍTULO VI

FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA

6.1 Alternativa de realineamiento y dragado capital del nuevo canal de navegación en el tramo en estudio

6.1.1 Realineamiento

Los criterios se basaron en datos de operación en el río Orinoco, desarrollados por la International Association of Navigation Congresses, el U.S Army Corps of Engineers y otros obtenidos en estudios de modelos y pruebas de navegación a escala natural, que son utilizados en el informe sobre Transporte Preliminar de mineral de Hierro Puerto Ordaz al Mar. La embarcación tipo que se utilizó en este informe como base para determinar el ancho de diseño del canal, fue el buque carguero Río Orinoco, ya que dicha embarcación navegó por la vía fluvial durante muchos años, las dimensiones y capacidad son las siguientes: Eslora: 240.02 m, Manga: 38.05 m, TPM: 67500 ton.

La tabla 6.1 nos indica que el ancho del canal debe ser de 105 m, sin embargo, para el realineamiento se conservaron las dimensiones actuales que posee el canal de navegación del Orinoco que son de 91.4 metros (300 pies) de ancho, ya que no tiene importancia ensanchar solo este sector si el resto del canal no es modificado, además el ancho actual permite una navegación satisfactoria y segura.

Tabla 6.1 Criterios para ancho y profundidades de canal en el río Orinoco (T.A.M.S., 1970).

T.P.M	Dimensiones del buque (pies)			Profundidad (pies)	Ancho (metros)
	Eslora	Manga	Calado		
24000	177	23	10	11	69
38000	198	27	11	12,3	82
45000	201	29	12	12,6	87
55000	229	30	12	13,1	91
65000	244	35	13	13,7	105
82000	256	38	14	14,6	114
100000	259	40	15	15,9	119
125000	287	43	16	17,3	128
150000	290	46	17	18,3	137
175000	320	47	19	20,2	142
210000	335	50	20	21	151

En la tabla 6.2 se muestran las dimensiones actuales que posee el canal de Navegación en el sector Guasina.

Tabla 6.2 Dimensiones del canal de navegación en el sector Guasina (I.N.C, 2003).

Tipo De Canal	Dragado
Longitud	10400 m.
Capacidad	Buques de hasta 80000 TPM
Calado	32 pies mínimos en Aguas Bajas. 42 pies máximos en Aguas Altas.
Ancho	300 pies.
Longitud De Corte	12223 m.
Profundidad De Diseño	38.1 pies.

El realineamiento consistió en plantear el recorrido que va desde la milla 99.4 hasta la milla 101.5 moviendo el canal desde la margen exterior o margen sur hacia el centro del río, el tramo propuesto cuenta con 3 sub-tramos, el primero tiene una longitud de 1562 metros (0,843 millas), donde el canal en la milla 101.5 se desvía 13 grados de su trayecto original, el segundo sub-tramo se proyecta para una longitud de 779 metros (0.421 milla) y cambia su trayectoria a 12 grados con respecto al primero,

posteriormente el tercer y último sub-tramo tiene una longitud de 1431 metros (0.773 millas) y varía 11 grados respecto al segundo sub-tramo, donde finalmente vuela a retomar su trayecto original en la milla 99.4. La razón por la cual el tramo propuesto está dividido en tres (3) sub-tramos con diferentes direcciones, se hace con la finalidad de mantener un equilibrio tratando de no introducir modificaciones que vayan en contra la tendencia morfológica del río. Es decir, que el nuevo alineamiento no puede ser recto, debe ser más bien compatible con la tendencia de la curvatura exterior del sector, a manera de no crear este recorrido de forma antinatural.

Planteado el nuevo trayecto en el plano batimétrico del año 2009, se pudo estimar el volumen a dragar de cada sub-tramo, mediante la ecuación 4.1, hay que señalar que el tercer sub-tramo solo se plantea dragar parcialmente una longitud de 708 metros ya que en los 723 metros restantes existen profundidades superiores a la profundidad de diseño (38.1 pies), el material a dragar se puede ver en la tabla 6.3.

$$Vd = \frac{(b1 + b2) \times (Pd - XNAB) \times L}{2 \times L} \quad (6.1)$$

Tabla 6.3 Volumen a dragar en el nuevo alineamiento.

	<i>Sub-Tramo 1</i>	<i>Sub-Tramo 2</i>	<i>Sub-Tramo 3</i>
L (m)	1562	779	708
Pd (m)	11.61	11.61	11.61
X N.A.B (m)	5.68	0.56	5.22
b1(m)	91.4	91.4	91.4
b2 (m)	116.83	138.78	118.81
Volumen de dragado (m ³)	964381.8	990688.97	475439.77
Angulo del talud (θ) = 25°	Vol. de dragado total (m³) = 2.430.510,54		

El sistema de ayudas para la navegación de los buques que transitan por este canal, se regirán por la afiliación de Venezuela a la Asociación Internacional de Señalización Marítima (A.I.S.M), lo que significa que, siguiendo el convenio de

balizamiento, se utilizarán boyas de colores rojo y verde para indicar el ancho del canal, figura 6.1.

Las boyas serán de modelo 8X26E, las utilizadas en canales dragables, tabla 6.4.

Se necesitarán cuatro (4) boyas rojas y verdes, el primer par se colocarán en la milla 101.5, el segundo par en la milla 100.7 finalizando el primer sub- tramo, ya que, éstas serán ubicadas en los puntos donde existe el cambio de dirección, el tercer y cuarto par en las millas 100.23 y 99.4 respectivamente.

Tabla 6.4 Uso de las balizas flotantes en el río Orinoco (I.N.C, 2003).

Modelo de Boya	Sector (Tramos)	Profundidades (Promedios)	Alcance (Visibilidad clara)
5FE 5X11E 5B-138P	Muelles Radas Canales	De 6 m – 22 m	De 5 km – 7 km
7FE B100/XXX SOFLITE	De acceso y salida de Buques. Aguas tranquilas.		
7X17E-8X21E 8X26E (FALDA) 8X26E (TUBO)	-Canales de agua Con corrientes medias y fuertes. -Fondeaderos, Canales dragables y naturales.	De 9 m a 30 m	De 6 km – 8 km
11X45E 10X30E	-Canales con corrientes fuertes y oleajes -Aguas profundas.	De 20 m a 45 m	De 10 km – 20 km



Figura 6.1 Boyas de demarcación del canal de navegación.

6.2 Dimensiones de los espigones

6.2.1 Forma de los espigones

La forma de los espigones elegida para la propuesta será del tipo recto, por ser los más económicos, de fácil construcción y se ha demostrado que funcionan satisfactoriamente.

