

**ESTABILIDAD EN TALUDES SUBMARINOS: RECONOCIMIENTO Y
PROCESOS DE ESTABILIZACION.**

**LEONARDO MEDINA ORTIZ
ALEXIS GEOVANI OLIVARES HERNÁNDEZ.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

**ESTABILIDAD EN TALUDES SUBMARINOS: RECONOCIMIENTO Y
PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN.**

**LEONARDO MEDINA ORTIZ
ALEXIS GEOVANI OLIVARES HERNÁNDEZ.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil**

**DIRECTORA
MSc, HEBENLY CELIS LEGIZAMO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y especialmente a la Escuela de Ingeniería Civil, la cual, a través de su organizado programa académico y excelente cuerpo docente nos formaron hasta alcanzar este logro.

A la Directora y profesora de la escuela de ingeniería civil, Hebenly Celis Leguizamo quien nos oriento en el transcurso de la elaboración de este proyecto, y así poderlo plasmar en este libro. A ella le deseamos muchos éxitos en su vida.

DEDICATORIA

Primeramente a Dios quien me iluminaba en esos momentos duros y difíciles que tuve en el transcurso de mi carrera, pues me orientaba y me daba fuerzas para seguir adelante cada vez que caía.

A mi mis padres, hermanos, amigos y compañeros de universidad, quienes creyeron siempre en mi y me apoyaron para dar de mi siempre lo mejor, de corazón muchas gracias.

Al atletismo, deporte que le debo muchos de mis logros ya que me ayudo en mi formación como persona gracias.

Leonardo Medina Ortiz

Agradezco a Dios por ser el pilar más importante en mi vida por ser una fuente de fé e inspiración en los momentos más difíciles en mi proceso de formación.

A mi Madre y hermanos quienes con un gran esfuerzo han estado siempre a mi lado en las buenas y malas dándome el apoyo incondicional cuando mas lo he necesitado, a mis amigos y compañeros de carrera quienes aportaron de mil y un maneras en mi proceso de crecimiento y formación.

Y en especial a la Escuela de Ingeniería Civil y su plantel de grandes Docentes, ya que sin su guía nada de esto habría sido posible.

Alexis Geovani Olivares Hernández.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
2. MÉTODOS DE EXPLORACIÓN Y CARACTERIZACION DEL SUELO MARINO	20
2.1 ESTUDIOS GEOFISICOS	20
2.1.1 Equipos para la exploración geofísica	21
2.1.2 Métodos de exploración indirecta	26
2.2 EXPLORACION GEOTECNICA	29
2.2.1 Exploración por recuperación de muestras	31
2.2.2 Exploración por análisis de las propiedades del suelo in-situ	36
2.2.2.1 Equipos para el muestreo in-situ	36
2.2.3 Resume Capitulo II	39
3. FACTORES QUE PRODUCEN LAS FALLAS EN LOS TALUDES SUMERGIDOS.	43
3.1 FUERZA DE OLAJE QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL TALUD	44
3.1.1 Erosión por acción del oleaje	46
3.1.2 Evaluación simplificada de la licuación inducida por el oleaje.	48
3.1.2.1 Analisis de Ishihara y Yamazaki.	48
3.2 INESTABILIDAD POR PRESENCIA DE GASES	49
3.3 MOVIMIENTOS DE MASAS POR ACTIVIDAD SISMICA	50

3.4 RESUMEN CAPITULO III	53
4. CLASIFICACIÓN DE FALLAS PRODUCIDAS POR EFECTOS NATURALES Y NO NATURALES.	55
4.1 ETAPAS DE FALLO.	55
4.2 TIPOS DE MOVIMIENTO DE MASA.	56
4.3 TIPOS DE FALLA PRODUCIDAS POR EFECTOS NO NATURALES.	59
4.4 RESUMEN CAPITULO IV	61
5. PROCEDIMIENTOS QUE FACILITAN LA ESTABILIZACION DE LOS TALUDES MARINOS.	64
5.1 DIQUES ROMPE OLAS	64
5.1.1 Concepto de estabilidad	66
5.2 ESPIGONES	68
5.3 REVESTIMIENTOS.	70
5.3.1 Revestimientos de enrocado.	71
5.3.2 REvestimiento con tubos o bolsas de geotextil llenos de arena.	71
5.3.3 Tubos o bolsas de geotextil llenos de concreto.	73
5.4 MUROS RIGIDOS	74
5.5 BLOQUE ATAMÁN	75
5.6 MEJORA DEL TERRENO CON AYUDA DE COLUMNAS DE GRAVA	80
5.6.1 Fallas de las columnas en grava	81
5.7 RESUMEN CAPITULO V	84
6. EXPLORACIONES Y REGISTROS HISTORICOS	88
6.1 RESUMEN CAPITULO VI	99
7. CONCLUSIONES	100
BIBLIOGRAFIA	101

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Embarcación geotécnica.	22
Figura 2. Instrument image quality: (a) crhip 4-24 kHz; (b) boomer.	24
Figura 3. Sonar de barrido Lateral.	26
Figura 4. Malla de típica para levantamiento geofísico marino.	26
Figura 5. Ilustración del modelo digital del terreno de un fondo marino	28
Figura 6. Anclaje a cuatro puntos	31
Figura 7. Recuperación de muestra en el lecho marino con el muestreado de gravedad	33
Figura 8. Piston corer obtaining a soil sample	34
Figura 9. Esquema del equipo de perforación	35
Figura 10. Veleta Remota	37
Figura 11. Configuración del sistema de cono eléctrico	38
Figura 12. Presión en el fondo y cambios de esfuerzo debido al oleaje.	45
Figura 13. (a) Ola permanente; (b) Ola ya desintegrada; (c) Ola que se desintegra en el pie del talud.	47
Figura 14. Descripción del proceso de inestabilidad de un talud por hidratos de gas.	50
Figura 15. Diagram of slopes at a river delta.	52
Figura 16. Mecanismos que ocasionan deslizamientos	53
Figura 17. Tipos de movimiento de masas submarinas	57
Figura 18. Tipos de deslizamientos.	58
Figura 19. Modos de falla de un dique vertical.	59
Figura 20. Clasificación de los tipos de deslizamientos submarinos.	61
Figura 21. Dique rompe olas sumergido.	65
Figura 22. Dique rompe olas no rebasable de múltiples capas	67

Figura 23. Diseño típico de un Espigón en T.	68
Figura24. Revestimiento enrocado.	71
Figura 25. Bolsas de geotextil de alta resistencia rellena de arena.	72
Figura 26. Bolsa de geotextil de alta resistencia rellena de concreto o mortero.	73
Figura 27. Muros junto al mar.	75
Figura 28. Bloque Atamán	76
Figura 29. (a) Entramado Bloques Atamán (b) Entramado Bloques Atamán.	77
Figura 30. Proceso Constructivo de un Bloque Atamán.	79
Figura 31. Colchón de materiales de aportación en el fondo marino.	81
Figura 32. Tipos de rotura de una columna de grava bajo carga vertical	82
Figura 33. Método de la banquetta de grava.	83
Figura 34. Método del tanque superior con alimentación por el fondo.	84
Figura 35. Mapa estructural del margen norte de Ecuador - sur de Colombia.	89
Figura 36. Tasas de erosión/acreción medidas a lo largo de la costa antioqueña en un periodo de 40 años	93
Figura 37. Mapa generalizado de la Isla de San Andrés donde se ubican todos los sectores mencionados en el texto	95
Figura 38. Manglar muerto en el extremo norte de la isla barrera de Santa Rita.	98

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones mínimas para embarcaciones de exploración geofísica.	22
Tabla 2. Instruments used to produce sound waves in sub-bottom profiling and the irrespctive frequencies (Diferentes frecuencias para la exploración en perfiladores Estratigráfico).	24
Tabla 3. Varioussamplingmethods and theiradvantages and disadvantages (Métodos de muestreo, ventajas y desventajas).	32
Tabla 4. Dimensiones de los Bloques Atamán	80
Tabla.5 Tasas de erosión calculadas a partir de fotografías aéreas entre los años 1938 y 2003, para la zona costera del norte del departamento de Córdoba	92

RESUMEN

TITULO: ESTABILIDAD EN TALUDES SUBMARINOS: RECONOCIMIENTO Y PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN*.

AUTOR: LEONARDO MEDINA ORTIZ
ALEXIS G. OLIVARES HERNÁNDEZ**.

PALABRAS CLAVES: Estabilidad, Talud Sumergido, Diapirismo, Turbidez, Licuefacción

DESCRIPCIÓN:

En el contenido de este trabajo se ha realizado un estudio investigativo de los procesos de reconocimiento mas utilizados en la identificación de las propiedades y características de los suelos marinos para lograr determinar el comportamiento mecánico y dinámico del mismo frente a los factores naturales, no naturales y por acción antrópica los cuales pueden llegar a desencadenar problemas de estabilidad en los taludes sumergidos.

También se exponen algunas de las razones mas frecuentes por las cuales se producen estos problemas de estabilidad con lo que hace posible llegar a una clasificación de los tipos de deslizamientos y diferentes movimientos de masas que se puedan presentar y los diferentes métodos que se pueden utilizar en el proceso de estabilizar los taludes frente al el impacto erosivo en profundidades someras y aun mas profundas, deterioro de la geomorfología y cambios en los suelos marinos en el cual se generan estos problemas de inestabilidad.

La finalidad de este trabajo de investigación busca ofrecer conocimiento y comprensión de los comportamientos mecánico y dinámico de los taludes sumergidos frente a los factores naturales y antrópicos, esto se basa en los recursos obtenidos a lo largo de la historia dentro de los limites nacionales, investigaciones anteriores y todo tipo de registro histórico que amplíe este conocimiento, para proponer una mejor solución aplicable y confiable.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil Director MSc, Hebenly Celis Legizamo

ABSTRACT

TITLE: SUBMARINE SLOPE STABILITY: RECOGNITION AND STABILIZATION PROCESSES*.

AUTHOR: LEONARDO MEDINA ORTIZ
ALEXIS G. OLIVARES HERNÁNDEZ**.

KEYWORDS: Stability, Batter Dipped, diapirism, turbidity, Lucuefaccion

DESCRIPTION:

The content of this work was carried out a research study of more recognition processes used in identifying the properties and characteristics of the seafloor to achieve determine the dynamic mechanical behavior of the same against the natural, unnatural and by human action which may trigger reach stability problems in the submerged slopes.

It also outlines some of the most common reasons why these problems occur with stability that makes possible to classify the different types of landslides and mass movements that may occur and the different methods that can be used in the process of stabilizing slopes against the erosive impact at shallow depths and even deeper, deteriorating changes in geomorphology and marine soils in which these problems are generated instability. used in the process of stabilizing slopes against the erosive impact at shallow depths and even deeper, deteriorating changes in geomorphology and marine soils in which these problems are generated instability.

The purpose of this research aims to provide knowledge and understanding of the mechanical and dynamic behavior of submerged slopes in front of the natural and human factors, this is based on the proceeds throughout history within national boundaries, investigations and all kinds of previous historical record to extend this knowledge to propose a better solution applicable and reliable.

* Project of grade

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil Director MSc, Hebenly Celis Legizamo

INTRODUCCIÓN

Comprender el comportamiento de los taludes sumergidos frente a los diferentes factores que desencadenan problemas de inestabilidad ya sean producidos por efectos naturales como corrientes por oleaje, exceso en presiones de poros, actividad sísmica, agentes externos como las actividades ingenieriles de carga o remoción de sedimentos que contribuyen al cambio de esfuerzos en el suelo, ha adquirido mucha importancia para la expansión territorial y aprovechamiento de recursos como hidrocarburos en los suelos marinos.

Mediante los procesos de exploraciones convencionales se logra comprender el comportamiento físico y mecánico de un talud sumergido, con lo que se permite plantear alternativas en el mejoramiento de la estabilidad del talud y a su vez la prevención de deslizamientos frente a la naturaleza de la causa que desencadena la inestabilidad del mismo.

Con la información obtenida de estos estudios y en base a los antecedentes históricos, se ha logrado llegar a muchos métodos de clasificación de los diferentes movimientos de masas de sedimentos los cuales generan los problemas de inestabilidad, junto con los factores naturales que aportan en el proceso erosivo de los taludes más cercanos a las costas.

La importancia de este tipo de investigación es la generación del conocimiento y la conciencia buscando la aplicación del mismo para lograr el aprovechamiento del territorio costero, el control y la prevención de los procesos erosivos por factores naturales en las costas y suelos marinos que amenacen con las diferentes infraestructuras civiles mediante las diferentes soluciones que se han propuesto en base a los antecedentes históricos y el ingenio de muchos autores

que se han dedicado a este tipo de problemas, ofreciendo tranquilidad y reduciendo la posibilidad de generar algún tipo de desastre.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento de los taludes sumergidos expuestos a los diferentes factores de deterioro y proceso erosivos que causan inestabilidad.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los métodos que permiten la exploración y caracterización del suelo marino.
- Identificar los diferentes factores que producen las fallas en los taludes.
- Encontrar los diferentes tipos de falla producidos por efectos naturales y no naturales.
- Proponer procedimientos a seguir que faciliten la estabilización de los taludes marinos.

2. MÉTODOS DE EXPLORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SUELO MARINO

Este capítulo busca orientar de manera clara y concisa la metodología más adecuada de reconocer y entender el comportamiento de los movimientos de grandes volúmenes de tierra que se encuentran sumergidos, es necesario conocer la composición de los materiales de estos cuerpos, sus diferentes comportamientos tanto mecánicos, físicos y químicos que influyen en la formación de taludes naturales o artificiales, el cual es objeto de estudio.

Para comprender la forma de estudiar las características del suelo, se debe considerar que para los estudios geofísicos, se emplean ensayos en los cuales la recopilación de información se hace indirectamente. Caso contrario a los estudios geotécnicos en los cuales sus ensayos se realizan sobre mediciones directas y la información se obtiene de las muestras del suelo.

Manteniendo el propósito del estudio sobre el comportamiento de los taludes sumergidos, se requiere una descripción del lugar y características del suelo marino, para ello se recurre a los siguientes ensayos los cuales se complementan de forma paralela con estudios geofísicos y posteriormente con los estudios geotécnicos con la finalidad de proporcionar información clara y suficiente para identificar rasgos y estructuras geológicas del lugar.

2.1 ESTUDIOS GEOFISICOS

La información proporcionada por este tipo de estudio facilita la identificación de la geología marina para el análisis de estructuras someras. La información recopilada facilitará la idealización del suelo mediante mapeos de diferentes

características como zonas de potencial deslizamiento, zonas de falla, acumulaciones de sedimentos entre otros.

Compartiendo la idea de la forma de presentar la información de los datos de los estudios geofísicos:

“Para la mayoría de los estudios geofísicos serán requeridos tres tipos básicos de datos:

- 1) Los datos que muestran una vista en planta del fondo marino y de objetos depositados en él.*
- 2) Perfiles continuos del fondo marino, estratos de sedimentos y rocas del subsuelo.*
- 3) Planos de riesgos geológicos.*

Dichos datos deben ser obtenidos a lo largo de líneas de una cuadrícula.”¹

2.1.1 Equipos para la exploración geofísica

Para el desarrollo de la exploración, se deben tener principalmente una embarcación con la correcta adecuación en equipos y especificaciones mínimas las cuales pueden variar de acuerdo a la solicitud del tipo de estudio.

¹ TENORIO, Gabriela y OCHOA, Claudio Augusto. Diseño de cimentaciones profundas en plataformas marinas. Tesis Profesional para obtener título de Ing. Civil. México DF. Instituto Politecnico Nacional. Escuela Superior de Ing. Y Arquitectura, Ing, Civil. 2008. 21 p.

Tabla 1. Especificaciones mínimas para embarcaciones de exploración geofísica.

Característica	Mínimo
Eslora total	40 m
Manga	8 m
Calado	3 m
Máquinas principales (2)	1200 CP
Impulsor de proa (1)	250 CP
Velocidad de operación	2,5 Nudos

Fuente: Autores del proyecto

Figura 1. Embarcación geotécnica.



Fuente: Diseño de Cimentaciones profundas en plataformas marinas. 2008

Ecosonda:

Es el equipo básico en el procedimiento de medición del tirante de agua, y el sistema consiste en un transmisor y receptor, que emite una señal sonora la cual se refleja en la interface de dos medios de diferente densidad, siendo entonces captada por el receptor, y con base al tiempo que tarda la señal en regresar se determina el tirante.

Adicionalmente, mediante la ayuda de un transductor sincronizado, efectúa una verdadera exploración del tirante de agua, detectando la presencia o no de burbujas de gas provenientes de alguna fuga del fondo marino.²

Perfilador Estratigráfico Somero:

Registra datos mediante la emisión de pulsos acústicos de altas frecuencias a través del suelo y los sedimentos no consolidados, los cuales se reflejan al encontrarse con dos interfaces de características diferentes. La onda reflejada es captada por una serie de Hidrófonos marinos, registrando la señal y lo convierte en una grafica estratigráfica del perfil de las líneas, así como la presencia de fallas y fugas de gas. Con la información captada, se generan planos de riesgos y de espesores de los estratos. Las profundidades pueden variar entre 0 – 100 m dependiendo de la tecnología del equipo.

Perfilador Estratigráfico Profundo:

La funcionalidad de este perfilador es similar al Perfilador Somero, su penetración depende de la frecuencia ya que el pulso enviado es de mayor energía. Los Instrumentos de altas frecuencias tienen poca penetración. Durante el proceso de mapeo sub-superficial, es común utilizar diferentes instrumentos en la misma área de exploración. Sin embargo, el uso de diferentes instrumentos, permite tener una imagen clara de todas las capas de sedimentos.

²Estabilidad de taludes sumergidos, aplicación a la estabilidad de escolleras en puertos mexicanos. Sanfandilla, Mexico.2002. Publicación técnica No 199. ISSN 0188-7297.

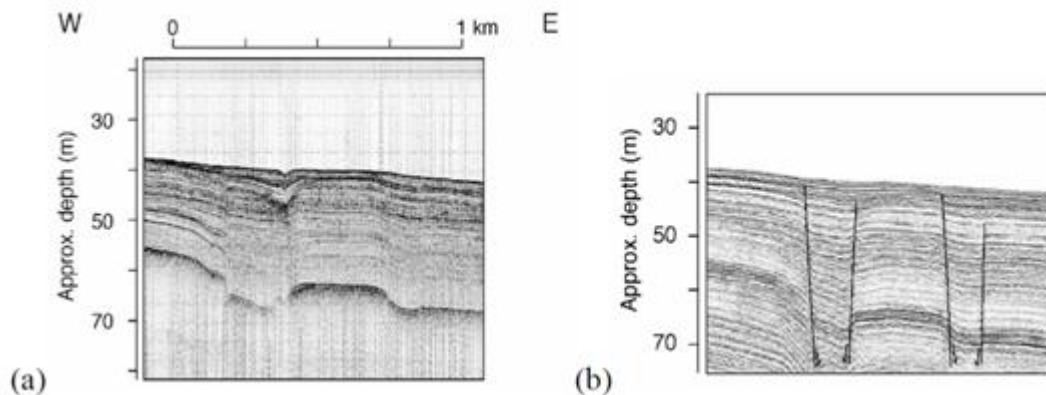
Tabla 2. Instruments used to produce sound waves in sub-bottom profiling and their respective frequencies (Diferentes frecuencias para la exploración en perfiladores Estratigráfico).

Instrument	Frequency
Water Gun	20-1500 Hz
Air Gun	100-1500 Hz
Sparker	50-4000 Hz
Boomer	300-3000 Hz
Chirp Systems	500 Hz-12 kHz
	2-7 kHz
	4-24 kHz
	3.5 kHz
	200 kHz

Fuente: After United States Geological Survey, USGS, 2007

Tanto el perfilador profundo como el somero, permiten a los investigadores reducir la cantidad de toma de muestras de sedimentos, ya que tienen un alcance mayor al obtener información de las capas a una mayor profundidad que los métodos in-situ, las profundidades de alcance pueden superar los 500 m.

