

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



**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE
LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN
DEL SECTOR GUARGUAPO DEL RÍO ORINOCO MEDIANTE
EL MÉTODO DE FUERZA TRACTIVA, ESTADO MONAGAS,
VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LOS BACHILLERES
VELÁSQUEZ A., JESÚS S.
Y VIVAL F., SÓCRATES A.
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO
GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, JULIO DEL 2023



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **“EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL SECTOR GUARGUAPO DEL RÍO ORINOCO MEDIANTE EL MÉTODO DE FUERZA TRACTIVA, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA”**, presentado por los bachilleres, **VELÁSQUEZ ACUÑA, JESÚS SALVADOR** de cédula de identidad No: **27.181.497** y **VIVAL FIGUERA, SÓCRATES ALFONSO** de cédula de identidad No **19.622.752** respectivamente; como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente por el jurado integrado por los profesores

Nombre y Apellido:

Firma:

Profesor Dafnis Echeverría

(Asesor)

Profesor Juan España

(Jurado)

Profesora Carla Padilla

(Jurado)

Prof. Francisco Monteverde
Jefe Dpto. de Ingeniería Geológica.

Prof. Francisco Monteverde
Director Escuela de Ciencias de la Tierra

En Ciudad Bolívar, de Julio del 2023

DEDICATORIA

A dios, ser supremo, mi guía, mi bendición

A mis padres. Jesús Salvador y Beatriz Margarita, por haberme dado la vida, que es el tesoro más preciado del mundo. Por fomentar en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida, lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

A mis hermanos: Carlos Eduardo y Mariana Valentina, porque en el día a día con su presencia, respaldo y cariño me impulsaron para salir adelante, además se saber que mis logros son los suyos, y por ser parte importante de una hermosa familia unida. Gracias dios por concederme los hermanos que tengo.

A María Virginia, mi compañera incondicional de vida, que ha estado a mi lado en cada paso de este camino académico. Tu apoyo, paciencia y comprensión han sido fundamentales para el logro de este proyecto. Gracias por motivarme y ser estímulo constante de superación de todas mis acciones.

A toda mi familia por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día. De verdad mil gracias, siempre los llevo en mi corazón.

Jesús Salvador Velásquez Acuña

DEDICATORIA

El resultado de éste trabajo es dedicado a Dios, por iluminar mi camino durante este proceso, también por colocar las herramientas y personas claves, quiénes me ayudarían hacer esto posible, del mismo modo por permitirme haber llegado éste momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, quién con mucho esfuerzo me brindó su apoyo y me dio ánimos para continuar en los momentos difíciles, situación y motivación que me ayudó a continuar de pie y no dudar de mis capacidades y conocimientos, durante la elaboración de éste proyecto, así como la ayuda económica que me llegaron a ofrecer, pero sobre todo por acompañarme durante todo mi trayecto estudiantil de mi vida y culminación de mi carrera universitaria.

A mi padre, hombre que me dio la vida, el cual, a pesar de haberlo perdido a muy temprana edad, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo

Sócrates Alfonso Vival Figuera

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos al Prof. Dafnis Echeverría, mi tutor, por orientar esta investigación en sus diferentes etapas de una manera muy profesional.

A todos los profesores de la escuela de ciencias de la tierra, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión de ingeniería geológica.

Al instituto de canalizaciones por apoyarnos con el suministro de información

Jesús Salvador Velásquez Acuña

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la fortaleza para vencer aquellos obstáculos y dificultades a lo largo de mi carrera y de éste proyecto.

A mi madre, me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante cualquier obstáculo y siempre persevera a través de sus consejos, por todo su apoyo condicional e incondicional.

A mi padre, aunque esté ausente sé que estaría orgulloso de éste paso en mi vida y de éste momento, y por ser una motivación más, que me ha permitido vencer los obstáculos que muchas veces se me presentaron en mi vida.

A mi compañero de tesis, que gracias al equipo que formamos logramos llegar al final del camino debido a ese apoyo e intercambio de ideas y disciplina, que nos permitieron llegar a esta parte de nuestras vidas.

A mis hermanas, que con sus consejos me ha ayudado a afrontar los retos que se de pronto aparecieron a lo largo de mi trayecto estudiantil.

A mi tutor, por la colaboración de sus conocimientos, tiempo, herramientas necesarias para llevar a cabo ésta tesis y la confianza brindada.

Sócrates Alfonso Vival Figuera.

RESUMEN

El objetivo fundamental del presente trabajo de grado consiste en analizar las condiciones de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo., ubicado entre las progresivas fluviales: millas 146 y 150 del canal de navegación del río Orinoco, en el estado Monagas. La estrategia adoptada para dar respuesta al problema planteado fue documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se describió el comportamiento de las corrientes con base a los estudios de Medina y Echeverría (1992); También, se efectuó la correlación de los niveles del río, velocidades y caudales con base a los datos de aforos suministrados por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC). Se realizó un muestreo de sedimentos en los taludes del sector durante las operaciones de dragado por parte del personal de hidrografía que se encontraba a bordo de la draga autopropulsada que operaba en dicho sector. A las muestras tomadas se les realizó análisis granulométricos y morfoscópicos de las partículas con la finalidad de tener una aproximación textural de las mismas. Asimismo, dichos análisis fueron validados mediante los resultados del estudio realizado por la consultora TAMS (1970) y en el INC por Bermúdez y Echeverría (1990) quienes también tomaron muestras del lecho y también las analizaron texturalmente durante esas investigaciones. Posteriormente, se determinaron las características morfológicas del lecho para el sector, mediante la creación de modelos digitales tridimensionales y secciones transversales, con información proveniente de levantamientos batimétricos costa a costa. Finalmente, se aplicó el método de la fuerza tractiva para la estimación de las condiciones de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación en el sector. Como resultados relevantes se determinó que los materiales del cauce se corresponden con arenas mal gradadas (SP). Hidráulicamente los niveles del agua varían de acuerdo al ciclo hidrológico de la región es decir ascendiendo en la época de lluvias y descendiendo en la época de sequía desde 8.9 m hasta 0.85 m (referidos al Datum NAB). La elaboración de las secciones transversales del cauce permitió observar que las mayores profundidades se corresponden con el tramo medio del sector en su parte norte del canal, paralela a la concavidad de la ribera y que el ángulo de los taludes del canal de navegación se corresponde entre 3 y 6 grados. Finalmente, utilizando el método de la fuerza tractiva se determinó que los taludes del canal de navegación para el momento del estudio se encuentran en estado de estabilidad crítica (K cercano a 1).

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vii
CONTENIDO	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE APÉNDICES	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Objetivos de la investigación	9
1.2.1 Objetivo general.....	9
1.2.2 Objetivos específicos.....	9
1.3 Justificación de la investigación.....	9
1.4 Alcance de la investigación	10
1.5 Limitaciones de la investigación	10
CAPÍTULO II. GENERALIDADES	11
2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio	11
2.2 Acceso al área de estudio	12
2.3 Características Climatológicas	13
2.4 Características bióticas	14
2.4.1 Vegetación	14
2.4.2 Fauna.....	14
2.4.3 Ictiofauna	15
2.5 Geología Regional	15
2.5.1 Complejo de Imataca	17
2.5.2 Formación Mesa	18
2.5.3 Depósitos aluviales	18
2.6 Geología del área.....	19
2.7 Río Orinoco	20
2.7.1 Canal de navegación del río Orinoco.....	21

CAPÍTULO III. BASES TEORICAS	26
3.1 Antecedentes o estudios previos.....	26
3.2.6 Degradación del cauce.....	32
3.2.7 Hidrología fluvial.....	34
3.2.8 Análisis granulométrico por el método del tamizado.....	35
3.2.9 Forma, redondez y esfericidad.....	36
3.2.10 Representación gráfica de los datos granulométricos.....	39
3.2.11 Morfología de ríos sinuosos.....	40
3.2.12 Afectación de la morfología de un río sinuoso.....	41
3.2.13 Erosión de márgenes.....	41
3.2.14 Procesos físicos del flujo en curvas.....	42
3.2.15. Métodos de estabilidad de taludes sumergidos	43
3.2.16 Suelo marino.....	43
3.2.17 Sedimentos arcillosos	44
3.2.18 Sedimentos arenosos.....	46
3.2.19 Estabilidad de los taludes de las orillas según la teoría del arrastre.....	47
3.2.20 Método de la velocidad permisible.....	48
3.2.21 Velocidad máxima permisible	50
3.2.22. Método de la fuerza tractiva	52
3.2.23 Fuerza tractiva	53
3.2.24 Relación de la fuerza tractiva	55
3.2.25 Fuerza tractiva permisible.....	58
3.3 Bases legales.....	61
3.3.1 Ley de aguas	61
3.3.2 Normas.....	62
3.4 Definición de términos básicos	62
3.4.1 Afluentes.....	62
3.4.2 Área de inundación.....	63
3.4.3 Avenida.....	63
3.4.4 Caudal.....	63
3.4.5 Corte	63
3.4.6 Cuenca hidrográfica.....	63
3.4.7 Derivar	63
3.4.8 Erosión.....	64
3.4.9 Espesor de tongada del hormigón.....	64
3.4.10 Estabilidad	64
3.4.11 Evaporación.....	64
 CAPÍTULO IV. METODOLOGIA DE TRABAJO	 65
4.1 Tipo de investigación	65
4.2 Diseño de la investigación.....	65
4.3 Población y muestra de la investigación	66

4.3.1 Población de la investigación	66
4.3.2 Muestra de la investigación	67
4.4.1 Observación directa.	68
4.4.2 Revisión literaria.....	68
4.4.3 Entrevistas no estructuradas	68
4.5 Flujograma de la investigación.....	69
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos	70
4.6.1 Caracterización textural de los materiales del cauce presentes en el área de estudio del río Orinoco.....	70
4.6.2 Variación de niveles del río Orinoco en el sector Guarguapo	70
4.6.3 Descripción de las condiciones del flujo del río con base a los niveles de la superficie del agua y a las características de la corriente (velocidad y caudal)	70
4.6.4 Patrones preferenciales del flujo del fluido en dos fases.....	71
4.6.5 Grado de estabilidad de los taludes sumergidos	71
CAPÍTULO V. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	72
5.1 Descripción textural de los sedimentos del lecho del cauce	72
5.3.1 Clasificación granulométrica de los materiales del lecho.....	72
5.2 Variación temporal de los niveles del agua.....	79
5.2 Correlación de los parámetros hidráulicos de la corriente	81
5.3 Inclinación de los taludes laterales del canal de navegación.....	83
5.3.1 Pendiente hidráulica en el tramo Guarguapo - Barrancas	83
5.3.2 Pendiente longitudinal del lecho.....	84
5.3.3 Pendiente transversal del lecho del cauce.....	85
5.4 Estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación	87
Sección.....	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
Conclusiones	91
Recomendaciones.....	92
REFERENCIAS	93
APÉNDICES.....	99

LISTA DE FIGURAS

		Página
1.1	Imagen de la Draga Icoa.....	5
1.2	Imágenes de las Dragas Guayana (arriba) y de la Río Orinoco (abajo), en estado operativas en las fotos de la izquierda y semihundidas a la derecha.....	6
1.3	De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo están las Dragas Volvox Delta, Volvox Holanda, Vlanderen XVIII y Hang Jun 5001.....	7
2.1	Ubicación relativa de los sectores Guarguapo y Barrancas del río Orinoco.....	11
2.2	Ubicación del área de estudio.....	12
2.3	Vía de acceso a la zona de estudio en imagen satelital Landsat (Google Earth, 2023).....	13
2.4	Provincias geológicas de Guayana (Mendoza, 2000).....	16
2.5	Tramo Matanzas – Boca Grande del canal de navegación del río Orinoco (INC, 2023).....	22
2.6	Ancho de la sección transversal de los canales de navegación del río Orinoco (INC, 2023).....	23
2.7	Alineamiento y balizamiento (boyas y enfilaciones) del canal de navegación en el sector Guarguapo del río Orinoco (INC, 2023).....	23
3.1	Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte (Hjulstrom, F., 1935).....	35
3.2	Medición de rodados y la posición de los ejes mayor (a), intermedio (b) y menor (c) (Krumbein, 1941 en Pettijhon, 1957, 1970).....	37
3.3	Forma y redondez de los granos (Modificado Redrawn, 1953).....	39
3.4	Profundización del lecho en la curva de un río (Cardenas, 2012).....	42
3.5	Diagrama de Presiones Tridimensionales para el cálculo de reposo del agua corriente (Tapia, 1983).....	47
3.6	Velocidades permisibles en suelos cohesivos (Chow, 1994).....	52
3.7	Distribución de la fuerza atractiva en una sección de canal trapezoidal (Chow, 1994).....	54
3.8	Fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de wyS (Chow, 1994).	55
3.9	Análisis de las fuerzas que actúan en una partícula que reposa en la superficie del lecho de un canal. (Fuente: Ven Te Chow, 1994).....	57
3.10	Fuerzas tractivas unitarias permisibles recomendadas por el U.S. Bureau Of. Reclamation, para materiales no cohesivos (Chow, 1994).....	60
3.11	Fuerzas tractivas permisibles para canales en materiales cohesivos convertida por URSS sobre velocidades permisibles (Ven Te Chow, 1994).....	60
4.1	Flujograma de la investigación.....	69

5.1	Rango de distribución granulométrica en el cual se concentran las curvas granulométricas de todo el cauce del río Orinoco (TAMS,1970).....	74
5.2	Curvas granulométricas de las tres muestras de sedimentos tomadas en la sección 1 del sector Guarguapo (Bejarano y Echeverría. 1990).....	75
5.3	Curvas granulométricas de las dos (2) muestras de sedimentos tomadas en la sección 2 del sector Guarguapo (Bejarano y Echeverría. 1990)....	75
5.4	Curvas granulométricas de las dos (2) muestras de sedimentos tomadas en la sección 3 del sector Guarguapo (Bejarano y Echeverría. 1990)....	76
5.5	Análisis de forma correspondiente a las muestras de la sección transversal 1. Sector Guarguapo (Bejarano y Echeverría. 1990).....	77
5.6	Curvas de distribución granulométrica de las muestras tomadas en los taludes de la sección transversal de la milla 146 en el sector Guarguapo	78
5.7	Estación limnigráfica de Palúa en el sector San Félix (Echeverría, Jiménez y Malpica, 1989).....	80
5.8	Hidrograma de los niveles promedios mensuales (metros referidos al Datum NAB) del río Orinoco.....	81
5.9	Correlación de los niveles, caudales líquidos y velocidades registradas en la sección de aforo Chivera Norte del sector Guarguapo del río Orinoco.....	82
5.10	Ubicación relativa de los sectores mutuamente adyacentes Guarguapo – Barrancas.....	85
5.11	Secciones transversales en la milla 146 del sector Guarguapo para el mes de junio 1980 y para el mes de mayo 1995.....	86
5.12	Sección transversal en la milla 147 del sector Guarguapo para el mes de junio 1980 y para el mes de mayo 1995.....	86
5.13	Sección transversal en la milla 150 del sector Guarguapo para el mes de junio 1980 y para el mes de mayo 1995.....	87

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1	Coordenadas geográficas limítrofes del área de estudio..... 11
2.2	Características climatológicas del sector Guarguapo (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994)..... 14
2.3	Características del canal de navegación del río Orinoco (INC, 2023).... 25
3.1	Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth (Pettijohn, 1949)..... 36
3.2	Velocidades máximas permisibles recomendadas por Fortier y Scobey y los valores correspondientes de fuerza tractiva unitaria convertidos por el U. S. Bureau of Reclamation (Chow, 1994)..... 51
5.1	Resultados de análisis granulométrico por tamizado por vía seca del muestreo de suelos efectuado por TAMS (1970)..... 73
5.2	Datos de aforos de la sección Chivera Norte (INC, 2010)..... 82
5.3	Estimación de los parámetros de estabilidad de los taludes..... 89
5.4	Valores de velocidad, rugosidad y elementos geométricos de las secciones del canal de navegación del río Orinoco en el ramo Guarguapo – Barrancas..... 90
5.5	Valores correspondientes de fuerza tractiva máxima unitaria en los taludes del canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo 90
5.6	Valores de fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de γ_w y S presentes en el canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo..... 90

LISTA DE APÉNDICES

	Página
A ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS MUESTRAS DE TAMS (1970).....	100
A.1 Análisis granulométrico de la muestra de la milla 148.4.....	101
A.2 Análisis granulométrico de la muestra de la milla 146.9.....	102
A.3 Análisis granulométrico de la muestra de la milla 146.1.....	103
A.4 Análisis granulométrico de la muestra de la milla 145.9.....	104
A.5 Análisis granulométrico de la muestra de la milla 145.7.....	105
B ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS MUESTRAS DE BEJARANO – ECHEVERRÍA (1990)	106
B.1 Análisis granulométricos a las muestras de la sección N° 03 sector Guarguapo-Barrancas, (Bejarano, M. y Echeverría, D. 1990).....	107
B.2 Análisis granulométricos a las muestras de la sección N° 02 en el sector Guarguapo-Barrancas (Bejarano, M. y Echeverría, D. 1990).....	108
B.3. Análisis granulométricos a las muestras de la sección N° 01 en el sector Guarguapo-Barrancas (Bejarano, M. y Echeverría, D., 1990).....	109
B.4 Análisis de forma de las muestras.....	110
C GRÁFICO DE PENDIENTES HIDRÁULICAS DEL RÍO ORINOCO. TRAMO MATANZAS-CURIAPO.....	111
C.1 Grafico de pendientes hidráulicas del rio Orinoco (I.N.C ,1986).....	112

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la dinámica hidro-sedimentaria que se produce en un río siempre deberá ser objeto de intenso estudio, sobre todo si el río objeto de estudio es objeto de la intervención de actividades de carácter antrópico. En el caso específico del río Orinoco, en el tramo Boca Grande (milla 0.0) hasta Matanzas (milla 193), se cuentan hasta doce (12) sectores que son objeto de dragado de mantenimiento para lograr alcanzar las profundidades navegables requeridas por los buques que transitan a través del río padre.

Las operaciones de dragado de mantenimiento del río Orinoco son promovidas y controladas por el Estado Venezolano a costos muy elevados debido a que, para la fecha de elaboración de esta investigación, se contratan a empresas transnacionales los equipos de dragado (dragas autopropulsadas de succión y tolva) necesarios para efectuar el mantenimiento requerido. Cabe destacar que aun cuando el Estado contaba con equipos de dragado (draga Guayana y draga Río Orinoco), estos se encuentran en estado inoperativo (encalladas o parcialmente hundidas) en alguna inhóspita ribera del río Orinoco en la zona de Matanzas desde hace varios años motivado a la ausencia de inversión gubernamental en el mantenimiento correctivo de dichos equipos. Para el momento de elaboración del presente informe, el costo del metro cúbico de sedimento dragado a contratar, oscila aproximadamente entre 2.50 US\$ y 6.00 US\$ (dependiendo de las condiciones del entorno donde se dragará y de los equipos a utilizar); en vista de lo cual, es necesario agotar esfuerzos para optimizar tales operaciones, dadas las grandes cantidades de sedimentos ($8.000.000 \text{ m}^3$) que deben ser removidas del lecho del río Orinoco anualmente para mantener un mínimo de transitabilidad a través del que una vez fue un canal navegable y seguro.

Entre las características del entorno que es necesario considerar se encuentran las siguientes: textura de los sedimentos, características del cuerpo de agua (nivel, velocidad y dirección del flujo), climatología, entre otras; por ello se ha considerado establecer relaciones de carácter práctico entre los niveles del río y las formas que los sedimentos del río adoptan en el lecho y que de alguna manera pudiesen facilitar (lecho plano) u obstaculizar las operaciones de dragado de mantenimiento.

Este análisis permitirá obtener una información más detallada del sector Guarguapo en cuanto a la morfología del lecho y su relación con el nivel de las aguas en él.

Esta investigación se estructura en cinco (5) capítulos:

En el primer capítulo, se plantea la situación a investigar, se formulan los objetivos generales y específicos, y se expone la importancia, alcances y limitaciones de la investigación.

En el segundo capítulo, denominado Generalidades, se encuentran los rasgos generales del área de estudio, su ubicación geográfica, la geología regional, la climatología propia del sector Guarguapo, las características principales de la hidrografía del área de estudio y la naturaleza de los regímenes de corriente del río Orinoco.

El tercer capítulo, enunciado como el Marco teórico, muestra en primer lugar los antecedentes de estudio en la zona, las bases teóricas previas originadas por otros autores en las cuales se sustenta la investigación. Asimismo, se presentan las bases legales o el marco legal vigente que rige en la materia tratada en esta investigación y posteriormente se presentan las definiciones de términos básicos que permitirán aclarar

las posibles ambigüedades de algunos de los términos utilizados en la investigación y que de alguna manera permitirán enriquecer el contenido del documento.

El cuarto capítulo trata sobre la metodología de trabajo que se utiliza para el desarrollo de la investigación, y en este apartado se describen aspectos medulares tales como: el tipo de investigación, su diseño, la descripción de la población y de la muestra de la investigación, el flujograma de las actividades vinculadas a los objetivos específicos formulados y que permitirán desarrollar a cabalidad la totalidad de la investigación. También se presenta una memoria descriptiva concreta sobre el procedimiento que es necesario llevar a cabo para el logro de cada uno de los objetivos específicos formulados.

En el quinto capítulo, enunciado como el análisis e interpretación de los resultados, se presentan los productos arrojados por cada procedimiento llevado a cabo durante la investigación y más importante aún, se ofrece una interpretación de las cualidades y magnitudes obtenidas a la luz del estado del arte existente en cada aspecto tratado.

Por último, se muestran las conclusiones y recomendaciones, las cuales pretenden constituirse como los hallazgos más relevantes obtenidos durante la investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

Según estudios realizados, el río Orinoco es uno de los ríos más importantes del mundo, no tanto por su longitud y caudal (2.140 km y algo más de 30.000 m³/s), ni por la extensión de su cuenca (un millón de km²); ni siquiera por las peculiaridades que encierra, sino por su importancia histórica y económica y la significación que ha tenido para Venezuela, país en el que se extiende la mayor parte de su cuenca, con casi las dos terceras partes de la misma. Es probablemente el río más caudaloso del mundo con relación a su cuenca, transporta a lo largo de su cauce alrededor de 400 millones de metros cúbicos anuales (Tippetts, Abett, McCarthy, Stratton Engineers and Architects of New York – TAMS, 1970). Estos materiales provenientes de los alrededores de la cuenca son erosionados, transportados y depositados a largo del río atendiendo a las condiciones hidrodinámicas y geomorfológicas presentes las cuales varían en el tiempo (ciclo hidrológico anual) y en el espacio (alto, medio y bajo Orinoco).

Uno de los factores en el cual radica la importancia del río Orinoco es las condiciones idóneas para la navegación de buques de gran calado sirviendo de medio de transporte de materia prima de productos de exportación en pro de la economía del país. Sin embargo, el canal de navegación del río Orinoco es conocido como canales de tipo interior en los cuales el continuo proceso de sedimentación dificulta la permanencia de adecuadas profundidades que permitan el tránsito seguro de las embarcaciones. La infraestructura del canal de navegación tiene entre sus elementos más importantes, los taludes laterales, los cuales se ven afectados por el mencionado proceso de sedimentación.

Esta sedimentación de los taludes incide en la eficiencia de los procesos de dragado de mantenimiento para alcanzar las profundidades requeridas por los buques para lograr una navegación segura. La sedimentación tiende a incrementar el ángulo de inclinación de los taludes laterales del canal, lo cual disminuye su estabilidad, y aumenta las posibilidades de derrumbe de los mismos por acción de las corrientes y del peso de los materiales que constituyen dichos taludes. Desde la década de los años 60 hasta el año 2006 aproximadamente, El ente gubernamental encargado por Decreto Ley del desarrollo y mantenimiento de los canales de navegación de todo el país, incluyendo el canal del río Orinoco, es el Instituto Nacional de Canalizaciones. Sin embargo, en el caso específico del río Orinoco, el canal de navegación fue diseñado originalmente por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (*U.S. Army Corp of Engineers – USACE*) por solicitud de la empresa norteamericana Orinoco Mining Company quien poseía la concesión de explotación del mineral de hierro del Cerro Bolívar. Posteriormente, la explotación fue asumida por la empresa estatal CVG Ferrominera Orinoco, C.A. y el diseño del canal fue modificado por la empresa TAMS (1972) y el dragado de mantenimiento de los materiales sedimentados se efectuaba con la draga Icoa desde 1961 (dragadora autopropulsada de descarga lateral o *sidecasting*), actualmente desincorporada y vendida (Figura 1.1).

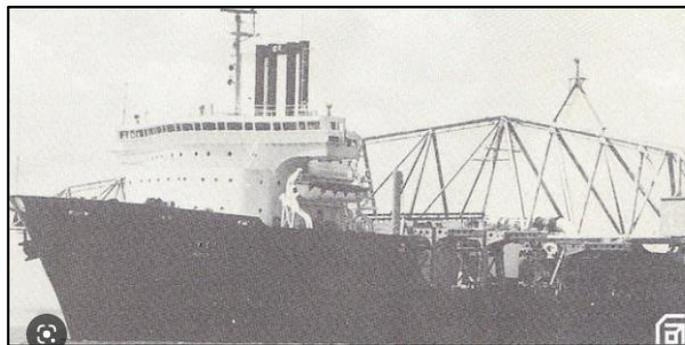


Figura 1.1 Imagen de la Dragadora Icoa.