6.2.2 Orientación de los espigones (α)

De acuerdo con la ecuación 3.15 se les dio una orientación a cada uno de los espigones de acuerdo con su posición y su función.

$$60^{\circ} \leq a \leq 90^{\circ} \quad (6.2)$$

En total quedaron planteados diez (10) espigones, para los espigones 1 y 2, se tomó en cuenta una orientación de 60° hacia aguas abajo, ya que esto garantiza una transición gradual del flujo entre la zona sin espigón y la zona que si lo tiene, evitando así que ocurran choques muy bruscos de las corrientes contra los primeros espigones, en cambio para los 8 espigones restantes se tomaron ángulos de orientación de 90° ya que estos son lo más neutrales porque favorecen a la sedimentación entre espigones y además ocasionan una erosión hacia el centro del cauce que favorece la navegación.

6.2.3 Longitud de los espigones (L):

Por tratarse de una margen irregular, la longitud de cada espigón varió según suposición, las diferentes longitudes se pueden ver en la tabla 6.5.

Tabla 6.5 Longitud de los espigones.

Elemento	Longitud (m)
Espigón 1	40.460
Espigón 2	101.420
Espigón 3	258.340
Espigón 4	259.590
Espigón 5	198.440
Espigón 6	103.180
Espigón 7	90.190
Espigón 8	71.210
Espigón 9	51.700
Espigón 10	33.200

6.2.4 Separación entre espigones (S)

La separación de los espigones dependió de la irregularidad de la margen en el sector Guasina como también del ángulo de expansión elegido que fue de 14° para

cada espigón de manera de conseguir una separación conservadora, esta se determinó de forma gráfica, como lo muestra figura 3.27 a cumpliendo con la ecuación 3.13.

$$9^\circ \leq \beta \leq 14^\circ \quad (3.13)$$

En el caso de los espigones 2 y 3 se optó por reducir en un 20% su separación, ya que de manera gráfica y debido a la irregularidad de la margen se obtenían separaciones muy amplias, lo cual pudiera haber afectado el desempeño global de los espigones, con esta reducción adicional se logra una separación más segura para el funcionamiento óptimo de los mismo, en la tabla 6.6 se muestran los ángulos de expansión y la separación entre espigones.

Tabla 6.6 Separación entre espigones.

Elemento	Separación (S) (metros)	Angulo de expansión (β) (grados)	Con reducción adicional en su proyección gráfica
Espigón 1	-	14	-
Espigón 2	303.47	14	20%
Espigón 3	801.63	14	20%
Espigón 4	785.98	14	-
Espigón 5	585.86	14	-
Espigón 6	408.00	14	-
Espigón 7	316.33	14	-
Espigón 8	250.17	14	-
Espigón 9	184.80	14	-
Espigón 10	132.28	14	-

6.2.5 Pendiente longitudinal de los espigones (K_c)

Las pendientes de los espigones se muestran en la tabla 6.7.

Tabla 6.7 Pendiente de los espigones.

Elemento	Pendiente (K_c) (%)
Espigón 1	15.126
Espigón 2	6.034
Espigón 3	2.350
Espigón 4	2.338
Espigón 5	3.059
Espigón 6	5.815
Espigón 7	6.619
Espigón 8	8.370
Espigón 9	11.528
Espigón 10	18.433

En la figura 6.2 se puede apreciar un perfil tipo de cómo quedaría la pendiente longitudinal.

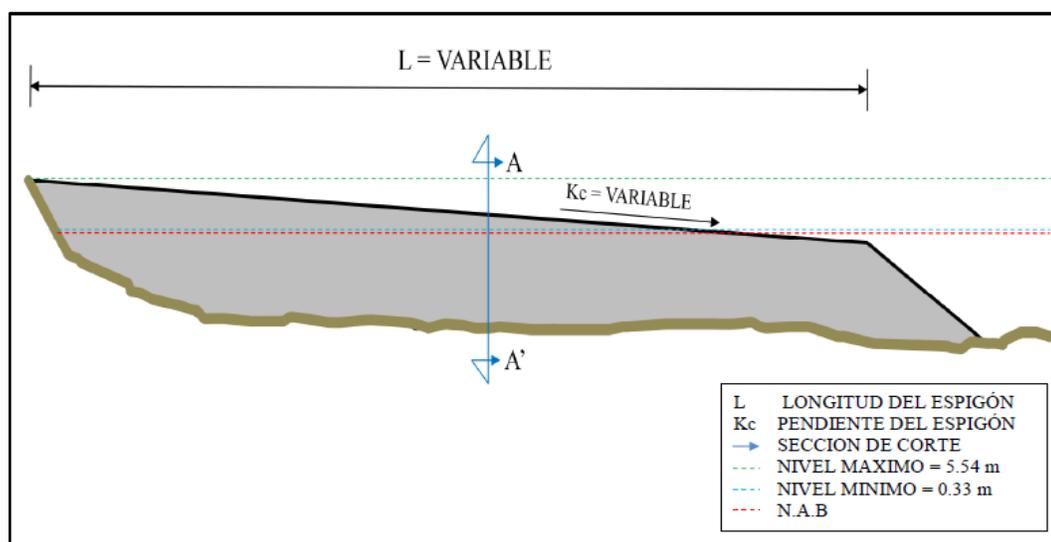


Figura 6.2 Perfil longitudinal típico de un espigón

6.2.6 Ubicación de los espigones

De acuerdo al planteamiento propuesto, la ubicación en planta de los espigones se muestra en la Figura 6.3 (parte del anexo 2), y en la tabla 6.8 se señalan

sus coordenadas U.T.M.

Tabla 6.8 Ubicación geográfica del sistema de espigones propuesto, mediante coordenadas U.T.M, con respecto a su propio eje.

Elemento	Comienzo del Espigón (margen)		Cabeza del Espigón (dentro del río)	
	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
Espigón 1	943724	659741	943742	659777
Espigón 2	943524	659969	943573	660058
Espigón 3	943004	660579	943238	660688
Espigón 4	942733	661312	942981	661389
Espigón 5	942672	661899	942869	661921
Espigón 6	942716	662305	942819	662315
Espigón 7	942706	662621	942796	662625
Espigón 8	942722	662871	942793	662870
Espigón 9	942748	663054	942799	663052
Espigón 10	942776	663183	942809	663180