Figura 2. Instrument image quality: (a) chirp 4-24 kHz; (b) boomer.



Fuente: from USGS 2007

Los registros obtenidos mediante la exploración por perfilador profundo, se interpretan mediante perfiles que dejarán observar con claridad las características

estratigráficas y litográficas del subsuelo del área de estudio, así mismo como fallas paleocanales u otra información relevante a dichas profundidades.

Gráficas de Posicionamiento:

Es un equipo utilizado dentro del proceso de exploración, este equipo se compone de cuatro radios transmisores, tres fijos dentro del terreno y uno ubicado en el barco, con la finalidad de realizar el posicionamiento de la nave en la exploración por medio de ondas ultracortas que se transmiten y se reciben del barco hacia los puntos fijos delimitando el área por medio de triangulación con la intención de mantener la posición de la nave dentro del área de exploración ya definida.

Registro del mapeo del Fondo marino (SMS):

La idea principal consiste en la generación de una imagen que permita identificar las diferentes variaciones que pueda tener el suelo marino con ayuda de un sonar de barrido lateral (SIDE SCAN SONAR), como los son las elevaciones, depresiones, barcos sumergidos entre otros elementos.

Su funcionamiento consiste en el envío de señales sónicas hacia el fondo del mar, a través de un sensor hidrodinámico remolcado tras la popa de un barco, las cuales se reflejan en los eventos existentes en el fondo marino, siendo captadas por el mismo sensor, el cual las transmite a una graficadora de alta resolución, que genera una fotografía sónica del fondo marino, con un cubrimiento de hasta 500 m a cada lado del sensor hidro-dinámico; lo anterior permite la detección de anomalías naturales o artificiales en el fondo marino, tales como; montes de lodo, barcos hundidos, cráteres, tuberías, etc.³

³Estabilidad de taludes sumergidos, aplicación a la estabilidad de escolleras en puertos mexicanos. Sanfandilla, Mexico.2002. Publicación técnica No 199. ISSN 0188-7297.

Figura 3. Sonar de barrido Lateral.

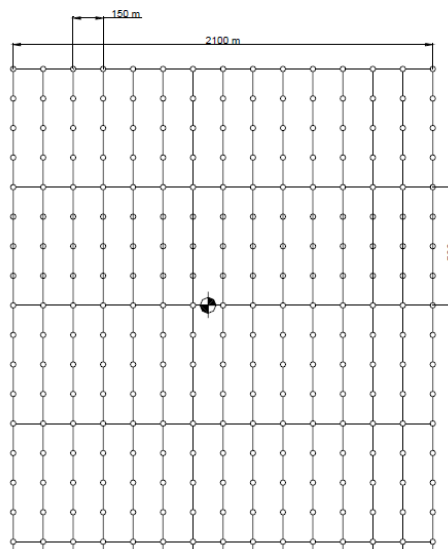


Fuente: Diseño de Cimentaciones profundas en plataformas marinas. 2008

2.1.2 Métodos de exploración indirecta

El proceso inicial consta en definir un área de algo más de 4 Km^2 en donde se define el lugar de exploración. Dentro del área de exploración se realiza un barrido de líneas paralelas con una separación de 200 m, tomando lectura de información cada 150 m sobre cada línea de barrida.

Figura 4. Malla de típica para levantamiento geofísico marino.



Fuente: Estabilidad de taludes sumergidos, aplicación a la estabilidad de escolleras en puertos mexicanos. Sanfandilla. 2002.

De cada nodo, se debe obtener información detallada dependiendo del equipo que se utilice, como por ejemplo:

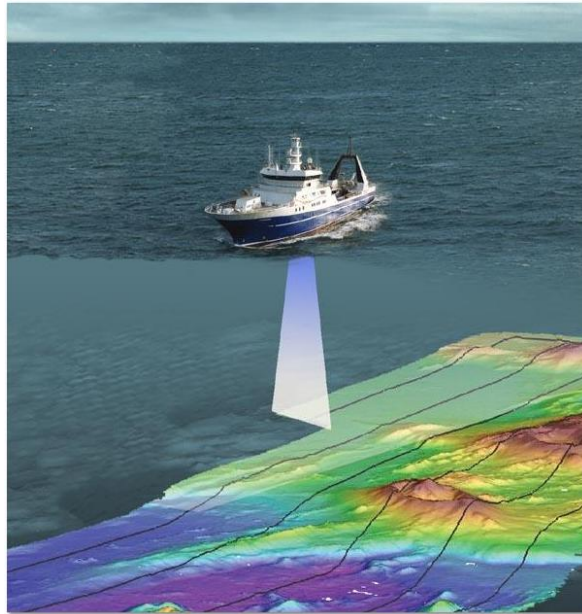
- a) Registros de la Ecosonda.
- b) Registro de Perfilador Somero.
- c) Registro de Perfilador Profundo.
- d) Grafica de Posicionamiento.
- e) Registro del Mapeo del Fondo marino.

Batimetría:

Método de exploración con el cual se logra medir las profundidades marinas y morfología con precisión en las tres dimensiones, esta medición se realiza tomando en cuenta la distancia vertical entre en nivel del agua y la superficie del fondo marino para determinar su topografía.

Estas mediciones se realizan por medio de GPS diferencial, junto a la ayuda de sonógrafos y/o sonadores Hidrográficos multi-Haz (equipo que transmite una onda la cual receptan para crear una carta batimétrica) genera información la cual se recopila dentro del barco para generar una imagen del fondo. La carta batimétrica es un mapa que muestra las características topográficas del terreno por medio de líneas profundas que se denominan "Isobatas".

Figura 5. Ilustración del modelo digital del terreno de un fondo marino



Fuente: María Druet. 2009

Sonografía:

Este método nos muestra información por medio de pulsos cortos en que son enviados perpendicularmente al avance de la nave, la cual recibe los ecos reflejados correspondientemente. La intensidad de la reflexión de las ondas acústicas transmitidas, son representadas gráficamente, mostrando dos tipos de parámetros, el rango y la distancia a lo largo de la línea de curso de navegación en la trayectoria fijada, que dependen del tiempo transcurrido desde la emisión del pulso hasta regresar, permitiendo diferenciar la variabilidad del terreno en el fondo del mar, pudiendo así dar un criterio de la geología del terreno sumergido.

Perfilaje sísmico de alta resolución.

Este método nos permite aumentar el alcance de información de los métodos de batimetría, y fonografía. Se basa en emisiones de pulsos acústicos con mayor

penetración y resolución que los métodos mencionados, indicándonos que tipo de sub-fondo marino tenemos, si es sedimentado o rocoso y si hay deslizamiento. También nos ayuda a determinar la estratigrafía de las facies sedimentarias interpretando y modelando a partir de los datos que arroja la reflexión sísmica, mostrando los ciclos de variación del nivel del mar de la alta frecuencia para localizar rasgos directos de presencia de hidrocarburos en la zona.

Sistemas Integrados.

Es la recopilación de varios sistemas que permiten obtener una información de alta calidad que sintetizan las características del fondo marino incluyendo información topografía en las zonas someras mostrando imágenes, mapas y velos de películas submarinas basadas en datos multihaz.

Actualmente la tecnología ha permitido integrar en un solo equipamiento la combinación de datos simultáneos de varias de estas técnicas y así se cuenta con sonares multihaz, que vienen acoplados con perfiladores de sub-fondo y hasta magnetómetros, cuyos datos pueden ser integrados en un solo procesador en tiempo real. Aquí también se integran todos los sensores dinámicos para evaluar el rumbo, cabeceo, balanceo y profundidad de inmersión.⁴

2.2 EXPLORACION GEOTECNICA

Los métodos de exploración geotécnica consisten principalmente en la exploración en base al muestreo directo sobre el suelo marino, la evaluación y análisis de las muestras ya sea en la misma embarcación o en laboratorios más especializados.

⁴Alternativas técnicas para el estudio del fondo marino en la exploración de hidrocarburos. Jacqueline Ariles Pérez, Ciudad de la Habana, Cuba, 2005.p. 5

La gran diferencia entre la exploración geofísica es que en este tipo de exploración se permite la obtención de las características del suelo de forma mas eficiente y de primera mano dejando de lado la indagación y suposiciones que se puedan presentar con las exploraciones indirectas presentadas en el capitulo anterior.

Métodos de exploración directa

Terminado el proceso de exploración y ubicación de la zona de interés se procede a los métodos de exploración directa, las cuales pueden ser de dos tipos:

- Exploración por recuperación de muestras
- Exploración por análisis de las propiedades del suelo in-situ

Durante muchos años, la toma de muestras ha sido uno de los métodos mas utilizados, pero su uso se procura para sedimentos suaves no consolidados los cuales ya han sido identificados en la exploración indirecta en base a los historiales de los registros de los perfiladores por la diferenciación de los contrastes arrojados como resultado.

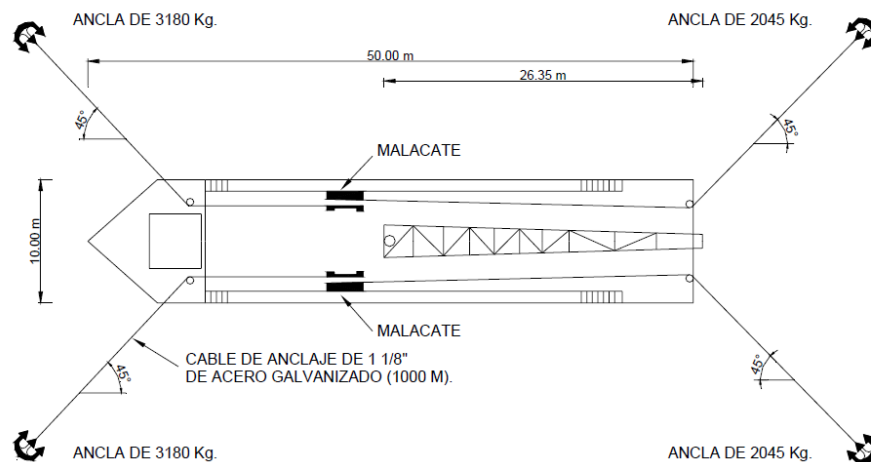
El procedimiento se hace desde el barco el cual debe permanecer fijo al momento de tomar la muestra, para ello comúnmente se recurre a diferentes métodos de fijación:

- Fijación por auto elevación
- Fijación por anclaje en cuatro puntos
- Fijación por posicionamiento dinámico

La fijación por auto elevación se utiliza principalmente donde los tirantes son bajos y se presenta mal tiempo, el sistema consta de un sistema hidráulico de cuatro patas las cuales al extenderse llegan y se soportan sobre el suelo marino, con la finalidad de elevar la embarcación hasta quedar sobre el nivel del mar.

La fijación por anclaje en cuatro puntos es el comúnmente utilizado, se refiere al uso de cuatro anclas de patente las cuales tienen un peso entre 2000kg a 3500 kg, unidas por medio de cables de aproximadamente 1 pulgada y media al barco en la proa y en la popa, la estabilización se realiza por medio de cuatro malacates los cuales regulan los cables estabilizantes.

Figura 6. Anclaje a cuatro puntos



Fuente: Estabilidad de taludes sumergidos, aplicación a la estabilidad de escolleras en puertos mexicanos. 2002

La fijación por posicionamiento dinámico consiste en un sistema el cual teniendo en cuenta los movimientos del oleaje, la velocidad entre otros factores, regula unas propelas de forma sistematizada para estabilizar la nave.

2.2.1 Exploración por recuperación de muestras

En el momento de tomar la muestra existen varios métodos los cuales difieren en cuanto a costos como a que tanto puede alterarse la muestra, aquí unos ejemplos de métodos comúnmente utilizados sus ventajas y desventajas:

Tabla 3. Various sampling methods and their advantages and disadvantages (Métodos de muestreo, ventajas y desventajas).

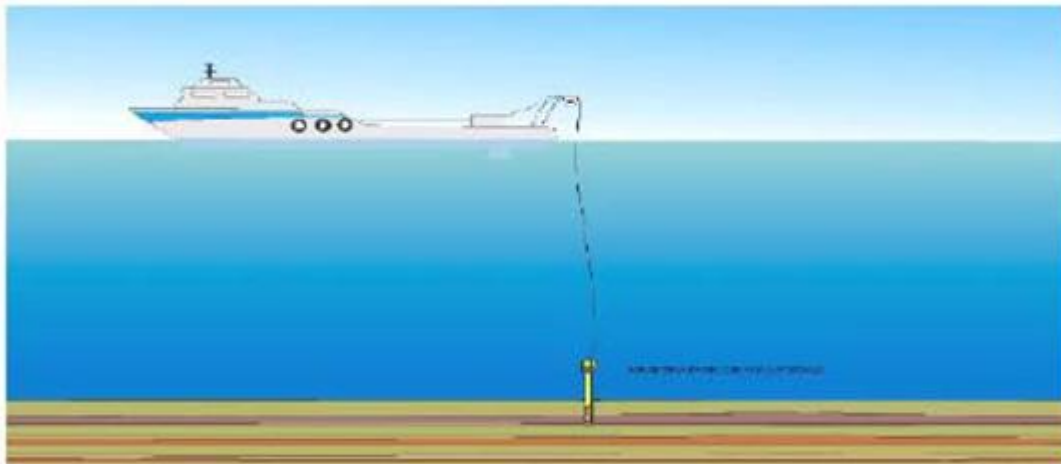
Sampling Methods			
Technique	Sampler	Advantages	Disadvantages
Grab Sampler	Grab Sampler	Inexpensive	Disturbed sample, small rocks can prevent sampler from closing and results in sample leakage
Sediment Corer	Gravity Corer	Can be used in almost any water depth, inexpensive, easy to control, can be hydraulically maneuvered	Shorter samples, limited penetration depth, some sample disturbance, reliant on gravity alone, tube is usually thick-walled
	Box Corer	Best sample quality, can be hydraulically maneuvered	Little penetration, heavy and bulky, box sample needs to be distributed into more manageable samples.
	Piston Corer	Good penetration depth, good sample quality	Top later of sample may be disturbed from piston, possibility of uneven sampling
	Percussion Corer	Uses drill string sampler, little sample disturbance, acquire samples at great depths	Expensive, requires opening in ship deck, cannot perform in bad weather, ship must be anchored to restrict side motion
	Vibratory Corer	Good penetration depth, long samples	Platform and vibration sample disturbance, expensive
	Multicorer	Obtains many relatively undisturbed samples	Samples are very short

Los núcleos de sedimentos son los más comúnmente obtenidos cuando se realiza este tipo de muestreo, consisten en llevar un tubo a presión hasta el suelo marino, generalmente se usa para suelos no consolidados, este tubo se llena del sedimento existente en el lugar, ya conocido por los métodos de exploración indirecta. Al removerse el núcleo muestra de forma más acertada una imagen estratigráfica del suelo.

Las muestras de sedimento por gravedad, es la muestra que se obtiene por acción de dejar caer el tubo hueco con su peso propio, el cual penetra el suelo marino obteniendo la muestra y siendo uno de los fáciles de manejar, así como es el método más barato el mayor inconveniente se presenta en que la muestra será

corta, dado q no tiene mucha profundidad de penetración y los sedimentos pueden ser fácilmente alterados por efectos friccionantes.

Figura 7. Recuperación de muestra en el lecho marino con el muestreo de gravedad

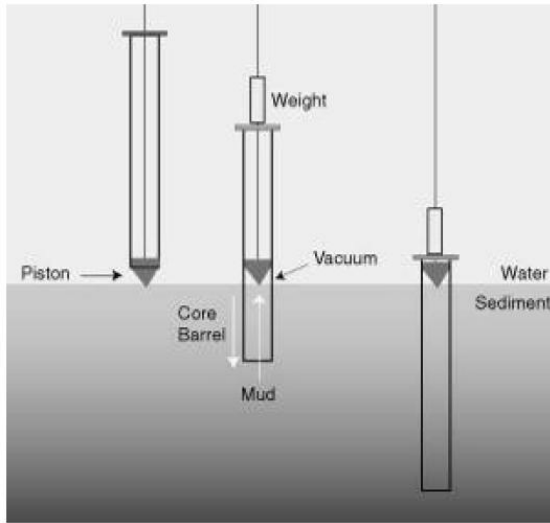


Fuente: Diseño de Cimentaciones profundas en plataformas marinas. 2008

La muestra por caja de sedimentos es una de las muestras que presenta la mejor calidad, pero también presenta poca profundidad de penetración, la particularidad de esta muestra es la forma como presenta la muestra, pues se realiza con una caja rectangular con variación en su tamaño. Este elemento es hidráulicamente empujado en el suelo y en el momento de recoger la muestra, este elemento se cubre con unas paletas para reducir en la mayor cantidad posible que la muestra se vea alterada.

Para la obtención de muestras de suelos consolidados, se suele usar los pistones. Consisten en tuberías que contienen un pistón en su interior, el contenedor es empujado hasta penetrar el suelo, al retirarlo el pistón es empujado a la superficie junto con la muestra obteniendo una buena calidad, dado que hay muy poca fricción la consideración que se tiene con este sistema es que la parte superior de la muestra se altera por el hecho de la presión aplicada por el pistón.

Figura 8. Piston corer obtaining a soil sample



Fuente: From United States Geological Survey (USGS) 2007

En la actualidad el sistema de mayor uso para realizar este tipo de exploraciones es denominado Wire-Line, que emplea tuberías y brocas huecas que por medio de acción de percusión con marinete con un peso 79.45 kg, aplica una caída de 1.5m con el fin de lograr una penetración de 0.6m que es equivalente a 30 golpes.

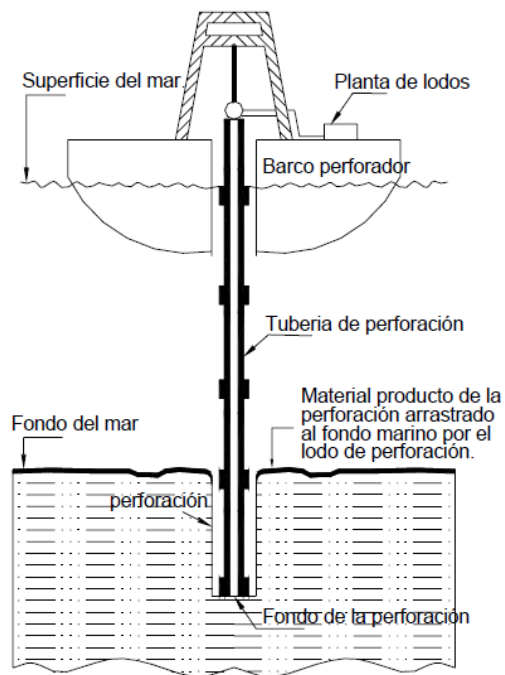
La tubería empleada es el tubo Shelby, el cual al momento de la perforación, se le aplica lodo bentonítico circulando entre las paredes del tubo y el hueco de la perforación estabilizándolo y arrastrando material sobrante de la perforación hacia el fondo marino para evitar alteraciones en la muestra. Dado que la tubería guía es hueca, se aprovecha para lograr introducir los muestreadores y obtener la muestra deseada.

Los muestreadores comúnmente utilizados son los de camisa especialmente cuando la muestra es arcillas blandas y el de pared delgada para arcillas consolidadas y arenas medias no cementadas.

La obtención de las muestras debe realizarse de la siguiente manera: de 0 a 12 m (0 a 40 pies) de profundidad, a cada 1 m (3 pies); de 12 a 24 m (40 a 80 pies) de profundidad a cada 1,50 m (5 pies); para profundidades mayores a 24 m (80 pies) a cada 3 m (10 pies).⁵

El manejo de las profundidades de muestreo pueden variar en función de la estratigrafía obtenida en la exploración indirecta, sin embargo se recomienda realizar muestreos de tres metros para un tipo de suelo arenoso y de cuatro metros para lodos y arcillas blandas.