Posteriormente, el estado venezolano adquirió en el año 1978 la draga Río Orinoco (autopropulsada de descarga lateral), y en el año 1992, la draga autopropulsada de tolva Guayana, estas dos (2) últimas embarcaciones fueron desincorporadas hace más de una década luego de inadecuados, incompletos e infructíferos procesos de mantenimientos efectuados por la empresa nacional (Diques y Astilleros Nacionales, C.A – DIANCA) y por una empresa estatal cubana. Esta falta de mantenimiento a ambas dragas condujo finalmente a su pérdida total y casi hundimiento definitivo en las aguas del fondeadero del sector San Félix en el río Orinoco donde estuvieron fondeadas durante más de una década sin ningún tipo de atención por parte del ente gubernamental (Figura 5.2).

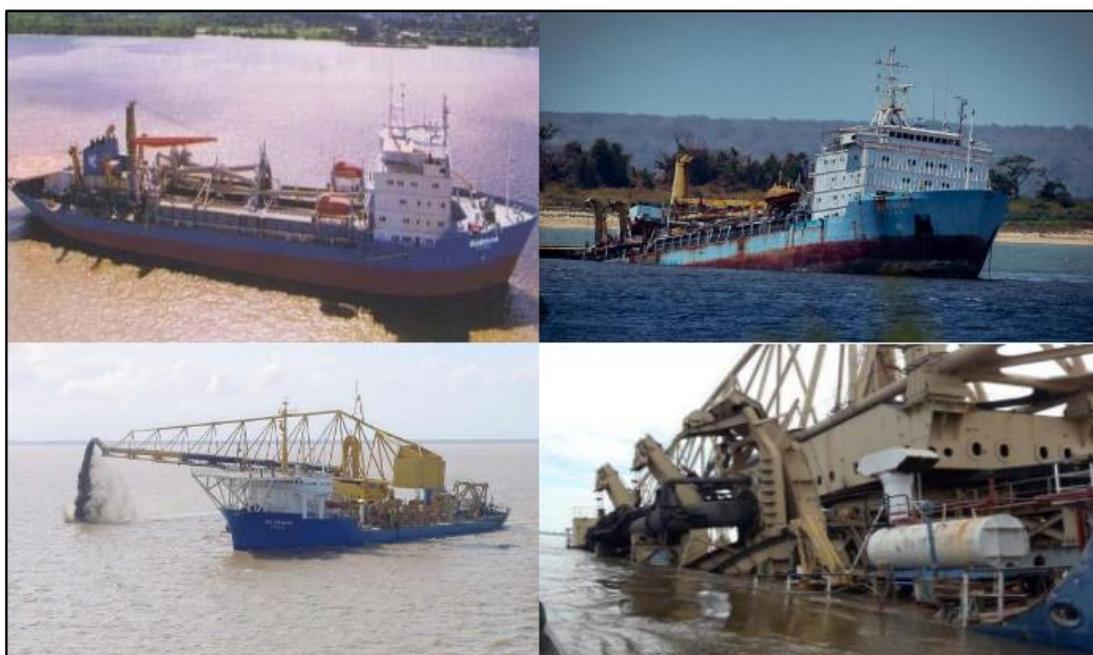


Figura 1.2 Imágenes de las Dragas Guayana (arriba) y de la Río Orinoco (abajo), en estado operativas en las fotos de la izquierda y semihundidas a la derecha.

Esta situación de falta de dragado de mantenimiento del canal de navegación del río Orinoco, trajo consigo un significativo deterioro de las condiciones de seguridad y navegabilidad del canal, e imponiendo la opción de realizar contrataciones de dragas

de empresas internacionales holandesas (Van Oord), chinas (China Harbors Engineering Co) y belgas (Vlinderen XVIII).



Figura 1.3 De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo están las Dragas Volvox Delta, Volvox Holanda, Vlinderen XVIII y Hang Jun 5001.

Es de destacar que la ejecución del dragado de mantenimiento del canal de navegación del río Orinoco mediante la modalidad de contratación de empresas internacionales se puede considerar que fue exitoso en cuanto a los resultados logrados, pero se debe acotar que debido a que el proceso de dragado de mantenimiento tiene una duración permanente (por cuanto los procesos de sedimentación del río también son continuos y permanentes), implica entonces que la opción de contratación del dragado de mantenimiento sea muy costosa considerando que deben extraerse, al año, aproximadamente unos 15 millones de metros cúbicos de sedimentos del lecho (8 millones en canal de navegación exterior o estuario del río Orinoco y unos 7 millones en el canal interior) a un costo que puede variar entre 2.5 US\$ y 5.0 US\$ según la modalidad de dragado y el sector específico que deba ser dragado.

Es evidente que el conocimiento cabal de los procesos hidro-sedimentarios revisten una importancia primaria para la optimización del uso de los recursos.

Por ello, es de vital importancia conocer el grado de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del sector Guarguapo que permita programar el dragado de mantenimiento de los mismos.

En vista de ello, se plantea como problemática de investigación la necesidad de conocer con mayor detalle todo lo referente a los procesos geomorfológicos e hidrodinámicos vinculados a la estabilidad de los taludes sumergidos, por lo cual cabe plantearse las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuáles son las características texturales y geotécnicas de los materiales que constituyen el lecho del cauce y taludes del río en el área de estudio?

¿Cómo es la variación de niveles de la superficie del agua en el sector Guarguapo del río Orinoco?

¿Cómo son las características temporales del flujo del río en función de los niveles del agua, de las velocidades y direcciones de corrientes y caudales del río Orinoco en el sector Guarguapo?

¿Cuáles son las características geomorfológicas del cauce del río Orinoco en el área de estudio?

¿Cuál es el grado de estabilidad de los taludes del canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Evaluar las condiciones de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo, estado Monagas, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar textural y geotécnicamente los materiales del cauce del río Orinoco en el sector Guarguapo.
2. Describir la variación de los niveles del río Orinoco en el sector Guarguapo del río Orinoco.
3. Caracterizar los parámetros hidráulicos del flujo del agua del río Orinoco en el sector Guarguapo.
4. Describir la geomorfología del cauce del río Orinoco con base al plano batimétrico y secciones transversales del sector Guarguapo.
5. Determinar el grado de estabilidad de los taludes del canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo de acuerdo al criterio de la fuerza tractiva.

1.3 Justificación de la investigación

Los taludes de algunos tramos del canal de navegación del río Orinoco han sido objeto de inestabilidad producto de la altura que adquieren dichos taludes y de los materiales que integran los mismos. En vista de ello, y considerando la importancia

estratégica que tiene para las actividades antrópicas productivas que se desarrollan en sus riberas y a la importancia estratégica que tiene el canal de navegación para el comercio de importación y exportación se ha considerado efectuar los estudios tendientes para determinar la estabilidad de los taludes del sector Guarguapo.

1.4 Alcance de la investigación

En esta investigación se plantea hacer una revisión de las características geotécnicas de los materiales presentes en el cauce del río Orinoco en el sector Guarguapo. Así mismo, se efectuará una descripción de las condiciones del flujo del agua en el sector en función a los niveles que alcanza la superficie del agua, de las magnitudes la velocidad y direcciones de la corriente y el caudal del río. Asimismo, se describirá geomorfológicamente el cauce del río frente al área de estudio con base a la información batimétrica del río en el sector. Posteriormente, se realizará la determinación de las condiciones de estabilidad de los taludes en el citado sector.

1.5 Limitaciones de la investigación

Durante la formulación de la presente investigación no se han detectado obstáculos o inconvenientes que pudiesen de alguna manera interferir con el logro de los objetivos planteados. Sin embargo, es de hacer notar que para la caracterización textural de los materiales de la zona de estudio se utilizarán muestras de sedimentos tomadas por el personal de hidrografía del INC que opera a bordo de la draga autopropulsada. Asimismo, se utilizarán los resultados de las caracterizaciones texturales de los muestreos de sedimentos realizados en anteriores investigaciones precedentes sobre el sector Guarguapo.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio

El área de estudio comprende el sector Guarguapo específicamente desde la milla 146 hasta la milla 150 del canal de navegación de río Orinoco (Figura 2.1).



Figura 2.1 Ubicación relativa de los sectores Guarguapo y Barrancas del río Orinoco.

Tabla 2.1 Coordenadas geográficas limítrofes del área de estudio.

	Norte	Este
Límite norte	08° 40' 04"	
Límite sur	08° 34' 34"	
Límite este		62° 11' 04"
Límite oeste		62° 15' 50"

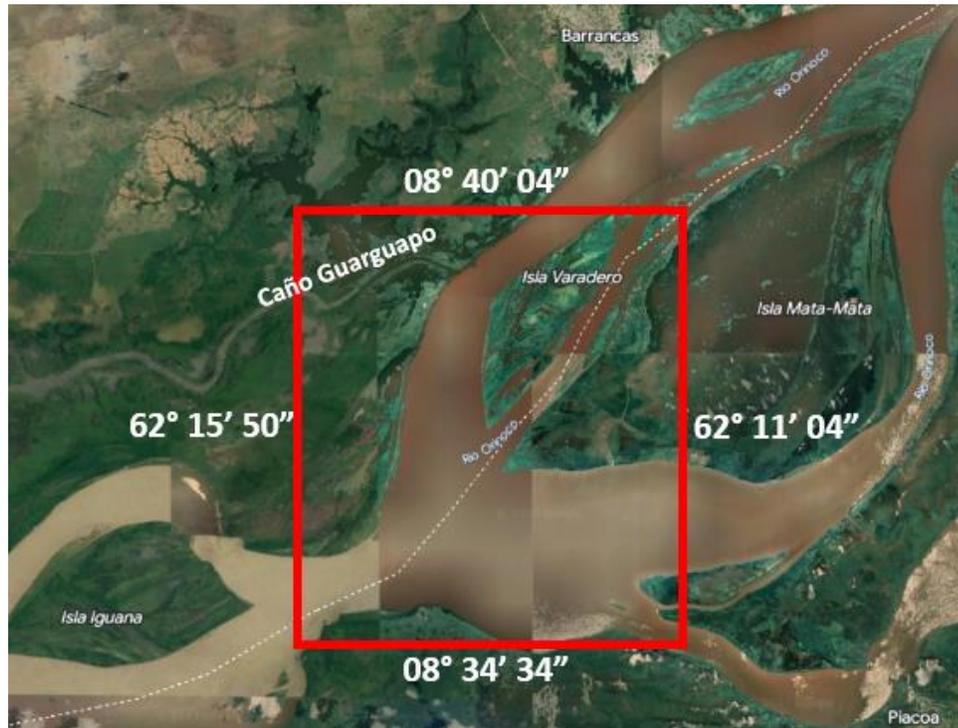


Figura 2.2 Ubicación del área de estudio.

2.2 Acceso al área de estudio

En el sector Guarguapo el acceso se logra por vía fluvial, por medio de embarcaciones públicas o de empresas privadas que pueden ser abordadas en los puertos de San Félix, una vez abordada la embarcación se deberá navegar aproximadamente durante dos (2) horas en dirección río abajo (hacia el este). La alternativa es desplazarse por vía terrestre hasta la población de Barrancas del Orinoco y luego desde el puerto de esta población, que se encuentra adyacente el área de estudio, navegar río arriba dos (2) millas náuticas.

La principal vía de acceso a la zona es a través de la carretera asfaltada. Iniciando en Ciudad Bolívar, en dirección este hacia Puerto Ordaz por la troncal 19, se continúa el recorrido en dirección norte atravesando el puente Orinoquia y luego tomando la

carretera en dirección este, hacia la población de Tucupita; posteriormente, tomando desvío hacia el sur hasta la población de Barrancas del Orinoco y finalmente, navegando dos (2) millas río arriba hasta el sector Guarguapo. (Figura 2.2).



Figura 2.3 Vía de acceso a la zona de estudio en imagen satelital Landsat (Google Earth, 2023).

2.3 Características Climatológicas

Este sector de la cuenca del río Orinoco está dominado por un clima tropical seco, la temperatura permanece prácticamente inalterable a lo largo de este sector del canal de navegación y se ubica en el orden de los 27° aproximadamente.

Es una zona de precipitación media que tiene una variación lineal en forma descendente entre 2700 mm a 950 mm. La evaporación media anual, y por consiguiente la evapotranspiración, presenta valores un poco variables que van desde 2700 mm a 1750 mm a lo largo de todo el tramo, con valores que están entre los 2025 mm a 1313 mm, respectivamente.

Esto se produce a la presencia de los meses de sequía presentes en todo el territorio nacional y por ende en la cuenca de todo canal de navegación (Tabla 2.1)

Tabla 2.2 Características climatológicas del sector Guarguapo
(Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994).

Bioclima	Bosque Seco Tropical
Temperatura Media Anual (°C)	27.6
Precipitaciones Media Anual (mm)	2700 a 950
Evaporación Media Anual(mm)	2700 a 1750
Evapotranspiración (mm)	2025 a 1313
Meses Secos	5 -12 a 4-5
Meses Húmedos	0-7 a 7-8

2.4 Características bióticas

2.4.1 Vegetación

El área de estudio se caracteriza por poseer bosques de galería medios semi-densos, para zonas de límites muy definidos a partir de los bosques del río. De alguna forma esta vegetación ha ido desapareciendo con el tiempo, casi en su totalidad para abrir camino a diversas actividades agropecuarias del sector y así como también a los asentamientos sub-urbanos y rurales (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994). El resto está ocupado por herbazales anegadizos, las cuales se presentan como comunidades que se caracterizan por la ausencia total de especies leñosas. Ocupan zonas que están sujetas a inundaciones periódicas de gran intensidad y duración tales como bancos, áreas depresionales de islas y otros sitios de rebalse.

2.4.2 Fauna

La fauna silvestre del estado Bolívar, alberga una gran variedad de especies que son características de los territorios del sur del río Orinoco, llegándose a reportar hasta 212 especies de mamíferos pertenecientes a 31 familias.

En la actualidad existen (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994) varias especies que se encuentran en peligro de extinción, dentro de las cuales tenemos: el perro de

agua (*pteronurabrasiliensis*) y el manatí (*trichechus manatus*), también se encuentra amenazada de extinción: la tortuga arrau (*podocnemisexpansa*) y el conocido caimán del Orinoco (*crocodylusintermedius*).

Esta zona posee una gran biodiversidad de aves, las cuales oscilan aproximadamente entre 1.108 especies, de este total de aves sólo 41 representan una vital importancia en los aspectos económicos cinegético (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994). De igual manera se reportan 133 especies de reptiles repartidas en 18 familias.

2.4.3 Ictiofauna

El río Orinoco, en comparación con otros ríos latinoamericanos, presenta un ciclo hidrológico bien marcado que de una forma periódica introduce cambios en el ecosistema, generando variaciones en todos los componentes internos, tanto en la flora como en la fauna, debiéndose producir, por parte de éstos comportamientos adaptativos que de alguna manera le garanticen la sobrevivencia (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994).

La ictiofauna del río Orinoco se estima alrededor de 500 especies de peces la mayoría de ellas realizan movimientos migratorios para diversos fines, tales como reproducción dispersión o alimentación

2.5 Geología Regional

El sector Guarguapo se encuentra limitada geológicamente hacia el Norte por la Formación Mesa del pleistoceno y depósitos aluvionales del Orinoco venezolano, y hacia el Sur por las rocas del Precámbrico Inferior del Complejo de Imataca.

En base a características petrológicas y tectónicas, el escudo de Guayana ha sido dividido en cuatro provincias como son: Imataca, perteneciente al denominado cinturón granulítico, Pastora a los cinturones de rocas verdes, Cuchivero se caracteriza por grandes extensiones de granitos (1800 +/- 200 m.a) y granitos post- tectónicos (1500 m.a). La provincia de Roraima es una cobertura discordante sobre rocas pertenecientes a las provincias de Pastora o Cuchivero (González de Juana, 1980) (Figura 2.3).

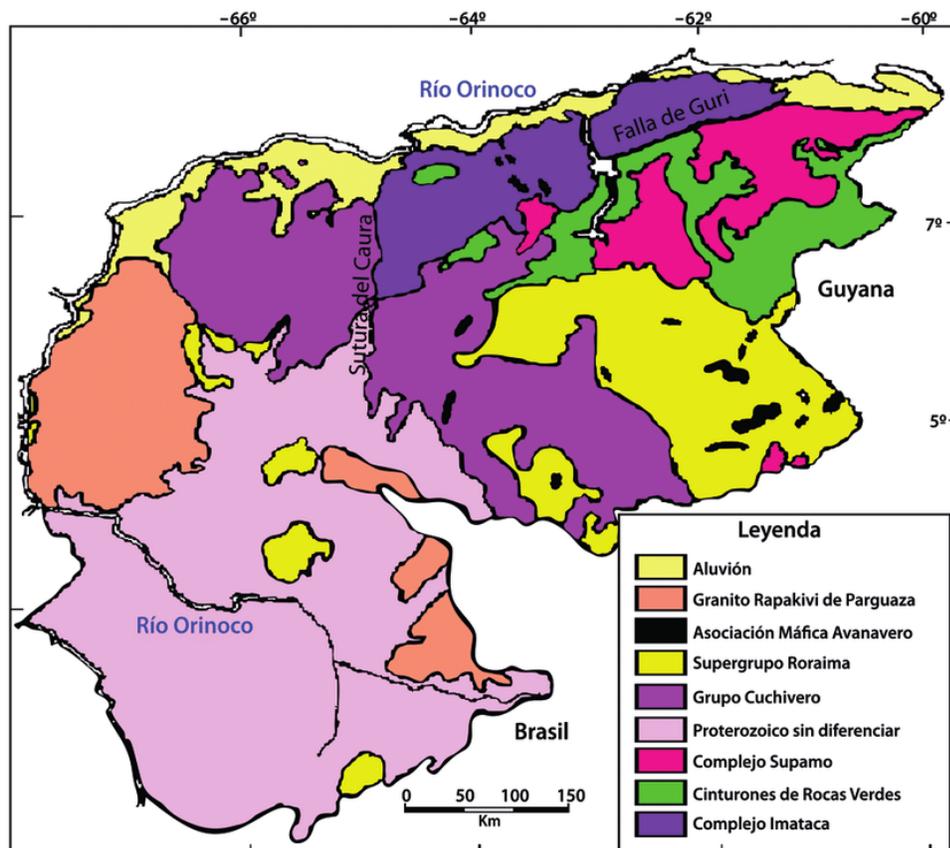


Figura 2.4 Provincias geológicas de Guayana (Mendoza, 2000).

2.5.1 Complejo de Imataca

La Provincia de Imataca se encuentra ubicada al Norte de la Guayana venezolana, se extiende a lo largo del río Orinoco como una franja paralela a su rivera, posee una longitud aproximada de 500 km y una anchura variable de 65 a 130 km (González de Juana *et al*, 1980)

Su ubicación es aproximadamente desde el Oeste del río Caura, hasta el Este, donde finaliza con los sedimentos Deltaicos del estado Delta Amacuro, y al sur donde finaliza con las fallas de Santa Bárbara, Guri y el Pao.

El complejo de Imataca es una unidad rocosa, perteneciente al Precámbrico conformada principalmente por gnéises graníticos, gneises anfibolíticos, migmatitas, charnocquitas y en menor proporción cuarcitas ferruginosas. El grado metamórfico es alto (Estudio geo-tecnológico de Ciudad Guayana. C.V.G, 1977 en Mendoza, V. 2000).

Las rocas del Complejo de Imataca se localizan en la parte norte del estado Bolívar, formando un cinturón en sentido Noreste-Suroeste de unos 510 Km de longitud, bordeando el río Orinoco hasta penetrar el estado Amazonas (González de Juana 1980).

Dado que el suelo residual proveniente de rocas graníticas incrementa su espesor en área que se hallan preservadas de la erosión, es de esperarse que los mayores espesores de suelo residual se encuentren en las depresiones o siguiendo las fracturas de las rocas, en tanto que los menores espesores se encontraran en la cumbre de las elevaciones, en los terrenos de pendiente pronunciadas o en áreas contiguas a los cursos de agua (Estudio Geotecnológico de Guayana C.V.G, 1977 en Vicente Mendoza, 2000).

2.5.2 Formación Mesa

Según González de Juana (1980), se le asigna este término para definir la Formación que cubre las extensas mesas fisiográficamente características en la parte oriental en la Cuenca Oriental de Venezuela. La Formación Mesa se extiende geográficamente por los llanos orientales, desde el pie de monte de la cordillera de la Costa hasta unos pocos kilómetros, al Sur del río Orinoco en las cuencas bajas de los ríos Aro, Caroní y Yocoima donde se localizan las poblaciones de Puerto Ordaz y San Félix, abarcando los estados de los Llanos Orientales de Guárico, Anzoátegui, Monagas y Sucre.

Al Norte del área de estudio, en la margen derecha del río Orinoco y especialmente entre los ríos Caroní y Orinoco, aflora una secuencia de capas de edad Pleistoceno asignada a la Formación Mesa la cual está formada por sedimentos de origen fluvial y palustre (Léxico Estratigráfico 1971).

Basándose en estudios realizados tanto en observaciones superficiales como en perforaciones la Formación Mesa sufre una gradación de más gruesos a más finos al alojarse en las cadenas montañosas del norte hacia el sur, y una gradación contraria, es decir, de más fino a más gruesos, desde la región central de Monagas, también hacia el sur al acercarse al Macizo de Guayana (Estudio Geo-tecnológico de Guayana C.V.G. 1977 en Mendoza, V. 2000).

2.5.3 Depósitos aluviales

Son depósitos constituidos por limos, arcillas y arenas muy micáceas depositados por el río, Estos materiales son provenientes de la meteorización de las rocas del Complejo de Imataca y de la Formación Mesa, las cuales fueron arrastradas y depositadas por las aguas de escorrentía y por los vientos a partir del Holoceno hasta

el presente, constituyendo las planicies aluvionales y el área de inundación periódica del Orinoco (González de Juana, et al 1980)

Están localizados en Monagas y en el Delta del río, donde van a concentrarse después de su recorrido.

2.6 Geología del área

El sector en estudio se encuentra limitado al Sur, por las rocas del Precámbrico Inferior del Complejo de Imataca y hacia el Norte por la Formación Mesa del Pleistoceno y Depósitos Aluvionales Recientes del Oriente Venezolano (Monagas); la geología de la parte Sur se caracteriza por presentar el flanco donde corre el mayor número de tributarios del Orinoco y también sus distribuidores principales. (Echeverría y Medina, 1992)

Litológicamente el sector Guarguapo está constituido por sedimentos de río provenientes principalmente del Complejo de Imataca los cuales son depositados en el lecho durante los procesos de erosión, sedimentación y transporte que anualmente realiza el río como parte de los cuatro ciclos que cumple. (Echeverría y Medina, 1992)

La litología está conformada por rocas clásticas no consolidadas (aluviones) con una permeabilidad variablemente alta y con una fecha aproximada de origen las cuales fueron formadas por material muy reciente, con alto contenido de mica En cuanto a su sismicidad, el área en estudio presenta peligro sísmico medio con posibles deformaciones de la superficie terrestre. (Echeverría y Medina, 1992).

2.7 Río Orinoco

Entre los ríos más caudalosos del mundo, el Orinoco ocupa el tercer lugar, después del Amazonas y del Zaire (Folleto N° 15 del Museo de Ciencias de Venezuela, 2001). Es también el tercer río más largo de Sudamérica y el número veinte en todo el planeta. Para Venezuela, el Orinoco constituye la principal reserva hídrica. La historia y el significado de este gigante de agua que comienza a formarse en las espesas selvas de la Sierra de Parima, en el estado Amazonas, y que cruza de este a Oeste el escudo guayanés para luego, en un cerrado giro, atravesar el país en sentido contrario, recibiendo el tributo de 31 afluentes principales, ríos, riachuelos y quebradas. De éstos, los más importantes son 194. 95 por la margen derecha y 99 por la margen izquierda. Tiene una longitud de 2.140 Km y su cuenca cubre 1.015.000 Km².

El recorrido del río, se puede dividir en tres (3) partes (I.N.C, S. F):

Bajo Orinoco, desde el Atlántico hasta la boca del río Apure, 880 Km. En esta parte, encontramos condiciones adecuadas para una buena navegación fluvial que, por un trecho de 360 Km, es también marítima.

Orinoco Medio, de unos 550 Km. Entre la boca del Apure y San Fernando de Atabapo. En este tramo están ubicados los raudales de Atures y Maipures y las condiciones de navegación son más difíciles, por la reducción del caudal de agua, el incremento de las pendientes del lecho del río y el hecho de que en el cauce aparecen más obstáculos.

Alto Orinoco, de unos 710 Km, desde San Fernando de Atabapo hasta sus fuentes. En este tramo la navegación es todavía más difícil y en los últimos 250 Km es prácticamente imposible. Todas las distancias que se mencionan en este contenido se

miden desde un punto considerando como Km 0, situado en el océano Atlántico, en la curva de profundidad 13m.

2.7.1 Canal de navegación del río Orinoco

La vía de navegación del Río Orinoco es un canal construido al profundizar el lecho natural existente en esa área. El canal de navegación del Río Orinoco está conformado por dos tramos, el Canal Exterior comprendido entre las millas 0 y 42, y el Canal Interior comprendido entre las millas 42 y 194.

El Canal Exterior o sector Boca Grande presenta su variación de nivel de agua por efecto de las mareas y su sedimentación se produce durante todo el año; el dragado de mantenimiento en este tramo se ejecuta durante los períodos de aguas medias ascendentes y aguas altas del ciclo hidrológico del río (abril-agosto), lapso en el cual las condiciones meteorológicas en el sector son más propicias para efectuar las operaciones de dragado, siendo la meta de calado, de acuerdo al diseño para este período, de 42.0 pies.