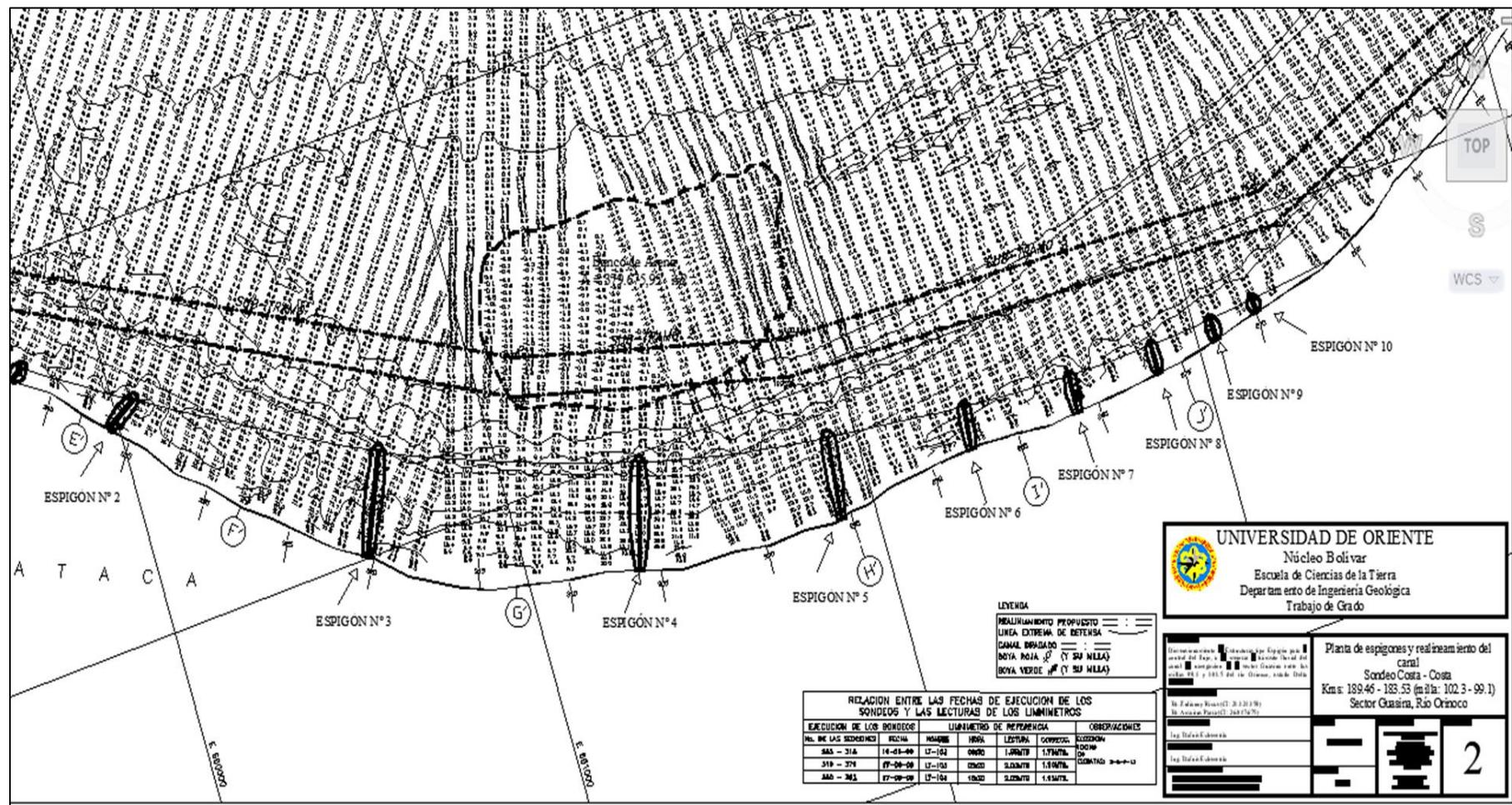


Figura 6.3 Fracción del plano batimétrico mostrando la ubicación del campo de espigones.

6.2.7 Talud de las paredes del espigón

Usando la ecuación 4.2 con una relación de pendiente de 1:1.5, y donde la base de la relación se obtuvo del rango $1.5 \leq C \leq 3$. Luego el ángulo del talud (ϕ) será:

$$\phi = \text{Tan}^{-1}(1/1.5)$$

$\phi = 34^\circ$

6.2.8 Peso de la roca de la coraza del espigón (W_r)

La roca propuesta para la coraza de los espigones tendrá las características de la roca que se encuentra en la cantera Palma Sola, ya que esta roca posee buena resistencia, baja absorción y un peso específico elevado, necesarios para este tipo de estructuras, anexo 6. La altura de la marea máxima registrada en el sector es de 7.5 ft (Blanco, 1996). El peso de roca se determinó por la ecuación 4.3.

$$W_r = \frac{2742 \text{ Kg/m}^3 (2.25 \text{ mts})^3}{3.5(2.742 \text{ Kg/m}^3 - 1)^3 \text{Cot}(34^\circ)}$$

$W_r = 1138.65 \text{ Kg}$

6.2.9 Ancho de la cresta del espigón

Se utilizó la ecuación (4.4).

$$B = 3 \cdot \left(\frac{1138.65 \text{ Kg}}{2742 \text{ Kg/m}^3} \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow 2.24 \text{ m} \rightarrow B = 6 \text{ m}$$

$$B = 6 \text{ m}$$

El ancho de la cresta debe permitir la ejecución de los trabajos de construcción y garantizar el acceso de la maquinaria, por tal razón el valor de B obtenido se llevó 6 metros.

Espesor de la capa de la coraza del espigón (r) El espesor se tuvo usando la ecuación 4.5, entonces:

$$r = 2 \left(\frac{1138.65 \text{ Kg}^{\frac{1}{3}}}{2742 \text{ Kg/m}^3} \right) = 1.50 \text{ m}$$

6.2.10 Características del filtro

Para efecto del diseño se tomó el material del lecho como material para el núcleo de los espigones, ya que el sector Guasina cuenta con grandes bancos de arena, con esta consideración se utilizó la curva granulométrica de la figura B.4 que corresponde al banco de arena de la milla 100.5, y conociendo la granulometría de la roca de la coraza, anexo 5, se tomaron los diámetros D_{15} , D_{50} y D_{85} , necesarios para diseñar el filtro del espigón, dichos valores se muestran en la tabla 6.9.

Tabla 6.9 Diámetros D_{15} , D_{50} y D_{85} del núcleo y la coraza.

Diámetros	NÚCLEO	CORAZA
D_{15}	0.30 mm	28 mm
D_{50}	0.40 mm	36 mm
D_{85}	0.82 mm	47 mm

El primer paso es determinar con la relación 4.7 si la coraza tiene suficientes finos para actuar como un “Filtro”:

$$\frac{D_{15}(\text{Coraza})}{D_{85}(\text{Núcleo})} = \frac{28 \text{ mm}}{0.82 \text{ mm}} = 34.14$$

Como $34.14 > 5$, entonces la coraza no sirve como filtro.