Figura 9. Esquema del equipo de perforación



Fuente: Estabilidad de taludes sumergidos, aplicación a la estabilidad de escolleras en puertos mexicanos. 2002

⁵Estudios geofísicos y geotécnicos para la instalación de plataformas marinas y líneas submarinas. Mexico. 2009, no. NFR-229-pemex-2009.

2.2.2 Exploración por análisis de las propiedades del suelo in-situ

La forma más rápida y eficiente de obtener información de las propiedades de los sedimentos estudiados, es realizar pruebas directas sobre las muestras recogidas por los métodos mencionados anteriormente. Para ello la embarcación debe contar con un laboratorio a bordo con el cual se puedan realizar pruebas de índice como:

- Clasificación Visual y al Tacto
- Pruebas de contenido de Agua
- Pruebas que evalúen el contenido de Carbonatos
- Pruebas de peso volumétrico

También se deben realizar pruebas de resistencia.

- R. al corte con torcómetro
- R. con penetrómetro de mano
- R. con veleta miniatura⁶

2.2.2.1 Equipos para el muestreo in-situ. Terminada la exploración directa, para realizar estas pruebas, se dispone de acoplar el los elementos al equipo Wire-line para realizar otra toma de muestras, con profundidades ya establecidas y con ayuda de las ejemplares anteriores. Para ello se emplean los siguientes elementos:

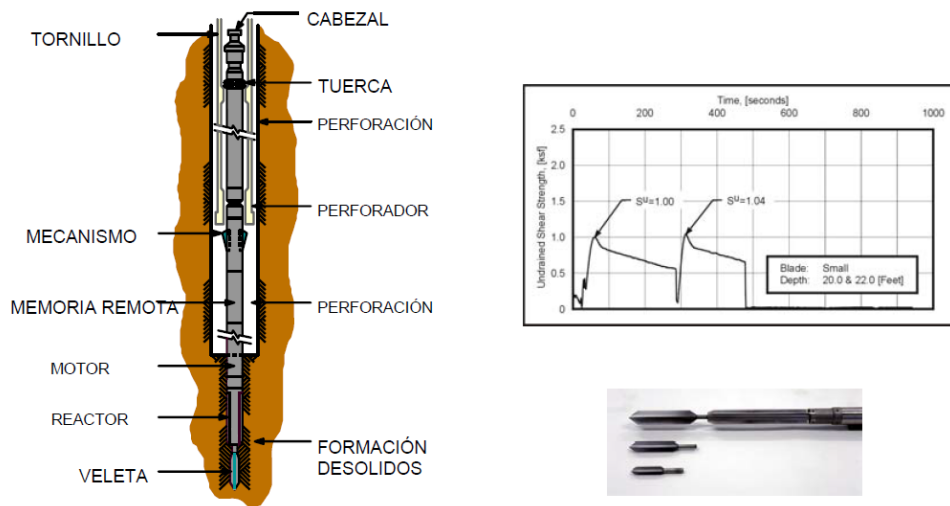
Veleta Remota: Empleando la tubería con la cual se realizó la penetración del suelo se lleva la veleta hasta el fondo para ser hincado 1 metro dentro del lecho marino. Compuesta por una veleta de mayores dimensiones en la parte superior que tiene una función de elemento de reacción y en la parte inferior otra veleta de menor proporción para realizar las pruebas de resistencia al corte mediante una

⁶ Estabilidad de taludes sumergidos, aplicación a la estabilidad de escolleras en puertos mexicanos. Sanfandilla, Mexico.2002. Publicación técnica No 199. ISSN 0188-7297.

falla por rotación. Los datos obtenidos en la prueba son computados para ser registrados en gráficos.

El proceso tiene una duración aproximada de 3 a 4 minutos en los cuales los datos obtenidos son guardados en la memoria remota. El proceso se repite en una posición adyacente de la primera prueba para asegurar la coherencia de los datos de la resistencia a cortante ya obtenidos.

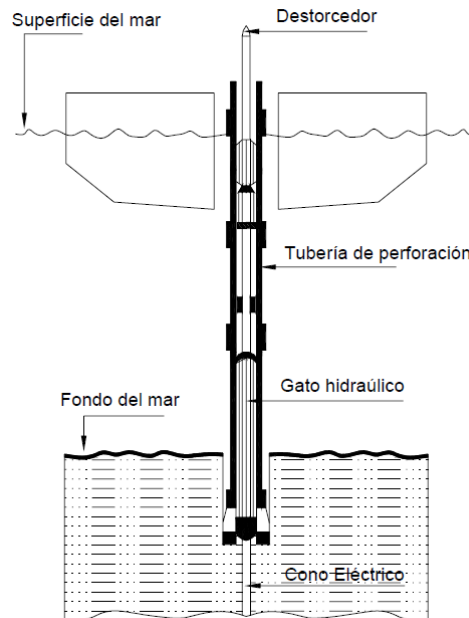
Figura 10. Veleta Remota



Fuente: Diseño de Cimentaciones profundas en plataformas marinas. 2008

Cono Eléctrico: Este elemento consta de un cono metálico que forma un ángulo de 60° y un área de sección transversal de 10 cm^2 para ser hincado en el fondo marino a profundidades entre 2.5 metros y 4 metros a una velocidad de 2 cm/seg, su función es la tomar registros de resistencia friccional de penetración eléctricamente y también la resistencia a la fricción en un elemento deslizante ubicado en la parte inferior, otros datos que se pueden obtener son los espesores de los estratos.

Figura 11. Configuración del sistema de cono eléctrico



Fuente: Estabilidad de taludes sumergidos, aplicación a la estabilidad de escolleras en puertos mexicanos. 2002

Presuriómetro: Consiste de una bolsa muy delgada la cual es inflada dentro de una perforación con dimensiones conocidas, el objeto de esto es determinar algunas propiedades del suelo que puedan ser medidas a partir de presiones, así como la deformación del mismo para obtener el modulo de deformación de suelo y la presión horizontal máxima.

2.2.3 Resume Capitulo II

TIPO DE ESTUDIO	METODOS DE EXPLORACION	DESCRIPCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS	EQUIPOS
GEOFISICO	Batimetría	Medición de la morfología de las profundidades marinas respecto a la distancia vertical del suelo marino y la superficie.	Método económico de exploración y de ejecución rápida	Obtención de información muy superficial del suelo marino.	GPS diferencial, Sonógrafos y Sonadores multi-haz
	Sonografía	Método que emplea la reflexión de ondas acústicas con lo que permite diferenciar la variaciones en el terreno.	Permite diferenciar la geología del suelo marino a partir de la frecuencia de las ondas.	Requiere mucho tiempo debido a que se debe esperar la reflexión de las ondas	Sonógrafo y Perfiladores estratigráficos Someros.
	Perfilaje Sísmico de alta resolución	Se emiten pulsos acústicos de mayor penetración y mejor resolución. Permite hacer un reconocimiento del Sub-fondo marino.	Por su alta capacidad de penetración permite la obtención de información del subfondo.	Debida a la calidad de la información se convierte en un procedimiento más costoso.	Perfiladores Estratigráficos Profundos, Fonógrafos de alta frecuencia.

TIPO DE ESTUDIO	METODOS DE EXPLORACION	DESCRIPCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS	EQUIPOS
	Sistemas Integrados	Recopilación del uso de varios de los métodos de exploración mencionados anteriormente obteniendo información de alta calidad.	Se ha logrado conformar un equipo con la recopilación de varios equipos en uno solo	Método costoso a pesar de sus altas prestaciones y la alta calidad de información obtenida	Sonadores Multi-haz, Perfiladores Estratigráficos profundos, magnetómetros y sonadores dinámicos.

TIPO DE ESTUDIO	METODOS DE EXPLORACION	DESCRIPCION	TIPOS DE TECNICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
GEOTECNICO	Exploración por recuperación de muestras	Es la obtención de núcleos de sedimentos por medio de varios equipos especializados que difieren generalmente en la calidad de la muestra y la profundidad a la que se hace la exploración	Toma de muestras	Método económico	Fácilmente de alterar
			Núcleo por gravedad	Usado a cualquier profundidad, económico, y de fácil manejo	Muestras cortas debida a su poca capacidad de penetración
			Núcleos en caja	Provee la mejor calidad en las muestras, y puede ser	Poca penetración, su equipo es pesado y se utiliza en muestras que

TIPO DE ESTUDIO	METODOS DE EXPLORACION	DESCRIPCION	TIPOS DE TECNICAS	VENTAJAS manejado de forma hidráulica	DESVENTAJAS sean manejables.
			Núcleos por pistones	Muy buena penetración, y buena calidad de muestra	La muestra de la parte superior tiende a alterarse.
			Núcleos por percusión	Se obtiene la muestra por medio de un taladro, tiene poca alteración y tiene excelente penetración	Costoso, requiere una embarcación especializada, y se hace en buen clima para reducir el movimiento
			Núcleos por vibraciones	Tiene buena profundidad de penetración y muestras largas	La muestra se altera debido a las vibraciones del proceso, es costoso.

TIPO DE ESTUDIO	METODOS DE EXPLORACION	DESCRIPCION	ENSAYOS A REALIZAR	EQUIPOS	
GEOTECNICO	Análisis de las propiedades del suelo In-situ	Método más rápido de eficiente de recopilación de información de las muestras de sedimentos obtenidas.	Clasificación visual y táctil, contenido de agua, de contenido de carbonatos, peso volumétrico, de resistencia al corte, de resistencia con veleta y penetrómetro.	Veleta Remota	Obtención de información por prueba de resistencia al corte por medio de falla por rotación
				Cono eléctrico	Registra los datos de resistencia a la fricción por medio de la penetración
				Presuriómetro	Determinación de las propiedades del suelo medida a partir de presiones

3. FACTORES QUE PRODUCEN LAS FALLAS EN LOS TALUDES SUMERGIDOS.

En este capítulo se muestra los diferentes factores que afectan la estabilidad de los taludes sumergidos lo cual hacen que aumente su probabilidades de falla. Las diferentes variables a las que se encuentran expuestos son: la acción cíclica del oleaje, la altura de la marea, los tipos de movimientos de masas de sedimentos que se presenten, el aumento de la presión de poros por oleaje o por concentración de gases por descomposición de materia biológica, la fuerzas sísmica que se producen en el fondo del mar, tormentas y tsunamis.

Unido a esto también hay otros factores importantes que ayudan disminuir la estabilidad como: la topografía de los alrededores, la profundidad en que se encuentra el talud, y el tipo de ola que choca contra este ocasionando deterioro del talud.

La erosión o la formación de hendiduras al pie del talud es una de las características primordiales que conlleva a la falla en los taludes, ya que cuando la energía de las olas es alta y golpea con intensidad hace que el talud comience a experimentar la erosión y se formen hendiduras en el pie con facilidad.

En base a los estudios realizados previamente en las zonas con mayor amenaza por deslizamientos de taludes, se ha sugerido tener en cuenta que para una alta variedad de escenarios ocurren diferentes tipos de eventos los cuales dependen en su gran mayoría del tamaño del grano del suelo, la relación de composición entre arcillas - arena, el grado de consolidación y la intensidad con la cual se llega el estímulo desencadenante del proceso de inestabilización.

3.1 FUERZA DE OLEAJE QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL TALUD

El oleaje es la conformación de un número infinito de olas que por medio de ondas sísmicas se propagan a través del mar en forma circular produciendo pequeños desplazamientos de agua cargado de energía en dirección a la costa.

A raíz de los esfuerzos producidos en el fondo marino por acción de oleaje, la presión de poros aumenta llevando al fondo marino a que experimente una disminución su estabilidad (ver figura 12.). Una de las causas de estos fenómenos es el aumento en la presión de poros residualmente o transitoria lo cual varía de la siguiente forma:

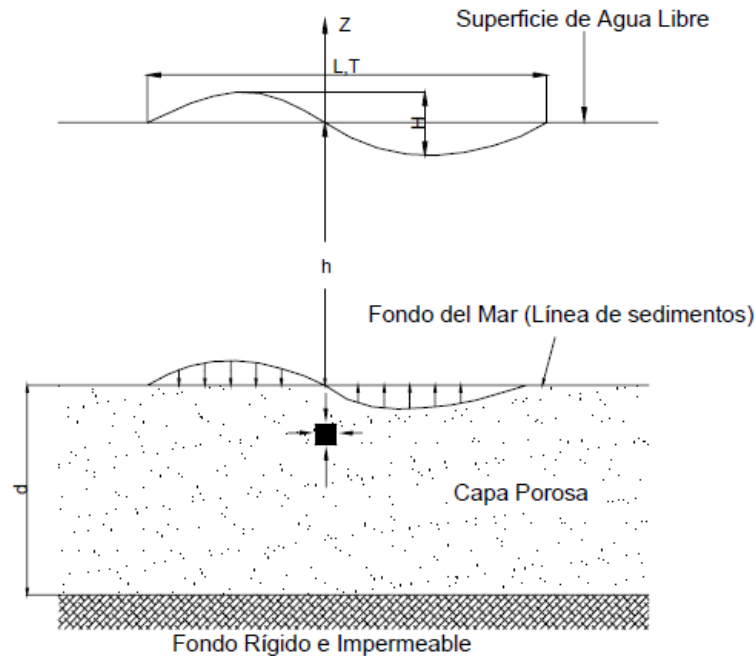
La presión de poros residual es producida por esfuerzos cortantes cíclicos los cuales varían de una forma armónica en el tiempo y en el espacio induciendo al aumento de la presión de poros en el suelo marino, la cual dependiendo de la intensidad y algunas características del suelo marino como el drenaje, la cual cambiará la forma de afectación. La presión de poros transitoria se dará de la acción conjunta de las cargas de oleaje.

En la estabilidad del fondo marino, se requiere de diferentes consideraciones en los siguientes aspectos ya que estos pueden afectar de forma las propiedades físicas o mecánicas del lecho marino:

- a) Las presiones de fondo inducido por el oleaje.
- b) Esfuerzos en el fondo marino causados por estas presiones de fondo.
- c) Las presiones de poro transitorias en el fondo marino.
- d) Las presiones de poro residuales en el fondo marino.
- e) La evaluación de la estabilidad de los taludes en el fondo marino.

f) La evaluación de la licuación potencial del lecho marino si este consiste de material arenoso o limoso.⁷

Figura 12. Presión en el fondo y cambios de esfuerzo debido al oleaje.



Fuente: Estabilidad de taludes bajo fuerzas gravitacionales

Existen una amplia variedad de métodos para analizar la estabilidad de taludes bajo fuerzas gravitacionales (Chaney 1984). Muchos están basados en los métodos de equilibrio límite y pueden incluir superficies circulares de falla (Bishop 1955) o superficies de falla no circulares (e.g. Morgenstern y Price 1965, Janbul 1973). Sin embargo para muchos taludes submarinos los cuales son tendidos y extensos, un análisis de talud infinito, en el cual se supone que la falla puede ocurrir en un plano o planos paralelos a la superficie, es generalmente adecuado. Morgenstern (1967) señala que los datos disponibles con respecto al perfil del talud, de los sedimentos y el mecanismo de iniciación son generalmente insuficientes para garantizar un análisis más refinado.

⁷Estabilidad de taludes sumergidos aplicación a la estabilidad de escolleras en puertos mexicanos .pág. 10/ISSN 0188-7297

Se requiere analizar por lo menos tres condiciones:

- a) La condición no drenada, la cual puede ser relevante para los casos de depositación rápida o erosión.
- b) La condición drenada, en la cual no existe exceso de presión de poro.
- c) La condición parcialmente drenada, en la cual ha ocurrido la disipación de la presión de poro pero el exceso de presión de poro aún existe

Alternativamente, estos casos pueden darse por el desarrollo de exceso de presión de poro debido a la generación de gas asociado con la descomposición de material biológico.⁸

3.1.1 Erosión por acción del oleaje

El oleaje suministra una energía erosiva que esta ligada en una forma directa a las características del perfil y la altura del terreno que está en contacto con el agua, dicha afectación va depender del número de oscilaciones con las que el oleaje arremeta. En las delimitaciones costeras la erosión afecta en la mayoría de veces a los taludes de rocas que están en contacto con el océano, con lo cual las presiones que estas producen disminuye la resistencia a la erosión que tiene la roca.

Los taludes que delimitan las costas experimentan dos tipos de fuerzas, una de compresión que se da en forma perpendicular a la cara del talud y otra tangencial que actúa en corte cuando la ola regresa mar adentro.

En diferentes estudios realizados se ha concluido que hay tres tipos de olas, pueden ser efectivas para el desgaste en el pie de un talud Estas olas son:

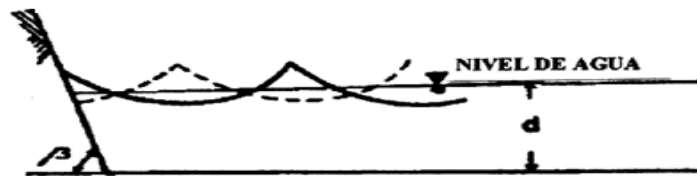
⁸Estabilidad de taludes sumergidos aplicación a la estabilidad de escolleras en puertos mexicanos .pág. 10/ISSN 0188-7297

- ola permanente (figura 13.a)
- ola que se desintegra en el pie del talud, (figura 13.b)
- ola ya desintegrada. (figura 13.c)

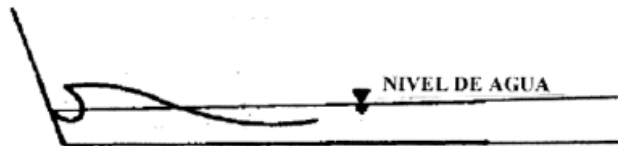
El comportamiento de las diferentes olas se encuentra ligada al nivel que tenga el mar y a la topografía a la que se encuentre expuesta, lo cuales producen dos tipos de efectos como son:

- Acción del oleaje que suelta las partículas
- Transporte litoral que mueve las partículas en forma semi-paralela a la playa.

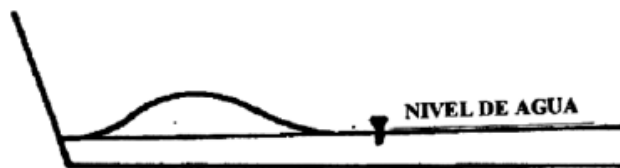
Figura 13.(a) Ola permanente; (b) Ola ya desintegrada; (c) Ola que se desintegra en el pie del talud.



(a)



(b)



(c)

Fuente: Análisis de la falla de un talud de roca en Tulum.

3.1.2 Evaluación simplificada de la licuación inducida por el oleaje.

La licuefacción o licuación en el fondo marino describe el comportamiento de los suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa (oleaje), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquieren la consistencia de un líquido pesado.

En el momento se han producido dos enfoque simplificados que muestran la posibilidad de evaluar la onda inducida de licuefacción de depósitos granulares en el fondo marino. Uno de estos enfoque describe un método en el cual se usa la prueba de penetración estándar (SPT) por natajara y Gill en (1983), mientras que el enfoque de ishihara y yamazaky en (1984) mide la resistencia a la licuación utilizando la densidad relativa de la arena, sin embargo ambos se basan en el mismo principio en el que se compara la onda de cortante inducido para causar la licuación.