En el Canal Interior, el nivel del agua varía de acuerdo al ciclo hidrológico del río Orinoco, y su mayor sedimentación tiene efecto durante el período de aguas medias descendentes (septiembre-diciembre); siendo la meta de calado para el período de aguas bajas (enero-marzo) 32.0 pies mínimo.

Cabe destacar que para el momento de elaboración de esta investigación los calados autorizados por la Capitanía de Puerto de Ciudad Guayana se encuentran bastante por debajo de las metas de diseño, debido a la falta de dragado de mantenimiento en ambos canales (exterior e interior).

En términos generales se puede afirmar que la sección transversal se podría esquematizar como se muestra en la figura 2.5

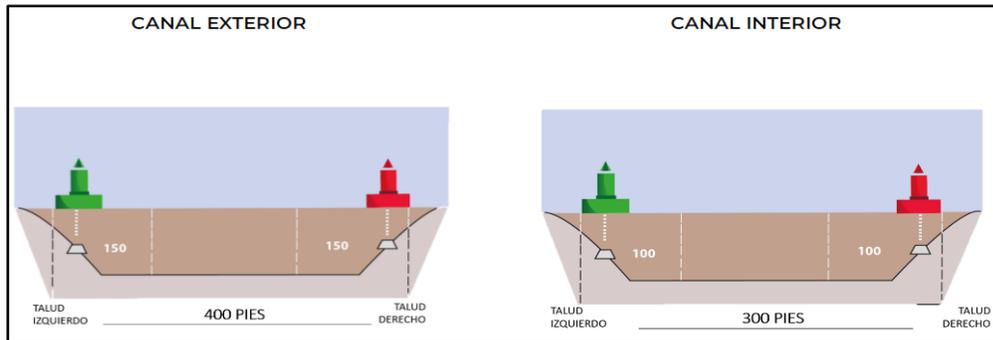


Figura 2.6 Ancho de la sección transversal de los canales de navegación del río Orinoco (INC, 2023).

El canal de navegación en el sector Guarguapo dispone de un sistema de señalización adaptado a las normas de la (IALA).

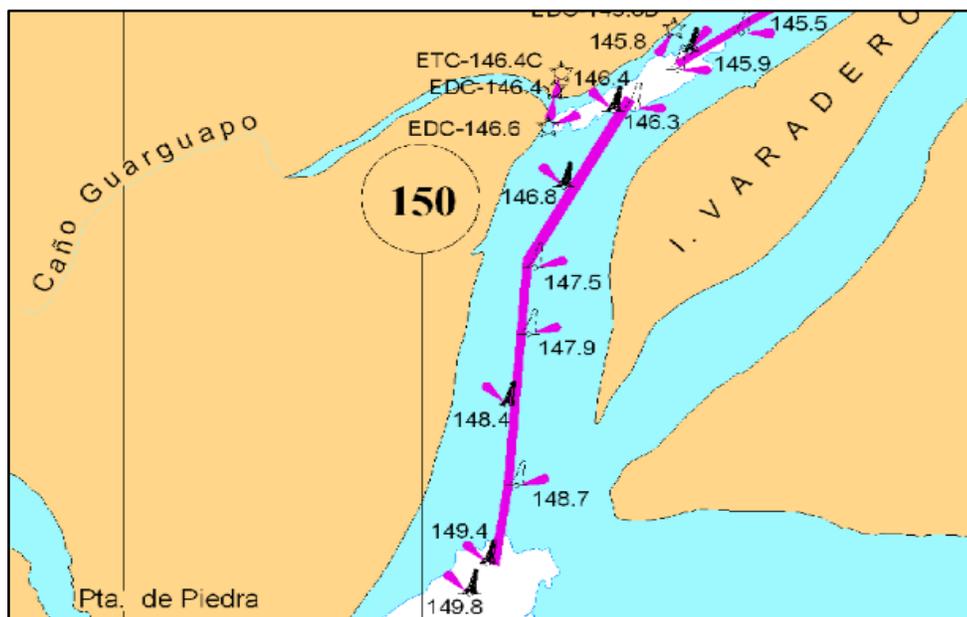


Figura 2.7 Alineamiento y balizamiento (boyas y enfilaciones) del canal de navegación en el sector Guarguapo del río Orinoco (INC, 2023).

En la tabla siguiente se presenta un resumen general de las características generales del canal de navegación del río Orinoco en su tramo Matanzas – Boca Grande:

Tabla 2.3 Características del canal de navegación del río Orinoco (INC, 2023).

Canal	Tramo	Sector					Longitud del Tramo o Canal	Ancho Sección Transversal	Boyas Límites Sector		
		Nombre del Sector	Progresiva (millas)	Ubicación Relativa - Coordenadas Geográficas en UTM		Longitud del Sector			Inicio	Final	
EXTERIOR (77,8 KM)	Matanzas - Boca Grande	Boca Grande	0 - 42	0 - 42	988.262,57 N	809.074,09 E	77,8 km	77,8 km	122 m	0	41.7A
		Nolina	42 - 545	42 - 52	985.768,57 N	748.801,99 E	18,5 km	283,4 km	100 - 183 m	43.7A	50.0
		Curiapo		52 - 62	952.153,31 N	732.334,78 E	18,5 km			52.1	61.8
		Imataca		62 - 74	944.888,24 N	718.858,34 E	22,2 km			63.1	73.8
		Remolino		74 - 86	939.452,18 N	700.343,37 E	22,2 km			74.2	85.7
		Paloma		86 - 98	938.357,09 N	680.780,42 E	22,2 km			87.3	97.9
		Guasina		98 - 107	943.545,14 N	664.702,54 E	16,7 km			98.3	106.6
		Sacupana		107 - 112	948.548,95 N	648.518,43 E	9,3 km			108.0	111.5
		Portuguesa		112 - 120	952.059,01 N	638.113,61 E	14,8 km			114.0	118.7
		Aragualto		120 - 133	951.031,16 N	625.906,65 E	24,1 km			120.9	132.9B
		Ya - Ya		133 - 140	957.889,23 N	604.931,89 E	13,0 km			133.5	139.1
		Barrancas		140 - 146	962.564,57 N	594.197,38 E	11,1 km			140.1	145.9
		Guarguapo		146 - 150	956.535,52 N	585.355,40 E	7,4 km			146.3	149.8
INTERIOR (931,6 KM)	Matanzas - Boca Grande	Los Castillos	150 - 165	948.852,82 N	581.949,73 E	27,8 km	150.9	164.8			
		Aramaya	165 - 178	941.109,41 N	555.885,48 E	24,1 km	166.1	178.0A			
		San Félix	0178.1 - 0180.5	927.942,35 N	539.352,57 E	4,4 km	0178.1	0180.0			
		Palua	180 - 182	924.992,02 N	536.111,67 E	3,7 km	P180.3	O182.0			
		Puerto Ordaz	182 - 184	923.849,32 N	531.935,57 E	3,7 km	O182.6	O183.8A			
		El Fraile	174 - 184	927355,99 N	536.314,99 E	18,5 km	179.6	183.9			
		Amana	184 - 188	928.457,27 N	527.967,57 E	7,4 km	184.1	187.8			
		Palo Solo	188 - 192	925.390,24 N	522.559,58 E	7,4 km	188.9	190.9			
		Matanzas	192 - 195	917.527,99 N	518.750,99 E	5,6 km	193.7	194.4			

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes o estudios previos

Citaremos trabajos previos e información bibliográfica relacionada con el sector en estudio, como, por ejemplo:

Echeverría y Medina, (1992), desarrollaron para el Instituto Nacional de Canalizaciones, la investigación titulada “EVALUACIÓN DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVA EN LOS SECTORES ARAMAYA, LOS CASTILLOS, GUARGUAPO Y BARRANCAS DEL RÍO ORINOCO, ESTADOS BOLÍVAR Y MONAGAS, VENEZUELA.”, cuyo objetivo general, tal como menciona el título consistía en la evaluación volumétrica de la capacidad de las áreas de descarga para dragas de tolva durante sus operaciones en el río Orinoco en los sectores mencionados. En esa investigación se realiza una descripción pormenorizada de las características geomorfológicas de los sectores citados, lo cual es de valiosa importancia en la presente investigación.

Bermúdez y Echeverría, (1995), realizaron en la Gerencia canal del Orinoco del Instituto Nacional de Canalizaciones un estudio titulado “ANÁLISIS DE LAS TASAS DE SEDIMENTACIÓN DE LOS SECTORES SAN FÉLIX, ARAMAYA, LOS CASTILLOS, GUARGUAPO Y BARRANCAS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO, ESTADOS BOLÍVAR Y MONAGAS, VENEZUELA.”, el objetivo principal de esa investigación era el de cuantificar el tiempo de sedimentación de los sectores mencionados, en términos del volumen de sedimentos que pueden ser depositados o erosionados por el río Orinoco dependiendo de la época del año en que se desee realizar la evaluación. Esta investigación permitirá conocer con mayor detalle

cuando se producen los procesos de erosión o depositación de sedimentos en el río Orinoco; es decir, ofrecer un mejor conocimiento sobre el movimiento de los sedimentos en el río Orinoco.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Canales abiertos

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua, fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial. En los canales naturales influyen todos los tipos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes en las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelvan manejables mediante tratamiento analítico de la hidráulica teórica.

Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras etc., así como canales de modelos de laboratorio con propósitos experimentales; las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales

artificiales producirán, por tanto, resultados bastantes similares a las condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseños (Chow, 1994).

3.2.2 Tipos de flujo en canales

3.2.2.1 Flujo permanente.

Un flujo permanente es aquel en el que las propiedades fluidas, son constantes en el tiempo, a pesar de que las mismas no lo sean en el espacio. Las características de este tipo de flujo se pueden describir como: Velocidad (V), Caudal (Q), y Calado (h), estas son independientes del tiempo, pero podrían variar a lo largo del canal (Chow, 1994).

3.2.2.2 Flujo transitorio o no permanente.

Es el que presenta cambios en sus características al paso del tiempo, para estudiar el comportamiento del canal (Chow, 1994).

3.2.2.3 Flujo uniforme.

Este es el que se da en un canal recto, cuya sección es de pendiente constante, y se encuentra a una distancia considerable de los puntos en que se realizan las mudanzas de sección transversal, puede ser de forma, de rugosidad, cambio de la pendiente o en una variación del caudal (Chow, 1994).

3.2.2.4 Flujo gradualmente variado.

Es cuando la profundidad de flujo cambia a través de la longitud del canal.

Este puede ser permanente o no permanente. Se clasifica en rápidamente variado o gradualmente variado, dependiendo de la profundidad del agua (Chow, 1994).

3.2.2.5 Flujo sub-crítico o flujo lento.

Es el nivel efectivo del agua en una determinada sección (Chow, 1994).

3.2.2.6 Flujo crítico.

Cuando la velocidad es igual que la raíz cuadrada de la gravedad por la profundidad (Chow, 1994).

3.2.2.7 Flujo supercrítico.

En el caso de flujo supercrítico, también denominado flujo veloz, el nivel del agua efectivo en una sección determinada está condicionado a la condición de contorno situada aguas arriba (Chow, 1994).

3.2.3 Estados del flujo

El estado o comportamiento del flujo en un canal abierto es gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad relativa a las fuerzas de inercia del flujo (Chow, 1994).

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

El flujo es laminar si las fuerzas viscosas son tan fuertes comparadas con las fuerzas de inercia, que la viscosidad juega un papel importante para determinar el

comportamiento del flujo. En flujo laminar, las partículas del fluido parecen moverse en recorridos calmados definidos, o líneas de corriente, y las capas infinitesimalmente delgadas del fluido parecen deslizarse sobre las capas adyacentes.

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

Entre los estados laminar y turbulento de la corriente, hay un estado mixto o estado de transición. El efecto de viscosidad relativo al de inercia puede representarse por el número de Reynolds. En la mayor parte de los canales abiertos el flujo laminar ocurre muy raramente. En efecto, el hecho de que la superficie de una corriente parezca lisa y tersa para un observador no es en ningún modo una indicación de que el flujo sea laminar; más probablemente, ello indica que la velocidad de la superficie es más baja que la requerida para que se formen ondas capilares.

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

Si el Número de Froude es mayor a la unidad ($F > 1$), el flujo se denomina supercrítico.

Si el Número de Froude es menor a la unidad ($F < 1$), el flujo se denomina subcrítico.

Si el Número de Froude es igual a la unidad ($F = 1$), el flujo se denomina crítico (Chow, 1994).

3.2.4 Distribución de velocidades en canales

Debido a la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales normales a menudo ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0,05 a 0,25 de la profundidad, cuanto más cerca de las bancas, más profundo se encuentra este máximo. En una corriente ancha, rápida, y poco profunda o en un canal muy liso, la velocidad máxima por lo general se encuentra en la superficie libre.

La rugosidad del canal causa un incremento en la curvatura de la distribución vertical de velocidades. El viento en la superficie tiene muy poco efecto en la distribución de velocidades. En canales abiertos anchos, la distribución de velocidades en la región central de la sección es en esencia la misma que existiría en un canal rectangular de ancho infinito, los lados del canal no tienen prácticamente ninguna influencia en la distribución de velocidades en la región central. Un canal abierto ancho es similar a un canal rectangular cuyo ancho es mayor que diez veces la profundidad del flujo.

La distribución de velocidades en una sección de canal depende también de otros factores, entre ellos la forma inusual de la sección, la presencia de curvas a lo largo del canal, etc. En una curva, la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo (Chow, 1994).

3.2.5 Geometría de canal

El termino sección de canal se refiere a la sección transversal de un canal tomado en forma perpendicular a la dirección del flujo. Una sección vertical de canal, sin

embargo, es la sección vertical que pasa a través del punto más bajo de la sección de canal. Para canales horizontales, por consiguiente, la sección del canal es siempre una sección vertical de canal.

Las secciones de canales naturales son, por lo general, muy irregulares, y a menudo varían desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio. Para corrientes sujetas a crecientes frecuentes, el canal puede constar de una sección principal del canal que conduce los caudales normales y una o más secciones laterales de canal para acomodar los caudales de desborde.

Los canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares (Chow, 1994).

3.2.6 Degradación del cauce

Los materiales se degradan en diferentes tiempos: suelos granulares sueltos se erosionan rápidamente mientras que los suelos arcillosos son más resistentes a la erosión. Sin embargo, la degradación final de suelos cohesivos o cementados puede ser tan profunda como la de suelos arenosos, variando el tiempo en el cual se produce. Por ejemplo, bajo condiciones de flujo constante, la degradación máxima se alcanza en horas para suelos arenosos, en tanto que puede tardar días en suelos cohesivos, meses en depósitos glaciales, piedras areniscas y pizarras, años en piedra caliza y siglos en rocas tipo granito. Es posible que varias crecientes se requieran para que se produzcan las máximas pérdidas de material, especialmente en suelos cohesivos (García, M y Maza J., 1998).

La interacción entre el flujo y el material granular aluvial ha sido más ampliamente estudiada debido a que es el caso más frecuente asociado con problemas en la hidráulica de ríos.

Los sedimentos tienen su origen en el lecho, en las laderas del río y en la cuenca hidrográfica.

Una corriente puede transportar material de tres maneras: 1) en solución, 2) en suspensión 3) por carga de fondo y 4) por flotación.

Debido al proceso de transporte, el sedimento presente en una determinada sección del canal, en un momento dado, ha experimentado cambios en cuanto a su forma, tamaño y distribución de tamaños; esos cambios se deben principalmente a los fenómenos de abrasión y al de selección hidráulica.

1. Abrasión: es la reducción en tamaño de las partículas de sedimento por acción mecánica, tal como impacto, deslizamiento, frotación (fricción), rotación, salto, suspensión intermitente o continua (dependiendo de la intensidad del flujo).
2. Selección o clasificación hidráulica: consiste en el agrupamiento, por la acción del flujo, de las partículas de sedimento que responden al flujo en una manera similar; al mismo tiempo, en la separación de aquellas partículas que responden al flujo en una forma diferente.

Partículas entre 1 y 10 mm tienden a moverse por rotación sobre los granos más abundantes (arenas) y pueden ser transportadas rápidamente ($1 \text{ mm} < D < 10 \text{ mm}$). Arenas de tamaño grueso a fino ($0.0625 \text{ mm} < D < 1 \text{ mm}$) se mueven por tracción y suspensión intermitente con depositación temporal en dunas y barras puntuales. Limos y arcillas ($D < 0.0625 \text{ mm}$) se mueven principalmente en suspensión continua (como carga de lavado) y pueden ser transportados rápidamente hasta la salida de la cuenca o pueden ser rápidamente depositados en las llanuras de inundación.

3.2.7 Hidrología fluvial

En los sistemas o medios fluviales existe un conjunto de canales de drenaje organizado de manera coherente y convergente llamados cuencas hidrográficas, las cuales se entrelazan por una red de cauces o canales que convergen con respuesta hidrológica hacia el mar, como punto geográfico del sistema y muchas veces formando un sistema ramificado dendrítico. Todo el sistema ramificado de drenaje convergerá en un solo canal principal activo, el cual tendrá una respuesta hidrológica al llegar al océano, descargando en la boca de desembocadura, el volumen del agua y la carga de sedimentos no depositados en la cuenca hidrológica, lo cuales han viajado por saltación o suspensión (Miall, A., 1981).

El volumen de material transportado, sometido a cualquiera de los mecanismos de transporte pero siempre en contacto con el fondo del río, es que se llama carga de fondo donde una corriente de agua fluyendo sobre una capa de arena, limo y arcilla puede transportar partículas por dos vías: tal como la carga o peso de sedimentos. El material es rodado y movido a lo largo de la parte más baja; o la carga suspendida, donde el volumen del material restante, el cual está constituido por las partículas finas que son transportadas sin tener contacto con el fondo del canal (en suspensión) y se le denomina carga en suspensión (Figura 3.1). Estos dos parámetros son los que definen la configuración geométrica del canal y el tipo de depósito allí presente (Hjulstrom, F., 1935).

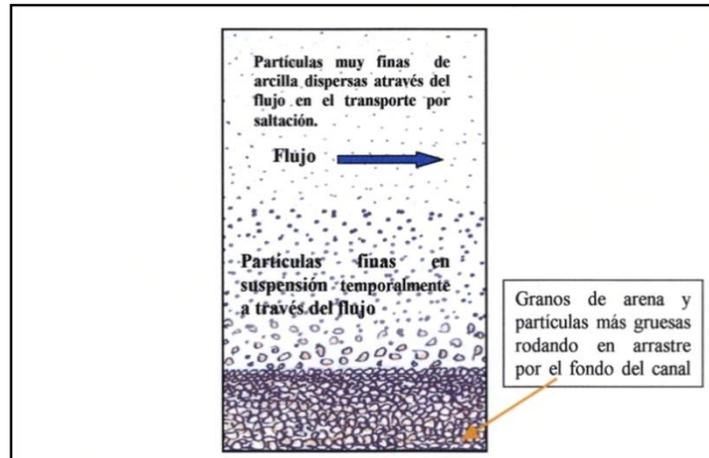


Figura 3.1 Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte (Hjulstrom, F., 1935).

3.2.8 Análisis granulométrico por el método del tamizado

El análisis de granulometría se utilizó para determinar la variación del tamaño de los granos de los sedimentos.

Los resultados del mismo servirán para determinar la competencia y eficiencia del agente de transporte, así como también en caso de ser este último el agua, la mayor o menor proximidad de la roca generadora (Pettijohn F, 1970).

En el análisis de granulometría consiste en separar y clasificar a través de un juego de tamices, para lograr separar en forma cuantitativa las proporciones en peso de las partículas de diferentes tamaños que existen en cada muestra.

La tabla de clasificación según el tamaño de las partículas de Wentworth (Tabla 3.1), es la más comúnmente usada para el análisis de sedimentos (Pettijohn, 1949).

Tabla 3.1 Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth(Pettijohn, 1949).

	CLASTO	SEDIMENTO	mm	SEDIMENTITA ó ROCA SEDIMENTARIA	
PSEFITA	Bloque	Aglomerado	Aglomerado (Grava de bloques)	Aglomerado (Conglomerado de bloques)	
	Guijón	Grava	Gruesa	Grueso	
	Guijarro		Mediana	Mediano	
	Guija		Fina	Fino	
PSAMITA	Grano	Arena	Muy gruesa	Muy gruesa	
			Gruesa	Gruesa	
			Mediana	Mediana	
			Fina	Fina	
			Muy fina	Muy fina	
PELITA	Partícula	Limo	Grueso	Grueso	
			Mediano	Mediano	
			Fino	Fino	
		Arcilla	Gruesa	Gruesa	
			Mediana	Mediana	
			Fina	Fina	
				Muy fina	Muy fina

3.2.9 Forma, redondez y esfericidad

3.2.9.1 Forma

Se define de acuerdo a las características geométricas o la relación entre los ejes de un clasto.

Se realiza definiendo tres ejes en un clasto. El diámetro mayor (a), el diámetro intermedio (b) y el menor (c) que puedan ser perpendiculares entre si y que pueden o no cortarse en un punto. (a = longitud, b = anchura y c = espesor) (Figura 3.2)

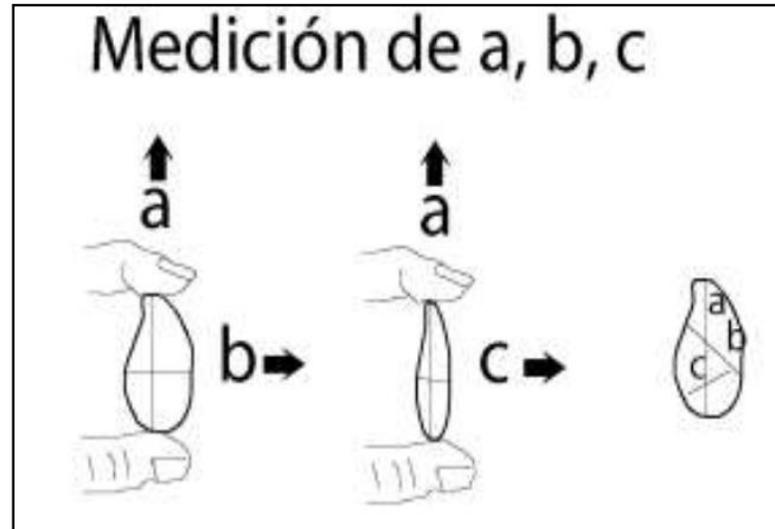


Figura 3.2 Medición de rodados y la posición de los ejes mayor (a), intermedio (b) y menor (c) (Krumbein, 1941 en Pettijhon, 1957, 1970).

La forma de las partículas ha sido usada para tratar de interpretar su historia de transporte. Esta depende de muchos factores como:

1. Forma de la partícula en la roca al ser liberada por los procesos de meteorización.
2. Composición y estructura química de las partículas, estas le van a conferir mayor o menor resistencia a los agentes de meteorización.
3. Dureza, fractura y clivaje de las partículas sedimentaria.
4. Tamaños de las partículas.

3.2.9.2 Redondez

La redondez, es la propiedad geométrica de las partículas que nos ayuda a interpretar por medio de un análisis morfológico, la historia geológica de los sedimentos, basándonos en la clasificación comúnmente usada como lo es la clasificación de Pettijohn (1980). Podemos resumir esta clasificación en lo siguiente (Figura 3.3).

1. Angulosos (0-0,15 mm): el desgaste se presenta muy poco o ninguno, siendo sus aristas y vértices agudos.

2. Sub-angulosos (0,15 - 0,25 mm): muestran los efectos típicos del desgaste. Los fragmentos mantienen todavía su forma primitiva

3. Sub-redondeados (0,25 - 0,40 mm): muestran considerable desgaste, las aristas y los vértices están redondeados en curvas suaves y la superficie de las caras primitivas se encuentran bastante reducidas, pero se mantiene todavía la forma primitiva del grano.

4. Redondeados (0,40 - 0,60. mm): caras originales completamente destruidas, pero todavía pueden presentar alguna superficie plana. Puede haber ángulos cóncavos entre caras remanentes. Todas las aristas y los vértices originales han sido pulido hasta curvas suaves y amplias.

5. Bien redondeados (0,60 - 1,00 mm): sin caras originales, sin aristas ni vértices, la superficie consta totalmente de curvas amplias, carece de áreas planas y de aristas secundarias. La forma original se reconoce por la forma actual del grano.

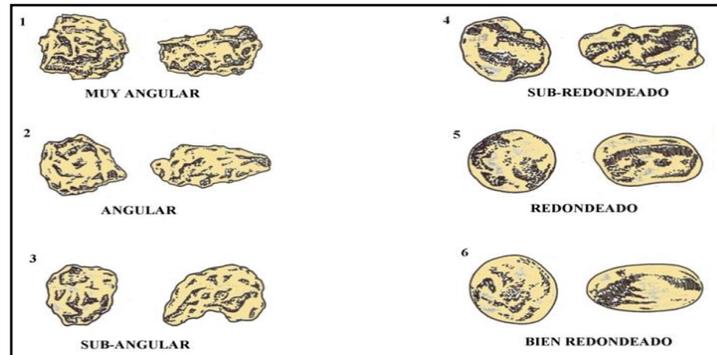


Figura 3.3 Forma y redondez de los granos (Modificado Redrawn, 1953).

3.2.9.3 Esfericidad

Se define como el grado en que un elemento clástico se aproxima en su forma a una esfera (Wadell, 1932), por lo tanto, define el comportamiento dinámico de la partícula.

3.2.10 Representación gráfica de los datos granulométricos

Los datos granulométricos fueron representados gráficamente para su fácil comparación. Los gráficos utilizados son: Histograma de frecuencia, Curva de frecuencia simple, Curva de frecuencia acumulativa (Phi).

3.2.10.1 Histograma de frecuencia

En el histograma se representan la frecuencia con que aparecen las partículas entre ciertos tamaños.