Diseño del Filtro, usando las ecuaciones 4.8, 4.9 y 4.10.

$$\frac{D_{50}(\text{Filtro})}{D_{50}(\text{Núcleo})} < 40 \quad \Rightarrow \quad D_{50}(\text{Filtro}) < 40(0.48 \text{ mm}) \quad \Rightarrow \quad D_{50}(\text{Filtro}) < 19.2 \text{ mm}$$

$$\frac{D_{15}(\text{Filtro})}{D_{15}(\text{Núcleo})} < 40 \rightarrow D_{15}(\text{Filtro}) < 5(0.30 \text{ mm}) \rightarrow D_{15}(\text{Filtro}) < 1.5 \text{ mm}$$

$$\frac{D_{15}(\text{Filtro})}{D_{15}(\text{Núcleo})} < 40 \rightarrow D_{15}(\text{Filtro}) < 40(0.30 \text{ mm}) \rightarrow D_{15}(\text{Filtro}) < 12 \text{ mm}$$

$$\frac{D_{15}(\text{Filtro})}{D_{85}(\text{Núcleo})} < 5 \rightarrow D_{15}(\text{Filtro}) < 5(0.82 \text{ mm}) \rightarrow D_{15}(\text{Filtro}) < 4.1 \text{ mm}$$

Entonces el filtro deberá tener las siguientes características con respecto a los materiales del núcleo:

$$D_{50}(\text{Filtro}) < 19.2 \text{ mm}$$

$$1.5 \text{ mm} < D_{15}(\text{Filtro}) < 4.1 \text{ mm}$$

El próximo paso es determinar si la coraza actúa como “filtro” para la capa subyacente de material de filtro que estamos diseñando. Usando las ecuaciones 4.11, 4.12 y 4.13.

$$\frac{D_{50}(Coraza)}{D_{50}(Filtro)} < 40 \rightarrow D_{50}(Filtro) > \frac{36 \text{ mm}}{40} \rightarrow D_{50}(Filtro) > 0.9 \text{ mm}$$

$$\frac{D_{15}(Coraza)}{D_{15}(Filtro)} > 5 \rightarrow D_{15}(Filtro) > \frac{28 \text{ mm}}{5} \rightarrow D_{15}(Filtro) > 5.6 \text{ mm}$$

$$\frac{D_{15}(Coraza)}{D_{15}(Filtro)} > 40 \rightarrow D_{15}(Filtro) > \frac{28 \text{ mm}}{40} \rightarrow D_{15}(Filtro) > 0.7 \text{ mm}$$

$$\frac{D_{15}(Coraza)}{D_{85}(Filtro)} > 5 \rightarrow D_{85}(Filtro) > \frac{28 \text{ mm}}{5} \rightarrow D_{85}(Filtro) > 5.6 \text{ mm}$$

40

Luego, la capa de filtro deberá tener las siguientes características con respecto a la capa de la coraza:

$$D_{85}(Filtro) > 5.6 \text{ mm}$$

$$D_{50}(Filtro) > 0.9 \text{ mm}$$

$$0.7 \text{ mm} < D_{15}(Filtro) < 5.6 \text{ mm}$$

De este análisis se tiene que el filtro debe ser diseñado con estas características:

$$D_{85}(\text{Filtro}) > 5.6 \text{ mm}$$

$$0.9 \text{ mm} < D_{50}(\text{Filtro}) < 19.2 \text{ mm}$$

$$1.5 \text{ mm} < D_{15}(\text{Filtro}) < 4.1 \text{ mm}$$

De acuerdo a estas características el filtro estará compuesto por gravas finas a medias con un espesor de capa mínimo recomendado de 0.90 metros. En la figura 6.4 se puede apreciar en detalle la sección tipo para los espigones planteados.

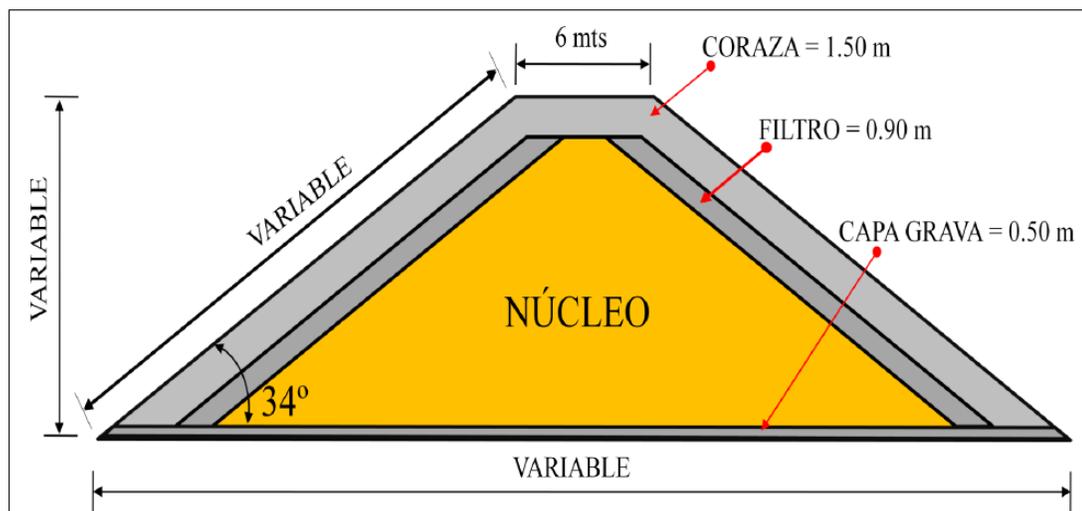


Figura 6.4 Sección transversal típica de un espigón.

6.3 Modelado de las condiciones finales del flujo en torno al campo de espigones

El caudal utilizado para el modelado fue de $5057.03 \text{ m}^3/\text{s}$ y el nivel del agua para dicho caudal fue de 0.84 metros sobre el N.A.B, los valores ingresados corresponden al valor promedio de los aforos realizados por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC) en el período de aguas bajas de la tabla A.2. El coeficiente de Manning usado para la rugosidad fue de 0.04, ya que este es el que mejor se adapta las características del lecho del sector Guasina, por ser un tramo limpio, sinuoso, con

algunas pozas y banco de arenas.

Estos datos se introdujeron en HEC-RAS para los dos modelos realizados del cauce, uno para condiciones sin espigones y el otro con la presencia espigones y el nuevo alineamiento, esto se realizó para tener una referencia de los cambios que se producirán en el flujo para la condición planteada.

Los resultados arrojados por el programa indican un incremento en las velocidades para el modelo con la presencia de espigones y el nuevo alineamiento, donde la velocidad media fue de 0.53 m/s, y para el modelo sin espigones la velocidad media fue de 0.49 m/s, este aumento de la velocidad se debe a la restricción del área ocupada por cada uno de los espigones.

Los incrementos de velocidad más importantes se reflejan en las secciones ocupadas por los espigones 3, 4 y 5 con velocidades de 0.64, 0.71 y 0.62 m/s respectivamente, esto se debe a que estos espigones son los que tienen mayor longitud y por ende la reducción de área mojada dentro de la sección es mayor. En las tablas 6.10 y 6.11 se muestran los resultados para las dos condiciones planteadas.

Tabla 6.10 Resultados del modelo con espigones y el nuevo alineamiento mediante el uso HEC- RAS.