En base a lo anterior se hará una breve descripción del método que utiliza ishihara y yamazaky donde nos muestra cuando habrá licuación en el lecho marino

3.1.2.1 Analisis de Ishihara y Yamazaki. Este método incluye los siguientes pasos:

- 1) Especificación de las condiciones de la tormenta de diseño, incluyendo la inclinación de las olas Ho/Lo debajo del agua, y la longitud de ola Lo o el periodo de la ola T.
- 2) Evaluación de la resistencia al esfuerzo cortante cíclica de los depósitos de arena del fondo marino expresada como la relación de esfuerzo cíclico ($\tau/\sigma'v$) para causar licuación. Esto puede ser calculado aproximadamente como sigue:

$$(T / \sigma'_v) \ell = 0.00278 D_r \frac{1 + 2k_0}{3}$$

Ecuación 2.5

Donde D_r es la densidad relativa (en porcentaje), y k_0 es el coeficiente de presión de tierras en reposo.

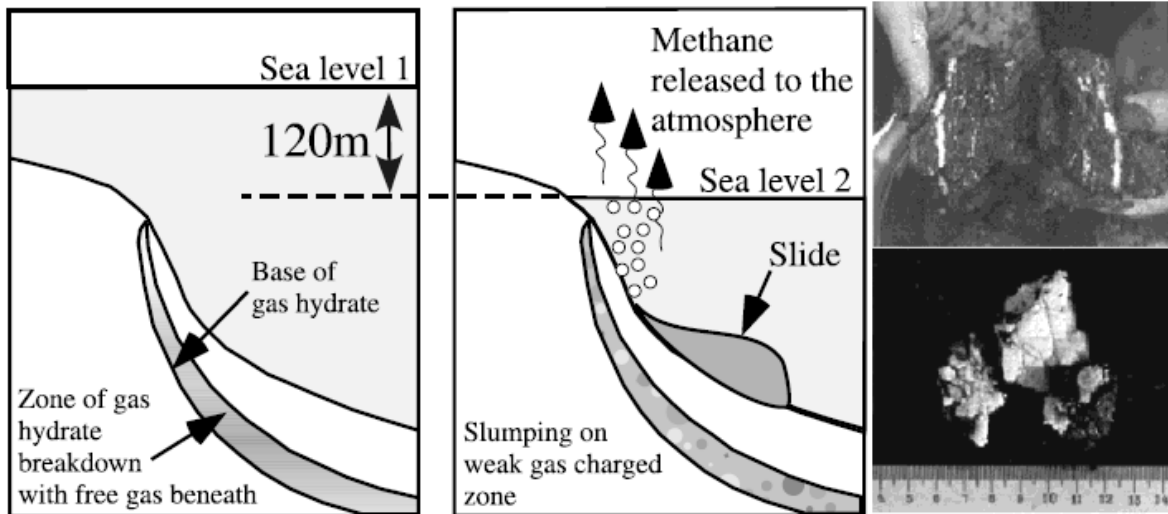
- 1) Si la relación de la fuerza cortante cíclica de la ecuación 2.5 es mayor de 0.23 no se espera la falla por licuación en el depósito. En caso contrario la licuación es una posibilidad.⁹

3.2 INESTABILIDAD POR PRESENCIA DE GASES

Los Hidratos de gas es otra de las razones por las cuales se presentan problemas de estabilidad, debido a que el incremento en la presión de poros a partir de la disociación, reducen el esfuerzo efectivo del suelo comprometiendo la estabilidad del talud, pues una pequeña cantidad de hidratos de disociación pueden tener un impacto muy considerable sobre todo en taludes de aguas poco profundas.

⁹Ishihara, K., Yamazaki, A., "Wave-Licuefacción inducida en depósitos fondo de arena," En *Mecánica de los Fondos Marinos*, Denness B. (ed.), 139-148, Londres: Graham & Trotman, 1984.

Figura 14. Descripción del proceso de inestabilidad de un talud por hidratos de gas.



Fuente: Submarinelandslidesadvances and challenges.2002

3.3 MOVIMIENTOS DE MASAS POR ACTIVIDAD SISMICA

El sismo es el fenómeno que nace a raíz de la liberación de esfuerzos por movimientos de las placas tectónicas entre las fallas geológicas, estos movimientos generan ondas compresión (Ondas primarias “P”) que se propagan a través de la tierra y a su vez ondas de cortante u ondas secundarias (Ondas S).

Antes de realizar cualquier tipo de obra, se debe tener en cuenta los problemas que representan tanto el sismo como la geología local y las condiciones naturales del suelo. El comportamiento se puede llegar a predecir en base a estudios de geotecnia, quienes toman en cuenta efectos vibratorios del suelo, deformación, características dinámicas, para realizar el diseño de estructuras sismo-resistentes, pero esto se aplica principalmente para suelos en tierra firme. Por ello para condiciones mar adentro se deben tener en cuenta que las estructuras son de dimensiones mayores, que las fuerzas por oleaje pueden actuar simultáneamente

junto al sismo, la presencia de agua y las fuertes presiones cambian las condiciones del suelo, las aceleraciones verticales son mucho más importantes por que son directamente proporcionales a la masa de las estructuras y los sismos generan otros fenómenos adyacentes como lo son los tsunamis quienes incluyen propagación de ondas primarias dentro del agua incrementando el daño que estas puedan causar.

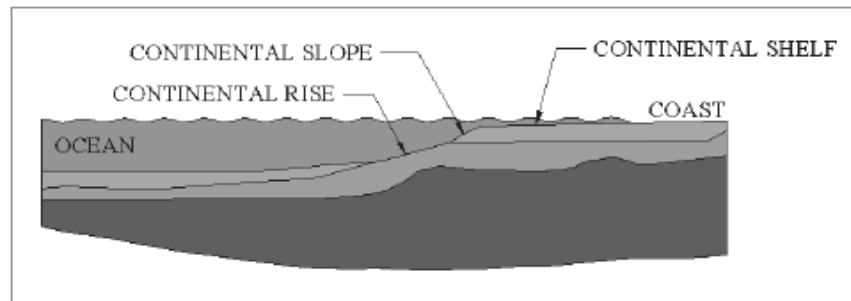
A pesar que la alta actividad sísmica es la causa más común de deslizamientos submarinos pero al mismo tiempo estos fenómenos se ven relacionados directa o indirectamente con los movimientos de masas de sedimentos, los cuales pueden volverse una reacción en cadena dependiendo de la distancia a la cual se trasladen estos sedimentos.

Estos sedimentos se desprenden de las zonas altas y son transportados y depositados por cientos de kilómetros lejos de su fuente de origen, este material desciende mar adentro ya sea rodando o rebotando haciendo que un tipo de deslizamiento pueda llevar a otro.

Juntos a los factores nombrados anteriormente, los deslizamientos submarinos también se basan en las localizaciones geográficas y en las características del tipo de sedimento.

Los valles, los deltas de los ríos, cañones y sistemas de abanicos, islas volcánicas entre otros tienen características muy particulares, por ejemplo los valles son áreas en donde los glaciales por muchos años han excavado valles en pendientes muy fuertes, los deltas son áreas donde los ríos desembocan en grandes cuerpos de agua son lugares donde se presenta una acumulación rápida de sedimentos. Para el caso de los deltas, estos sedimentos son poco consolidados y algunas veces se depositan sobre depósitos de gas, con lo que causan inestabilidad sobre el talud.

Figura15. Diagram of slopes at a river delta.

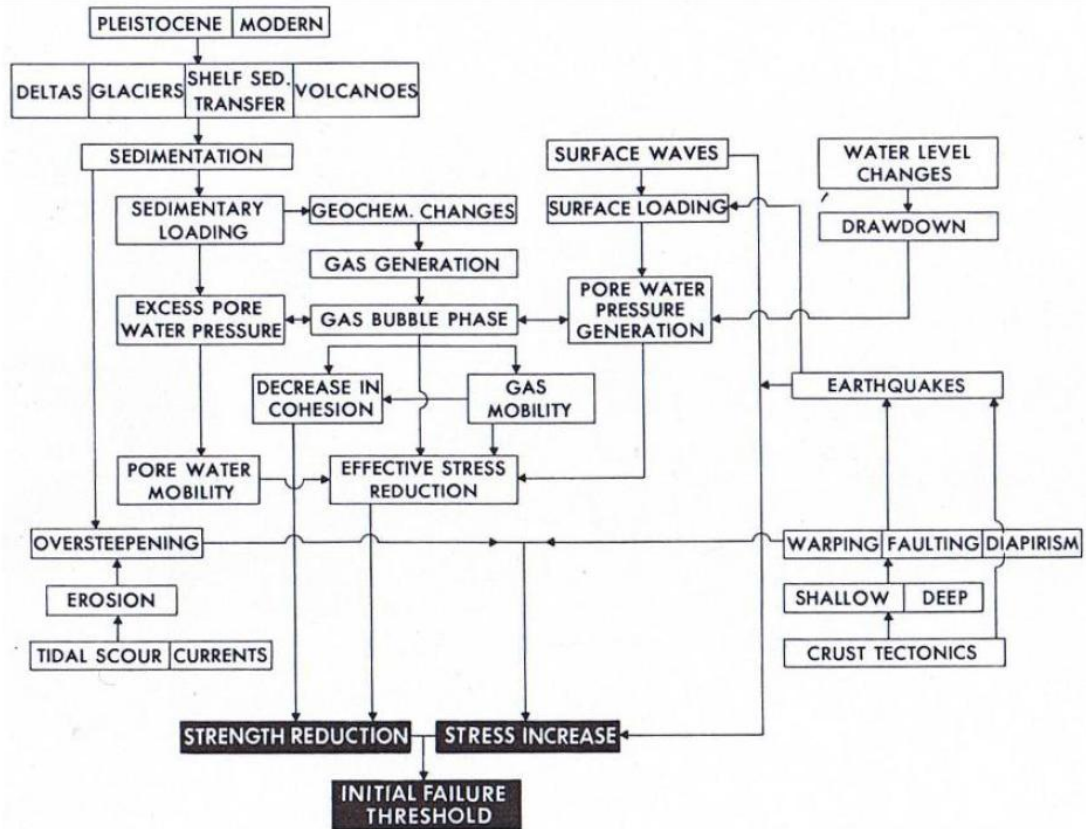


Fuente: Triggering Mechanisms of Submarine Landslides. 2007

Otro caso se presenta en los sistemas de cañones y abanicos submarinos, donde los depósitos viajan desde la placa continental hacia aguas mucho más profundas, la acumulación de estos sedimentos es mucho más inestable debido a sus altas pendientes y por las corrientes turbulentas que se presentan a estas profundidades.

En caso de las islas volcánicas se considera aun incierta las razones por las cuales se producen estos problemas de inestabilidad, sin embargo los estudios realizados en estas áreas señalan la posibilidad de que un tipo de sedimento arcilloso particular de estas islas tras la acumulación por muchos años y la reacción del suelo a la erupción o al a presión que ejerce el magma sea la causante. Científicos e Ingenieros tras varios estudios realizados en zonas con estas características han encontrado que el comportamiento es similar al de los cañones y abanicos submarinos.

Figura 16. Mecanismos que ocasionan deslizamientos



Fuente: por Prior y Coleman 1984

3.4 RESUMEN CAPITULO III

FACTORES QUE PRODUCEN LA INESTABILIDAD EN LOS TALUDES SUMERGIDOS	
Tipo de Factor	Descripción
Fuerza por Oleaje	A raíz de los esfuerzos producidos en el fondo marino por acción de oleaje, la presión de poros aumenta llevando al fondo marino a que experimente una disminución su estabilidad

FACTORES QUE PRODUCEN LA INESTABILIDAD EN LOS TALUDES SUMERGIDOS	
Tipo de Factor	Descripción
Erosión por acción del Oleaje	El oleaje suministra una energía erosiva que esta ligada en una forma directa a las características del perfil y la altura del terreno que está en contacto con el agua. Dependerá del número de oscilaciones con las que el oleaje arremeta.
Licuación por oleaje	La licuación en el fondo marino describe el comportamiento de los suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa (oleaje), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido o adquieren la consistencia de un líquido pesado.
Inestabilidad por presencia de gases	Debida a los Hidratos de gas ya que induce incremento en la presión de poros a partir de la disociación, reducen el esfuerzo efectivo del suelo comprometiendo la estabilidad del talud
Actividad Sísmica	El sismo libera esfuerzos por el movimientos de las placas tectónicas entre las fallas geológicas, estos movimientos generan ondas compresión que se propagan a través de la tierra y a su vez ondas de cortante u ondas secundarias. Produciendo efectos combinados de factores que finalmente generan deslizamientos en los taludes y otros tipos de fallas.

4. CLASIFICACIÓN DE FALLAS PRODUCIDAS POR EFECTOS NATURALES Y NO NATURALES.

Conocidas las causales que desencadenan las fallas en los taludes sumergidos tales como el tipo de sedimentación, las fuerzas sísmicas, la carga de gas, el diapirismo (proceso de ascensión tectónica de una roca poco densa y plástica a través de rocas subyacentes más densas y recientes), la acción de las olas, la geomorfología, y algunos agentes externos naturales u otros no naturales.

Realizar la clasificación del tipo de deslizamiento que se produce, radica principalmente en que los sedimentos que se transportan lo hacen en su gran mayoría por acción de la gravedad, la geología del lugar, la pendiente del talud y del factor que influyó en el fenómeno.

La clasificación ya ha sido hecha por la International Society for Soil Mechanics y Geotechnical Engineering (ISSMGE) Technical Committee on Land slides (TC-11).

En base a la clasificación de deslizamientos en tierra, pero con una variante que involucra el movimiento de masas de sedimento en flujo turbulento.

4.1 ETAPAS DE FALLO.

Para determinar el tipo de deslizamiento que se pueda presentar, la primera observación a realizar es el riesgo que representa teniendo en cuenta tres elementos básicos a la hora de analizar la falla como son según Leroueil et al. (1996):

- Los materiales.

- Los movimientos de ladera.
- Las etapas del movimientos

1. etapa de pre fallo : cuando la masa del sedimento o roca esta en un estado de equilibrio intacto
2. Etapa de fallo: cuando el inicio de la falla se realiza, dando la formación de cizallamiento continuo atreves de todo el talud.
3. La etapa de post-falla: se muestra el comportamiento de la masa deslizante hasta que esencialmente se detiene.

4.2 TIPOS DE MOVIMIENTO DE MASA.

Los deslizamientos se pueden clasificar según el movimiento del material que se encuentra en la capa del talud, lo cual puede generar desprendimiento de rocas, flujos de sedimentos y corrientes de turbidez. Su magnitud depende en gran parte de la pendiente; cuando la pendiente es elevada se da desprendimientos de roca.

Los tipos de movimientos de sedimentos o material han sido definidos por Cruden y Vames (1996).

Caída: Es el movimiento independiente de rocas o fragmentos de sedimentos en caída libre, rebotando o girando. Cada uno de estos fragmentos interactúa con la pendiente in colisiones periódicas, pero con poca interacción entre los mismos fragmentos.

Derribo: Movimiento rotacional de losas de roca o sedimentos coherentes separados por discontinuidades.

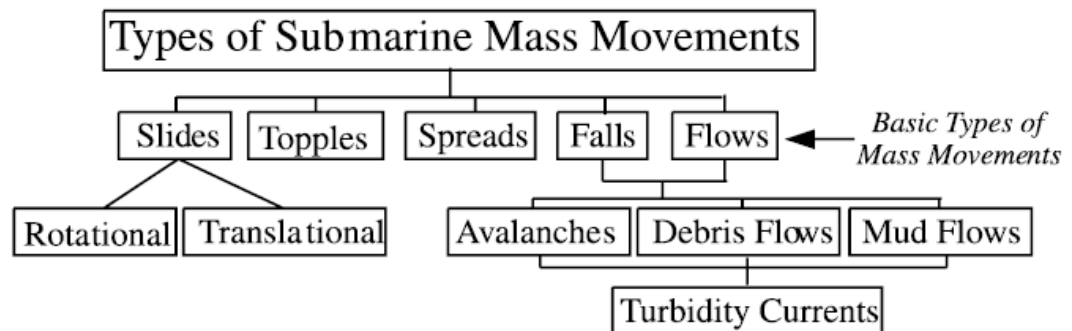
Deslizamiento: Es el movimiento de rotación o traslación de rocas o masas de sedimento, deslizándose en una o mas desplazamientos discontinuos.

Esparcimiento: Movimiento de masas de roca o sedimentos dominados por una distorsión interna. Esta distorsión causa adelgazamiento y alargamiento de la masa deslizada, propagándola hacia adelante.

Flujo: Es el movimiento espacialmente continuo con una velocidad de distribución comparable con la del flujo de un fluido.

Corrientes de turbidez: Movimiento de rocas y sedimento pendiente abajo, donde se presenta la separación de las partículas grandes y las pequeñas, donde las partículas grandes llegan primero al fondo seguidas por las medianas y finalmente las pequeñas. Los depósitos característicos de una corriente de turbidez son los sedimentos marinos que muestren una estratificación gradada.

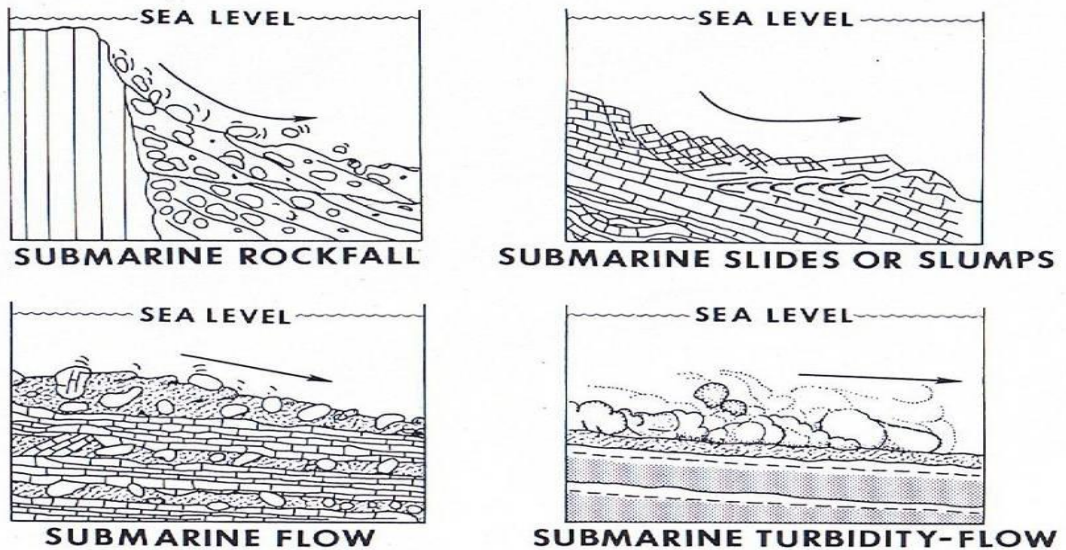
Figura 17. Tipos de movimiento de masas submarinas



:

Fuente: Jacques Locat and Homa J. Lee. 2002

Figura 18. Tipos de deslizamientos.



Fuente: Katherine Feely. Boston, Massachusetts .2007

En las fallas o deslizamientos, se debe considerar todos los fenómenos o componentes que actúan desde la iniciación, la transición en el flujo de escombros, y la parte posterior del movimiento de las masas. Algunos movimientos de masas pueden ser superficiales y se reconocen por la perturbación y su morfología, lo cual indica que si hay poco desplazamiento de el material de falla.