Su gráfica facilita la comprensión y visualización de la granulometría de un sedimento. Se realizaron histogramas de frecuencia con el fin de caracterizar la distribución de cada muestra.

3.2.10.2 Curva de frecuencia simple

Para construir la curva de frecuencia consiste en unir los puntos superiores de cada barra. La escala horizontal se hace logarítmica.

3.2.10.3 Curva de frecuencia acumulativa phi

La curva de frecuencia acumulativa emplea papel aritmético, colocando en el eje horizontal los términos de la escala Phi y en el vertical, los porcentajes de 10 a 100%; para mayor claridad suele colocarse también en la escala horizontal, los equivalentes de la escala de Wentworth y en micrones los términos de Phi. Para hacer los puntos de la curva, se tomarán los valores en micrones de las aberturas de tamices entre los cuales queda cada porción, se hallan los equivalentes Phi por medio de la curva de conversión, y se colocan estos valores en el eje horizontal.

En cada uno de estos puntos se levanta una ordenada hasta el valor del porcentaje acumulado correspondiente.

Uniendo estos puntos se obtiene la curva de frecuencia acumulativa.

3.2.11 Morfología de ríos sinuosos

La sinuosidad de un cauce es el mecanismo natural por el cual un río ajusta su pendiente buscando un equilibrio dinámico en los procesos de erosión, transporte y sedimentación que constituyen la configuración y geometría del cauce. La figura 4.1 muestra un esquema con los parámetros principales de un meandro. La movilidad de los meandros puede clasificarse en dos categorías: a) la migración hacia aguas abajo de todo el meandro y b) la expansión de la curvatura del meandro, su estrangulamiento

y finalmente el corte del mismo. El desarrollo de meandros incrementa la longitud del río y por consiguiente disminuye la pendiente (Leliavsky, 1964) .

3.2.12 Afectación de la morfología de un río sinuoso

La morfología de un río sinuoso puede verse afectada por diversas causas entre las que se pueden incluir aquellas que son naturales y características del sitio de estudio, como también, las provocadas por la acción del hombre, algunas de las causas naturales son las siguientes:

Confinamiento geológico: influyen principalmente en las formas y tamaños de las curvas.

Corte de meandros: ocurre generalmente durante una avenida y depende de la curvatura, la rugosidad, la vegetación, la geometría del cauce mismo y la magnitud de la avenida.

Reducción de la velocidad del flujo debido a un incremento de la sinuosidad (Leliavsky, 1964)

3.2.13 Erosión de márgenes

La erosión de las orillas representa dos procesos, la erosión por fricción y la falla de la banca. La primera es causada directamente por el esfuerzo cortante en la superficie de la banca, y la segunda se debe al mecanismo de falla del material del talud iniciada en la pata del mismo, que también está determinado por el cizallamiento.

El tiempo de la falla se relaciona con muchos procesos hidrológicos, tales como presión de poros, nivel freático, la densidad de la vegetación y las avenidas (Leliavsky, 1964).

3.2.14 Procesos físicos del flujo en curvas

Debido a la fuerza centrífuga, en la parte externa de una curva el flujo presenta sobreelevación, lo cual conlleva a que se presente una diferencia de presiones en la sección; este fenómeno hace que se originen corrientes secundarias desde la parte superior hacia el fondo en una misma sección transversal. Estas corrientes superficiales son dirigidas hacia los bancos externos mientras que las corrientes de fondo son dirigidas hacia los bancos internos. Como consecuencia de este proceso la sección de curva de un río presenta una pendiente transversal típica como se muestra en la Figura 3.4.

Esta sobreelevación del flujo ocasiona un movimiento helicoidal en respuesta a dicha corriente secundaria que se establece en dirección perpendicular al sentido del escurrimiento principal (Leliavsky, 1964).

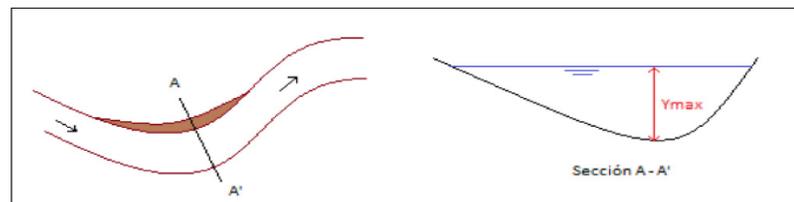


Figura 3.4 Profundización del lecho en la curva de un río (Cardenas, 2012).

3.2.15. Métodos de estabilidad de taludes sumergidos

Según Maccelland, 1967 (citado por Medina, 1992), la inestabilidad de Taludes submarinos ha sido observada o inferida en el fondo del Océano en pendientes cuyos valores oscilan entre 0.5 a más de 30 grados, aunque las fuerzas de la gravedad son de primera importancia en producir los deslizamientos, las Ocurrencias hidrodinámicas y tectónicas también le dan origen a las fallas. Varias fallas de estructuras costa afuera han sido causadas por la inestabilidad de los sedimentos.

A continuación, se citarán algunas de las principales razones por las cuales se hace complejo el entendimiento del mecanismo de la inestabilidad de taludes sumergidos, estos son:

1. Se cuenta con una documentación muy escasa de la inestabilidad ocurrida en los suelos sub-acuosos.
2. Los inconvenientes para determinar los parámetros de suelo y las mediciones de comportamiento in situ.

3.2.16 Suelo marino

Según Maccelland, (1967), citado por Medina, (1992) los sedimentos de mayor interés son los correspondientes a la franja costera, generalmente con profundidades menores a 100m. Aún para las explotaciones petroleras que en a mediano plazo, no resulta probable que se alcance los 500 m de profundidad, en estas áreas los sedimentos presentes son de origen continental, con una composición que corresponde con exactitud al mismo.

3.2.17 Sedimentos arcillosos

Según Maccelland, 1967 (citado por Medina, 1992), Se han depositado en aguas salinas. Las arcillas se han floculado, incluyendo partículas limosas e incluso arenosas debido a que han sido transportadas en su mayoría por suspensión en el agua dulce de los ríos. Suelen estar normalmente consolidados, (si exhiben sobre-consolidación, ésta es de origen físico-químico debido a su envejecimiento). Hay sin dudas, sedimentos marinos sobre- consolidados por el peso de las capas que de cierta forma han sido sometidas a procesos erosivos.

Se encuentran áreas de gran extensión, en donde las orillas están infra-consolidadas, es decir en proceso de consolidación. Los sedimentos arcillosos presentan un estado de contaminación, debido a la acción de elementos orgánicos.

El valor de la resistencia al esfuerzo cortante (C_u) a diferentes profundidades se puede determinar in situ, por medio de la veleta (molinete) ó mediante la implementación del penetrómetro estático Holandés, sabiendo que:

$$CU = \frac{qc}{17} \quad (3.1)$$

Para arcilla normalmente consolidadas y Arcillas sobre-consolidadas, donde q_c = resistencia de punta, en kg/cm^2 .

$$CU = \frac{qc}{25} \quad (3.2)$$

Existen varias correlaciones conocidas para sedimentos arcillosos, dentro de las cuales tenemos:

$$CU = (0.11 + 0.0037 IP) \delta \dots \quad (3.3)$$

Cuando no se dispone directamente de IP:

$$IP = 0.73 (wl - 13) \quad (3.4)$$

Por otra parte, se puede utilizar la correlación hallada por McceLand (1967) en el Delta del Mississippi.

$$IP = 0.825 wl - 14. \quad (3.5)$$

$$Ling\delta = 1.15 - 1.79 IL \quad (3.6)$$

$$IL = \frac{W - WP}{IP} \quad (3.7)$$

Donde:

IP = Índice de Plasticidad (%)

WL = Límite Líquido (%)

WP = Límite Plástico (%)

W = % de Humedad natural

δ = Presión de consolidación

Conociendo la presión de consolidación, δ equivalente para cada IL, se pueden obtener:

$$CU = (0.11 + 0.0037 IP) + 10 (1.15 - 1.79 IL) \quad (3.8)$$

McClelland (1967), basándose principalmente en datos obtenidos en el Delta del Mississippi obtuvo la ecuación (5.9) la cual, arroja valores que vienen a representar la mitad de los indicados en la Ecuación anterior (8).

$$CU = 0.10 + 0.25\delta \text{ (kgr/cm}^2\text{)} \quad (3.9)$$

3.2.18 Sedimentos arenosos

Los sedimentos arenosos están contaminados por elementos de origen orgánico que consisten principalmente de elementos de conchas.

Estos materiales tienen menor rozamiento interno y generalmente mayor compresibilidad que las arenas continentales.

Incluso, bajo presiones no muy elevadas, se rompen dichos fragmentos de concha dando origen a un evento que puede ser calificado como colapso.

En las zonas abrigadas, las arenas de deposición suelen estar sueltas y son susceptibles a los procesos de licuefacción y de colapso. Suelen ser también muy erosionables.

Dependiendo de la antigüedad de las arenas, estas presentarán en la mayoría de los casos cierta cementación ya sea por soldadura directa de sus granos o por deposición de caliza, bien sea, de origen orgánico u otro proceso diagenético (Leliavsky, 1964).

3.2.19 Estabilidad de los taludes de las orillas según la teoría del arrastre

Según Tapia (1983), el método del arrastre puede utilizarse para el estudio del caudal sólido, como para el cálculo de secciones del cauce a prueba de erosión y de la fortaleza que requiere el revestimiento de los taludes laterales del río o canal. Para la solución de la estabilidad de taludes se debe considerar el efecto que el flujo de agua ejerce sobre el ángulo de reposo (ϕ) del material que forma el cauce. Generalmente este valor particular se refiere a los taludes no sumergidos; es decir, aquella porción situada por encima de la superficie del agua. Para las pendientes sumergidas, además del efecto físico del agua, hay que tener en cuenta la fuerza de tracción, de arrastre del agua, la cual reduce el valor del ángulo de reposo.

En la figura 3.1 se observan las diferentes presiones que se ejercen en un talud, en ella W , es el peso sumergido de un cierto volumen o porción de material localizado en la superficie de una orilla, cuya pendiente (α) está en cierto grado de inclinación para que el material que la forma esté en reposo. En el caso del canal se tiene en cuenta, además de T y N , el efecto de arrastre (τ).

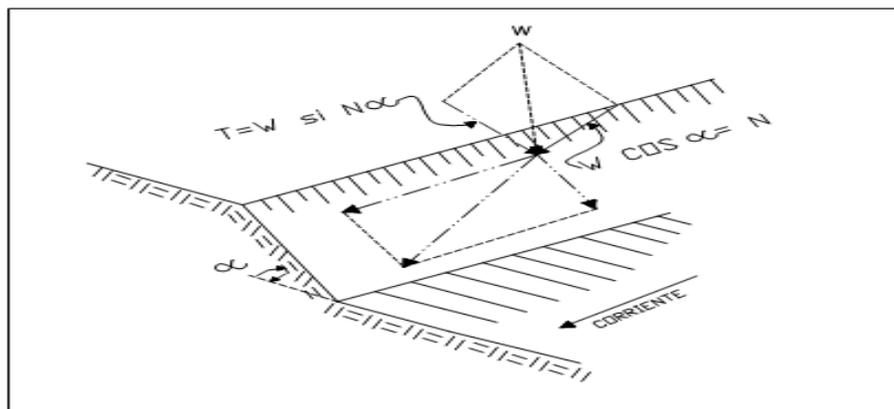


Figura 3.5. Diagrama de Presiones Tridimensionales para el cálculo de reposo del agua corriente (Tapia, 1983).

Siendo la línea de máxima pendiente, en un plano perpendicular al eje del canal, sino un eje inclinado.

Es evidente, según lo anterior que se calcula el criterio de estabilidad, se debe de igualar la fuerza de tracción $Ntg\phi$, con la resultante $\tau^2 + t^2$, de ambas fuerzas, τ es proporcional a la profundidad h y a la pendiente hidráulica (s) y, por otra parte, puesto que la pendiente hidráulica en una sección normal al flujo es, dentro de los límites de este análisis, supuestamente constante. Se tiene que $\tau = \mu H$ en donde μ es una constante para esta sección.

El nuevo criterio de la estabilidad puede presentarse de la siguiente manera:

$$(H^2 + W^2 \text{sen}^2 \alpha)^{1/2} = W \cos \alpha \text{tg} \phi \quad (3.10)$$

El estudio de esta ecuación mostrará que para cada valor H se obtendrá un valor correspondiente de α . Es decir, que viene a representar la ecuación del trazado de las curvilíneas de la sección transversal del río o canal, englobando un factor constante de estabilidad a lo largo de su recorrido.

Es importante resaltar que la estabilidad de los taludes de un canal, dependen principalmente de las propiedades del material que forma el cuerpo del talud, influenciado un poco por la hidráulica del flujo presente en el canal (Tapia, 1983).

3.2.20 Método de la velocidad permisible

Según Chow (1994), a partir del criterio de máxima velocidad permisible, el procedimiento de diseño para una sección de canal, con forma supuestamente trapezoidal, consiste en los siguientes pasos:

1. Para la clase determinada de material que conforma el cuerpo del canal, estimar el coeficiente de rugosidad n , la pendiente de talud lateral z y la velocidad máxima permisible Ver tabla 5.3.

$$z = \frac{[(b + zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}} \quad (3.11)$$

2. Calcular el radio hidráulico R a partir de la ecuación de Manning,

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3.12)$$

3. Calcular el área mojada requerida para el caudal y la velocidad permisible,

$$A = \frac{Q}{V} \quad (3.13)$$

4. Calcular el perímetro mojado,

$$P = \frac{A}{R} \quad (3.14)$$

5. Utilizando las expresiones para A y P donde se denoten los elementos geométricos de un canal trapezoidal, resolviéndolo simultáneamente para b y y .

$$A = (b + zy)y \quad (3.15)$$

$$P = b + 2y \sqrt{1 + z^2} \quad (3.16)$$

3.2.21 Velocidad máxima permisible

Según Chow (1994), la velocidad máxima permisible o velocidad no erosionante es la mayor velocidad promedio que no causará erosión en el cuerpo del canal. Esta velocidad es muy incierta y variable, y sólo puede estimarse con base en experiencia y criterio.

En general, los canales viejos y que han soportado muchos periodos hidrológicos permiten velocidades más elevadas que los canales nuevos, asumiendo que las condiciones del lecho de un canal viejo se encuentran estables, en particular con la sedimentación de materia coloidal. Cuando otras condiciones son iguales, un canal más profundo conducirá el agua con una velocidad media más elevada sin erosión que un canal poco profundo.

Es probable que esto se deba a que la socavación primordialmente es causada por las velocidades cerca del fondo y, para la misma velocidad media, las velocidades cercanas al fondo son mayores en canales poco profundo, así como también serán elevadas en los taludes del canal.

Según Fortier y Scobey, 1925 (Citado por Ven Te Chow, 1994), publicaron una tabla donde muestran las velocidades permisibles en canales, la cual se muestra en la tabla 3.2.

Estos valores que se muestran corresponden a canales por las cuales han transcurrido muchos períodos hidrológicos, situados en pendientes pequeñas y para profundidades de flujo menores a 3 pies, mostrando también los valores de n adecuados

para distintos materiales y los valores convertidos para las fuerzas tractivas permisibles correspondientes.

Tabla 3.2 Velocidades máximas permisibles recomendadas por Fortier y Scobey y los valores correspondientes de fuerza tractiva unitaria convertidos por el U. S. Bureau of Reclamation (Chow, 1994).

Material	n	Agua limpia		Agua que transporta limos coloidales	
		V, Pies/s	τ_{os} , lb/pie ²	V, Pies/s	τ_{os} , lb/pie ²
Arena fina	0.020	1.50	0.027	2.50	0.075
Marga arenosa no coloidal	0.020	1.75	0.037	2.50	0.075
Marga limosa no coloidal	0.020	2.00	0.048	3.00	0.11
Limos aluviales no coloidales	0.020	2.00	0.048	3.50	0.15
Marga firme ordinaria	0.020	2.50	0.075	3.50	0.15
Ceniza volcánica	0.0.20	2.50	0.075	3.50	0.15
Arcilla rígida muy coloidal	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46
Limos aluviales coloidales	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46
Esquistos y subsuelo de arcilla dura	0.025	6.00	0.67	6.00	0.67
Grava fina	0.020	2.50	0.075	5.00	0.32
Marga gradada o cantos rodados, no coloidales	0.030	3.75	0.38	5.00	0.66
Limos gradados o cantos rodados coloidales	0.030	4.00	0.43	5.50	0.80
Grava gruesa no coloidal	0.025	4.00	0.30	6.00	0.67
Cantos rodados y ripios de cantera	0.035	5.00	0.91	5.50	1.10

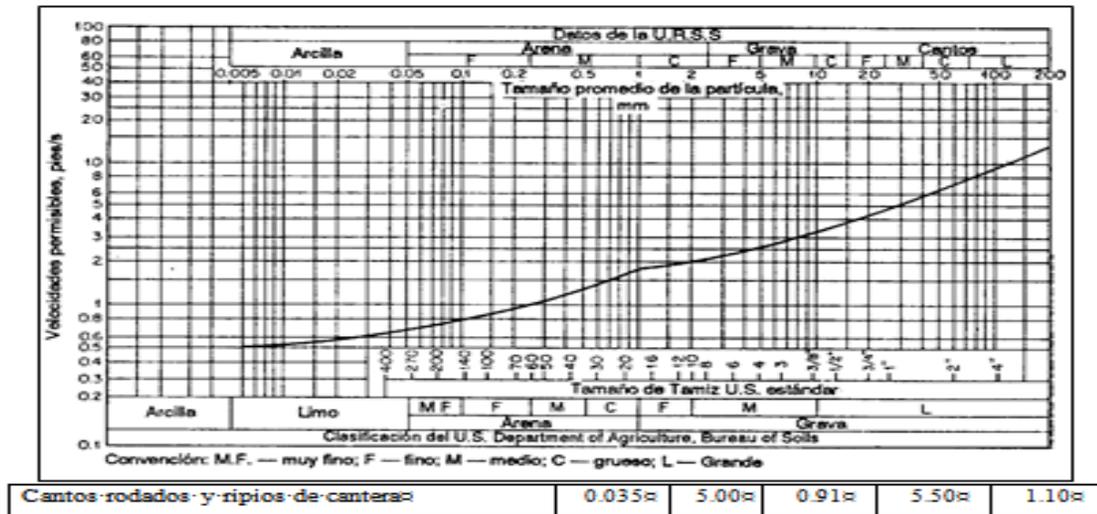


Figura 3.6 Velocidades permisibles en suelos cohesivos (Chow, 1994).

Las velocidades máximas permisibles mencionadas anteriormente se refieren a canales rectos. Para canales sinuosos, las velocidades deben ser más bajas para reducir la socavación.

3.2.22. Método de la fuerza tractiva

Según Chow (1994), el primer paso para el diseño de canales erosionables mediante el método de la fuerza tractiva consiste en seleccionar una sección de canal aproximada mediante experiencia o mediante el uso de tablas de diseño, recolectar muestras del material presente tanto en el lecho como en el talud canal y determinar, utilizando estas muestras, las propiedades requeridas. Con estos datos, se procede a investigar la sección mediante el análisis de la fuerza tractiva para asegurar una estabilidad probable por tramos y para determinar la sección mínima que aparece estable. Para canales en materiales no cohesivos, el efecto de rodar hacia abajo a lo largo de la pendiente lateral debe considerarse junto con el efecto de la distribución de las fuerzas tractivas; para canales hechos en material cohesivo el efecto de rodar es

insignificante, y el efecto de la distribución de la fuerza tractiva por sí solo constituye un criterio suficiente.

3.2.23 Fuerza tractiva

Cuando el agua fluye en un canal, se desarrolla una fuerza que actúa sobre el lecho de éste en la dirección del flujo. Esta fuerza la cual es sencillamente el empuje del agua sobre el área mojada, se conoce como fuerza tractiva. En un flujo uniforme la fuerza tractiva en apariencia es igual a la componente efectiva de la gravitacional que actúa sobre el cuerpo de agua, paralela al fondo del canal e igual a $\gamma_w ALS$, donde:

γ_w : peso unitario del agua

A: área mojada

L: longitud del tramo del canal

S: pendiente del canal

Luego, el valor promedio de la fuerza tractiva unitaria τ_o , es igual a $\gamma_w ALS/PL = \gamma_w RS$, donde:

P: perímetro mojado

R: radio hidráulico

$$\tau_o = \gamma_w RS \quad (3.17)$$

En un canal abierto ancho, el radio hidráulico es igual a la profundidad de flujo y ; por consiguiente

$$\tau_o = \gamma_w yS \quad (3.18)$$

Según Chow (1994) el U.S. Bureau of Reclamation, ha utilizado la analogía de la membrana y métodos analíticos y de diferencias finitas para determinar la distribución de fuerza tractiva en canales trapezoidales, rectangulares y triangulares. En la figura 5.5 se muestra una distribución común de fuerza tractiva en un canal trapezoidal resultante de un estudio de analogía de la membrana. El patrón de distribución varía con la forma de la sección, pero prácticamente no se afecta por el tamaño de ésta.

Basándose en mencionados estudios, se realizaron algunas curvas (figura 3.7) donde se pueden apreciar las fuerzas tractivas unitarias máximas en los lados de diferentes secciones de canal para uso de diseño.

En general en los canales trapezoidales con formas utilizadas a menudo, la fuerza tractiva máxima en el fondo es cercana al valor $\gamma_w y S$, y en los lados, cercanas a $0.76 \gamma_w y S$.

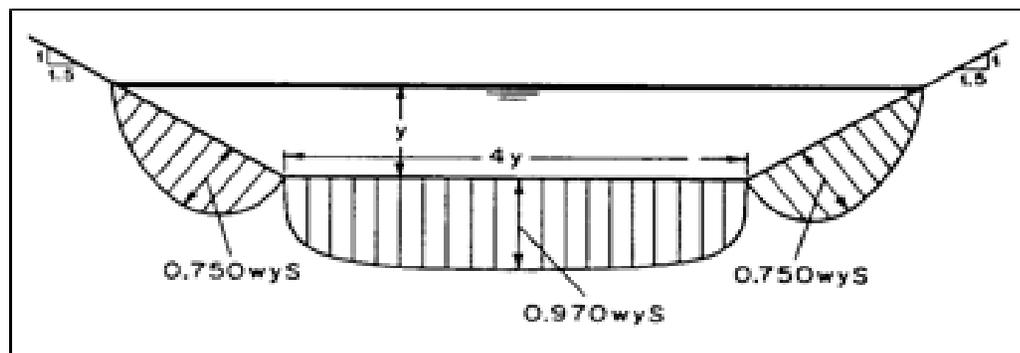


Figura 3.7 Distribución de la fuerza atractiva en una sección de canal trapezoidal (Chow, 1994).

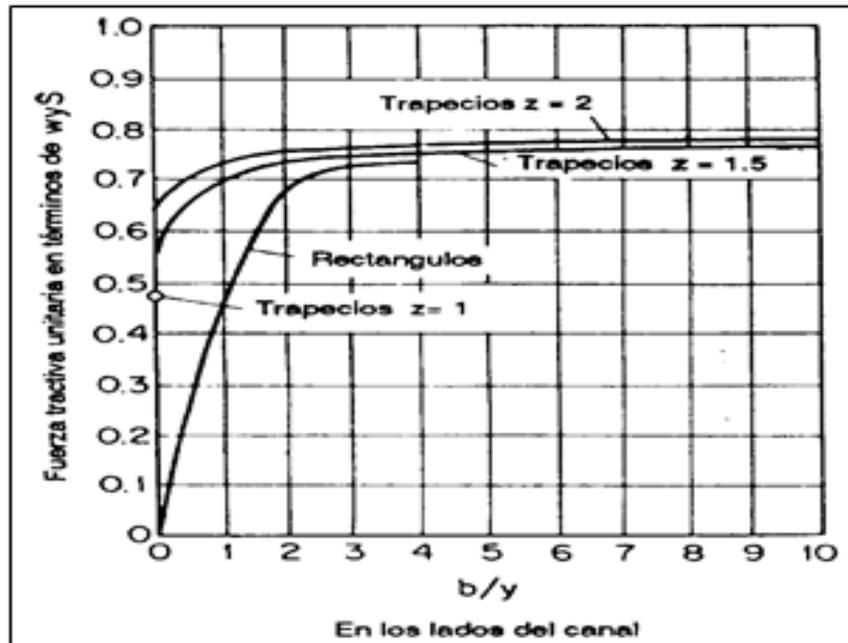


Figura 3.8 Fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de wyS (Chow, 1994).