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Río Orinoco Reach: Sector Guasina												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-14.85	1.04		1.05	0.000017	0.49	10361.00	1012.54	0.05
Sector Guasina		SECCIONES S / F	5057.03	-18.03	1.03		1.04	0.000013	0.44	11398.72	1022.80	0.04
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-13.31	1.03		1.04	0.000013	0.44	11468.75	1084.60	0.04
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-13.80	1.02		1.03	0.000013	0.42	12155.14	1224.66	0.04
Sector Guasina		ESPIGÓN 1	5057.03	-11.34	1.01		1.02	0.000031	0.53	9532.66	1294.47	0.06
Sector Guasina		ESPIGÓN 2	5057.03	-12.30	1.00		1.01	0.000032	0.52	9677.89	1370.79	0.06
Sector Guasina		ESPIGÓN 3	5057.03	-11.22	0.96		0.98	0.000070	0.64	7933.53	1497.74	0.09
Sector Guasina		ESPIGÓN 4	5057.03	-11.33	0.91		0.94	0.000081	0.71	7172.92	1308.70	0.10
Sector Guasina		ESPIGÓN 5	5057.03	-12.49	0.88		0.90	0.000065	0.62	8193.85	1536.96	0.08
Sector Guasina		ESPIGÓN 6	5057.03	-13.66	0.87		0.88	0.000038	0.52	9657.23	1546.26	0.07
Sector Guasina		ESPIGÓN 7	5057.03	-13.21	0.86		0.87	0.000038	0.53	9539.31	1502.91	0.07
Sector Guasina		ESPIGÓN 8	5057.03	-14.05	0.85		0.86	0.000035	0.51	9880.28	1524.54	0.06
Sector Guasina		ESPIGÓN 9	5057.03	-14.08	0.84		0.86	0.000033	0.51	9964.23	1513.17	0.06
Sector Guasina		ESPIGÓN 10	5057.03	-13.40	0.84	-8.60	0.85	0.000033	0.50	10026.98	1508.00	0.06

Tabla 6.11 Resultados del modelo sin espigones mediante el uso HEC- RAS.

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Río Orinoco Reach: Sector Guasina												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-14.85	0.98		1.00	0.000018	0.49	10306.50	1012.54	0.05
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-18.03	0.98		0.99	0.000013	0.45	11343.57	1022.80	0.04
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-13.31	0.97		0.98	0.000014	0.44	11410.15	1084.60	0.04
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-13.80	0.97		0.98	0.000013	0.42	12088.84	1224.66	0.04
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-11.62	0.96		0.97	0.000031	0.53	9516.68	1255.56	0.06
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-12.30	0.95		0.96	0.000029	0.49	10219.29	1440.01	0.06
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-11.41	0.92		0.94	0.000042	0.52	9769.99	1693.90	0.07
Sector Guasina		SECCIONES S / F	5057.03	-14.42	0.90		0.91	0.000041	0.54	9290.63	1477.15	0.07
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-14.09	0.88		0.89	0.000041	0.51	9867.49	1692.52	0.07
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-13.66	0.87		0.88	0.000036	0.51	9967.73	1593.75	0.06
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-13.21	0.86		0.87	0.000034	0.50	10037.44	1539.07	0.06
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-14.05	0.85		0.86	0.000030	0.48	10448.28	1562.94	0.06
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-14.08	0.84		0.86	0.000030	0.49	10331.58	1524.45	0.06
Sector Guasina		SECCIONES S / E	5057.03	-13.80	0.84	-8.87	0.85	0.000030	0.49	10394.06	1529.30	0.06

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Posterior al estudio y análisis de los cálculos correspondientes para el logro de los objetivos, se puede concluir que:

1. De acuerdo a las cuatro muestras de suelo tomadas en el lecho en el sector Guasina del tramo en estudio, los análisis arrojan resultados muy similares para las cuatro muestras, que según el sistema unificado de clasificación de suelo lo identifica como arena limpia mal gradada (SP) con poco o nada de partículas finas.

2. En relación al análisis de la forma de las partículas, los ensayos de redondez realizados a las cuatro muestras evidencia que han sufrido poco transporte, ya que las formas de las partículas van de anguloso a sub-anguloso, con la excepción de la muestra 4 correspondiente al banco de arena que presenta un 32.08% de partículas sub-redondeados, lo que nos hace inferir que esta se ha ido formando de materiales proveniente de aguas arriba.

3. Los ángulos de fricción determinados con el ensayo de corte directo van de 26.5° a 31.5° que están dentro del rango de valores para las arenas de este tipo.

4. Después de analizar la morfología del sector Guasina mediante la superposición de planos batimétricos de los años 1991, 2001 y 2009 se logró seguir la evolución de las márgenes para los períodos comprendidos entre 8 y 18 años con respecto al plano batimétrico del año 2009, en la cual se puede decir que los desplazamientos laterales observados en el cauce no son proporcionales al tiempo transcurrido, sino que más bien, estos obedecen a la naturaleza impredecible que gobiernan los ríos, como el transporte de sedimentos y las variaciones en el régimen de

caudales. De esta manera también, se pudo observar la evolución del banco de arena en cuanto a su posición y sus dimensiones, notándose un claro incremento en su extensión a lo largo de 18 años, que posiblemente se deban a bajas velocidades ocasionadas por el ensanchamiento del cauce en la parte central del sector Guasina. Adicionalmente los modelos digitales del lecho en 2D y 3D, corroboraron los cambios morfológicos

5. En cuanto al comportamiento hidrodinámico del sector Guasina, este se estableció con los datos de aforos efectuados por el I.N.C, sin embargo estos dejan un cierto grado de incertidumbre, ya que estos fueron realizados en la milla 101.5, los cuales serían válidos sólo para la sección donde se ubica esta milla en cuanto a las velocidades registradas se refiere, debido a que las secciones del cauce a lo largo del sector son tan variantes en cuanto al ancho y forma del lecho que resultaría erróneo afirmar que dichas velocidades se mantendrían iguales río abajo, en cambio para un caudal cualquiera este sería el mismo en todo el sector ya que no hay afluentes que aporten caudales extras al tramo estudiado.