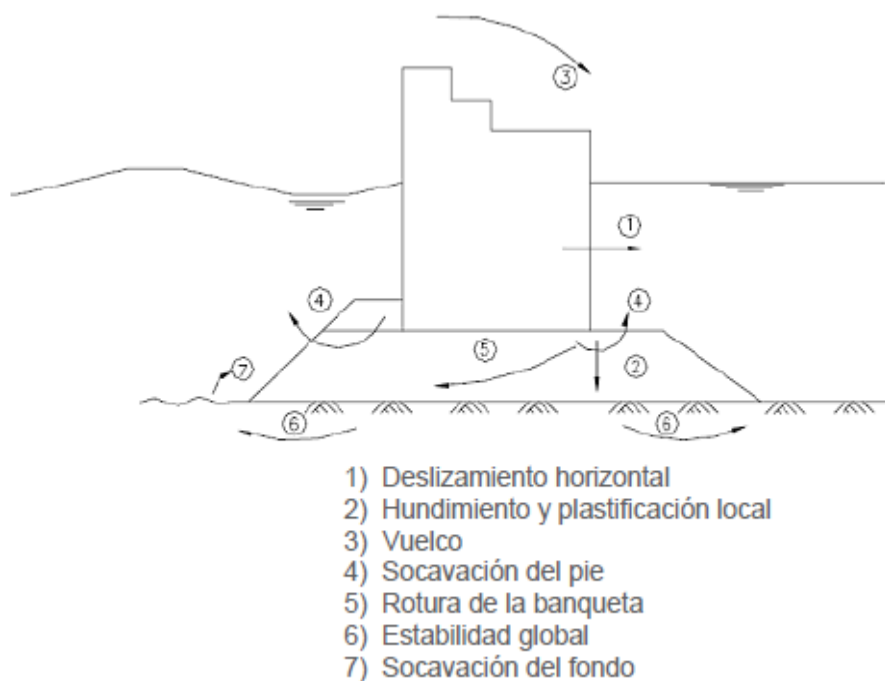
En el momento de un deslizamiento, el material desplazado se mueve en una zona relativamente delgada y de tensión intensa, cuando el desplazamiento de masa es grande y perturbado, los flujos de la zona del deslizamiento se vaciará y la masa se deposita cientos de kilómetros lejos de su fuente.

Un factor importante es el cambio de estación ya que por en el otoño, los desplazados material desciende principalmente a través del agua, dando a la caídas, rebote y balanceo del material lo cual puede conducir a la inestabilidad otro talud y se realicen fallas sucesivas.

4.3 TIPOS DE FALLA PRODUCIDAS POR EFECTOS NO NATURALES.

Cuando se piensa implementar estructuras marinas que borde en la costa como son los taludes, escolleras o diques, llegar a su estabilización es enfrentarse a problemas de hidrodinámica con un grado de complejidad alto, los cuales son abordados de manera empírica mediante el método de Goda y Suzuki (1976), quienes nos muestran algunos modos de fallas los cuales se pueden presentar al construir una estructura y se deben plantear en el proyecto geotécnico como se ven en la figura y son:

Figura 19. Modos de falla de un dique vertical.



Fuente: Soriano 2005

Vuelcos rígidos y plásticos:

El vuelco rígido se da siempre en las estructuras que se encuentran en suelos cuya capacidad portante no superar la capacidad que soportar la estructura, la produce que la resultante de las fuerzas al cimiento lo dejen fuera de contacto con el terreno y se voltee la estructura.

En el vuelco plástico se produce cuando antes del volamiento se realiza un hundimiento del cimiento mediante una plastificación local que tienen lugar en un borde del apoyo produciendo que el terreno cede y se incline la estructura y produzca el fallo.

Deslizamiento:

Este tipo de falla se da cuando la fuerza horizontal producida por el terreno y que actúa sobre la estructura es capaz de deslizar el cimiento sobre su plano de contacto llevándolo a la falla, y se da en la mayoría de veces en estructuras que no están arriostradas.

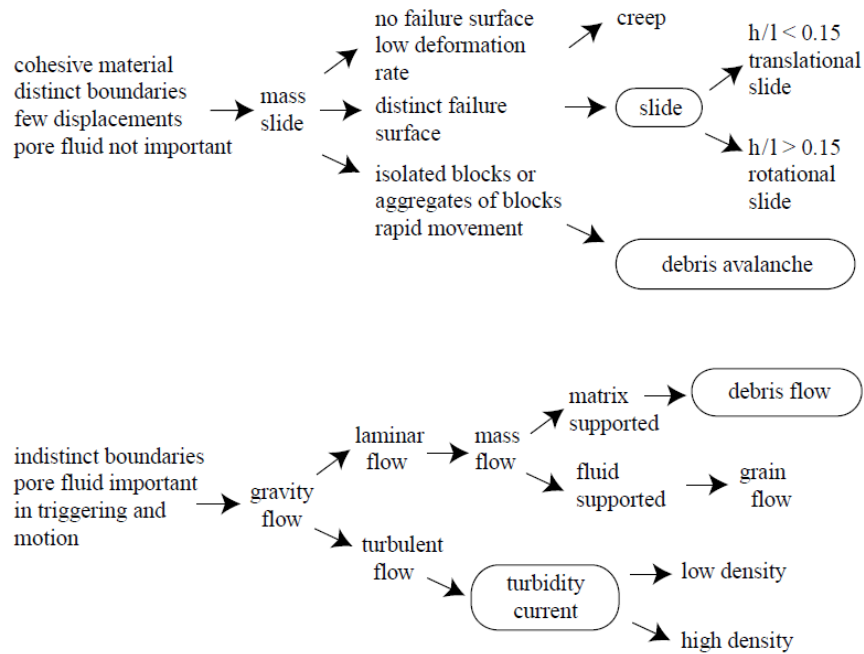
Hundimiento:

Al contrario del deslizamiento en este tipo de falla la carga vertical que actúa sobre el terreno supera la capacidad portante del terreno lo cual lo hace que falle.

Estabilidad global:

Este tipo de falla se da cuando la ruptura envuelve a la estructura y su cimiento sin que se produzcan otros tipos de fallas locales.

Figura 20. Clasificación de los tipos de deslizamientos submarinos.



Fuente: Norway. 2006

4.4 RESUMEN CAPITULO IV

Tipos de fallas producidas por efectos naturales y no naturales.	
<p>Las fallas en los taludes sumergidos son causada por eventos o fuerzas naturales como: las fuerzas sísmicas, la acción de el oleaje(deterioro y erosión), la morfología del terreno, el diapirismo , la forma de de sedimentación del lecho marino, entre otras. También pueden fallar por movimientos de tierras, cargas colocadas por el hombre (plataformas marina), explotación de hidrocarburos etc.</p>	

Tipo de fallas	Características
<p>Etapas de falla Leroueil et al. (1996)</p>	<p>etapa de pre-fallo : cuando la masa del sedimento o roca esta en un estado de equilibrio intacto</p> <p>Etapa de fallo: cuando el inicio de la falla se</p>

Tipo de fallas	Características
	<p>realiza, dando la formación de cizallamiento continuo a través de todo el talud.</p> <p>La etapa de post-falla: se muestra el comportamiento de la masa deslizante hasta que esencialmente se detiene.</p>
<p>Clasificación de Deslizamientos (Cruden y Vames (1996).)</p>	<p>Caída: Es el movimiento independiente de rocas o fragmentos de sedimentos en caída libre, rebotando o girando.</p> <p>Derribo: Movimiento rotacional de losas de roca o sedimentos coherentes separados por discontinuidades.</p> <p>Deslizamiento: Es el movimiento de rotación o traslación de rocas o masas de sedimento, deslizándose en una o más desplazamientos discontinuos.</p> <p>Esparcimiento: Movimiento de masas de roca o sedimentos dominados por una distorsión interna la cual causa adelgazamiento y alargamiento de la masa deslizada.</p> <p>Flujo: Es el movimiento espacialmente continuo con una velocidad de distribución comparable con la del flujo de un fluido.</p> <p>Corrientes de turbidez: Movimiento de rocas y sedimento pendiente abajo, donde se presenta la separación de las partículas grandes y las pequeñas.</p> <p>Turbidez: son los sedimentos marinos que muestren una estratificación gradada.</p>

Tipo de fallas	Características
<p>Tipos de movimientos de masa (Katherine Feely. Boston, Massachusetts. 2007)</p>	<p>Derrumbes submarino (submarinerockfall).</p> <p>Deslizamientos submarinos depresiones (submarineslidesorslumps).</p> <p>Corrientes submarinas (submarineflows).</p> <p>Flujo de turbidez submarina (submarineturbidityflows).</p>
<p>Modos de falla ocasionadas en por carga de una estructura según: Goda y Suzuki (1976).</p>	<p>Deslizamiento horizontal.</p> <p>Hundimiento y plastificación local.</p> <p>Vuelco.</p> <p>Socavación del pie.</p> <p>Estabilidad global.</p>

5. PROCEDIMIENTOS QUE FACILITAN LA ESTABILIZACION DE LOS TALUDES MARINOS.

Cuando hablamos de problemas en las costas y en el fondo marino, la erosión por consecuencia del oleaje es una de las mayores amenazas, seguida por la aparición de gases de hidrocarburos, fuerzas sísmicas, suelos licuables, mala sedimentación, y diapirismo entre otros.

Los movimientos submarinos es un tema nuevo para la mayoría de países que lindera con costas, en los cuales por el desarrollo ha hecho de estos que se incrementa el interés por estos temas y se creen algunos restos los cuales buscan metodologías adecuada para la evaluación de riesgos y la implementación de diversas actividades que ayuden a la adecuación y la estabilización en el fondo marino o sus alrededores con estructuras marinas con gran tecnología que ayuden a ser humano en el avance en alta mar y partes someras, entre estas estructuras tenemos:

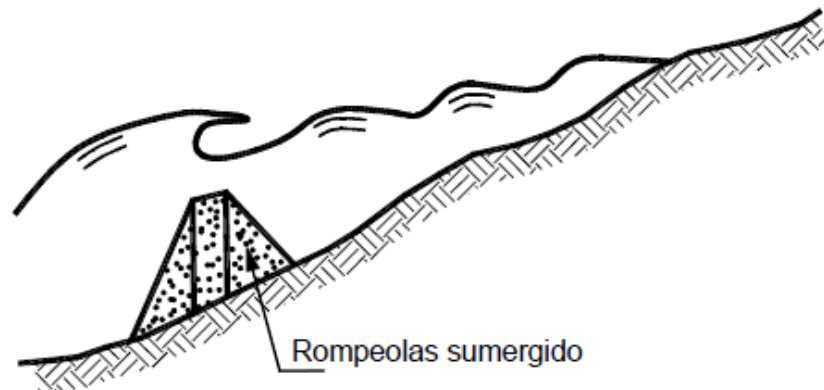
5.1 DIQUES ROMPE OLAS

Los diques rompe son estructuras de estabilización marina que se realiza en las áreas costeras o puertos que se encuentran en expuesto a la acción del oleaje que produce inestabilidad formando roturas, fricción en el macizo granular y deterioro en los pies de los taludes, y pueden construirse acumulando rocas de gran tamaño, bolsacreto, tubos de geotextil rellenos, pilotes hincados, tablestacas formando cofres, o bloques prefabricados de concreto.

Tiene como objetivo principal cubrir una gran parte del talud la cual absorbe gran porcentaje de la energía que le produce daño al terreno. Los diques rompe olas varían según el diseño, sus capas pueden cambiar decreciendo de tamaño desde el mato exterior hasta el núcleo, los diques **multicapa** son aquellos que dan apoyo y filtran a las piezas de manto adyacentes. Cuando el dique es pequeño y en el lugar de construcción hay poca disponibilidad de material se pueden crear diques de una sola capa llamados **monocapa**.

También podemos clasificar los diques como no rebasables o sumergidos como se pueden ver en las (figuras 4.1.1- 4.1.2). Los diques rompe olas sumergidos son los que su cota mas alta o cota de coronación son alcanzado por el nivel de agua, actuando como barrera que impide el movimiento de arena hacia el fondo del mar y hace que algunas olas rompa sobre la estructura.

Figura 21. Dique rompe olas sumergido.



Fuente: U.S. Army Corps of Engineers

5.1.1 Concepto de estabilidad

Bruun, 1979, tras analizar las posibles causas de fallo de un dique rompeolas expuesto a la acción del oleaje, realizó una síntesis de ellas, agrupándolas en once causas principales, que comprenden la estabilidad hidrodinámica de las piezas, la estabilidad mecánica de las mismas, la estabilidad geotécnica de todo el conjunto granular y errores constructivos. En lo sucesivo, se analizará la estabilidad de los diques rompeolas ateniéndose a las causas de avería debidas a falta de estabilidad hidrodinámica, es decir:

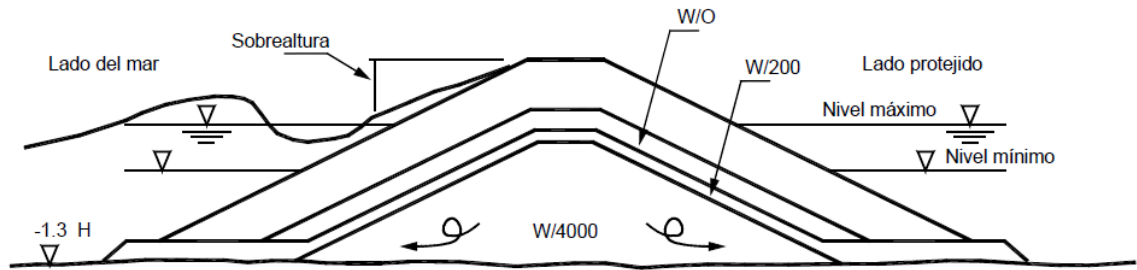
1. Extracción de las piezas del manto principal a causa del oleaje.
2. Movimientos continuos de los cantos del manto principal sin grandes desplazamientos instantáneos, pero capaces de deteriorar en el tiempo la conformación del manto. Se puede considerar como una rotura por fatiga.

El movimiento de una pieza integrada en el manto de un dique puede ser de dos tipos:

- Cabeceos (giros) sobre sus apoyos en el manto.
- Desplazamientos de su posición en el manto a otra nueva.¹⁰

¹⁰Análisis de estabilidad de diques rompe olas/ César Vidal, Miguel A. Losada, Raúl Medina E Iñigo Losada/ Grupo de Ingeniería Océano grafica y de Costas E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Universidad de Cantabria/Vol. 1 Num. 1 (1994) p. 19

Figura 22. Dique rompe olas no rebasable de múltiples capas



Fuente: U.S. Army Corps of Engineers

Los diques rompe olas manejan una serie de ventajas desventajas como la siguientes según (u.s. Army corps of engineerers)

Ventajas

- Los diques rompe olas son buenos para estabilizar líneas de playa y protege estructuras junto a la orilla.
- Ayudan a controlar la erosión por el transporte de arena a la orilla como al fondo del mar.
- Los diques se pueden diseñarse sumergidos para que no afecten el paisaje.
- Pueden controlar el paso de arena y de sedimentos que llegan a la playa.
- Se pueden construir en piedras, bloques y de materiales relativamente económicos.
- Disminuyen las alturas de las olas que llegan a la playa.

Desventajas

- Usualmente son costosos ya que su construcción es en la mitad del mar.
- En la playa, puede restringir la practica de algunos deportes como el surfing, y baño de las personas cerca a la estructura.
- Constituye un gran peligro para las navegaciones y los nadadores.

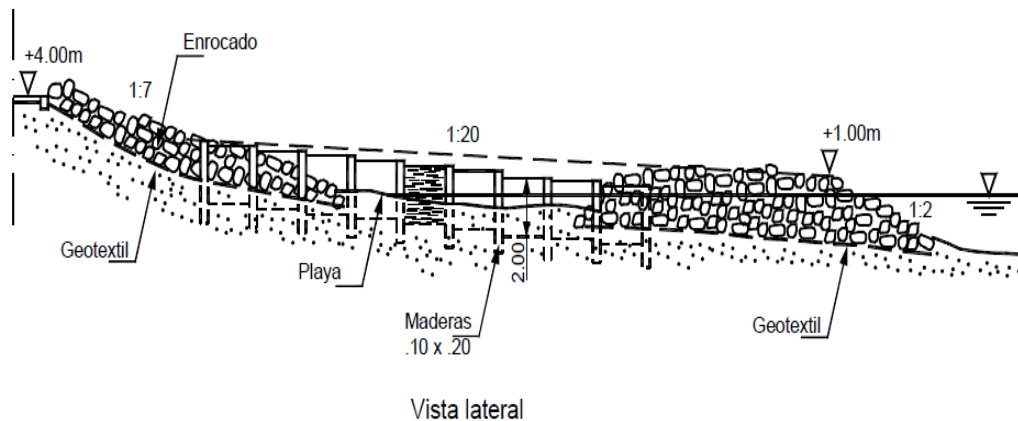
- Los diques pueden formar depósito de arenas conocidos como tómbolos los cuales pueden dar problemas de erosión.

5.2 ESPIGONES

Estas estructuras marinas son las más utilizadas para el cuidado de las playas, ellas son construidas cerca a la orilla de la playa para poder estabilizarla y manejar la erosión que son producidas por las corrientes paralelas formadas por las olas haciendo que la arena se sedimente a un lado de este.

Estos espigones en el mar actúan como una entrada de tierra produciendo fenómenos de difracción y refracción de las olas, la colocación y diseño de los espigones depende de e. volumen del litoral, la pendiente del talud o del terreno sumergido, y las características del oleaje. Se manejan diferentes tipos de espigones como se ven en la figura 23.

Figura 23. Diseño típico de un Espigón en T.



Fuente: U.S. Army Corps of Engineers

Cuando hablamos de diseños de espigones lo más recomendado para que tengan un buen desempeño estructural se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- a) Cuando el oleaje que domina en la costa forma un ángulo con respecto a la playa, lo más recomendable es colocar los espigones normalmente al oleaje para evitar la erosión por turbulencia en la punta del espigón. Si no existe dirección predominante se pueden colocar normalmente a la costa.
- b) La altura de los espigones debe ser constante con respecto a la del fondo del lecho marino, evitando que los muros altos produzca erosiones fuerte que puedan llevar al espigón su destrucción a y falle. Para evitar turbulencias se debe disminuir la altura de la punta del espigón.
- c) Cuando la sedimentación aumenta se puede ajustar la altura del espigón para conseguir efectos acumulativos.
- d) El ancho de la corona de un espigo debe ser por lo mínimo 1.5 veces el diámetro de la piedra o roca mas grande y lo suficiente para que pueda transitar los equipos respectivos para su mantenimiento.
- e) Los taludes laterales generalmente son de 1.5H:1V o 2H:1V
- f) Los elementos diseñados deben ser lo suficientemente grande para resistir las características del oleaje al que este expuesto.

Los espigones manejan una serie de ventajas desventajas como la siguientes según (u.s. Army corps of engineerers)

Ventajas:

- Los espigones controlan la erosión debida al transporte de sedimentos a lo largo de la orilla.
- Se maneja mucha información sobre el comportamiento en varias condiciones de ambientales de los espigones.
- Su construcción es económica y se construyen de la playa hacia el mar.
- Los espigones no varían las condiciones de la zona. La altura de las olas después de la construcción de los espigones no cambia.
- Se pueden construir con una variedad de materiales como piedras, tablestacas. Gaviones. Pilotes o bolsacreto.
- Se pueden modificar sus dimensiones después de construidos.

Desventajas

- No impiden la pérdida de arena hacia el fondo del mar.
- Hace que se generen corrientes fuertes a lo largo de sus flancos y así que la pérdida de arena hacia el fondo del mar aumente.
- Generan erosión en las playas vecinas al impedir el paso de sedimento a lo largo de la orilla.
- No hay mucha claridad en la forma del diseño si deben ser largos o cortos, altos o bajos, permeables o impermeables.