3.2.24 Relación de la fuerza tractiva

Según Ven Te Chow (1994), sobre una partícula de suelo que descansa en la pendiente lateral de una sección de canal (figura 5.6) en la cual se encuentra fluyendo agua, actúan dos fuerzas: la fuerza tractiva $a\tau_s$ y la componente de la componente gravitatoria $W_s \sin\theta$, la cual hace que la partícula ruede a lo largo de la pendiente lateral. Los símbolos utilizados son:

a = área efectiva de la partícula

τ_s = fuerza tractiva unitaria en la pendiente del canal

W_s = peso sumergido de la partícula

ϕ = ángulo de la pendiente lateral

θ = Angulo de reposo de la partícula

τ_o = Fuerza tractiva en términos de $\gamma_w y S$

γ_w = Peso unitario del gua

τ_L = Fuerza tractiva en el fondo del canal

K = Relación de fuerzas tractivas

La resultante de todas estas fuerzas las cuales forman un ángulo recto es:

$$\sqrt{Ws^2 \operatorname{sen}^2 \phi + a^2 \tau_s^2} \quad (3.19)$$

Cuando esta fuerza es lo suficientemente grande, la partícula se moverá. A partir del principio de movimiento de fricción en mecánica, puede suponerse que, cuando el movimiento es inminente, la resistencia al movimiento de la partícula es igual a la fuerza normal $Ws \cos \theta$ multiplicada por el coeficiente de fricción, o $\tan \theta$, donde θ es el ángulo de reposo. Luego,

$$W_s \cos \phi \tan \theta = \sqrt{Ws^2 \operatorname{sen}^2 \phi + a^2 \tau_s^2} \quad (3.20)$$

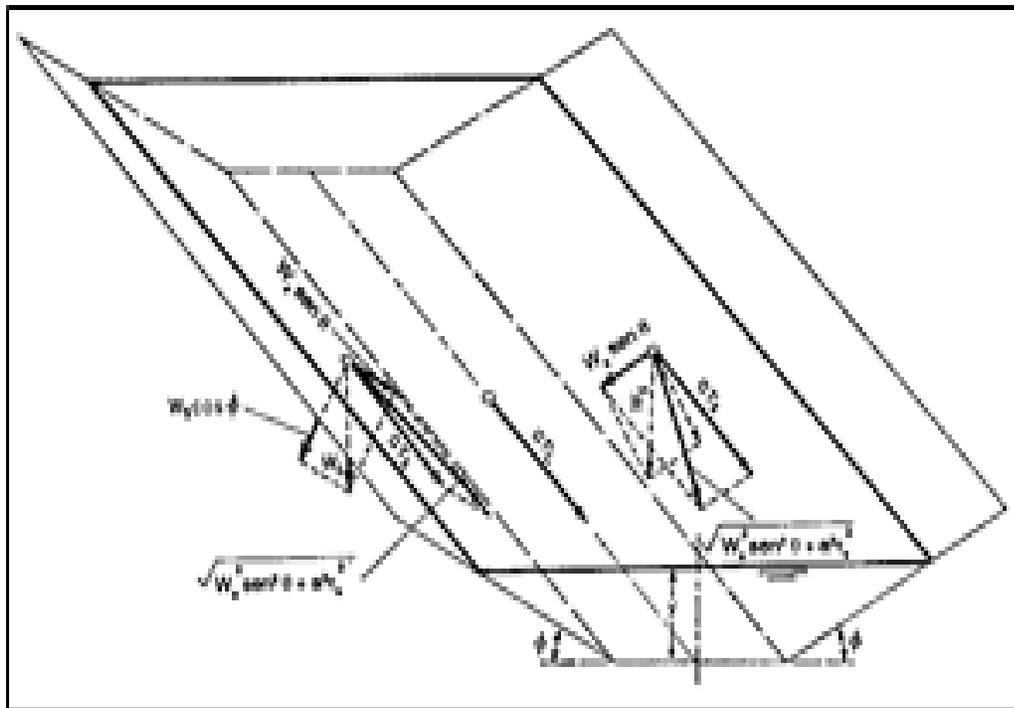


Figura 3.9. Análisis de las fuerzas que actúan en una partícula que reposa en la superficie del lecho de un canal. (Fuente: Ven Te Chow, 1994).

Para el cálculo de la fuerza tractiva unitaria τ_s que causa el movimiento inminente en una superficie inclinada tenemos:

$$\tau_s = \frac{W_s}{a} \cos \phi \tan \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}} \quad (3.21)$$

De igual manera, cuando el movimiento de una partícula sobre una superficie es inminente debido a la fuerza tractiva $\alpha \tau_L$, lo siguiente se obtiene a partir de:

$$W_s \tan \theta = \alpha \tau_L \quad (3.22)$$

Al resolver para la fuerza tractiva unitaria τ_L que produce el movimiento inminente sobre una superficie plana,

$$\tau_L = \frac{W_s}{a} \tan \theta \quad (3.23)$$

Es necesario resaltar que la relación de τ_s a τ se conoce como relación de fuerza tractiva; ésta es una relación importante para propósitos de diseño. A partir de las ecuaciones a y c, la relación es

$$K = \frac{\tau_s}{\tau_L} = \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}} \quad (3.24)$$

$$K = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \phi}{\text{sen}^2 \theta}} \quad (3.25)$$

Es importante resaltar que esta relación es función sólo de la inclinación ϕ del lado inclinado y del ángulo de reposo θ del material.

Para materiales cohesivos y materiales finos no cohesivos, las fuerzas de cohesión en el agua medianamente limpia, se vuelven tan grandes en comparación con la fuerza gravitacional, que hacen que la partícula ruede hacia abajo, que la fuerza gravitacional llegue a no ser considerada. Por consiguiente, el ángulo de reposo necesita ser considerado sólo para materiales gruesos no cohesivos; este tiende a incrementarse tanto con el tamaño como con la angularidad del material.

3.2.25 Fuerza tractiva permisible

Según Chow (1994), la fuerza tractiva permisible es la fuerza tractiva máxima que no causa erosión importante en el material que forma una sección de canal.

La determinación de la fuerza tractiva permisible está basada en el tamaño de la partícula para materiales no cohesivos y en la compactación o relación de vacíos para materiales cohesivos. Otras propiedades del suelo como el índice de plasticidad o la acción química pueden considerarse como índices para definir con mayor precisión la fuerza tractiva permisible. Por la falta de datos e información precisa acerca de los índices. El U.S Bureau of Reclamation realizó un estudio completo de materiales presentes en diversos canales, obteniendo como resultado una serie de valores que son recomendados para la fuerza tractiva permisible en el diseño de canales, estos desarrollaron de la siguiente manera:

1. Para materiales gruesos no cohesivos, con un factor de seguridad suficiente, el Bureau recomienda un valor tentativo para la fuerza tractiva permisible, en lb/pies^2 , igual a 0.4 veces el diámetro en pulgadas de una partícula para la cual el 25% (en peso) del material es mayor. Esta recomendación se muestra por medio de una línea recta en la tabla de diseño (figura 3.10).

2. Para material fino no cohesivo, el tamaño especificado es tamaño medio o el tamaño menor que el 50% en peso. Tentativamente se recomiendan tres curvas de diseño (figura 3.8),

- a. Para canales con alto contenido de material fino en el agua
- b. Para canales con contenido de sedimento fino en el agua
- c. Para canales con agua limpia

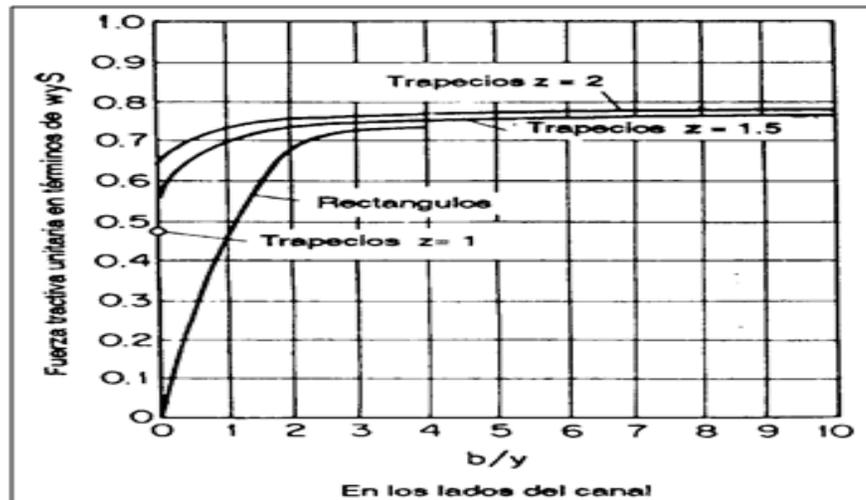


Figura 3.10. Fuerzas tractivas unitarias permisibles recomendadas por el U.S. Bureau Of. Reclamation, para materiales no cohesivos (Chow, 1994).

Para materiales cohesivos, los datos basados en la conversión de velocidades permisibles a fuerzas tractivas unitarias, dados en la tabla 3.3 y en la figura 3.9 se recomiendan como referencia de diseño.

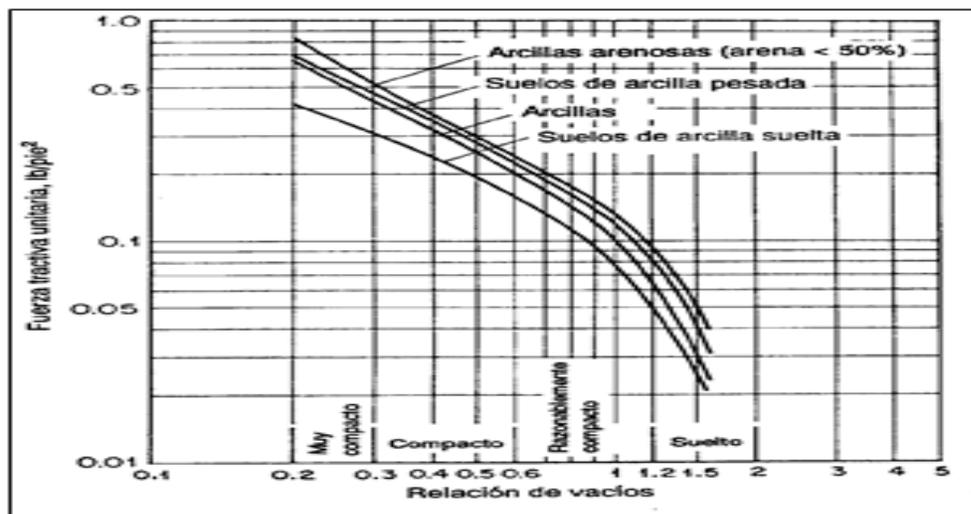


Figura 3.11. Fuerzas tractivas permisibles para canales en materiales cohesivos convertida por URSS sobre velocidades permisibles (Fuente: Ven Te Chow, 1994).

3.3 Bases legales

3.3.1 Ley de aguas

Se considera que esta ley contenida y publicada en la Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela No: 35.595 del 02-01-2007 apoya en todas sus partes este tipo de trabajo de investigación. Sin embargo, se mencionan a continuación solo dos (2) de los más importantes artículos que contiene.

Artículo 3.- La gestión integral de las aguas comprende, entre otras, el conjunto de actividades de índole técnica, científica, económica, financiera, institucional, gerencial, jurídica y operativa, dirigidas a la conservación y aprovechamiento del agua en beneficio colectivo, considerando las aguas en todas sus formas y los, ecosistemas naturales asociados, las cuencas hidrográficas que las contienen, los actores e intereses de los usuarios o usuarias, los diferentes niveles territoriales de gobierno y la política ambiental, de ordenación del territorio y de desarrollo socioeconómico del país.

Artículo 12.- El control y manejo de los cuerpos de agua se realizará mediante:

1. La clasificación de los cuerpos de agua o sectores de éstos, atendiendo a su calidad y usos actuales y potenciales.
2. El establecimiento de rangos y límites máximos de elementos contaminantes en afluentes líquidos generados por fuentes puntuales.
3. El establecimiento de condiciones y medidas para controlar el uso de agroquímicos y otras fuentes de contaminación no puntuales.

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

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

3.3.2 Normas

3.3.2.1 Norma ASTM D 422 (Análisis granulométrico por tamizado)

Norma establecida para el análisis de muestras de suelo con la finalidad de realizar su descripción textural a través de la distribución del diámetro del tamaño de las partículas de la muestra.

3.4 Definición de términos básicos

3.4.1 Afluentes

Corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. Ordoñez, J. (2011).

3.4.2 Área de inundación

Superficie de terreno adyacente a la ribera del río la cual puede ser estacionalmente inundada durante las crecientes del río (CIGB, 2015).

3.4.3 Avenida

Subida temporal de las aguas de un río o de un cauce como consecuencia de lluvias importantes en la cuenca vertiente. Conlleva la inundación de zonas habitualmente secas (CIGB, 2015).

3.4.4 Caudal

Es el volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m^3/s . (Ordoñez, J., 2011).

3.4 5 Corte

Vista de una presa como sección del interior en sentido perpendicular al eje (CIGB, 2015).

3.4 6 Cuenca hidrográfica

Zona drenada hasta un punto particular de un río o de un curso de agua (expresada en km^3) (CIGB, 2015).

3.4.7 Derivar

Hacer ir en una dirección diferente (CIGB, 2015).

3.4.8 Erosión

Deterioro progresivo de una superficie, sea un río, el lecho de un curso de agua, una riera o cualquier otra superficie provocado por el flujo del agua, las olas de los embalses, el viento o cualquier otro proceso natural (CIGB, 2015).

3.4.9 Espesor de tongada del hormigón

Espesor de las capas sucesivas de hormigón delimitadas por juntas de construcción horizontales (CIGB, 2015).

3.4.10 Estabilidad

Condición de una estructura que es capaz de soportar fuerzas y presiones instantáneas o de larga duración sin sufrir deformaciones significativas (CIGB, 2015).

3.4. 11 Evaporación

Proceso de paso de un líquido al estado gaseoso o de vapor que se mezcla con el aire (CIGB, 2015).

..

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

Balestríni M. (2006), dice que la investigación analítica por cuanta, una vez hecha la identificación de las variables dependientes e independientes, estas son analizadas descritas y analizadas con base a los elementos que las integran.

Según Arias, F. (1996), dentro de su clasificación, este tipo de investigación estaría basada en estudios analíticos, ya que se describirán los hechos tal cual se observan en campo y se buscará el porqué de la ocurrencia o no de los mismos, estableciendo las relaciones de causa- efecto.

Por otra parte, se indica que la presente investigación es analítica por cuanto se describirá la condición física de los taludes y las circunstancias del entorno donde se encuentran, así mismo se analiza los parámetros que intervienen en su estabilidad.

4.2 Diseño de la investigación

Según el autor Arias, (2012), define: la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas, como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

Palella y Martins, (2010), define: La Investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin

manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta.

Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. No obstante, son los datos primarios obtenidos a través del diseño de campo, los esenciales para el logro de los objetivos planteados.

De acuerdo con la manera de enfocar el problema y las estrategias o métodos aplicados en el mismo para lograr los objetivos, se puede afirmar que el diseño de la investigación es de campo, debido a que consistirá en la recolección de datos del entorno (vegetación, relieve de riberas, etc) directamente del sitio donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna, y documental porque requiere del análisis de la información de carácter hidrológico medida y registrada por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (actualmente, MPPP el Eco-socialismo y Agua.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Según Arias, F., (1996), la población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación.

En el presente caso se consideró como población de la investigación a todo el cuerpo de agua que transita por el sector Guarguapo y a todos los materiales que constituyen los taludes del canal de navegación del río Orinoco.

4.3.2 Muestra de la investigación

Está constituida por seis (6) ejemplares o muestras de suelo que fueron tomadas por el personal de hidrógrafos de la draga autopropulsadas en el lecho del cauce del río Orinoco específicamente en los taludes del canal de navegación del sector Guarguapo y reportadas en investigaciones previas a la presente (Bejarano, M. y Echeverría, D. 1990). Las muestras fueron tomadas en ejes transversales separados aproximadamente 500 m. En cada eje transversal al canal se tomaron dos (2) muestras: una en el talud derecho descendente y otra en el talud izquierdo descendente.

Dado el criterio de muestreo utilizado se puede afirmar que el mismo es de carácter no probabilístico (debido a la imposibilidad física de adquirir, transportar y analizar la cantidad de muestras necesarias para que el muestreo fuese considerado de características no probabilísticas) ya que el criterio considerado para definir los ejes transversales de muestreo fue intencional u opinático, debido a la homogeneidad de los materiales del lecho, es decir que existe la misma posibilidad de tomar cualquier porción durante la extracción de las mismas.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para obtener información relevante proveniente de la realidad objeto de estudio será necesario utilizar distintos instrumentos de recolección, como lo define Sabino, (1992): “Un instrumento de recolección de datos, en un principio es cualquier recurso del que se vale un investigador para acercarse a fenómenos y extraer de ellos información”. En tal sentido, y en relación a los objetivos definidos en el presente estudio ubicado en un contexto de investigación descriptiva, se utilizarán diversas técnicas de recolección de datos para cumplir con las metas propuestas.

4.4.1 Observación directa.

Tamayo y Tamayo, (2004), define observación directa como: “Aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”.

Mediante la observación directa, se hará un reconocimiento visual del área de estudio a fin de verificar las condiciones en las que se encuentra en cuanto a la topografía, vegetación, condiciones de las riberas, islas e infraestructuras civiles presentes en el sector. Cabe destacar que esta técnica es una de las que consolida la estrategia de la investigación de campo.

4.4.2 Revisión literaria

La revisión literaria, permitirá extraer las bases teóricas y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto, como lo expresa Tamayo y Tamayo, (2004): “la revisión Literaria es el fundamento de la parte teórica de la investigación y permite conocer a nivel documental las investigaciones relacionadas con el problema planteado”.

4.4.3 Entrevistas no estructuradas

La realización de entrevistas es una técnica de recolección muy significativa, a través de ésta se obtendrá información valiosa y de interés, permitiendo aclarar las dudas existentes sobre el tema en estudio. Tal como lo expresa Sabino, (1992): “de un modo general una entrevista no estructurada, es aquella en la que no existe una estandarización formal, habiendo por lo tanto un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas”.

Éstas serán realizadas a habitantes del sector en estudio, a profesionales calificados, específicamente ingenieros civiles, ingenieros geólogos y cualquier otra persona que pueda brindar algún tipo de asesoría en cuanto a la naturaleza de los materiales del lecho del área de estudio.

4.5 Flujograma de la investigación

Para la realización de esta investigación se seguirá el flujograma (Figura 4.1) que implica las actividades a realizar necesarias para el logro de los objetivos específicos planteados.

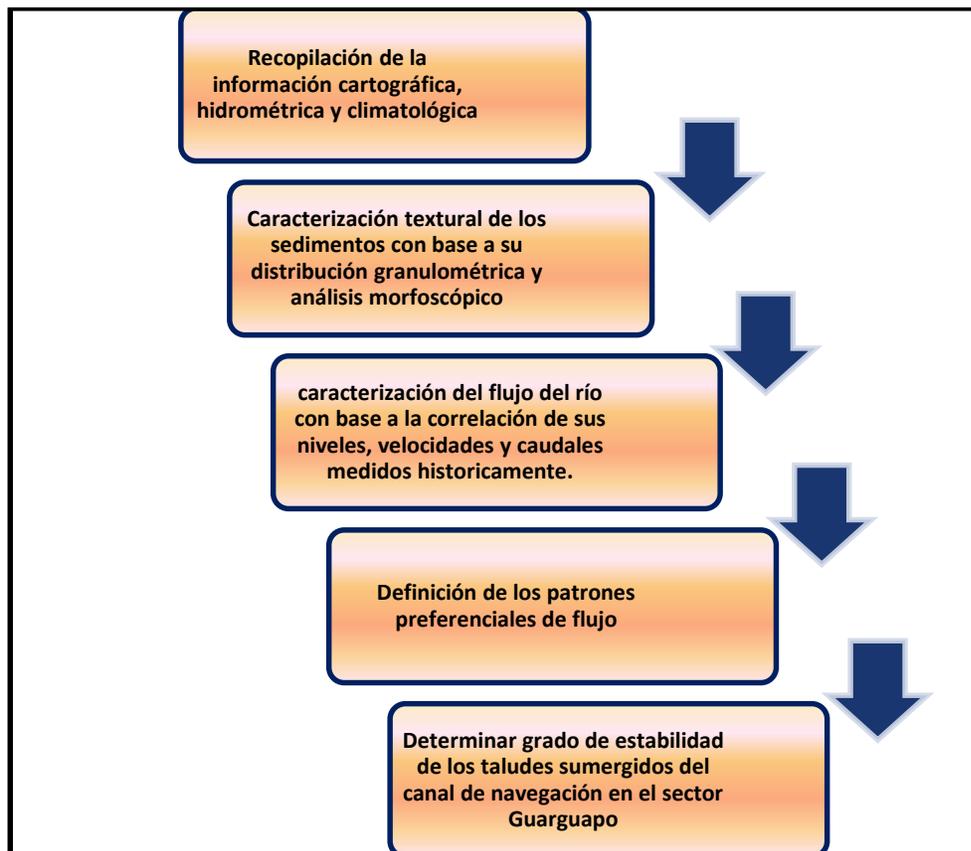


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

Con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados se procederá a continuación a dar una explicación breve de las actividades que habrán de cumplirse a tal fin:

4.6.1 Caracterización textural de los materiales del cauce presentes en el área de estudio del río Orinoco

Se utilizarán los resultados de los muestreos realizados en investigaciones previas a la presente.

A las seis (6) muestras de sedimentos del lecho del cauce, se les realizó análisis granulométrico y a un tercio de ellas se les realizó análisis de forma de las partículas.

4.6.2 Variación de niveles del río Orinoco en el sector Guarguapo

Considerando los niveles del río en el limnógrafo de Palúa en el sector San Félix, es posible realizar una proyección de esos niveles hasta el sector Guarguapo, considerando las pendientes hidráulicas del río Orinoco en ese tramo (San Félix – Guarguapo) contenidas en el ábaco de pendientes construido por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC) el cual fue revisado, actualizado y automatizado para la emisión de boletines y calados por Echeverría (1986).

4.6.3 Descripción de las condiciones del flujo del río con base a los niveles de la superficie del agua y a las características de la corriente (velocidad y caudal)

Para la caracterización hidrológica de las áreas de estudio se realizaron los hidrogramas de niveles máximos y mínimos de cada área de descarga, se utilizaron los

niveles promedios mensuales máximos y mínimos de Palúa durante los períodos 1943-2002, estas lecturas fueron introducidas a la aplicación computarizada implementada en EXCEL para obtener el nivel promedio mensual en el sector Guarguapo calculado en base a la proyección espacial determinada a través de las pendientes del río (algoritmo de la aplicación en EXCEL) y los niveles de la estación Palúa.

Con los datos de velocidades, caudales y los niveles del río recopilados en los informes de aforos efectuados por el INC, se elaboraron gráficos donde se muestra las correlaciones existentes entre estos tres (3) parámetros hidráulicos del flujo del río.

4.6.4 Patrones preferenciales del flujo del fluido en dos fases

Mediante el programa SMS se realizó el modelamiento de los flujos de agua y sedimentos con la finalidad de analizar las relaciones entre los patrones de flujo y el alineamiento del canal y su incidencia en la estabilidad de los taludes sumergidos.

4.6.5 Grado de estabilidad de los taludes sumergidos

Con la finalidad de determinar el grado de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo, se aplicó el método de la fuerza tractiva propuesto por Chow (1994).

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Descripción textural de los sedimentos del lecho del cauce

Para la descripción textural de los sedimentos del lecho del cauce en el sector Guarguapo se procederá a realizar la comparación de las caracterizaciones texturales efectuadas por TAMS (1970), por Bejarano y Echeverría (1990), y de acuerdo al muestreo efectuado por el personal de la CVG Gerencia del Canal de Navegación del Río Orinoco desde la draga autopropulsada que operaba en el sector en estudio durante el año 2022; muestreo que fuera solicitado para la realización de la presente investigación.

5.3.1 Clasificación granulométrica de los materiales del lecho

5.3.1.1 Muestreo de suelos del cauce en el año 1979

Cronológicamente se debe empezar por la caracterización granulométrica efectuada por la consultora TAMS (1970). Para las exploraciones del cauce del río, la citada consultora utilizó un taladro “Vibracore” Modelo 27°, fabricado por Alpine Geophysical Associates, Inc. El taladro “Vibracore”, es un sacamuestras integrado compuesto por una torre de perfiles H y un vibrador neumático mecánico que acciona un tubo de 20 pies de longitud, con tubo sacamuestras de plástico y un penetrómetro portátil. El taladro fue operado desde una barcaza provista con compresores de aire, una grúa para manejar el taladro, y anclas y puntales de 50 pies de longitud para mantener la barcaza en posición. La grúa emplazaba la unidad “Vibracore” en el fondo del río y lo movía sobre cubierta para la extracción del tubo sacamuestras plástico. El

tiempo de posicionamiento del muestreador y extracción de la muestra requería entre 10 y 15 minutos.

El muestreo se realizó a la altura de las millas 145.5, 145.7 145.9, 146.1, 146.9, y 148.4 y los resultados de los análisis de dichas muestras se presentan en los apéndices A.1 hasta A.5

Tabla 5.1 Resultados de análisis granulométrico por tamizado por vía seca del muestreo de suelos efectuado por TAMS (1970).

Tamiz No	Milla de muestreo					
	145.5 (% pasante)	145.7 (% pasante)	145.9 (% pasante)	146.1 (% pasante)	146.9 (% pasante)	148.4 (% pasante)
10	99.7	77.6		89.9	99	98
40	85.3	62.9		55.9	83	44
65	56.6	40.4		32.5	58	12
100	2.0	8.7		16.3	13	4
200	0.2	4.2		8.2	2	1
Tipo suelo	SP	GP	SP SC	SP	SP	SP
Descripción	Arena media a gina	Grava fina, arenas gruesa a fina con traza de finos	Arcilla roja y arena +costra ferruginosa	Arena gruesa a fina con grava y finos	Arena media a fina con traza de arcilla	Arena media a fina con traza de arcilla

Es conveniente resaltar que TAMS (1970) realizó una correlación de las curvas granulométricas de las muestras tomadas a todo lo largo del canal de navegación del río Orinoco, encontrando que se corresponden todas ellas a un sector específico de la hoja logarítmica como se puede mostrar en la figura 5.1 en la cual se puede observar las curvas granulométricas envolventes que encierran toda la familia de curvas de distribución granulométrica para las muestras de suelos del lecho del cauce del río Orinoco de cualquier zona entre las millas 102 y 180.5.