6. El dimensionamiento de los espigones se realizó con la intención de ofrecer mejoras para la navegación en el sector Guasina, siguiendo las recomendaciones dadas por los diferentes autores consultados para el desarrollo de este trabajo de investigación, los cuales se fundamentaron en sus propias experiencias obtenidas en campo, lo que significa que dichas recomendaciones son resultado de un proceso de experimentación, y estas han sido generalizadas de manera tal que puedan ser aplicadas a diferentes casos, sin embargo cada río tiene características muy propias que los hacen ser diferente uno de otro, esto significa que la intervención de un río mediante espigones puede ser un éxito, más no quiere decir que en todos los ríos se lograrán los efectos deseados, de esta manera no es posible cuantificar la efectividad del sistema de espigones propuesto

7. El uso del programa HEC-RAS permitió representar las condiciones finales de flujo, bajo la presencia de espigones y el nuevo alineamiento, y compáralas con las condiciones actuales, según las modificaciones realizadas se logró un incremento en la velocidad del flujo en todas las secciones, en especial para los espigones 3, 4 y 5 donde se redujo mayormente el área de la sección debido a la longitud de estos espigones, con velocidades de 0.64, 0.71 y 0.62 respectivamente, y antes de introducir las modificaciones el programa mostraba velocidades de 0.52, 0.54 y 0.51 en estas mismas secciones, luego considerando el D_{50} de la curva granulométrica del material del lecho se pudo observar mediante el diagrama de velocidades críticas para iniciar el movimiento de las partículas de Hjulström, que para ambas condiciones las partículas del lecho estarían en transporte, no diferenciando así un cambio significativo aparente. Después de haber realizado el dimensionamiento de espigones, este no revela con claridad si cumpliría o no los requerimientos necesarios para acelerar la velocidad del flujo y causar así una erosión importante del lecho, pese a esto la margen sur si quedaría protegida, no obstante se puede considerar para estudios posteriores la posibilidad de prolongar aún más los espigones y de esta manera asegurar su funcionamiento pleno

Recomendaciones

1. Realizar de manera continua, registros sobre el comportamiento de caudales, niveles y velocidades del río, mediante el aumento de las campañas de aforos en diferentes millas del tramo, con el fin de generar una base de datos más precisa de estas variables, de manera de tener una fuente más confiable para futuros estudios en el sector.

2. Hacer levantamientos de puntos batimétricos más cercanos, por lo menos a cada 15 metros de separación, que permitan tener mejor definidas las profundidades en la margen sur y evitar imprecisiones en la toma de profundidades lo cual afectaría el dimensionamiento correcto de los espigones.

3. Para la elaboración de esta investigación no se contó con la topografía de las orillas del río, se recomienda levantar la topografía por lo menos 20 metros desde el nivel de aguas bajas hacia fuera del cauce, ya que es un dato fundamental al momento de dimensionar los espigones, y también sirve como medida para seguir los cambios morfológicos

4. Para futuras investigaciones, realizar ensayos de laboratorio con modelos a escala de espigones, con la intención de identificar de manera más clara las fuerzas que actúan en este tipo de estructura, y su comportamiento bajo diferentes condiciones del flujo

REFERENCIAS

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

Blanco y Yépez. (1996). “**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS MAREAS QUE OCURREN EN EL SECTOR BOCA GRANDE SOBRE LOS NIVELES DEL TRAMO NOINA-PUERTO ORDAZ DEL RÍO ORINOCO**”

Cázares, L. (1999). **TÉCNICAS ACTUALES DE INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL**. Editorial Trillas, D.F, México pp.18.

Chang, H. (1988). **FLUVIAL PROCESSES IN RIVER ENGINEERING**. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York. United States Of America. pp. 446.

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

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

Consultora Caura. (1994). **ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DRAGADO DEL RÍO ORINOCO, TRAMO MATANZAS – BOCA GRANDE**. pp. 22 – 31.

Church, M. (1992). **CHANNEL MORPHOLOGY AND TYPOLOGY**. Editorial Calow & Petts. New York. United States Of America. pp. 126 – 143

González y Veracierta. (1996). “**EVALUACIÓN DEL CANAL DE NAVEGACIÓN EN EL SECTOR GUASINA DEL ORINOCO**”. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente

Headquarters, Department Of The Army Office Of The Chief Of Engineers. (1963). **DESIGN OF THE ARMY OF THE CHIEF OF ENGINEERS**. Washington, D.C. United States Of America. pp. 16 – 21.

Hey, R. (1986). **RIVER MECHANICS**. Journal of Institution of Water Engineers and Scientists. London, England. pp. 139- 158.

Hjulström, F., 1956. **STUDIES IN THE MORPHOLOGICAL ACTIVITY OF RIVERS AS ILLUSTRATED BY RIVER FYRIS**. Bulletin of Geological Institution of Uppsala, Uppsala, Suecia. pp. 221

Hurtado, J. (2008). **COMO IDENTIFICAR LOS EVENTOS DE ESTUDIOS EN UNA INVESTIGACIÓN PROYECTIVA**. 3 de Julio de 2008, <http://investigacionholistica.blogspot.com/2008/07/cmo-identificar-los-eventos-deestudio.html>.

Instituto Nacional de Canalizaciones (2003). **DERROTERO PARA LA NAVEGACIÓN EN EL CANAL DEL RÍO ORINOCO TRAMO MATANZAS – BOCAS GRANDE**. Puerto Ordaz, Estado Bolívar, Venezuela. pp. 80 – 125.

Knighton, D. (1984). **FLUVIAL FORMS AND PROCESSES**. Editorial Edward Arnold. London, England. pp. 96- 98.

León, A. (2006). **EL ORINOCO APROVECHADO Y RECORRIDO**. 14 de Octubre 2006, http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Cuenca_del_Orinoco.png.

Leopold, L. (1978). **FLUVIAL PROCESSES IN GEOMORPHOLOGY**. Freeman Co. San Francisco. United States Of America. pp. 522-523.

Martín, J, (2000) **INGENIERÍA FLUVIAL**. Centro Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería. pp. 56 – 67.

Maza Álvarez, J. A. (1997). **ESTABILIZACIÓN Y RECTIFICACIÓN DE RÍOS**. Facultad de Ingeniería de la UNAM, D.F, México. pp. 1 – 67.

Mota y Rodríguez. (2000). **“ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LAS BERMAS EN EL SECTOR GUASINA Y TALUDES SUMERGIDOS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN EN LOS SECTORES GUARGUAPO, BARRANCAS, YAYA, ARAGUAITO Y GUASINA DEL RÍO ORINOCO”** Trabajo de Grado

Naisargi, Dave and. Mittelstet Aaron R. (2017). **"QUANTIFYING EFFECTIVENESS OF STREAMBANK STABILIZATION PRACTICES ON CEDAR RIVER, NEBRASKA"** Water 9, no. 12: 930. <https://doi.org/10.3390/w9120930>

Parella, S. y Martins, F. (2010). **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA**. FEDUPEL; Caracas: Venezuela.

Pérez (2004). **"ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DE LOS SECTORES ARAGUITO, SACUPANA Y GUASINA DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL ORINOCO, ESTADO DELTA AMACURO, VENEZUELA"**. Trabajo de Grado

Portella E. y Alffio A. (2019) **"DISEÑO DE ESPIGÓN MEDIANTE HEXÁPODO DE CONCRETO COMO DEFENSA RIBEREÑA EN EL DISTRITO DE SAN ANTONIO DE CUMBAZA"** <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49018?show=full>

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

Shields, A. (1984). **ANWENDUNG DER AENLICHKEITSMECHANIK UND DER TURBULENZFORSCHUNG AUF DIE GESCHIEBEBEWEGUNG**. Mitteilungen der Prevsischen Versuchsanstalt fur Wasserbau und Schiffbau. Berlin, Alemania, traducido al Ingles por W.P Ott Y J.C. van Uchelen, California Institute of Technology, Pasadena, California, United States Of America. pp. 192-197.