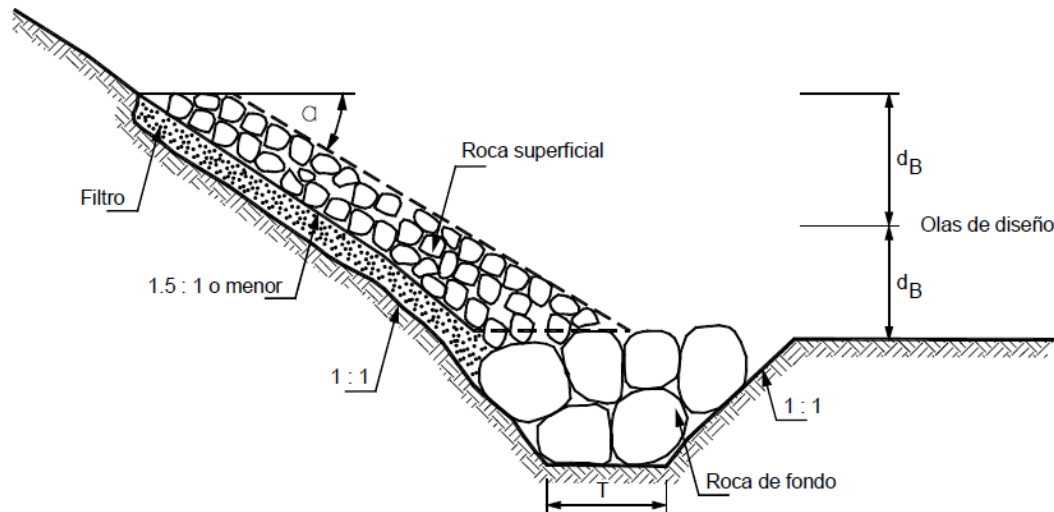
5.3 REVESTIMIENTOS.

Los revestimientos son estructuras marinas que encierran ciertas áreas protegiéndolas de las socavaciones en el pie de los taludes o desniveles de terreno marino cerca a la playa, se pueden crear diferentes estructuras como revestimientos rocosos, bloques de concreto, tubos de geotextiles de alta resistencia llenos de arena, o concreto.

5.3.1 Revestimientos de enrocado.

Es una de las formas más antiguas utilizadas actualmente para la protección contra la erosión del lecho marino adyacente a las playas. Su construcción consta de bloques de roca de gran tamaño los cuales se colocan sobre mantos de geotextil cubriendo el área que se desee proteger como se ve en la figura 24. El diseño y la resistencia de la estructura construida va depender de la calidad de la roca, el espesor del manto de enrocado y la pendiente a cubrir.

Figura 24. Revestimiento enrocado.



Fuente: U.S. Army Corps of Engineers).

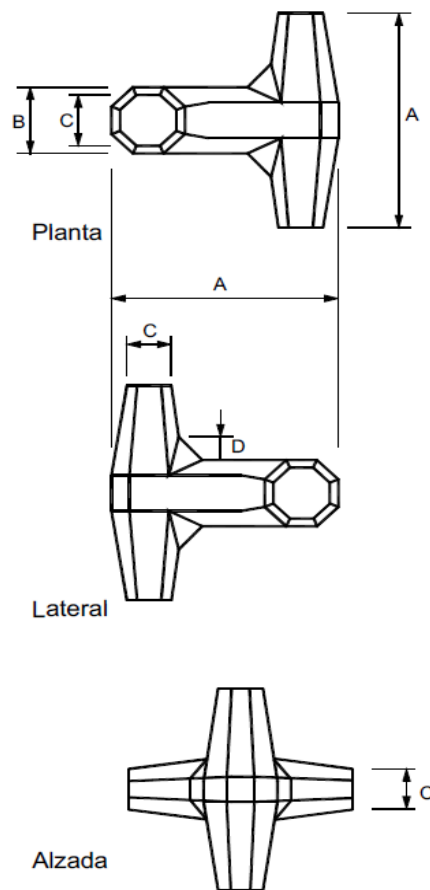
5.3.2 Revestimiento con tubos o bolsas de geotextil llenos de arena.

Los tubos de geotextil son un sistema que ayuda a la protección contra la erosión de las arenas arriba de la playa. Estas son bolsas alargadas de gran tamaño con una alta resistencia (ver figura 25) las cuales se rellenan con arena o piedra, las cuales resisten desgarramiento, abrasión y punzonamiento. Según (Gaffney, 2001) las bolsas de geotextil de alta resistencias al ser llenadas se convierten en estructuras de

gran peso y tamaño las cuales difícilmente podrán ser removidas por el oleaje y como tienen una gran flexibilidad se adapta fácilmente a las socavaciones.

Lastimosamente la vida útil de estas bolsas o tubos de geotextil son menores a la mayoría de las estructuras marinas pero son menos costosas y se puede utilizar material del mismo sitio.

Figura 25. Bolsas de geotextil de alta resistencia rellena de arena.

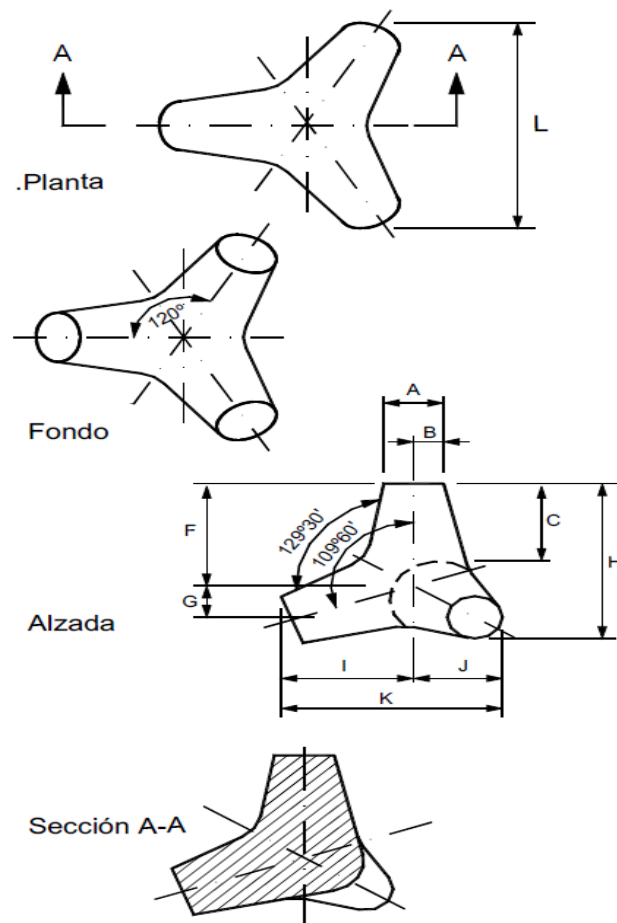


Fuente: U.S. Army Corps of Engineers).

5.3.3 Tubos o bolsas de geotextil llenos de concreto.

Son grandes bolsas de geotextil rellenas de concreto o de mortero las cuales se construyen colocándolas en capas, de tal forma que las bolsas superiores tomen la forma de lo espacio inferiores y se conforme un conjunto entrelazado homogéneo con gran resistencia como se ve en la figura 26. Las bolsas pueden alcanzar unos pesos de 3 a 27 toneladas y sus dimensiones se encuentran entre 3m de largo, 2m de ancho y 1m de altura y la fricción entre ellas pueden ser hasta de 35 grados.

Figura 26. Bolsa de geotextil de alta resistencia rellena de concreto o mortero.



Fuente: U.S. Army Corps of Engineers).

5.4 MUROS RIGIDOS

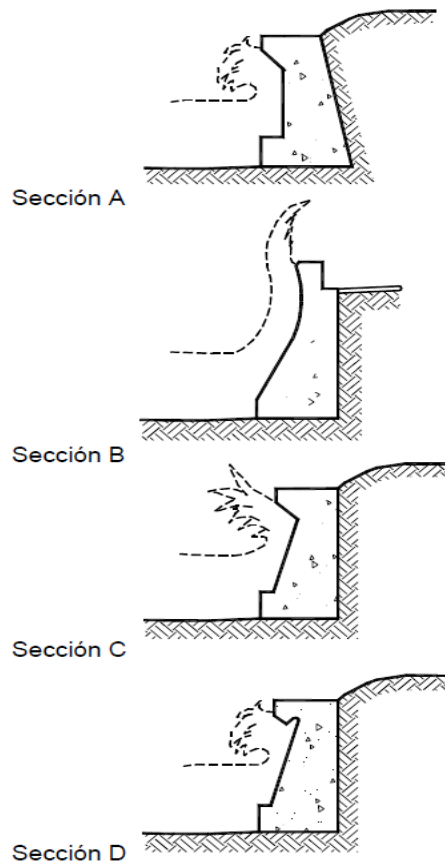
Los muros rígidos de concreto, de piedra o pilotes han sido utilizados desde hace muchos años como una forma de controlar la erosión que es causada por el oleaje, pero algunos estudios han arrojado, aunque impide la erosión esta aumenta en las zonas adyacentes, por reflexión de las olas o por la acumulación de arena que de otras formas se traslada a otros sitios.

Sistemas de estabilización patentados

Estabilizar una playa o bordes que delimitan ahora es una tarea más sencilla, ya que el mercado ofrece una gran cantidad de sistemas los cuales funcionan de una forma similar al dique rompe olas, pero los cuales varían en su geometría, el método de construcción o los materiales que se utilizan que le dan un comportamiento ideal, según lo indique el diseño y lo que se necesite ver (figura 27).

Al estar expuestos los taludes o laderas que delimitan las costas a fuerzas externas naturales como el oleaje las cuales inestabilizan, provocando daños que pueden afectar el bienestar de las personas que viven cerca a las costas. En los últimos años se han implementado estructuras rígidas de concreto prefabricadas las cuales han sido previamente probadas o ensayadas por las firmas vendedoras.

Figura 27. Muros junto al mar.



Fuente: U.S. Army Corps of Engineers

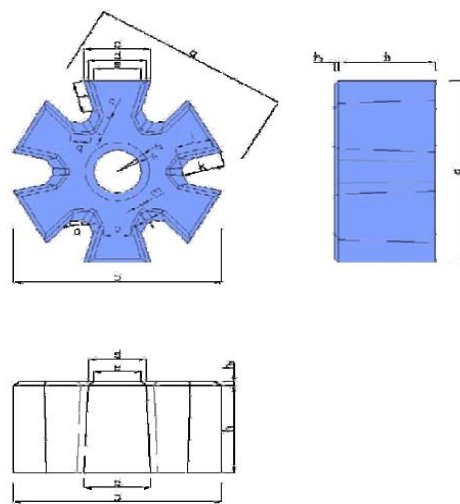
5.5 BLOQUE ATAMÁN

Con el interés de proteger tanto taludes como diques, la expansión hacia mar adentro para la construcción de estructuras como plantas petroleras entre otras, se ha llegado al desarrollo de una pieza artificial de concreto reforzado para cumplir con esta tarea, ofreciendo una solución muy económica y practica ya que su diseño facilita una distribución ordenada y de una sola capa reduciendo la energía con la cual se mueven las olas.

Los bloques de atamán son estructuras de forma prismática y hexagonal de tamaño variado con características singulares dependiendo de su uso, para el caso de zonas marítimas este instrumento guarda unas proporciones de 1.250 (altura) / 1.443 (lado) y para riberas donde no hay acción por oleaje su relación es de 0.9 / 1.443. Se busca mantener estas relaciones para que cumpla con su funcionamiento a los requerimientos impuestos, ya sean por oleaje o por corrientes.

La pieza se compone principalmente de dos partes, la primera es el núcleo de la pieza la cual lo conforma un cono central la cual se encuentra perforada y atraviesa toda la pieza, en su parte exterior se conforma por seis radios de iguales dimensiones los cuales sobresalen del cono central y tienen una forma de prisma trapezoidal las cuales se unen al tronco principal por medio de una de sus caras con una separación de 60° lo cual constituyen elementos hexagonales estrictamente regulares. Al mismo tiempo entre estas caras se forman unas aberturas las cuales cumplen con la función de disipar las sub-presiones generadas bajo la base de la pieza por los flujos hidráulicos del oleaje.

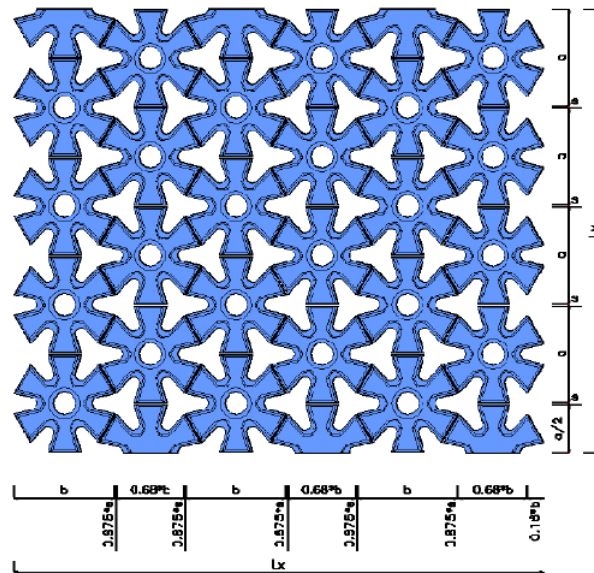
Figura 28. Bloque Atamán



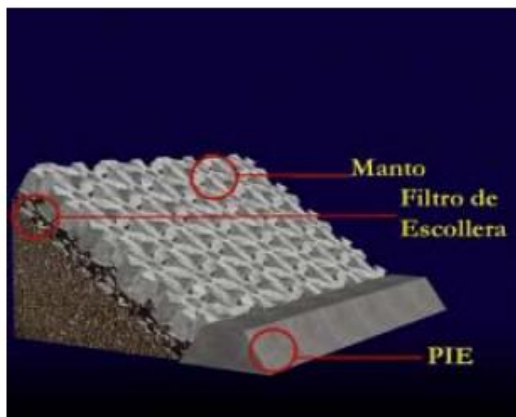
Fuente: GuerIngenieria

Como se menciono anteriormente, este elemento permite la una distribución en una sola capa, la conexión entre piezas se realiza por medio de las caras de las alas suponiendo la unión por yuxtaposición. Para completar el entramado en la parte superior e inferior se utiliza la mitad de cada bloque.

Figura 29. (a) Entramado Bloques Atamán (b) Entramado Bloques Atamán.



(a)



(b)

Fuene: Guer ingeniería)

Generalmente estos bloques están expuestos a las acciones del oleaje con lo cual se puede simplificar dentro de los procesos de el impacto producido por la masa de agua que llega con la ola incidente, las fuerzas de arrastre que se generan por el movimiento de estas masas de agua en sentido ascendente y descendente sobre el talud y las fuerzas de extracción producidas por el gradiente de presiones entre las zonas exteriores e interiores.

Es importante resaltar que estos bloques producen una reducción de la energía en las olas incidentes con lo cual reduce la reflexión de las mismas, las causales de esta disminución se puede considerar debidas a que se produce un desfase en la ondas reflejadas y a la generación de turbulencias en el proceso ascendente del agua causados por los bordes vivos de estos elementos.

Para situaciones en las cuales los efectos por oleaje no son tan drásticos, los bloques atamán conservan sus propiedades ofreciendo protección a los taludes frente a las fuerzas de arrastre y ayudando a producir una reducción en la velocidad de la corriente.

Conociendo las características y propiedades de los bloques se logra enumerar sus funciones de la siguiente manera:

- Formación de riberas portuarias donde requiera mantener niveles de agitación bajos.
- Formación de paramentos en pro de las obras marinas donde se generan problemas de erosión debidas a la incidencia del oleaje.
- Revestimiento de taludes para la reducción de la energía del oleaje y velocidades de corrientes longitudinales.

Proceso Constructivo

Inicialmente se construye un pie de hormigón en la base del talud, con el propósito de asegurar el entramado y evitar su desplazamiento, para la cantidad de bloques a colocar dentro del entramado se tiene en cuenta las características del oleaje y sus variaciones.

Para el material a utilizar, se basará en la norma así como de la aplicación a la cual esta destinada, procurando la adición de fibras de polipropileno para mejorar la resistencia a la fisuración, impacto, flexotracción y la abrasión.

La fabricación de las piezas se realizan por medio de moldeo mediante encofrado, el diseño de la forma de este elemento proporciona la facilidad en el momento del hormigonado regular de tener un elemento totalmente homogéneo.

Figura 30. Proceso Constructivo de un Bloque Atamán.



Fuente: GuerIngenieria

Tabla 4. Dimensiones de los Bloques Atamán

P (t)	V (m ³)	S (m ²)	Dimensiones*																
			a	b	c	d	e	f	j	k	l	m	n	p	q	r ₁	r ₂	h	h ₁
1,0	0,426	5,54	1,173	1,209	0,387	0,339	0,276	0,196	0,214	0,245	0,046	0,034	0,115	0,157	0,085	0,141	0,188	0,563	0,023
2,0	0,851	8,80	1,478	1,524	0,488	0,427	0,348	0,246	0,270	0,309	0,058	0,043	0,145	0,198	0,107	0,177	0,236	0,709	0,030
3,0	1,277	11,53	1,691	1,744	0,559	0,488	0,398	0,282	0,309	0,354	0,066	0,050	0,166	0,227	0,123	0,203	0,271	0,812	0,034
4,0	1,702	13,97	1,862	1,920	0,615	0,537	0,438	0,310	0,340	0,389	0,073	0,055	0,183	0,250	0,135	0,223	0,298	0,894	0,037
5,0	2,128	16,21	2,005	2,068	0,662	0,579	0,472	0,334	0,367	0,419	0,078	0,059	0,197	0,269	0,146	0,241	0,321	0,963	0,040
6,0	2,553	18,30	2,131	2,198	0,704	0,615	0,502	0,355	0,390	0,446	0,083	0,062	0,209	0,286	0,155	0,256	0,341	1,023	0,043
8,0	3,404	22,17	2,346	2,419	0,775	0,677	0,552	0,391	0,429	0,490	0,091	0,069	0,230	0,315	0,171	0,281	0,375	1,126	0,047
10,0	4,255	25,73	2,527	2,606	0,835	0,729	0,595	0,421	0,462	0,528	0,099	0,074	0,248	0,339	0,184	0,303	0,404	1,213	0,051
12,0	5,106	29,05	2,685	2,769	0,887	0,775	0,632	0,448	0,491	0,561	0,105	0,079	0,263	0,360	0,195	0,322	0,430	1,289	0,054

P: peso del bloque expresado en toneladas (t).

V: volumen del bloque expresado en m³.

S: Superficie total del bloque.

* Las dimensiones son las indicadas en la figura 1.

Fuente: Autores del Proyecto

5.6 MEJORA DEL TERRENO CON AYUDA DE COLUMNAS DE GRAVA

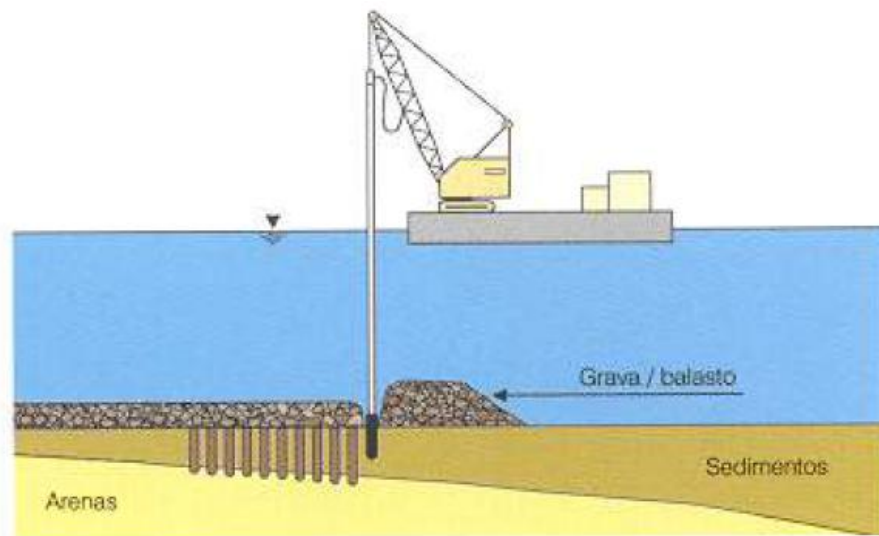
En suelos donde se presenten una alta cantidad de fracciones finas (contenidos superiores a 18%) las cuales conforman condiciones desfavorables en cuanto a estabilidad, resistencia al corte y deformación del mismo, con la intensión del mejoramiento de estas variables, se propone la técnica de estabilización por medio de columnas de gravas los cuales atreves de la historia han dado buenos resultados.