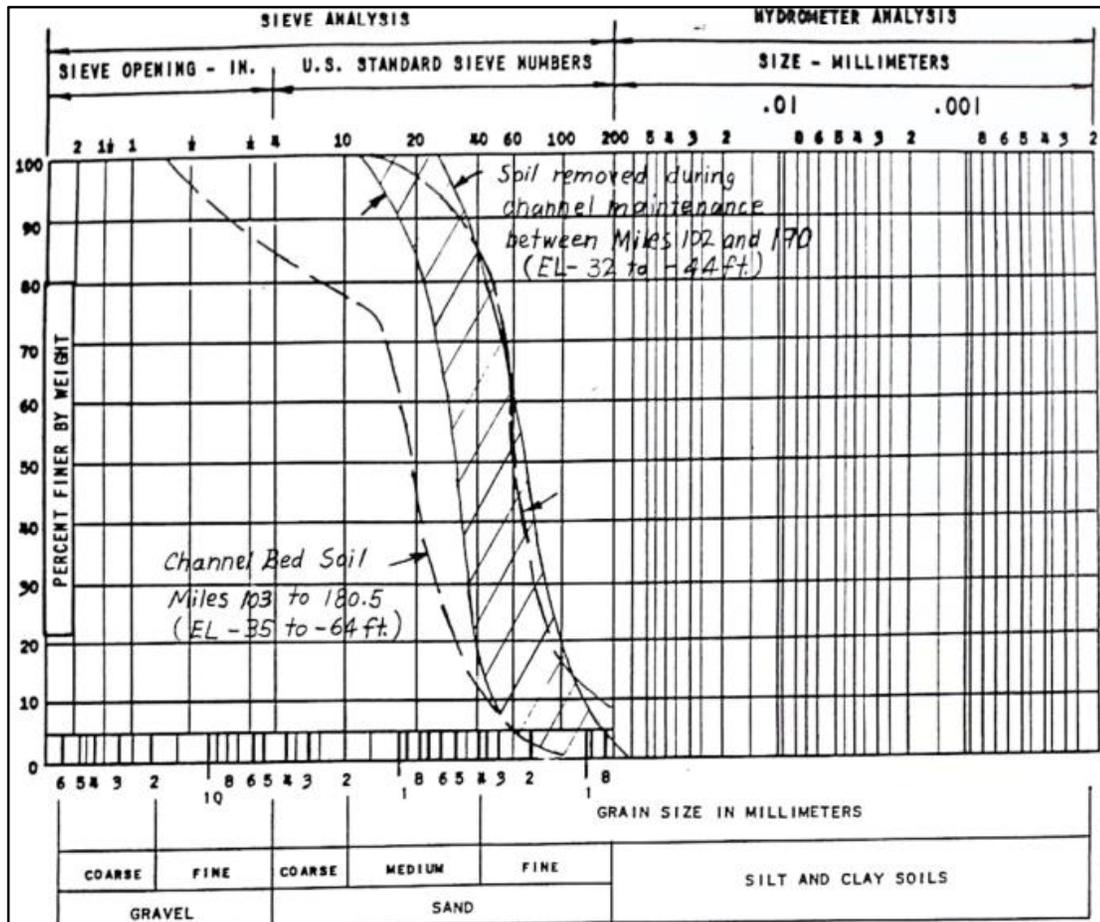


Figura 5.1 Rango de distribución granulométrica en el cual se concentran las curvas granulométricas de todo el cauce del río Orinoco (TAMS,1970).

5.3.1.2 Muestreo de suelos del cauce en el año 1990

A continuación, se mostrará el resultado arrojado por los ensayos granulométricos realizados a seis (6) muestras tomadas en el sector en estudio por Bejarano y Echeverría (1990) indica que estamos en presencia de un suelo pobremente gradado SP según el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (SUCS). Arenas con porcentaje menor al 5% de material pasante por el tamiz 200 y variaciones de $C_u=1.30$ a 1.53 y $C_c=1.04$ a 1.16 respectivamente, valores que los identifican como tal (Figuras 5.2, 5.3 y 5.4 y Apéndice B).

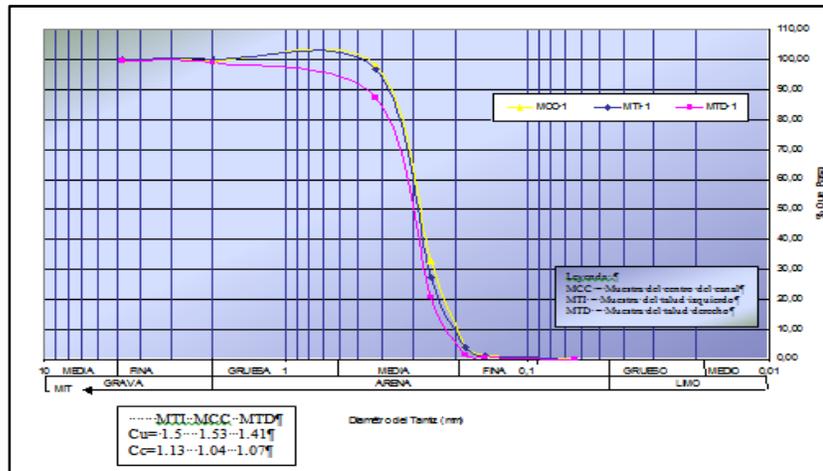


Figura 5.2 Curvas granulométricas de las tres muestras de sedimentos tomadas en la sección 1 del sector Guarguapo (Bejarano y Echeverría, 1990).

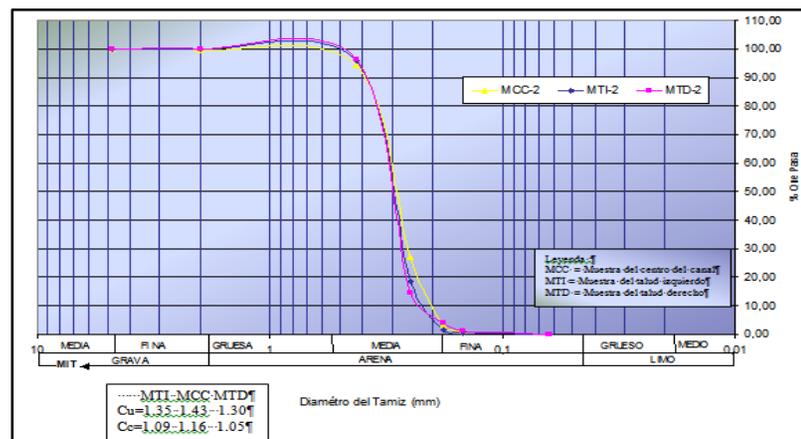


Figura 5.3 Curvas granulométricas de las dos (2) muestras de sedimentos tomadas en la sección 2 del sector Guarguapo (Bejarano y Echeverría, 1990).

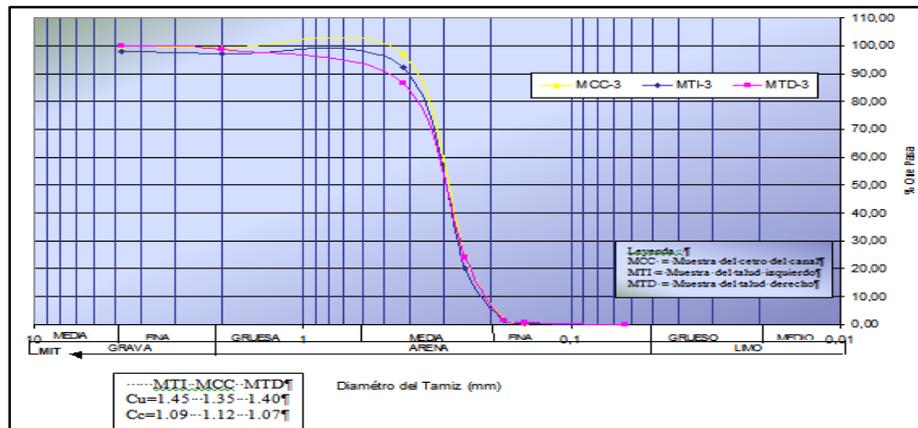


Figura 5.4 Curvas granulométricas de las dos (2) muestras de sedimentos tomadas en la sección 3 del sector Guarguapo (Bejarano y Echeverría. 1990).

- Forma de las partículas del lecho: en cuanto al análisis de forma de las muestras extraídas del lecho del cauce del río Orinoco en el sector Guarguapo; se podría decir que éstas arrojaron resultados similares con respecto a las formas de las partículas que lo constituyen, las cuales se presentan en forma predominante desde subangular a angular (Figura 5.5), lo que permite inferir que las partículas han sufrido pobre transporte poco friccionante.

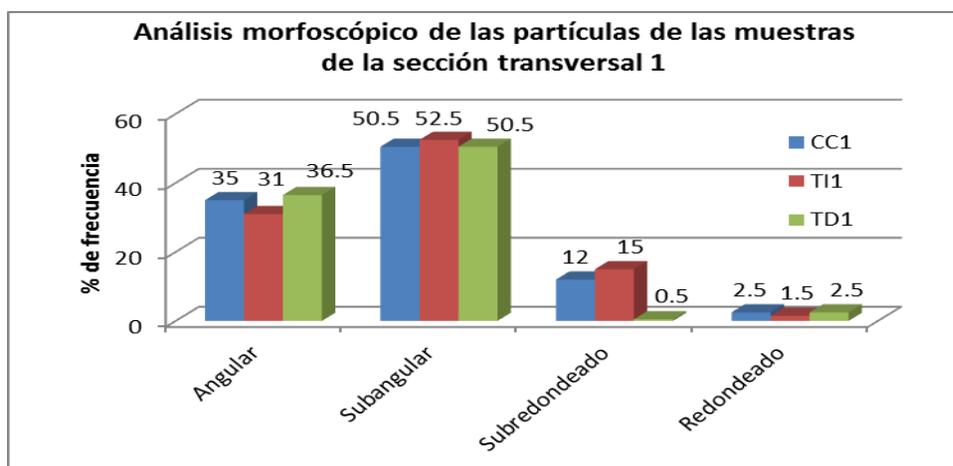


Figura 5.5 Análisis de forma correspondiente a las muestras de la sección transversal 1. Sector Guarguapo (Bejarano y Echeverría. 1990).

5.3.1.3 Muestreo de suelos del cauce en el año 2022

Por último, se presentarán a continuación los resultados de los análisis granulométricos de las seis (6) muestras tomadas en la tolva de la draga durante las operaciones de dragado realizadas en octubre de 2022 en los taludes de las millas 146, 147 y 150 del sector Guarguapo.

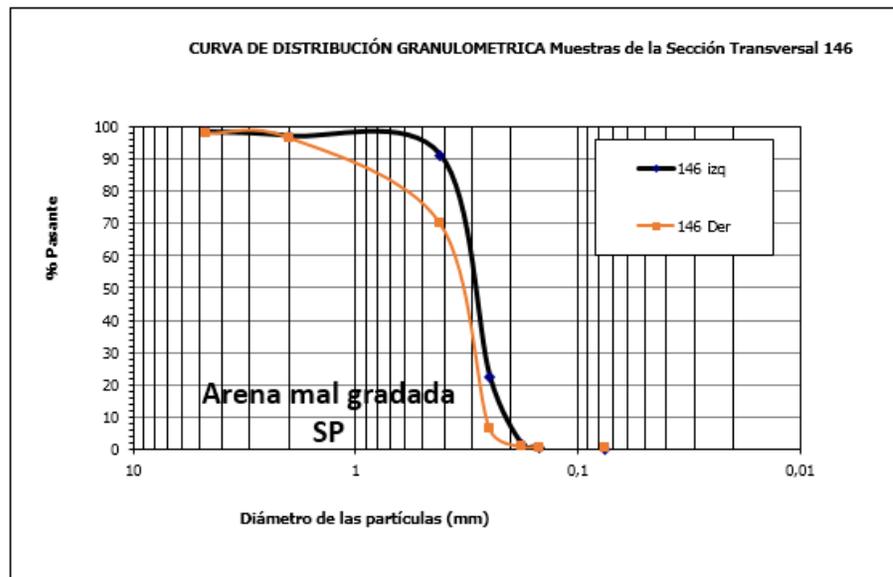


Figura 5.6 Curvas de distribución granulométrica de las muestras tomadas en los taludes de la sección transversal de la milla 146 en el sector Guarguapo.

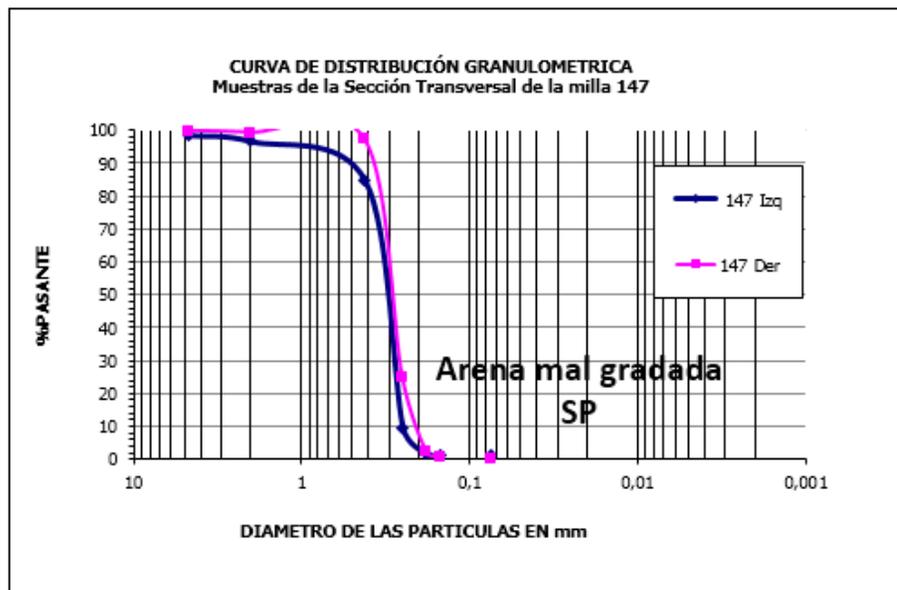


Figura 5.6 Curvas de distribución granulométrica de las muestras tomadas en los taludes de la sección transversal de la milla 147 en el sector Guarguapo.

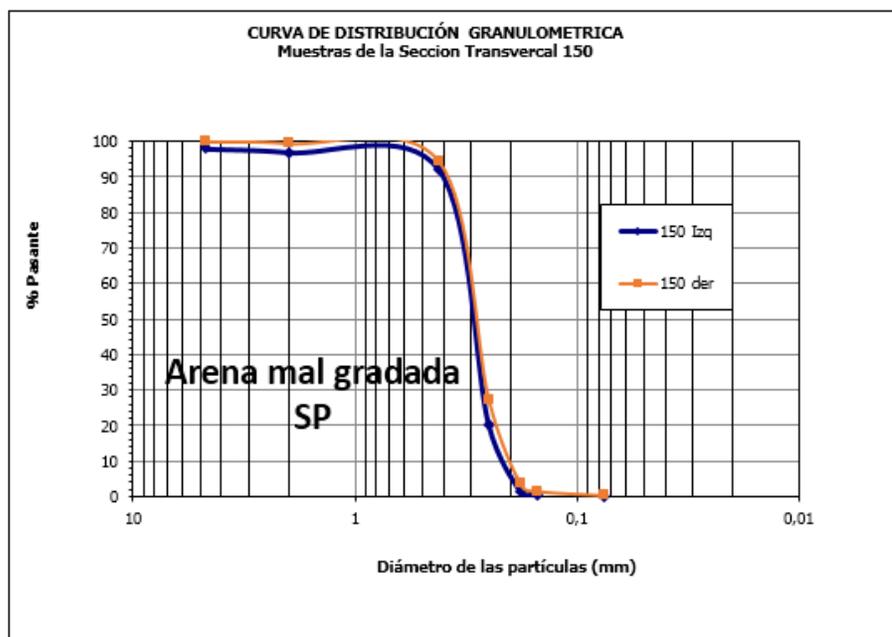


Figura 5.6 Curvas de distribución granulométrica de las muestras tomadas en los taludes de la sección transversal de la milla 150 en el sector Guarguapo.

5.2 Variación temporal de los niveles del agua

Con base a los niveles del río medidos en la estación Palúa (suministrados por el I.N.C) y al programa PENRO (programa de Proyección Espacial de Niveles del río Orinoco) el cual automatiza el gráfico de pendientes longitudinales de la superficie del agua para todo el río en el tramo Curiapo – Punta Cuchillo (Apéndice B.2), se logró proyectar o estimar los niveles del río en el sector Guarguapo específicamente en donde se encuentra ubicada la principal sección de aforo del sector.

El río Orinoco experimenta significativas variaciones anuales en los niveles del agua debido al ciclo hidrológico presente en la cuenca del mismo y en condiciones generales en el territorio venezolano, su ascenso paulatino se inicia a fines del mes de Marzo o comienzos del mes de Abril, alcanzando sus máximos niveles en los meses de Agosto y Septiembre.

De acuerdo a los niveles promedios, máximos y mínimos registrados desde 1943-2019 en la estación limnigráfica de Palúa (Figura 5.1), para la cual se elaboraron hidrogramas de los niveles del río, los cuales presentaron una distribución unimodal, preservándose los picos máximos entre los meses de Julio y Septiembre. (Figura 5.2).

Podemos acotar que el nivel máximo en el sector Guarguapo en el año evaluado oscila entre 0.95 m y 9.50 m (Figura 5.2).

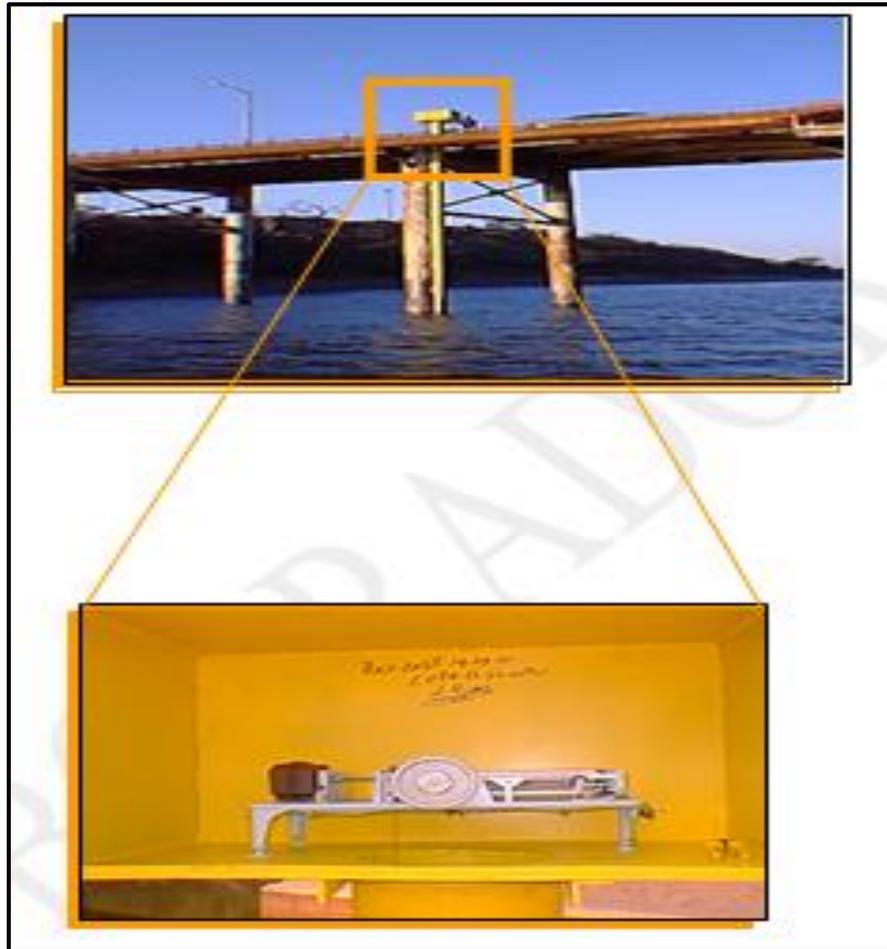


Figura 5.7 Estación limnigráfica de Palúa en el sector San Félix (Echeverría, Jiménez y Malpica, 1989).

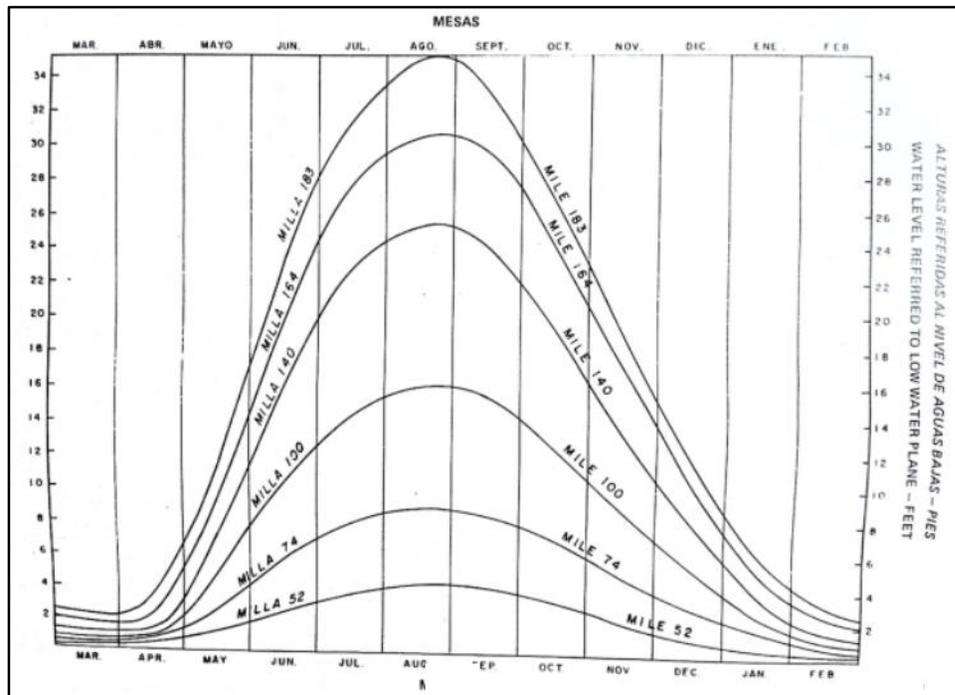


Figura 5.8 Hidrograma de los niveles promedio mensuales (metros referidos al Datum NAB) del río Orinoco.

5.2 Correlación de los parámetros hidráulicos de la corriente

Con base a los datos de las campañas de aforo efectuadas por el INC para el período 1989 -1997, se procedió a correlacionar los niveles del río, las velocidades del flujo y los caudales calculados lo cual permitiría la construcción de una herramienta gráfica para realizar la estimación de cualquiera de las variables hidráulicas mencionadas con sólo conocer una de ellas.

Para el sector Guarguapo se tomaron los datos de aforo en la sección Chivera Norte (tabla 5.2) ubicado en la progresiva fluvial. Esta correlación se muestra en las figuras 5.3 y 5.4

Tabla 5.2 Datos de aforos de la sección Chivera Norte (INC, 2010).

Año	Caudal	Velocidad	Niveles
1989	18714	7,95	5,9
1990	17033	8,63	6,4
1991	14599	6,98	4,65
1992	4784	1,97	1,1
1993	2500	1,47	0,85
1994	12721	10,09	7,48
1995	4442	1,74	0,9
1996	616	11,48	8,9
1997	3493	1,77	1

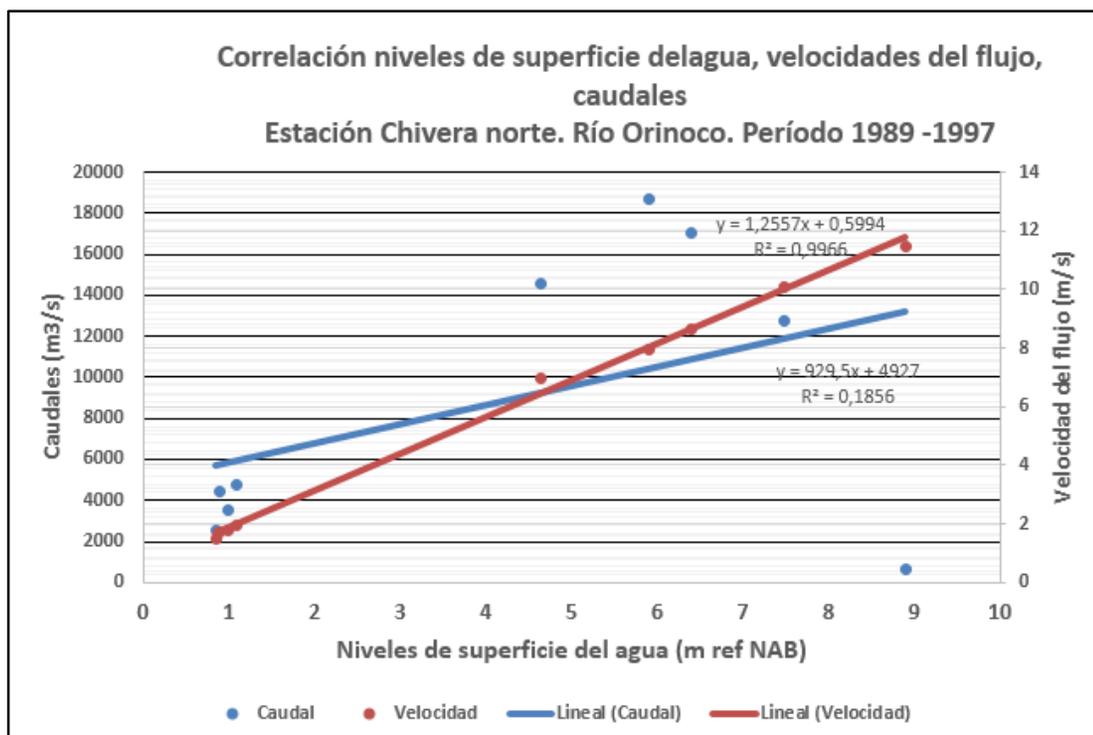


Figura 5.9 Correlación de los niveles, caudales líquidos y velocidades registradas en la sección de aforo Chivera Norte del sector Guarguapo del río Orinoco.