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

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

Thorne, C. (1982). **PROCESSES AND MACHANISMS OF RIVER BANK EROSION**. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York. United States Of America. pp. 227-272.

Vona, Iacopo, Matthew W. Gray, and William Nardin. 2020. "**THE IMPACT OF SUBMERGED BREAKWATERS ON SEDIMENT DISTRIBUTION ALONG MARSH BOUNDARIES**" *Water* 12, no. 4: 1016.
<https://doi.org/10.3390/w12041016>

Yalin, M. (1976). **MECHANICS OF SEDIMENT TRANSPORT**. Editorial Pergamon Press. Oxford, United States Of America. pp. 74.

APÉNDICES

APÉNDICE A
TABLAS

A.1 Niveles promedios mensuales registrados en la estación limnigráfica TG-Socoroco durante el período 1990-2002, correspondientes al sector Guasina del canal de navegación del río Orinoco (Información suministrada por el Dpto. de Hidrografía del I.N.C., 2003)

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1990	1.16	1.27	1.15	1.35	2.82	4.45	5.5	6.18	5.49	4.01	2.79	2.58
1991	2.03	0.5	0.6	0.5	0.6	1.8	2.6	4.1	5.5	5.7	5	2.9
1992	1.25	0.97	0.92	0.93	1.54	2.6	4.29	5.69	5.66	4.4	2.77	2.31
1993	1.37	1.09	1.04	1.47	2.59	4	5.46	6.09	5.63	4.8	3.83	2.94
1994	1.4	1.04	0.98	1.29	1.61	3.89	5.17	6.06	6.13	5.54	3.94	2.75
1995	1.3	0.7	0.6	0.89	1.77	3.33	4.87	5.77	5.33	3.72	3.07	2.17
1996	1.11	0.9	1.02	1.16	2.26	3.93	5.58	6.21	6.08	5.56	3.53	2.88
1997	1.95	1.1	0.9	0.8	1.3	3.7	5	5.56	4.79	3.18	2.2	1.56
1998	0.7	0.4	0.5	0.7	2.2	3.8	6.09	6.2	6.05	4.77	3.07	2.34
1999	1.93	1.6	1.65	1.92	2.94	3.78	4.8	5.92	5.68	4.96	3.87	2.8
2000	1.1	0.7	0.6	0.9	2.3	4.52	5.46	5.71	5.48	4.89	3.75	2.25
2001	1.11	0.7	0.6	0.6	1.74	2.72	3.86	4.75	4.83	3.76	2.74	2
2002	1.7	0.8	1.21	1.51	1.5	3.41	5.54	5.98	5.81	4.27	3.05	2.31

A.2 Datos de niveles, velocidades, gastos líquidos y gastos sólidos de la sección de aforo Isla Paloma Sur ubicada en la milla 101.5, sector Guasina. (Información suministrada por el Dpto. de Hidrografía del I.N.C., 2003)

Período	Año	Nivel (m)	Velocidad (m/s)	Caudal Líquido (m ³ /s)	Caudal Sólido (Ton/día)
AA	2001	4.1	0.86	12424.23	62081.39
AB	2001	1.1	0.52	5083.4	6734.48
AMA	2000	1.28	0.65	6726.94	21989.01
AA	2000	4.76	1.11	15904.86	57486.51
AB	1995	0.49	0.3	4617.95	8578
AA	1995	4.97	1.13	18238	142872
AB	1994	1.08	0.51	5426	35279
AA	1994	5.34	1.04	16401	91634
AB	1993	0.88	0.45	4631.01	15204.53
AA	1993	4.02	1.22	17368.78	106547
AMA	1993	4.63	1.07	12905.44	77308.74
AB	1990	0.67	0.55	5526.78	30759.46

APÉNDICE B
FIGURAS

B.1 Análisis granulométrico realizado a la muestra N° 1 ubicada en las coordenadas (N=944659.7715 E=659529.9713), sector Guasina

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO TAMIZ (gr)	PESO TAMIZ + SUELO (gr)	SUELO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	2.830	439.060	439.220	0.160	0.032	0.032	99.968
10	2.000	490.070	492.420	2.350	0.470	0.502	99.498
20	1.000	477.200	485.450	8.250	1.650	2.152	97.848
40	0.425	388.160	516.160	128.000	25.600	27.752	72.248
60	0.250	370.660	659.870	289.210	57.842	85.594	14.406
100	0.150	363.440	424.510	61.070	12.214	97.808	2.192
200	0.075	352.050	362.240	10.190	2.038	99.846	0.154
PAN		478.160	478.570	0.410	0.082	99.928	0.072
Peso Total Suelo (gr)		499.640					

B.2 Análisis granulométrico realizado a la muestra N° 2 ubicada en las coordenadas (N=944613.7185 E=658912.4007), sector Guasina

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO TAMIZ (gr)	PESO TAMIZ + SUELO (gr)	SUELO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4.760	412.990	414.160	1.170	0.234	0.234	99.766
10	2.000	516.540	535.310	18.770	3.754	3.988	96.012
20	0.856	404.760	549.530	144.770	28.954	32.942	67.058
40	0.303	404.780	708.560	303.780	60.756	93.698	6.302
60	0.178	420.640	449.390	28.750	5.750	99.448	0.552
100	0.150	407.740	409.290	1.550	0.310	99.758	0.242
200	0.075	327.070	327.280	0.210	0.042	99.800	0.200
PAN		444.640	444.880	0.240	0.048	99.848	0.152
Peso Total Suelo (gr)		499.240					

B.3 Análisis granulométrico realizado a la muestra N° 3 ubicada en las coordenadas (N=943813.7472 E=662405.9524.5), sector Guasina .