Esta técnica constituye una forma de mejorar el suelo, particularmente para suelos blandos y cohesivos. Las ventajas ofrecidas por este método son la mejora de la resistencia al corte, la rápida consolidación de la zona de interés, la reducción de los asentamientos y evita los problemas de licuefacción de los niveles arenosos frente a las acciones dinámicas.

La inyección de material granular en un terreno cohesivo, conforman un sistema integrado de cimentación, la diferencia de rigidez entre la columna y el suelo genera una redistribución en las tensiones aplicadas dando paso a un incremento en la capacidad portante del sistema, reduciendo los asentamientos y dando una uniformidad del terreno.

El efecto generado por las cargas sobre las columnas de grava, tienden a abombarlas con lo cual transmiten presiones laterales al suelo que las rodea, movilizandando su resistencia al corte. Al mismo tiempo estas columnas cumplen la función de drenes verticales con lo cual ayudan a disipar las presiones intersticiales con lo cual aceleran el efecto de consolidación.

Figura 31. Colchón de materiales de aportación en el fondo marino.



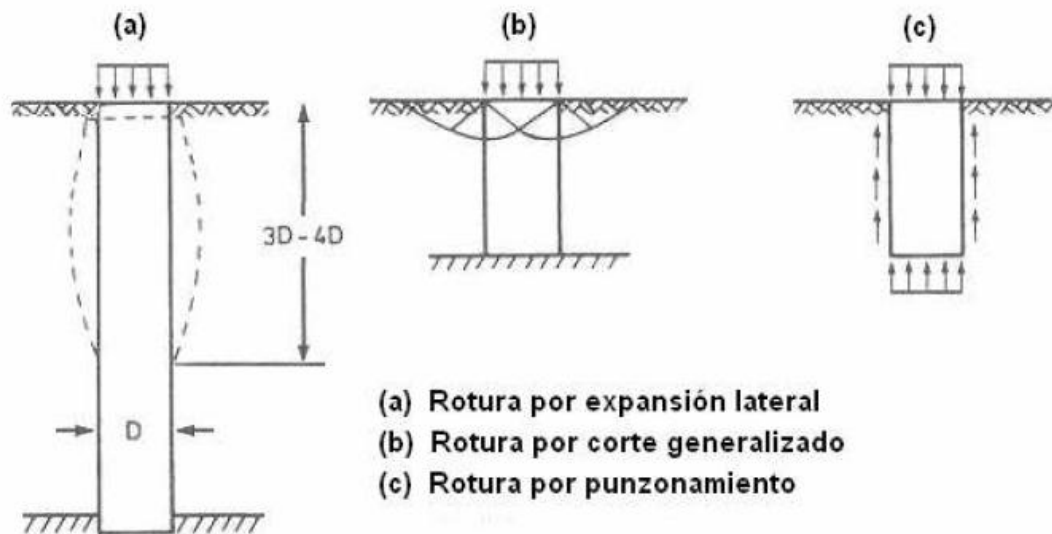
Fuente: Al-Homoud&Degen, 2006

5.6.1 Fallas de las columnas en grava

Estas estructuras no se encuentran exentas a fallas, las cuales son causadas por las cargas verticales a las cuales se someten, estas fallas son:

- a) **Falla por abombamiento:** Se produce una deformación desde la parte superior hasta cuatro veces el diámetro de la columna con una deformación de dos a tres veces el diámetro.
- b) **Falla de rotura:** Ocurre debido a la poca compactación en la parte superior de la columna y por el poco confinamiento lateral que aporta el suelo circundante.
- c) **Falla por Punzonamiento:** Este tipo de falla es una analogía al hundimiento de un pilote, la forma de evitarlo es en acondicionar las dimensiones de la columna a la carga con la cual se va a solicitar.

Figura 32. Tipos de rotura de una columna de grava bajo carga vertical



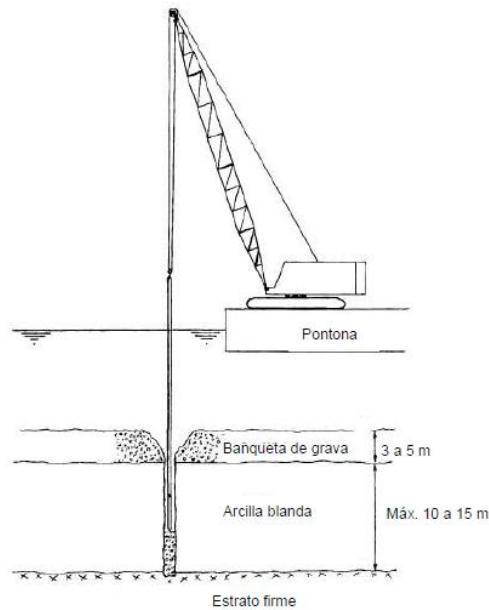
Fuente: Sobre la respuesta estática de suelos finos blandos sobre diques verticales.2007

Proceso Constructivo

El método constructivo de este método de estabilización se basa en el vertimiento con gánguiles de la grava formando un colchón en el fondo del mar, el espesor y distribución de la misma depende de las dimensiones de las columnas, separación entre ellas. Este colchón tendrá aproximadamente un espesor de 3 a 5 metros, la introducción de la grava se realiza mediante un vibrador el cual penetra el estrato

blando hasta llegar a un suelo resistente. Luego se hace el levantamiento del vibrador y posteriormente se realiza la compactación de la grava en intervalos de 0.5 a 1 metro.

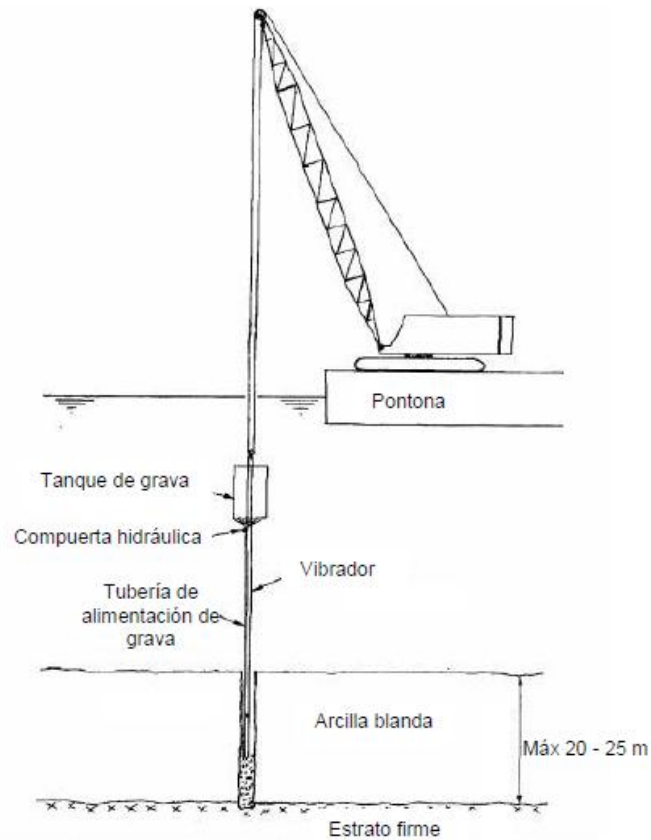
Figura 33. Método de la banqueta de grava.



Fuente: Al-Homoud&Degen, 2006

Como otra alternativa de construir estos elementos se realizan directamente en el fondo del mar. El método de alimentación por el fondo se caracteriza por realizarse con ayuda de un tubo adosado con vibrador conectado a un depósito de grava, con el cual se hace un ahorro de material al momento del montaje. El proceso es similar al anterior con la diferencia que al momento de introducir el vibrador y llegar a suelo estable, se abre la compuerta del tubo por el cual cae el material el cual se va compactando cada 0.5 a 1 metro hasta completar la columna.

Figura 34. Método del tanque superior con alimentación por el fondo.



Fuente: Sobre la respuesta estática de suelos finos blandos sobre diques verticales.2007)

5.7 RESUMEN CAPITULO V

Procedimientos que facilitan la estabilización de los taludes marinos.

La estabilización en terrenos marinos, a implementado diversas actividades con el objetivo de estabilizar de forma adecuada los alrededores y las partes someras que conforma los terrenos sumergidos en el mar, los cuales han creados metodologías y estructuras con gran tecnología que han ayudado al ser humano en su avance en alta mar.

Tipo de estructuras	Características.
Diques rompe olas	Los diques rompe olas son estructuras de estabilización marina que se realiza en las áreas costeras o puertos que se encuentran en expuesto a la acción del oleaje que producen inestabilidad y pueden fabricarse con: rocas de gran tamaño, bolsacreto, tubos de geotextil rellenos, pilotes hincados, tablestacas o bloques prefabricados de concreto.
Espigones	Son estructuras marinas construidas cerca a la orilla de la playa para poder estabilizarla y manejar la erosión que son producidas por las corrientes paralelas formadas por las olas haciendo que la arena se sedimente a un lado de este.
Revestimientos de enrocado	Es unas de las formas más antiguas utilizadas actualmente para la protección contra la erosión del lecho marino aledaño a las playas. Su construcción consta de bloques de roca de gran tamaño los cuales se colocan sobre mantos de geotextil cubriendo el área que se desee proteger.
Revestimientos con tubos o bolsas de geotextil llenos de arenas.	Es un sistema que ayuda a la protección contra la erosión de las arenas arribas de la playa. Estas son bolsas alargadas de gran tamaño con una alta resistencia, las cuales se rellenan con arena o piedra, las

Tipo de estructuras	Características.
	cuales resiste desgarre, abrasión y punzonamiento.
Revestimientos con tubos o bolsas de geotextil llenos de concreto.	Son grandes bolsas de geotextil rellenas de concreto o de mortero las cuales se construyen colocándolas en capas, de tal forma que las bolsas superiores tomen la forma de lo espacio inferiores y se conforme un conjunto entrelazado homogéneo con gran resistencia.
Muros rígidos	Los muros rígidos de concreto, de piedra o pilotes han sido utilizado desde hace muchos años como una de controlar la erosión que es causada por el oleaje, pero algunos estudios han arrojado, aunque impide la erosión esta aumenta en las zonas adyacentes donde se construyen los muros.
Bloque atamán	Los bloques de atamán son estructuras de forma prismática y hexagonal de tamaño variado las cuales buscan proteger la superficie revestida, su resistencia depende de la unión entre ella y las relaciones de tamaño según el diseño requerido.
Mejora del terreno con ayuda de columnas de gravas	Esta técnica constituye en inyección de material granular con el objetivo de mejorar el suelo, particularmente para suelos blandos y cohesivos. Las ventajas

Tipo de estructuras	Características.
	ofrecidas por este método son la mejora de la resistencia al corte, la rápida consolidación de la zona de interés, la reducción de los asentamientos y evita los problemas de licuefacción de los niveles arenosos frente a las acciones dinámicas

6. EXPLORACIONES Y REGISTROS HISTÓRICOS

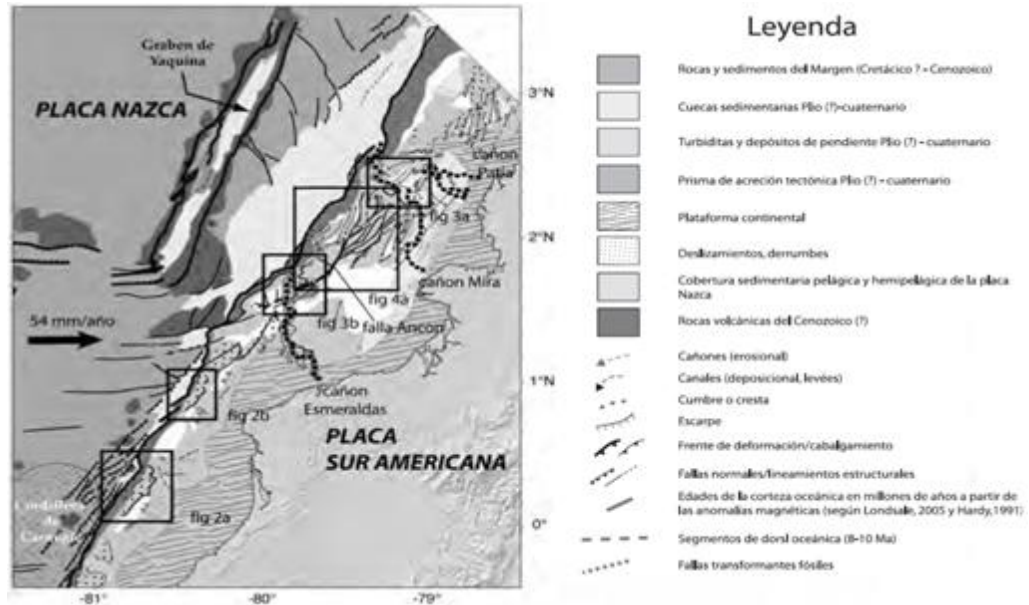
Con el interés en expandir el territorio para continuar con el desarrollo de obras de ingenierías y la explotación de hidrocarburos, el incremento en los movimientos de las placas tectónicas sobre las costas colombianas ha despertado el interés científico e investigativo.

Como antecedente, en el 2005 se ha realizado un estudio con el nombre “Campaña AMADEUS” en los límites del sur de Colombia y el Norte del Ecuador, con el propósito de estudiar el suelo oceánico y los movimientos de masas de las zonas más escarpadas las cuales suelen convertirse en un problema al momento de presentarse algún fenómeno natural que amenace la estabilidad, produzca deslizamientos y tsunamis.

La campaña AMADEUS llevó como objetivo realizar mapeos detallados mediante batimetría de barrido multi-haz, recopilar datos de movimientos sísmicos de seis canales obtenidos por “Amadeus” y veinticuatro canales proporcionados por la Agencia nacional de Hidrocarburos para finalmente realizar muestreo del suelo mediante corazonadores de gravedad.

La zona de investigación se encuentra a lo largo del margen de subducción de la placa de Nazca y Sudamérica, donde se presenta una alta actividad sísmica con una aplica afectación erosiva de los taludes.

Figura 35. Mapa estructural del margen norte de Ecuador - sur de Colombia.



Los resultados obtenidos dentro de la investigación muestran que hay una inestabilidad extrema a lo largo del margen con formaciones de escarpes sub-circulares de 5 km de ancho con alturas aproximadas de 1500 m y pendientes de 30°. Escarpes lineales a lo largo de 35 km y con alturas de 2000 m con incrementos de pendiente del ángulo de buzamiento entre 6° a 25°.

La formación de estos escarpes esta asociada a la actividad erosiva tectónica de las placas, la pendiente excesiva que presenta el talud continental el cual conduce a la mayoría de las desestabilizaciones de los depósitos del talud y los altos movimientos sísmicos los cuales favorecen a las rupturas de las masas de sedimentos. Las paredes de los cañones formados, se ven seriamente afectados y desestabilizados por un efecto generado por esfuerzos axiales debidas a las altas pendientes.

Las conclusiones obtenidas del estudio señalan que el incremento en las pendientes del piso oceánico por la tectónica de las placas está aportando y facilitando el proceso de desestabilización de estos taludes, las sacudidas del

terreno por efectos naturales también han sido señalados como factores de ruptura de las paredes de los cañones los cuales al ser debilitados generan colapsos y provocando deslizamientos.

Estos incrementos en la pendiente han sido asociados a la subducción de los montes submarinos y la subsistencia del margen causado por la erosión basal producido por el choque de las placas.

INFORME DE ESTADOS DE LOS AMBIENTES MARINOS Y COSTEROS EN COLOMBIA: 2005

En el año 2005 el INVEMAR realizó estudios en base a la alerta que presentaban los múltiples escenarios costeros de Colombia frente a la dinámica de los procesos naturales en el deterioro de los recursos existentes y la calidad de su entorno.

Principalmente los primeros indicios que alertaron las comunidades fueron los altos índices de erosión en las costas, como lo ha sido el Golfo de Morrosquillo y el área de Palomino en La Guajira, donde se procedió a estudiar para determinar si era posible mitigar este efecto erosivo producido por los efectos naturales de oleaje y otros factores.

Dentro del mismo año se efectuó un seguimiento de tres sismos en las costas del Chocó con magnitudes entre 4.5 y 5.1 y para Enero un sismo con magnitud de 5.8 donde. En estas zonas se presentan unas condiciones especiales del litoral costero al Sur-Oeste de Tumaco, las costas de Cauca y Nariño, donde se fueron estudiados detalladamente para obtener un plan de prevención de desastres, debido a su alta actividad sísmica y riesgo de vulnerabilidad frente a los tsunamis.

Región Caribe Continental

La zona caribe nace como el resultado de múltiples condiciones tanto geológicas, dinámicas de su suelo, resultado de la hidrodinámica del mar, e interacciones atmosféricas, lo cual creó una costa tanto en equilibrio, como otros sectores los cuales están muy expuestos a los efectos de erosión.

Estas zonas afectadas, principalmente se encuentran expuestas por condiciones de movimientos tectónicos lo cual genera deslizamientos sumado por el bajo volumen de manglares, la desaparición de las praderas marinas, por el diapirismo de lodos debidas a condiciones oceanográficas y demás factores meteorológicos han desgastado el suelo y han llevado a afectarlo de una fuerte manera.

En el año 1998 en INGEOMINAS expuso los procesos erosivos a lo largo de la línea de la costa, cerca del 12% presentaba procesos erosivos de alta magnitud poniendo en riesgo las poblaciones costeras e infraestructura. Otro importante estudio realizado en la Guajira por el INVEMAR – CORPOGUAJIRA en el año 2006, muestra un fuerte retroceso de forma general en la línea de la costa durante los últimos sesenta años debida a la erosión constante.

Los registros de variaciones de retroceso mas importantes se muestran en Riohacha con un promedio de erosión de 64 m, con un máximo de 354 m y un mínimo de 6 m, para El Cabo de la Vela el retroceso máximo llegó a 128 m y un mínimo de 18 m para un promedio de 72 m y para el Valle de Los Cangrejos, al oriente de Riohacha, su ecosistema manglar se ha visto comprometido por la sedimentación de arenas, transportadas ya sea por vientos y mareas fuertes.

Para el año 2004, el INVEMAR concluyó que para esta zona se estaba presentando un proceso erosivo serio (Tabla.5) a lo largo de la línea de la costa con un retroceso de hasta 5m año⁻¹, con lo que se han presentado problemas

sobre la infraestructura urbana, obligando a la reubicación de viviendas a zonas altas.