5.3 Inclinación de los taludes laterales del canal de navegación

5.3.1 Pendiente hidráulica en el tramo Guarguapo - Barrancas

Para determinar la pendiente hidráulica se utilizó la misma ecuación utilizada para determinar la pendiente matemática de una línea, apoyándose en el uso del ábaco de pendientes suministrado por el I.N.C. De acuerdo a los niveles del río presentados entre los límites del tramo Guarguapo - Barrancas para la fecha en estudio (julio de 1998), se observa que el desnivel ($h_2 - h_1$) es de 5.24 m, con una distancia horizontal (L_1) de 875 m, el cual arrojó como resultado una pendiente de 0.00012, en la figura 5.6 se observa la pendiente del lecho y la pendiente hidráulica del sector en estudio.

Se calculará mediante la ecuación:

$$S_1 = \frac{\Delta h}{L_1} \quad (5.1)$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad (5.2)$$

Donde:

L_1 = distancia longitudinal = 875 m

h_1 = nivel del río aguas arriba = 7.85 m

h_2 = nivel del río aguas abajo = 2.61 m

$$S_1 = \frac{7.85 \text{ m} - 2.61 \text{ m}}{4366 \text{ m}} = 0,0012$$

5.3.2 Pendiente longitudinal del lecho

Es necesario aclarar que la medición de la pendiente del río es uno de los casos donde no existe información en cada sección de aforo y debe ser deducida y aproximada con estudios específicos realizados con anterioridad, los cuales no corresponden a la realidad temporal de los aforos y mediciones seleccionadas para la estimación del transporte de sedimentos.

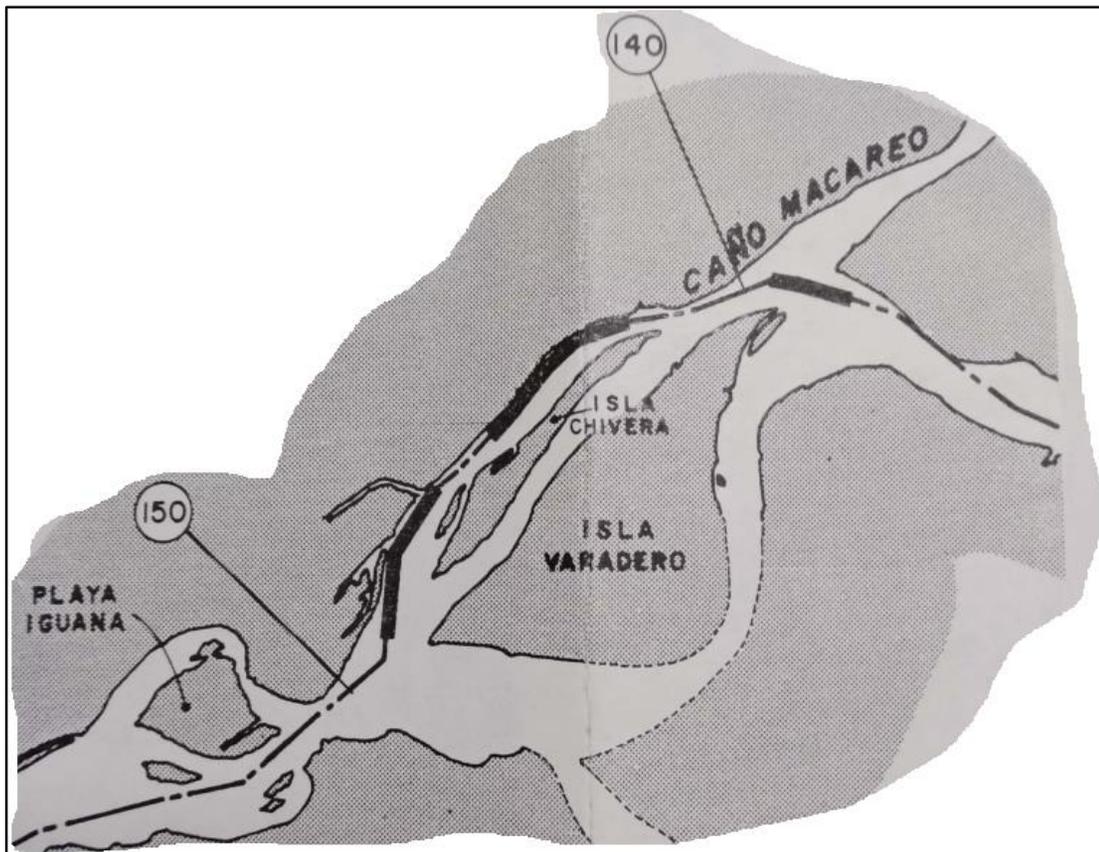


Figura 5.10 Ubicación relativa de los sectores mutuamente adyacentes Guarguapo – Barrancas.

Por esta razón la información obtenida de la pendiente de fondo del río en el tramo Guarguapo – Barrancas es aproximada, por lo que los resultados arrojados al aplicar cada uno de los métodos de cálculo se aceptan con cierto grado error, ya que,

en la formulación utilizada, se asume que la pendiente de la línea de energía es similar a la pendiente de fondo.

Sin embargo, en la actualidad se realizan investigaciones del tipo regresión matemática y extrapolaciones hidráulicas para obtener las pendientes de ríos ajustadas al tramo en estudio.

5.3.3 Pendiente transversal del lecho del cauce

Se construyeron seis (6) secciones transversales al cauce ubicadas en las millas 146, 147 y 150 con planos batimétricos elaborados durante junio 1980 y mayo 1995, con la finalidad de observar las variaciones de inclinación de los taludes sumergidos del canal.

Se pueden observar taludes entre 5 y 7.5% (3 a 4°) de inclinación en el lado norte de canal de navegación y de 1.2 a 10% (0 a 5°) de inclinación en el talud del lado sur o lado derecho descendente del canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo. Mientras en los taludes del lado norte o izquierda descendente del canal de navegación en el sector en estudio se observan taludes desde 0.6 a 5.5% (0 a 3°) Cabe destacar que los taludes del canal de navegación en las millas antes señaladas del sector Guarguapo para ambos períodos, presentan un comportamiento similar en cuanto a la inclinación de los taludes se refiere.

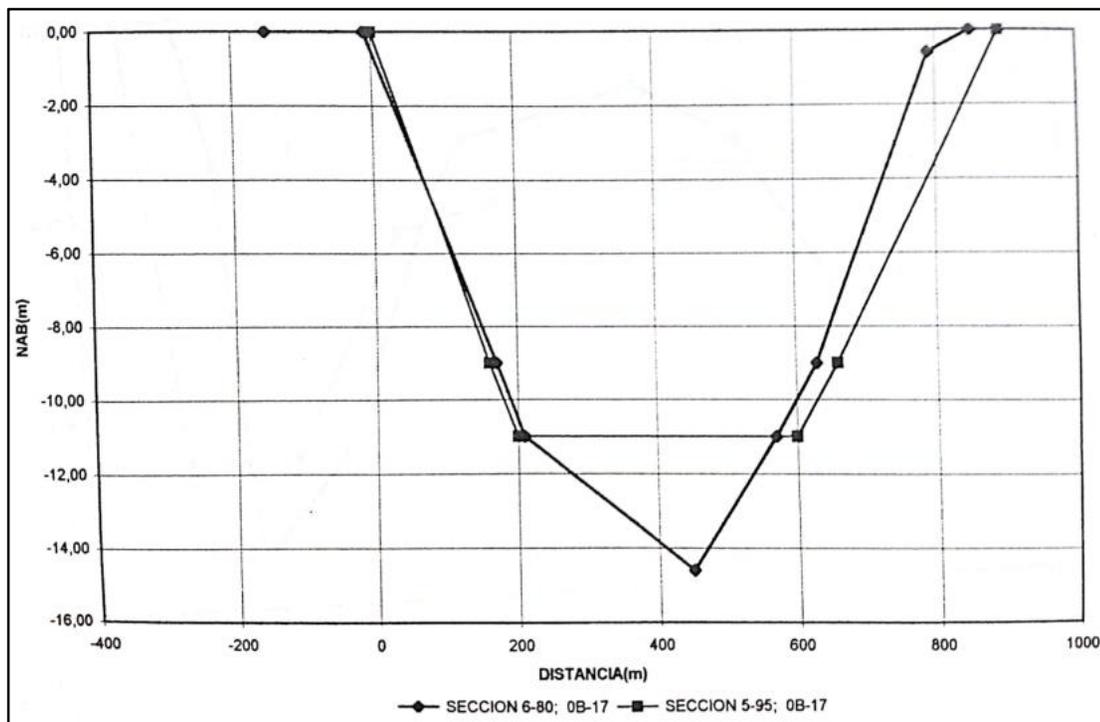


Figura 5.11 Secciones transversales en la milla 146 del sector Guarguapo para el mes de junio 1980 y para el mes de mayo 1995.

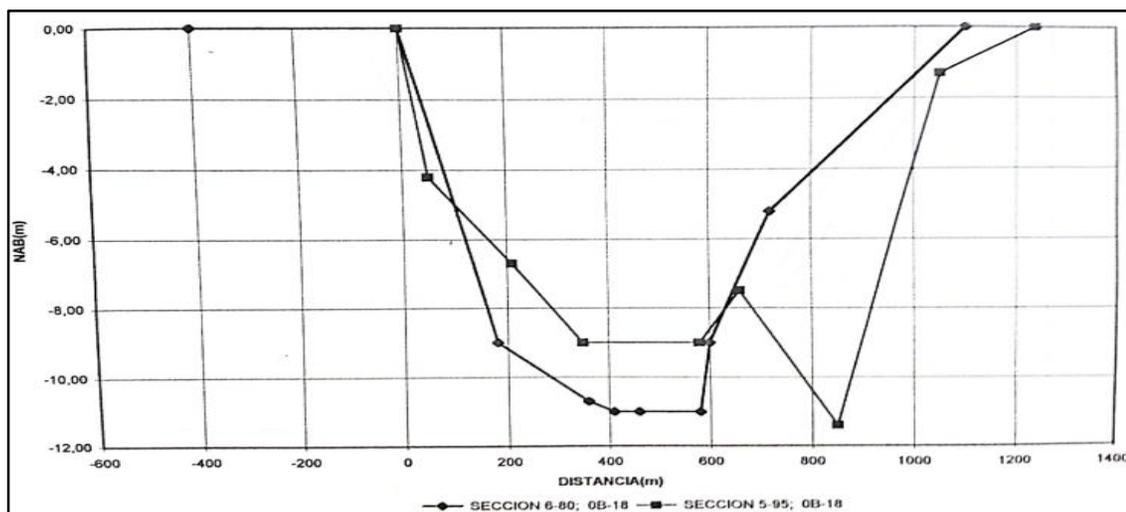


Figura 5.12 Sección transversal en la milla 147 del sector Guarguapo para el mes de junio 1980 y para el mes de mayo 1995.

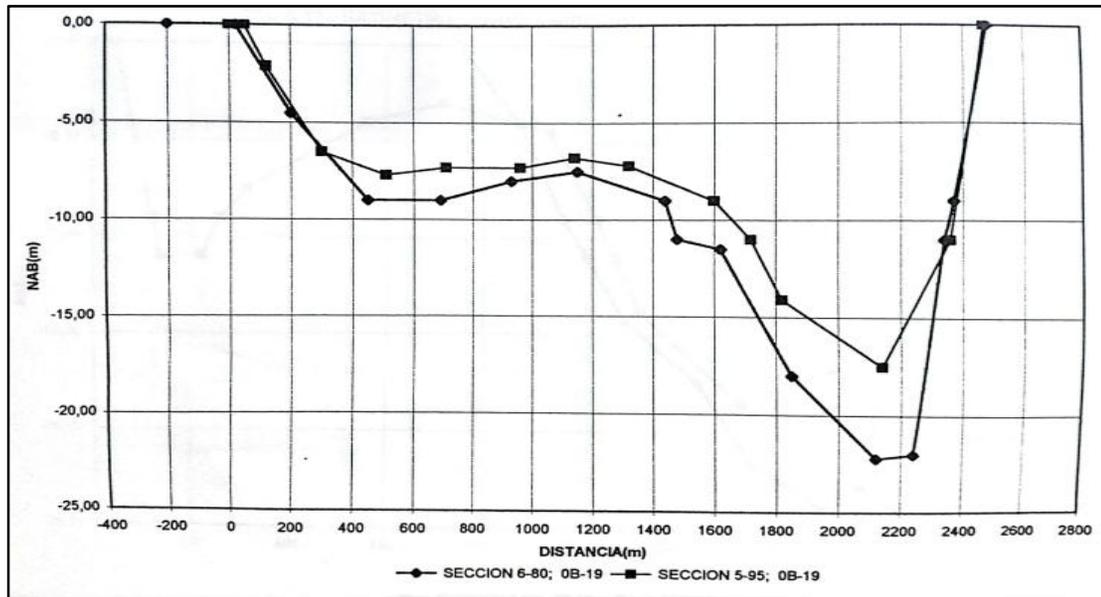


Figura 5.13 Sección transversal en la milla 150 del sector Guarguapo para el mes de junio 1980 y para el mes de mayo 1995.

5.4 Estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación

Para la determinación de la estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo, mediante la aplicación del método de la fuerza tractiva se utilizarán las variables de la tabla 5.2. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Calcular el área efectiva, volumen y peso de la partícula.
2. Calcular el volumen de la partícula, asumiendo el volumen de una esfera.
3. Calcular y convertir el peso de la partícula en libras

4. Calcular el radio hidráulico (R) de la sección
5. Calcular la pendiente longitudinal de los lados del canal haciendo uso de la ecuación de Manning
6. Calcular la fuerza tractiva unitaria en el talud
7. Calcular la fuerza tractiva unitaria en el fondo del canal
8. Una vez calculada la fuerza tractiva en los lados del canal, así como también en el fondo se procede a calcular la relación K existente entre ambas fuerzas.
9. Calcular la fuerza tractiva máxima unitaria en términos de $\tau_L = \gamma_w \cdot y \cdot S$
10. Calcular la fuerza tractiva unitaria en términos de $\gamma_w y S$ en los taludes del canal
11. Comparar los valores de la fuerza tractiva unitaria en el fondo del canal con el de la fuerza tractiva unitaria máxima,

Tabla 5.3 Estimación de los parámetros de estabilidad de los taludes.

Parámetro	Símbolo	Fórmula	Unidad	Valor
Angulo de la pendiente lateral	ϕ	Medido en sección transversal	$^{\circ}$	3
Ángulo de reposo del suelo	θ	Medido en ensayo de laboratorio	$^{\circ}$	30
Radio de la partícula	r	Del ensayo granulométrico	cm	0.02125
Diámetro de la partícula	ϕ	$D=2r$	cm	0.0425
Volumen de la partícula	v	$v = \frac{1}{4}\pi r^3$	cm ³	4.48×10^{-6}
Peso específico de la partícula	γ	De Marín, L (2002)	gr/cm ³	2.65
Peso específico del agua	γ_w		l/pie ³	62.4
Velocidad media	\bar{V}	De registros de aforos	m/s	1.26
Coefficiente de rugosidad de Manning	n	De Ven T Chow (1981)	adimensional	0.02
Ancho de la base del canal	b	Medido en la sección transversal	m	90.00
Profundidad	y	Extraído de levantamiento batimétrico	m	13.5
Pendiente lateral (proporciones z:1)	z	De Lambre (1979)	adimensional	15
Pendiente longitudinal	S	$S = \left(\frac{V \times n}{1.49 \times \sqrt{(Rh)^2}} \right)^2$	adimensional	0.000012
Densidad de la partícula	D	$D=W/v$	gr/cm ³	0.41
Radio hidráulico	Rh	$Rh = \frac{(b + zy) y}{b + 2y \sqrt{1 + z^2}}$	m	7.96
Peso sumergido de la partícula	W_{sum}	$W = D \times v$	gr	3.09×10^{-6}
Área efectiva de la partícula	a	$a=\pi r^2$	cm ²	1.42×10^{-3}
Fuerza tractiva unitaria en los taludes del canal	τ_s	$\tau_s = \frac{W}{a} \cos \phi \tan \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}}$	lb/pie ²	0.033
Fuerza tractiva unitaria en el fondo del canal	τ_l	$\tau_l = \frac{W}{a} \tan \theta$	lb/pie ²	0.026
Relación de fuerza tractiva	K	$K = \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}}$	adimensional	0.99
fuerza tractiva máxima unitaria	τ_L	$\tau_L = \gamma_w \gamma S$	lb/pie ²	0.033
fuerza tractiva máxima unitaria	τ_L	$\tau_s = K \gamma_w \gamma S \cos \phi$	lb/pie ²	0.033

En las siguientes tablas se muestran los resultados de los cálculos anteriores para cada sección del canal donde se puede observar, que, para el momento del levantamiento batimétrico, los taludes sumergidos del canal de navegación en el sector Barrancas se encontraban en posición crítica, es decir K cercano a 1.

Tabla 5.4 Valores de velocidad, rugosidad y elementos geométricos de las secciones del canal de navegación del río Orinoco en el ramo Guarguapo – Barrancas.

Sección	Talud	R (m)	S	V (m/s)	n	b (m)	y (m)	z
1	TI	7.96	0.000012	1.26	0.020	90	13.5	15
2	TI	6.66	0.000010	1.02	0.020	90	11	15
	TD	7.19	0.000011	1.12	0.020	90	12	15
3	TI	7.44	0.000011	1.16	0.020	90	12.5	15
	TD	6.66	0.000010	1.02	0.020	90	11	15

Tabla 5.5 Valores correspondientes de fuerza tractiva máxima unitaria en los taludes del canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo.

Sección	Talud	W (lb)	A (pie ²)	ϕ (°)	θ (°)	γ_w (lb/pie ³)	τ_s (lb/pie ²)
1	TD	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	3.05	30	62.4	0.033
2	TI	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	0.76	30	62.4	0.027
	TD	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	8.59	32	62.4	0.029
3	TI	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	4.06	30	62.4	0.030
	TD	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	3.66	32	62.4	0.027

Tabla 5.6 Valores de fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de γ_w y S presentes en el canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo.

Sección	Talud	$\tau_s = K \gamma_w y S \cos\phi$ (lb/pie ²)	$\tau_t = \gamma_w y S$ (lb/pie ²)	K
1	TD	0.033	0.033	0.99
2	TI	0.027	0.027	0.99
	TD	0.026	0.029	0.91
3	TI	0.029	0.030	0.97
	TD	0.027	0.027	0.99

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. En el hidrograma de niveles del tramo Guarguapo - Barrancas se observan oscilaciones de la altura del río entre 9.50 m en aguas altas y 0.98 en estiaje. Comportamiento en su mayoría regular que se corresponde con el ciclo de lluvias y sequías que impera en el país.
2. El comportamiento hidrológico del río Orinoco ha manifestado un rendimiento líquido presentando, en el tramo Guarguapo - Barrancas un caudal que varía entre 2500 m³/s hasta 17033 m³/s presentando velocidades de corriente entre 1.97 y 11.48 m/s durante el período de aguas altas. El Tramo Guarguapo - Barrancas presenta una pendiente hidráulica promedio de $3.77 \cdot 10^{-5}$ m/m, y una pendiente de lecho promedio de $5.54 \cdot 10^{-4}$ m/m.
3. Según el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos, los suelos muestreados en el tramo Guarguapo - Barrancas y posteriormente analizados en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Oriente resultaron ser arena mal gradada (SP). Por otra parte, las formas predominantes en relación con la geometría de los granos son subangular y angular.
4. De acuerdo a las secciones transversales evaluadas del tramo Guarguapo - Barrancas se pudo observar que el ángulo de inclinación de los taludes izquierdo y derecho descendentes del canal de navegación se corresponden a ángulos muy bajos entre 0.5 y 4.5° los cuales aun siendo de baja magnitud se encuentran en condiciones críticas considerando la magnitud de las velocidades de corriente, la pendiente longitudinal del canal y la naturaleza de los sedimentos.

5. La aplicación del método de la fuerza tractiva a los taludes del canal de navegación del río Orinoco en el tramo Guarguapo - Barrancas evaluado en las tres (3) secciones transversales evaluadas indicó, que para el momento de efectuado el levantamiento batimétrico los taludes en cuestión se encuentran en condición de estabilidad crítica (K cercano a 1).

Recomendaciones

1. Analizar la estabilidad de los taludes sumergidas en las condiciones críticas o extremas del entorno hidráulico del canal, es decir, para caudales extremos, para niveles extremos y para velocidades extremas registradas en el tramo Guarguapo - Barrancas.
2. Validar el uso de otros modelos empíricos existentes para la estimación del modelamiento del grado de estabilidad de los taludes sumergidas.
3. Efectuar estudios correlacionales entre los niveles del río y los patrones del flujo de sedimentos que se producen en el tramo Guarguapo - Barrancas.

REFERENCIAS

Allen, J. (1987). **SEDIMENTARY STRUCTURES, THEIR CHARACTER AND PHYSICAL BASIC DEVELOPMENTS IN SIDIMENTOLOGY**. Amsterdam Elsevier Vol. 1. pp 663.

Arias, F. (1996). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA**. (6° Edición). Episteme, Caracas, pp 17.25.

Arness, Echeverria y Guerrero (2016), **ESTUDIO SOBRE LA EROSIÓN Y SOCAVACIÓN EN LAS FUNDACIONES DEL MALECÓN DE LA POBLACIÓN BARRANCAS DEL ORINOCO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA**. Universidad de Oriente. Núcleo Bolívar. Ciudad Bolívar.

Balestrini A., M. (2002). **COMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Consultores Asociados, Caracas, Venezuela. pp 74.

Bejarano, M. y Echeverría, D. (1990). **ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR BARRANCAS EN EL RÍO ORINOCO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA**. Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz.

Bowles, Joseph (1981). **MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS E INGENIERÍA CIVIL**. Series McGraw Hill, Latinoamericana. pp 35-40,175-180.

Chang, F. (1988). **TOTAL BED MATERIAL DISCHARGE IN ALLUVIAL CHANNELS**. U.S. Geological Survey. New York.

Consultora Ingeniería Caura., (1994). **ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DRAGADO DEL RÍO ORINOCO**. Tramo Matanzas-Boca Grande, Caracas pp. 16,21-23.

Corrales, J. (1977). **ESTRATIGRAFIA**. Editorial Ruedo. Madrid – España. Pp 717.

C.V.G., (1977). **ESTUDIO GEOTECNOLÓGICO DE CIUDAD GUAYANA Y ALREDEDORES**. Geovenex. Tomo I, pp 17, 33-34.

C.V.G. Edelca, C.A. (2012). **INFORME DE RECOPIACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ**. Ciudad Guayana.

C.V.G Técnica Minera C.A., (1989). **INFORME DE AVANCE NC 20 – 14 Y NC 20 – 15, CLIMA, GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS Y VEGETACIÓN TOMO I, II, III.** Ciudad Bolívar, Venezuela. pp 185-203, 441-444, 453-461

CVG Técnica Minera, C.A. (2002). **INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES DEL ESTADO BOLIVAR.** Puerto Ordaz.

Echeverría, D., Jiménez, L. y Malpica, F. (1998). **EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVA EN EL CANAL INTERIOR DEL RÍO ORINOCO, UBICADA EN LOS SECTORES ARAMAYA, GUARGUAPO, YA-YA Y GUASINA. ESTADOS MONAGAS Y DELTA AMACURO. VENEZUELA.** Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz. Pp 222.

Echeverría, D y Medina, R. (1992). “**ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN EN EL SECTOR LOS CASTILLOS DEL RIO ORINOCO**”. Instituto Nacional de Canalizaciones., Puerto Ordaz.

Fuerza Aérea de **Venezuela.** F.A.V. (2012). **INFORMES DE AVANCES METEOROLÓGICOS DE CIUDAD BOLÍVAR.** Ciudad Bolívar.

Friedman y Sanders (1972). **SHOALING AND TIDAL DEPOSITS THAT ACCUMULATED MARGINAL TO THE PROTO-ATLANTIC OCEAN.** Boston.

García, A. (2017) **EQUIPOS DE DRAGADO DEL MUNDO.** Instituto Nacional de Canalizaciones. Caracas.

García, M y Maza J. (1998). **ORIGEN Y PROPIEDADES DE LOS SEDIMENTOS. CAPÍTULO 6 DEL MANUAL DE INGENIERÍA DE RÍOS.** México. Pp 258.

García, M. y Maza, J. (1998). **TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. CAPÍTULO 7 DEL MANUAL DE INGENIERÍA DE RÍOS.** México. pp 111.

González de Juana, C., Iturralde, J. y Picard, X. (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS.** Edición Foninves. Caracas. pp 70.

Griem, W. (1999). **LAS DUNAS DE ATACAMA**. Santiago de Chile.

Guzman, J. (1992). **TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Hjulstrum, F. (1935). **LA ACTIVIDAD MORFOLÓGICA DE LOS RÍOS ILUSTRADO POR RIVER FYRIS**. Boletín del Instituto Geológico, Uppsala, vol. 25, cap. 3.

Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V. (1998). **SISTEMA FLUVIAL ORINOCO – APURE. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**. Caracas. pp 35-42.

Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V. (1999). **CONFORMACIÓN FÍSICA DE LAS ÁREAS DE BOTE**. Caracas. Capítulo III. pp 1-4.

Instituto Nacional de Canalizaciones (1997). **EL RIO ORINOCO Y EL CANAL DE NAVEGACION**. Puerto Ordaz.

Instituto Nacional de Canalizaciones (1994). **ANUARIO DE NIVELES DEL RIO ORINOCO**. Puerto Ordaz.

Jiménez, L. y Malpica, F. (2003). **EVALUACION DE LAS AREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVA EN LOS SECTORES, GUARGUAPO, YAYA Y GUASINA DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Landaeta, C. (2001) **DRAGADO DE LOS CANALES DE VENEZUELA** Instituto Nacional de Canalizaciones. Caracas.

Leeder, M. (1982). **SEDIMENTOLOGY.PROCESS AND PRODUCT**. London George Allen and Unwin. Boston Sydney. pp 60-620.

Malpica C. Rojas D. (2015). **ANALISIS DE LOS ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS Y SEDIMENTOLOGICOS DE LA ISLA LA BURRA, UBICADA EN EL RIO ORINOCO, ENTRE LOS MUNICIPIOS CEDEÑO, ESTADO BOLIVAR Y LAS MERCEDES, ESTADO GUARICO, VENEZUELA**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Estado Bolívar.

Marín, L. (2002). **ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL SECTOR ARAMAYA DEL RÍO ORINOCO**. Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

McCandless, G. C. (1965). **RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE LA PARTE OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR**. Boletín de Geología Vol. 7 (13). Pp 19-28.

Mendez, R. (2006). **SEDIMENTOS COHESIVOS Y NO COHESIVOS**. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Mendoza, V.(2000). **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA Y SU RELACIÓN CON EL ESCUDO SUDAERICANO**. Ciudad Bolívar. Pp 25 – 37.

Meneses, S. (1980) **MANUAL DE MEDICIONES HIDROMÉTRICAS E HIDRODINÁMICAS**. Ediciones de la Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Miall, A. (1981). **ANALYSIS OF FLUVIAL DEPOSITION AL SYSTEMS**. Am. Ass. Petrol. Geol. Conference. (Inédite).pp 68.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1971) **“LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA”**. Editorial Sucre. Caracas. Venezuela.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1999). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA**. Boletín Geología. Tercera Edición. Editorial Sucre, Caracas, Venezuela. Pp 414-415.

Palella S., S. y Martins P., F. (2012). **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA**. FEDUPEL, 3era edición. Caracas, pp10, 33.

Pettijhon, F. (1949). **SEDIMENTARY ROCKS**. Editorial Harper y Brothers. New York.

Pettijohn, J. (1980). **ROCAS SEDIMENTARIAS**. Editorial Universitaria, Buenos Aires. pp. 16-38.

Power, H, García Reinaldo y Saavedra Iván., (1998). **SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA DISPOSICIÓN DE MATERIAL DRAGADO EN EL RÍO ORINOCO**. Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. pp 330-331.

Power, Henry., García Martínez, Reinaldo y Saavedra, Iván., (1989). **SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA DISPOSICIÓN DE MATERIAL DRAGADO EN EL RÍO ORINOCO**. Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. pp 330-331.

Pravia, J. (1997). **APUNTES DE MECÁNICA DE SEDIMENTACIÓN**. Escuela de Ciencias de la Tierra, Núcleo Bolívar, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Rodríguez, J. (2012). **DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS DE TRANSPORTE DE LA PARTE ESTE DE LA ISLA FAJARDO MUNICIPIO CARONÍ, RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR**. Trabajo de Grado no Publicado de la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar.

Sabino C. (1992). **EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Panapo. Caracas. 134-145

Shields, A. (1936). **APPLICATION OF SIMILARITY PRINCIPLES, AND TURBULENCE RESEARCH TO BED-LOAD MOVEMENT**. California of Institute of Technology. Pasadena.

Silva, G. (2003). **EROSIÓN FLUVIAL Y TRANSPORTE SEDIMENTOS EN RÍOS**. Trabajo de grado. Colombia. Pp 158.

Silva E y Alcalá H. (2005). **CARACTERIZACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO DE LAS ISLAS OROCOPICHE, EL DEGREDADO Y PANADERO UBICADAS EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS OROCOPICHE Y MARHUANTA, RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Estado Bolívar.

Spaletti Luis A. (2007). **TEXTURA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS** (10 de mayo 2012). Facultad de Ciencias y Museo UNLP. <http://www.fcnyu.unlp.edu.ar/catedras/sedimentologia/pdf/textura.pdf>.

Tamayo y Tamayo, M. (2004). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. 4ta edición, Editorial Limusa. México, pp 64-82.

Tippetts, Abett, McCarthy, Stratton Engineers and Architects of New York – TAMS, (1970). **TRANSPORTE DE MINERAL DE HIERRO DE PUERTO ORDAZ AL MAR**. New York.

Torres, Mayra. (1999). **ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DEL CONJUNTO DE ISLAS BERNABELA E ISLOTE DEL RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Estado Bolívar.

United State Army Corps of Engineers (2017) **MANUAL DEL PROGRAMA HECRAS**. Vicksburg.

Van Rijn, Leo., (1990). **PRINCIPLES OF SEDIMENT TRANSPORT IN RIVER, ESTUARIES AND COASTAL SEAS**. University of Utrecht. Department of Physical Geography. pp 4.1-4.33.

Visher, G. (1969). **GRAIN SIZE DISTRIBUTIONS AND DEPOSITIONAL PROCESSES YOUR**. Sed. Petro. Boll. 39, Number 3. pp 1074-1106.

Vivenes, A. (2012). **DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS DE TRANSPORTE DE LOS SEDIMENTOS DEPOSITADOS EN LA ISLA EL MAMO, ESTADO ANZOATEGUI, RÍO ORINOCO, VENEZUELA**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Venezuela.

APÉNDICES

APÉNDICE A
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS
MUESTRAS DE TAMS (1970)

A.1 Análisis granulométrico de la muestra de la milla 148.4.

FORM NO. 100-100-100
TIPPETTS-ABNEY-McCARTHY-STRATTON
ENGINEERS AND ARCHITECTS
 BORING NO. 148.4
 SHEET 1 OF 1

SUBSURFACE EXPLORATION LOG

JOB NO. 1231 JOB TITLE OMC TRANSPORTATION STUDY DATE JAN. 31, 1970
 LOCATION LONG. 82° 14' + 300 METERS; LAT. 8° 37' + 650 METERS DATUM LWP
 DRILL WIRRCORE ANGLE VERTICAL REFERENCE ELEV. -41 FT.
 DRILLING CONTRACTOR INC. OMC DRILLER INC INSPECTOR T. G. MORAN
 SAMPLE HAMMER: WT. DROP CASING HAMMER: WT. DROP

DEPTH IN FEET (ELEVATION)	PENETRATION TIME sec./ft. (% RECOVERY)	SYMBOL	SAMPLE NUMBER AND DESCRIPTION OF MATERIAL	SAMPLER AND BIT CASING TYPE BLOWS/FOOT ON CASING	% FINER BY WEIGHT					MOISTURE CONTENT %	LIQUID LIMIT %	PLASTIC INDEX %
					# 10 SIEVE	# 40 SIEVE	# 65 SIEVE	# 100 SIEVE	# 200 SIEVE			
0	1											
1	1											
9	1											
7	1											
5	1											
1	1											
2	2	SP	Medium to fine SAND, trace silt		98	44	12	4	1			
2	2											
10	2											
3	3											
3	3											
3	3											
15	4											
5	5											
4	4											
5	5											
(-59)		REF.	Bottom of Boring Elevation - 59 Ft. (LWP)									
20												

(Results of dry sieve analysis on composite sample performed in field)

A.2 Análisis granulométrico de la muestra de la milla 146.9.

FORM NO. 150-B-58		TIPPETTS-ABBETT-McCARTHY-STRATTON ENGINEERS AND ARCHITECTS			BORING NO. 146.9 SHEET 1 OF 1								
SUBSURFACE EXPLORATION LOG													
JOB NO. 1241		JOB TITLE OMC TRANSPORTATION STUDY			DATE JAN 31, 1970								
LOCATION LONG. 62° 13' + 1290 METERS; LAT. 8° 38' + 1366 METERS DATUM LWP													
DRILL VIBRACORE ANGLE VERTICAL REFERENCE ELEV. -43 FT.													
DRILLING CONTRACTOR INC - OMC DRILLER INC INSPECTOR T. G. MORAN													
SAMPLE HAMMER WT. DROP CASING HAMMER WT. DROP													
DEPTH IN FEET (ELEVATION)	PENETRATION TIME SEC./FT. (% RECOVERY)	SYMBOL	SAMPLE NUMBER AND DESCRIPTION OF MATERIAL	SAMPLER AND BIT	CASING TYPE BLOWS/FOOT ON CASING	% FINER BY WEIGHT					MOISTURE CONTENT %	LIQUID LIMIT %	PLASTIC INDEX %
						# 10 SIEVE	# 40 SIEVE	# 60 SIEVE	# 80 SIEVE	# 100 SIEVE			
0	1												
3	3												
5	2	SP	Medium to fine SAND, trace silt	20' Vibracore Tube		99	83	58	13	2			
6	2												
10	40	REF.	Bottom of Boring Elevation - 53 Ft. (LWP)										

(Results of dry sieve analysis on composite sample performed in field)

APÉNDICE B
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS
MUESTRAS DE BEJARANO – ECHEVERRÍA (1990)

B.1 Análisis granulométricos a las muestras de la sección N° 03 sector Guarguapo-Barrancas, (Bejarano, M. y Echeverría, D. 1990).

MUESTRA	TAMIZ N°	DIAMETRO DE TAMIZ (mm)	PESO DE TAMIZ (gr)	TAMIZ+SUELO (gr)	SUELO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA
CC-3	4	4.75	747.2	748.4	1.2	0.24	0.24	99.76
	10	2	643.2	646.1	2.9	0.58	0.82	99.18
	40	0.425	566.2	576.6	10.4	2.08	2.90	97.10
	60	0.25	512	873.7	361.7	72.41	75.32	24.68
	80	0.18	515	628.1	113.1	22.64	97.96	2.04
	100	0.149	395.6	402.7	7.1	1.42	99.38	0.62
	230	0.063	482.3	485.2	2.9	0.58	99.96	0.04
	PAN	0	483.6	483.8	0.2	0.04	100.00	0.00
					499.5	100.00		
TI-3	4	4.75	747.2	757.4	10.2	2.04	2.04	97.96
	10	2	643.2	648.2	5	1.00	3.04	96.96
	40	0.425	566	590.1	24.1	4.83	7.87	92.13
	60	0.25	511.9	871.2	359.3	71.95	79.82	20.18
	80	0.18	515.4	609.4	94	18.82	98.64	1.36
	100	0.149	395.8	400.7	4.9	0.98	99.62	0.38
	230	0.063	482.3	484.1	1.8	0.36	99.98	0.02
	PAN	0	483.7	483.8	0.1	0.02	100.00	0.00
					499.4	100.00		
TD-3	4	4.75	747.2	747.9	0.7	0.18	0.18	99.82
	10	2	643.4	648.1	4.7	1.18	1.35	98.65
	40	0.425	565.6	614.6	49	12.25	13.60	86.40
	60	0.25	540.6	790.4	249.8	62.47	76.07	23.93
	80	0.18	514.9	604.3	89.4	22.36	98.42	1.58
	100	0.149	395.7	399.9	4.2	1.05	99.47	0.53
	230	0.063	482.2	484.1	1.9	0.48	99.95	0.05
	PAN	0	483.8	484	0.2	0.05	100.00	0.00
					399.9	100.00		

B.2 Análisis granulométricos a las muestras de la sección N° 02 en el sector Guarguapo-Barrancas (Bejarano, M. y Echeverría, D. 1990).

MUESTRA	TAMIZ N°	DIAMETRO DE TAMIZ (mm)	PESO DE TAMIZ (gr)	TAMIZ+SUELO (gr)	SUELO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% ACUMCUMULADO.	% QUE PASA
CC-2	4	4.75	747.2	747.4	0.2	0.04	0.04	99.96
	10	2	643.2	645.7	2.5	0.50	0.54	99.46
	40	0.425	565.6	591	25.4	5.08	5.62	94.38
	60	0.25	511.6	848	336.4	67.33	72.96	27.04
	80	0.18	514.9	633.9	119	23.82	96.78	3.22
	100	0.149	395.6	405.7	10.1	2.02	98.80	1.20
	230	0.063	482.3	488.1	5.8	1.16	99.96	0.04
	PAN	0	483.7	483.9	0.2	0.04	100.00	0.00
					499.6	100.00		
TI-2	4	4.75	747.2	747.2	0	0.00	0.00	100.00
	10	2	643.4	644.7	1.3	0.26	0.26	99.74
	40	0.425	566.1	585.3	19.2	3.84	4.10	95.90
	60	0.25	511.9	897.9	386	77.20	81.30	18.70
	80	0.18	515.2	602.2	87	17.40	98.70	1.30
	100	0.149	395.8	400	4.2	0.84	99.54	0.46
	230	0.063	482.3	484.5	2.2	0.44	99.98	0.02
	PAN	0	483.7	483.8	0.1	0.02	100.00	0.00
					500	100.00		
TD-2	4	4.75	747.3	747.3	0	0.00	0.00	100.00
	10	2	643.4	643.5	0.1	0.02	0.02	99.98
	40	0.425	566.3	583.4	17.1	3.42	3.44	96.56
	60	0.25	511.5	921.4	409.9	82.00	85.44	14.56
	80	0.18	515	568.1	53.1	10.62	96.06	3.94
	100	0.149	395.8	410.4	14.6	2.92	98.98	1.02
	230	0.063	482.3	487.2	4.9	0.98	99.96	0.04
	PAN	0	483.7	483.9	0.2	0.04	100.00	0.00
					499.9	100.00		

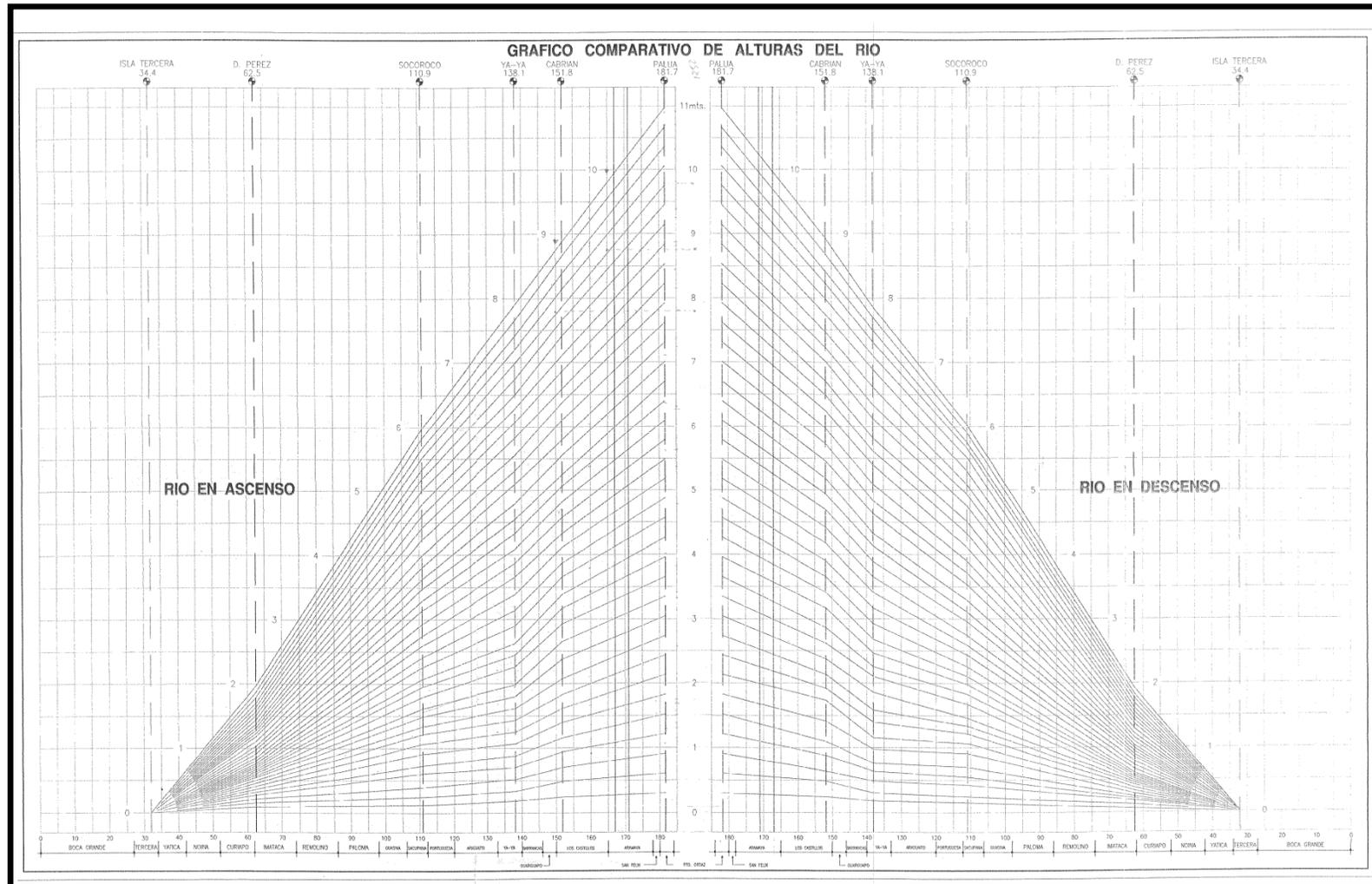
B.3. Análisis granulométricos a las muestras de la sección N° 01 en el sector Guarguapo-Barrancas (Bejarano, M. y Echeverría, D., 1990).

MUESTRA	TAMIZ N°	DIAMETRO DE TAMIZ (mm)	PESO DE TAMIZ (gr)	TAMIZ+SUELO (gr)	SUELO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% ACUMCUMULADO.	% QUE PASA
CC-1	4	4.75	747.2	747.2	0	0.00	0.00	100.00
	10	2	643.1	643.7	0.6	0.12	0.12	99.88
	40	0.425	565.9	574.2	8.3	1.66	1.78	98.22
	60	0.25	511.5	838.1	326.6	65.32	67.10	32.90
	80	0.18	514.8	658.9	144.1	28.82	95.92	4.08
	100	0.149	395.6	408.8	13.2	2.64	98.56	1.44
	230	0.063	482.2	489.1	6.9	1.38	99.94	0.06
	PAN	0	483.6	483.9	0.3	0.06	100.00	0.00
					500	100.00		
TI-1	4	4.75	747.2	747.2	0	0.00	0.00	100.00
	10	2	643.2	643.4	0.2	0.04	0.04	99.96
	40	0.425	566.1	581.1	15	3.26	3.31	96.69
	60	0.25	511.7	830.7	319	69.42	72.73	27.27
	80	0.18	514.9	622	107.1	23.31	96.04	3.96
	100	0.149	395.6	408.3	12.7	2.76	98.80	1.20
	230	0.063	482.3	487.6	5.3	1.15	99.96	0.04
	PAN	0	483.6	483.8	0.2	0.04	100.00	0.00
					459.5	100.00		
TD-1	4	4.75	747.2	748.5	1.3	0.26	0.26	99.74
	10	2	643.3	647	3.7	0.74	1.00	99.00
	40	0.425	565.9	624.1	58.2	11.65	12.65	87.35
	60	0.25	511.6	844.7	333.1	66.69	79.34	20.66
	80	0.18	514.9	611	96.1	19.24	98.58	1.42
	100	0.149	395.6	400.6	5	1.00	99.58	0.42
	230	0.063	482.2	484.2	2	0.40	99.98	0.02
	PAN	0	483.6	483.7	0.1	0.02	100.00	0.00
					499.5	100.00		

B.4 Análisis de forma de las muestras

Forma de la partícula	Frecuencias relativas (%)								
	TI1	CC1	TD1	TI2	CC2	TD2	TI3	CC3	TD3
Angular	36.5	35	31	32.5	30.5	30	33.5	33	37.5
Subangular	50.5	50.5	52.5	49	49	52	55	49.5	0
Subredondeadas	0.5	12	15	15	15.5	14	10	15	9.5
Redondeadas	2.5	2.5	1.5	3.5	5	4	1.5	2.5	3

APÉNDICE C
GRÁFICO DE PENDIENTES HIDRÁULICAS DEL RÍO
ORINOCO. TRAMO MATANZAS-CURIAPO



C.1 Grafico de pendientes hidráulicas del rio Orinoco (I.N.C ,1986)

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

Título	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL SECTOR GUARGUAPO DEL RÍO ORINOCO MEDIANTE EL MÉTODO DE FUERZA TRACTIVA, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Velásquez Acuña, Jesús Salvador	CVLAC	27.181.497
	e-mail	jesusvelasquezjesus@gmail.com
	e-mail	
Vival Figuera, Sócrates Alfonso	CVLAC	19.622.752
	e-mail	Vivalsocrates.figuera@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Estabilidad de taludes
Taludes sumergidos
Sedimentos fluviales
Fuerza Tractiva
Sector Guarguapo
Canal navegación
Rio Orinoco

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Hidráulica fluvial	Estabilidad taludes sumergidos

Resumen (abstract):

El objetivo fundamental del presente trabajo de grado consiste en analizar las condiciones de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del río Orinoco en el sector Guarguapo., ubicado entre las progresivas fluviales: millas 146 y 150 del canal de navegación del río Orinoco, en el estado Monagas. La estrategia adoptada para dar respuesta al problema planteado fue documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se describió el comportamiento de las corrientes con base a los estudios de Medina y Echeverría (1992); También, se efectuó la correlación de los niveles del río, velocidades y caudales con base a los datos de aforos suministrados por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INC).. Se realizó un muestreo de sedimentos en los taludes del sector durante las operaciones de dragado por parte del personal de hidrografía que se encontraba a bordo de la draga autopropulsada que operaba en dicho sector. A las muestras tomadas se les realizó análisis granulométricos y morfoscópicos de las partículas con la finalidad de tener una aproximación textural de las mismas. Asimismo, dichos análisis fueron validados mediante los resultados del estudio realizado por la consultora TAMS (1970) y en el INC por Bermúdez y Echeverría (1990) quienes también tomaron muestras del lecho y también las analizaron texturalmente durante esas investigaciones. Posteriormente, se determinaron las características morfológicas del lecho para el sector, mediante la creación de modelos digitales tridimensionales y secciones transversales, con información proveniente de levantamientos batimétricos costa a costa. Finalmente, se aplicó el método de la fuerza tractiva para la estimación de las condiciones de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación en el sector. Como resultados relevantes se determinó que los materiales del cauce se corresponden con arenas mal gradadas (SP). Hidráulicamente los niveles del agua varían de acuerdo al ciclo hidrológico de la región es decir ascendiendo en la época de lluvias y descendiendo en la época de sequía desde 8.9 m hasta 0.85 m (referidos al Datum NAB). La elaboración de las secciones transversales del cauce permitió observar que las mayores profundidades se corresponden con el tramo medio del sector en su parte norte del canal, paralela a la concavidad de la ribera y que el ángulo de los taludes del canal de navegación se corresponde entre 3 y 6 grados. Finalmente, utilizando el método de la fuerza tractiva se determinó que los taludes del canal de navegación para el momento del estudio se encuentran en estado de estabilidad crítica (K cercano a 1).

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

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Echeverría Díaz, Dafnis José	ROL	A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	4506408
	e-mail	dafnisecheverríaudo@gmail.com
	e-mail	
España, Juan	ROL	A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	12602152
	e-mail	juangeoe@gmail.com
	e-mail	
Padilla, Karla	ROL	A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	21264829
	e-mail	Krlpadilla9@gmail.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2023	Julio	18

Lenguaje: spa

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

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
TESIS EVALUACIÓN CONDICIONES ESTABILIDAD TALUDES SUMERGIDOS CANAL NAVEGACIÓN SECTOR GUARGUAPO RÍO ORINOCO MEDIANTE.docx	Application/msword

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: Sector Guarguapo, río Orinoco, Delta Amacuro, Venezuela (Opcional)

Temporal: 2023 (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Pregrado

Nivel Asociado con el Trabajo: Hidráulica Fluvial

Área de Estudio: Hidrología

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

Letido 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 <i>Mazley</i>
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Cordialmente,

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

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

Derechos:

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado

“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros

finés con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,

quien lo participara al Consejo Universitario”

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.

Jesús Salvador Velásquez Acuña
C.I. No 27.181.497
AUTOR 1

Socrates Alfonso Vival Figuera
C.I. No. 19.622.752
AUTOR 2

Dafnis José Echeverría Díaz
C.I. No. 4.506.408
Tutor Académico

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

Derechos:

**De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de
grado**

**“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a
otros**

**finos con el consentimiento del consejo de núcleo
respectivo,**

quien lo participara al Consejo Universitario”

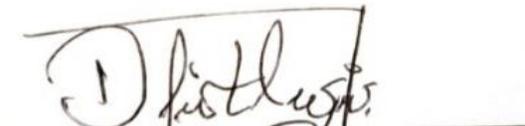
Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido.
La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo,
salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los
realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de
Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.



Jesús Salvador Velásquez Acuña
C.I. No 27.181.497
AUTOR 1



Socrates Alfonso Vival Figueroa
C.I. No. 19.622.752
AUTOR 2



Dafnis José Echeverría Díaz
C.I. No. 4.506.408
Tutor Académico