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO TAMIZ (gr)	PESO TAMIZ + SUELO (gr)	SUELO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4.760	412.990	413.410	0.420	0.084	0.084	99.916
10	2.000	516.540	543.320	26.780	5.356	5.440	94.560
20	0.856	404.760	551.220	146.460	29.292	34.732	65.268
40	0.303	404.780	698.350	293.570	58.714	93.446	6.554
60	0.178	420.640	451.670	31.030	6.206	99.652	0.348
100	0.150	407.740	409.150	1.410	0.282	99.934	0.066
200	0.075	327.070	327.380	0.310	0.062	99.996	0.004
PAN		444.640	444.650	0.010	0.002	99.998	0.002
Peso Total Suelo (gr)		499.990					

B.4 Análisis granulométrico realizado a la muestra N° 4 ubicada en las coordenadas (N=943251.4366 E=661240.7051), sector Guasina

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO TAMIZ (gr)	PESO TAMIZ + SUELO (gr)	SUELO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	2.830	439.040	439.130	0.090	0.018	0.018	99.982
10	2.000	490.070	490.400	0.330	0.066	0.084	99.916
20	1.000	477.240	480.300	3.060	0.612	0.696	99.304
40	0.425	388.110	666.000	277.890	55.578	56.274	43.726
60	0.250	370.690	577.890	207.200	41.440	97.714	2.286
100	0.150	363.540	373.580	10.040	2.008	99.722	0.278
200	0.075	352.020	352.840	0.820	0.164	99.886	0.114
PAN		478.130	478.440	0.310	0.062	99.948	0.052
Peso Total Suelo (gr)		499.740					

B.5 Análisis de redondez de las partículas para la muestra N° 1

TIPO	FRECUENCIA ABSOLUTA (Unidad)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULOSO	67	31.6
SUBANGULOSO	116	54.72
REDONDEADO	3	1.42
SUBREDONDEADO	26	12.26

B.6 Análisis de redondez de las partículas para la muestra N° 2.

TIPO	FRECUENCIA ABSOLUTA (Unidad)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULOSO	64	30.19
SUBANGULOSO	131	61.79
REDONDEADO	1	0.47
SUBREDONDEADO	16	7.55

B.7 Análisis de redondez de las partículas para la muestra N° 3.

TIPO	FRECUENCIA ABSOLUTA (Unidad)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULOSO	97	45.75
SUBANGULOSO	92	43.4
REDONDEADO	1	0.47
SUBREDONDEADO	22	10.38

B.8 Análisis de redondez de las partículas para la muestra N° 4

TIPO	FRECUENCIA ABSOLUTA (Unidad)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULOSO	42	19.81
SUBANGULOSO	100	47.17
REDONDEADO	2	0.94
SUBREDONDEADO	68	32.08

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	" Propuesta de obras hidráulicas para la profundización del canal de navegación y estabilización de los márgenes de las riberas del Río Orinoco en el Sector Guasina, Estado Delta Amacuro, Venezuela."
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código ORCID / e-mail	
	RIVAS RONDÓN ZULIANNY AUDIMARY	ORCID
e-mail		zuliannyrivas@gmail.com
e-mail		
PARRA GONZÁLEZ AMAIRUS JOSÉ DE LAS NIEVES	ORCID	26.047.675
	e-mail	
	e-mail	amairusparra@gmail.com
	ORCID	
	e-mail	
	e-mail	
	ORCID	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

espigones
Guasina
estructuras hidráulicas
Río Orinoco
profundización de ríos

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
INGENIERÍA GEOLÓGICA	ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

Resumen (abstract):

El objetivo general de la investigación es el de dimensionar estructuras tipo espigón para el control del flujo, a fin de estabilizar el canal de navegación del río Orinoco en el sector Guasina entre las millas 99.4 y 101.5, estado Delta Amacuro. El trabajo de investigación se enmarcó dentro de las características del nivel de investigación denominado proyecto factible. La estrategia que se adoptó para dar respuesta al problema planteado fue documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se determinaron las características geotécnicas del material del lecho, a través ensayos de granulometría, de corte directo, de redondez, se clasificó el tipo de suelo por el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S). Por otra parte, se determinó la morfología del lecho del río, mediante la digitalización de planos batimétricos del área, que posteriormente sirvieron para hacer comparaciones de las márgenes, asimismo se elaboraron secciones transversales, también se realizaron modelos digitales tridimensionales del lecho con el fin de observar la morfología y los distintos cambios ocurridos en el lecho. Además, se estableció el comportamiento hidrodinámico empleando los registros de los niveles, así como también los aforos realizados en las campañas del Instituto Nacional de Canalizaciones, con la información disponible se construyeron hidrogramas de frecuencia de niveles del río, correlaciones de caudales, niveles y velocidades donde se señalaron algunos aspectos importantes relacionados con el comportamiento del río. También se logró proponer un nuevo alineamiento del canal de navegación y en este se estimó que el volumen a ser dragado es de 2.430.512,54 m³, luego se dimensionaron las estructuras tipo espigón, que en total fueron 10 estructuras. Posteriormente, con el programa HEC-RAS, se pudo realizar un modelado de las condiciones del flujo con la presencia de los espigones y el nuevo alineamiento y compararlas con las condiciones actuales, según en el modelo con espigones se logró un incremento de las velocidades del flujo, en especial para los espigones 3, 4 y 5 donde se redujo mayormente el área de la sección debido a la longitud de estos espigones, con velocidades de 0.64, 0.71 y 0.62 respectivamente, y antes de introducir las modificaciones el programa mostraba velocidades de 0.52, 0.54 y 0.51 m/seg.

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código ORCID / e-mail				
ECHEVERRÍA DÍAZ, DAFNIS JOSÉ	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input checked="" type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	ORCID	4.506.408			
	e-mail	dafnisecheverria2807@gmail.com			
	e-mail				
Monteverde Sevilla, Francisco Raúl	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	ORCID	12.192.676			
	e-mail	monteverdefr@gmail.com			
	e-mail				
España Rodríguez, Juan Carlos	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	ORCID	12.602.152			
	e-mail	@gmail.com			
	e-mail				
	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	ORCID				
	e-mail				
	e-mail				

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2025	04	21

Lenguaje Spa _____

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

Archivo(s):

Nombre de archivo
NBOTTG_PGAJ2025.Doc
Propuesta de obras hidráulicas para la profundización del canal de navegación y estabilización de las márgenes de las riberas del río Orinoco en el sector Guasina, estado Delta Amacuro, Venezuela.docx

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: Guasina, río Orinoco, Estado Delta Amacuro, Venezuela

Temporal: 2023-2024

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Área de Estudio: Estado Delta Amacuro, Venezuela

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

CUN°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.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA

RECIBIDO POR *Martínez*

FECHA *5/8/09* HORA *5:30*

Cordialmente,

Juan A. Bolaños Curyelo
JUAN A. BOLANOS CURYELO
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

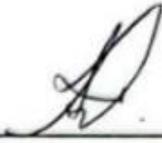
Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

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

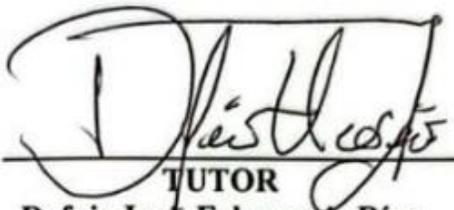
Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo,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



Zulianny Audimary Rivas Rondón.
C.I.No.: V- 21.124.158



Amairus José de las Nieves Parra González
C.I.No.: V- 26.047.675



TUTOR
Dafnis José Echeverría Díaz
C.I. No.: 4.506.408