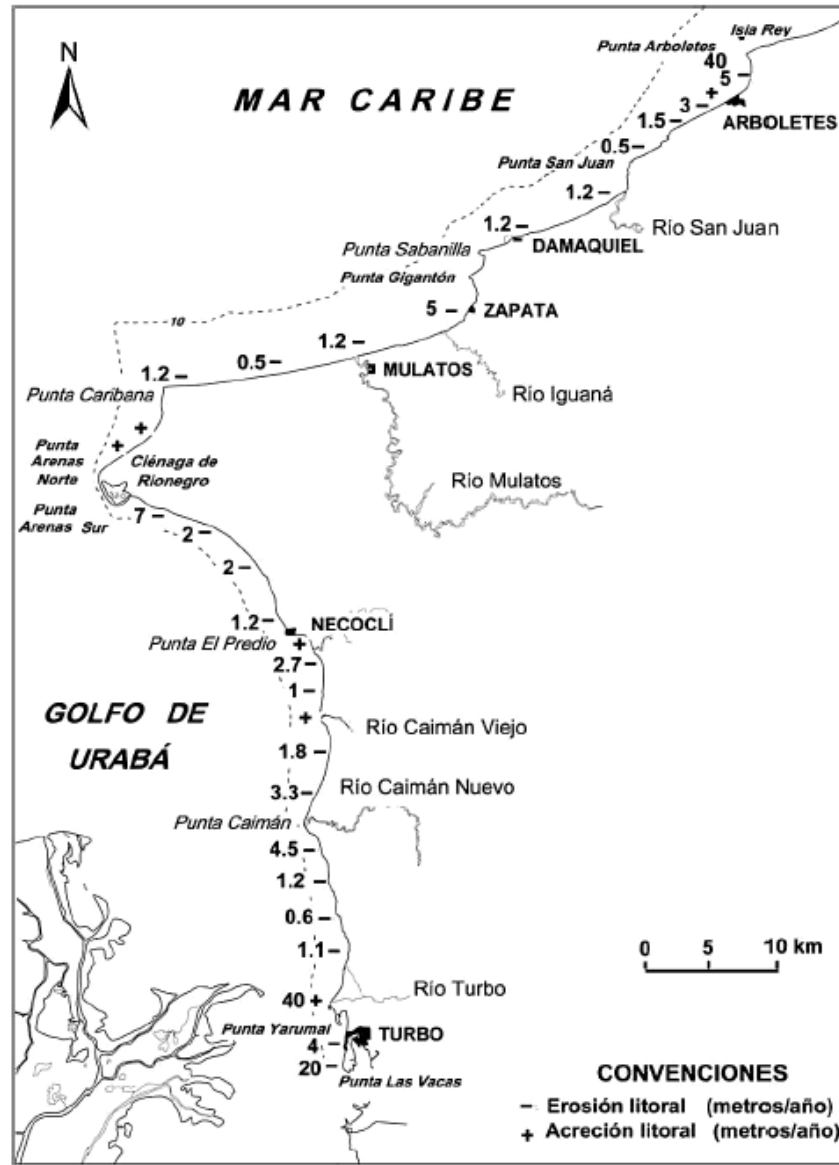
Tabla.5 Tasas de erosión calculadas a partir de fotografías aéreas entre los años 1938 y 2003, para la zona costera del norte del departamento de Córdoba

Punto	Erosión	Acreción	Tasa de desplazamiento (m año ⁻¹)
1- Norte de la Rada	138	-	-2.12
2 - Sur de la Rada	108	-	-1.66
3- Playas de No te cebes	87	-	-1.33
5 - Moñitos	9.75	-	-0.15
6 – Punta Broqueles	96	-	+1.47
9 – Punta la cruz	140	-	2.15
15 – Sur de Cristo rey	63	-	-0.97

Fuente: Rangel, 2004

De forma paralela en el año 1998 la Universidad Nacional de Medellín, en base a sus estudios concluye que en la zonas entre el golfo de Urabá y Morrosquillo, los procesos erosivos llegan a un 67% sobre la línea del caribe. Los valores de retroceso encontrados se han estimado alrededor de 70 m como mínimo y máximos de 400 m como es el caso de los brazos de los ríos Pavas y Tarena. La Universidad EAFIT en el 2001 evaluó las zonas de Turbo y Arboletes dando como resultado que en los 130 km de los 145 km que comprende la zona de interés presenta problemas de erosión con retrocesos de 7 a 40 m año⁻¹.

Figura 36. Tasas de erosión/acreción medidas a lo largo de la costa antioqueña en un periodo de 40 años



Fuente: Correa y Vernet, 2004

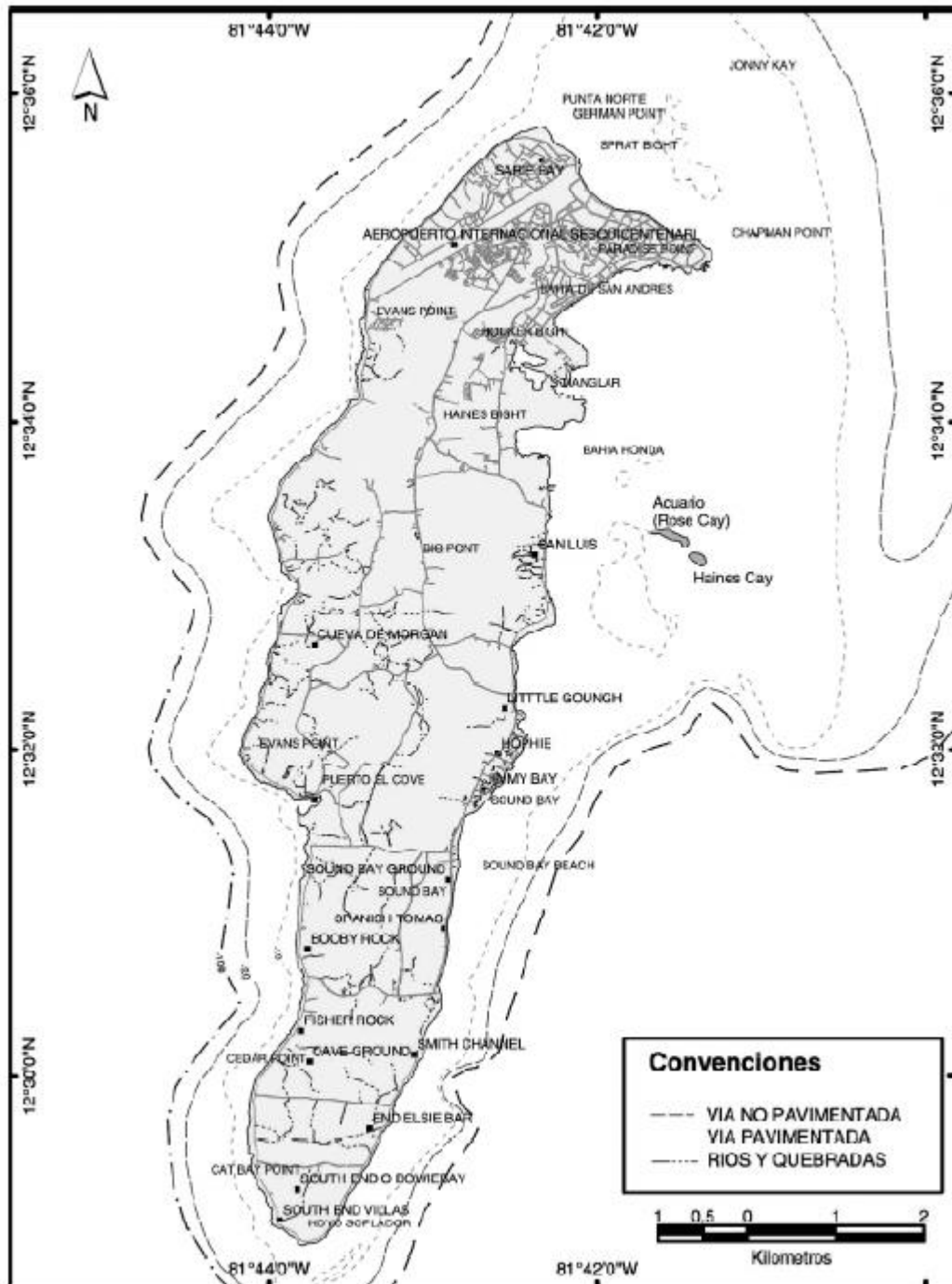
Región Caribe Insular

CORALINA en el año 2000, empleó un sistema de monitoreo sobre 14 playas de San Andrés en las cuales ha predominado el proceso erosivo y efectos de

cimentación durante los dos siguientes años. Por su parte INVEMAR encontró que en el sur de la Isla de San Andrés, el proceso erosivo era aun mayor con afectación sobre la infraestructura (Little Goungh) y las redes viales (Elsie Bar). La razón de tan alto índice de erosivo esta en que el oleaje del mar quien ha desaparecido gran parte de las playas en los sectores de SpratBay y SoundBay, en los sectores de San Luis y SoundBay la mayor amenaza la causa las olas del mar de leva afectando tanto como la carretera pública y los inmuebles de la zona.

Tomando como referencia la tesis realizada en el año 2004 “ Evaluación de la influencia en los cambios de la línea de costa y la erosión litoral en la isla de San Andrés, Caribe Colombiano” (Ossa,2004). Se concluye que los procesos erosivos abarcan toda la línea de la costa, con magnitudes máximas de retroceso de las playas de 2.3 m año-1 para los sectores de Elsy Bar y de 2.6 m año-1 para la zona central, especialmente en la playa de SpratBight. También concluye que no solo se trata de la acción del oleaje y efectos de tormentas y huracanes, sino también por la alta actividad antrópica realizada en los años 60’s modificando el balance natural de los sedimentos promoviendo los cambios en la morfología del suelo marino.

Figura 37. Mapa generalizado de la Isla de San Andrés donde se ubican todos los sectores mencionados en el texto



Fuente: Tomado de INVEMAR, 2003

Región Pacífico Continental

Para el año 2005 el INVEMAR haciendo seguimiento a estos estudios de erosión sobre las costas de Colombia, centro su evaluación sobre los departamentos del Cauca y Nariño, donde la situación presentada muestra que el 16% de la costa pacífica presenta una alta actividad erosiva sobre las poblaciones de Palo Secal, Pavasita, Pavasa, Punta Abanquiay en la isla de Bocagrande. La razón es la característica de la zona, ya que presenta un relieve abrupto que está conformado por altos acantilados e islotes rocosos, la erosión se asocia a la alta sismicidad y el fuerte oleaje sobre el litoral produciendo mucha inestabilidad en los taludes, con deslizamiento de magnitudes considerables.

Sobre las costas de los departamentos del Cauca y Nariño, el proceso erosivo ha dejado una marca tangible de los retrocesos, con los cuales se han dado paso a acumulaciones locales de sedimentos modificando el litoral.

Especialmente en el departamento de Nariño se han presentado altos procesos erosivos y de cimentación con los cuales han desaparecido islas y han obligado a la reubicación de la población, a continuación se presentan algunos casos:

Chontal-estero Hojas Blancas: Presenta marcas significativas de erosión y retrocesos en las costas hasta de 70 m en los últimos 15 años, la población fue trasladada a este lugar debido a la desaparición de la isla de La Barca y el desplazamiento y posterior desaparición de la isla San Jacinto.

Bocana Nueva: Sus playas comprenden un ancho hasta de 30 m, pero son cubiertas en casi su totalidad al presentarse la marea alta.

Milagros: Zona ubicada en la desembocadura del río Mira, este sector presenta una característica particular y es que se encuentra al menos 3 metros sobre el

nivel de la marea alta, pero la reducción en la vegetación en el suelo marino debido a los procesos de sedimentación por las fuertes mareas secando las depresiones pantanosas facilitando el transporte de los sedimentos.

Boca Grande-Vaquería: es una isla barrera conformada por arenas muy finas, pero ha sufrido procesos erosivos de alto significado dejando como consecuencia el retroceso de cientos de metros de playa obligando la restricción de la actividad turística.

Tumaco, La Viciosa, El Morro e isla Gallo hacen parte de un conjunto de islas que se han formado de manera similar a las demás islas barrera, a pesar que las intervenciones antrópicas han alterado los sub-ambientes generando transporte de sedimentos y depósitos de relieve bajo.

En el año 2005 de acuerdo al estudio realizado por Tovar “Evolución Histórica reciente (1958-2000) de la línea de costa del sector suroeste de la ensenada de Tumaco, costa Pacífica Colombiana”, se llega a muestran algunas observaciones respecto al deterioro de del suelo marino debida a la erosión.

Señala que, las variaciones presentadas a lo largo de la línea de costa pacífica, son modificaciones de las islas barreras, ya sea por acreción o pérdida del área de las mismas por los factores mencionados, además que la mayor influencia de este proceso se da por el fenómeno de El Niño, con el cual varían las condiciones y comportamiento tanto oceánico como climatológicos generando migración de material de diferentes posiciones de las costas y en las islas barrera produciendo adelgazamiento de estas y en otros lugares mayores acumulaciones de sedimento.

Un claro ejemplo de esto se presentó en la isla barrera de Santa Rita, en la que en su franja norte tenía una zona de manglar la cual yace muerta luego del fenómeno

de El Niño, zona la cual fue cubierta por los efectos de sedimentación y termino modificando el ancho de la isla a tan solo 50 m.

Figura 38. Manglar muerto en el extremo norte de la isla barrera de Santa Rita.



El Coco es otra isla barrera la cual ha sido afectada no solo por el fenómeno del El Niño sino también por efectos marítimos y la actividad sísmica donde en la actualidad casi no existen indicios que fue una zona firme y extensa.

6.1 RESUMEN CAPITULO VI

REGION	TIPO DE FACTOR DE INESTABILIDAD	CAUSAS DE LOS FACTORES	VARIACIONES PROMEDIO DE RETROCESO [m * año-1]	CONSECUENCIA
Región Caribe Continental	Retrocesos en las zonas costeras (Erosión) y Sedimentación.	Acción de Fuerte Oleaje, Tormentas y Huracanes	Riohacha = 64 Cabo de la Vela = 72 Golfo Urabá y Morrosquillo = 150 Zonas de Turbo = 40	Reduccion de los volúmenes en manglares, Problemas en infraestructura y reubicacion de la poblacion
Región Caribe Insular	Alto Grado de procesos Erosivo y Altos movimientos de Sedimentos.	Alta exposición a las fuerzas del oleaje, Tormentas, Huracanes y las actividades antrópicas	El proceso erosivo abarca toda la línea de la costa, con magnitudes entre 2.3 m año-1 para Elsy Bar y de 2.6 m año-1 para la zona central, especialmente en la playa de SpratBight.	Modificaciones en el balance natural del ecosistema, problemas en la malla vial y reubicacion de la poblacion
Región Pacifico Continental	Deslizamientos de Rocas, Erosión, transporte de Sedimentos y retrocesos en las costas	Altas pendientes en los escarpes de sus costas, la fuerte acción del oleaje la alta actividad sísmica de la región, el fenómeno de El Niño	Las zonas de mayor impacto son: Chontal-estero = 70 Otras zonas representan diferentes tipos de variaciones en retroceso	Modificaciones en el litoral, desaparicion de Islas, reubicacion de la poblacion, restriccion en actividad turistica

7. CONCLUSIONES

Para tener una buena exploración y caracterización del suelo marino, esta actividad debe ser diseñada, planteada y programada ingenierilmente, con el fin de mejorar las técnicas de la exploración, disminuyendo el tiempo y los costos en el proyecto.

A la hora de mostrar los resultados obtenidos de la exploración y el muestreo, los trabajos de laboratorio representan un aspecto importante, ya que estos resultados establecen la naturaleza y las características del subsuelo, así mostrándonos las capacidades químicas y mecánicas del suelo para determinar la capacidad de carga que resiste bajo cargas del medio en que se encuentra.

A pesar que el lecho marino se encuentra expuesto a diferentes factores que producen la falla, se debe tener muy en cuenta la acción del oleaje, que es uno de los factores que tiene mayor incidencia a la falla, produciendo erosión, desgaste en el pie del talud, socavación, disminución en la presión de poros y licuefacción.

Teniendo pleno entendimiento sobre los tipos de falla que se dan en los taludes sumergidos, se puede tomar la iniciativa para crear métodos con los cuales se puedan mejorar las capacidades portantes y propiedades del suelo marino para evitar deslizamientos y proteger los taludes frente a factores erosivos que puedan generar estos problemas.

Finalmente con estas herramientas, es posible llegar a un aprovechamiento de estos suelos en un futuro, manejando procedimientos que faciliten la estabilización, para obtener un mejor desarrollo tanto en obras ingenieriles como en explotaciones de hidrocarburos.

BIBLIOGRAFIA

ANDERS Elverhoi & Hedda Breien & Fabio V. De Blasio & Carl B. Harbitz & Matteo Pagliardi. Submarine landslides and the importance of the initial sediment composition for run-out length and final deposit: Published online: 25 July 2010

Atamán, la solución más económica para la protección de diques en talud. Guer Ingeniería. El Portezuelo-Tegueste, 38297 Santa Cruz de Tenerife.

B Alonso, M Farran y A Maldonado. Estratigrafía sísmica de alta resolución en márgenes continentales pasivos: factores de control durante el cuaternario. Instituto de ciencias del mar CSIC paseo nacional s/n 08003.- Barcelona. 1989.

BARÓN LUNA Octavio. Diseño de cimentaciones profundas en plataformas marinas: México, septiembre 2008, título académico ingeniero civil. Universidad Politécnica Nacional. Escuela superior de ingeniería y arquitectura-ingeniería civil. Unidad Zacatenco.

Brandes. H & Wang, S. Failure and Post-Failure mechanics of submarine landslides: Proceedings of offshore mechanics and arctic engineering, Vancouver, British Columbia, Canada. 2004.

BRIAN G. McAdoo. Offshore Geohazards and Risk Onshore: Mapping Submarine Slope Failures. Cap XIV. 2005

CARREIRO POSADA Manuela. Sobre la respuesta estática de los suelos finos blandos bajo diques verticales. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Madrid 2007.

D.G Masson, C. B Harbitz, R. B Wynn, G. Pedersen, F. Lovholt. Submarine Landslides: Processes, triggers and Hazard predictions. Phil. Trans. R. Soc. A. Publicado online 27 junio 2006.

Fell, R., Hungr, O., Leroueil, S. and Riemer, W. (2000). Keynote Lecture - Geotechnical engineering of the stability of natural slopes, and cuts and fills in soil, GeoEng 2000, Vol.1, Invited Papers, Technomic Publishing, Lancaster, pp.21-120, ISBN: 1-58716-067-6, November 2000.

FEELEY Katherine. Triggering Mechanisms of Submarine Landslides. Northeastern University. Department of Civil and Environmental Engineering. Boston, Massachusetts. 2007.

GARNICA ANGUAS Paul, GÓMEZ LÓPEZ José Antonio, FLORES Mayra, PÉREZ SALAZAR Alfonso, LÓPEZ BAZÁN José Islam. Estabilidad de Taludes Sumergidos. Aplicación a la Estabilidad de escolleras en Puertos Mexicanos: Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano de Transporte. Publicación Técnica No. 199. ISSN 0188-7297. Sanfandila, Qro, 2002.

GUEORGUI Ratzov, Marc Sosson, Jean Yves Collot, Sébastien Migeon, François Michaud, Eduardo Lopez, Yves Le Gonidec. GéoAzur. Deslizamientos submarinos a lo largo del margen convergente del Norte de Ecuador - Sur de Colombia. Posible control tectónico: Université de Nice Sophia-Antipolis, IRD, Université Pierre et Marie Curie, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur, Villefranche sur mer. France. 2005.

INVEMAR, Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2005. (Serie de publicaciones periódicas/INVEMAR; No.8) Santa Marta. 360 p.

JACQUES Locat. Inestabilites along ocean margins: a geomorphological and geotechnical prespective: department of geology and geological engineering, Universite Laval, Sainte-Foy, Que Canada. GPK7P4 31 1 August 2001.

JACQUES Locat and Homa J. Lee. Submarine Landslides: advances and challenges: Published on the NRC Research Press Web site at <http://cgj.nrc.ca> on 20 February 2002.

SUAREZ DÍAZ Jaime. Control de erosión en zonas tropicales: estructuras marinas.capitulo 14 Bucaramanga – Colombia. 2001.

VARGAS EDO.. Actualización del proyecto de obras marítimas, club camurí grande. México. documento número1697-ID-N-D-IF-01. 22 de Abril 2010.

VIDAL César, Miguel A. Losada, Raúl Medina E Losada. Análisis de la estabilidad de diques rompeolas: Universidad de Cantabria. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Vol. 1 Num. I (1994).