

Universidad de Matanzas

Facultad de Ciencias Técnicas



**“APORTES PARA NORMA CUBANA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DE PEDRAPLENES EN ZONAS MARÍTIMAS”**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil

Autor: Adrian Mesa Carrillo

Tutor: Ing. Celia Ávila Restoy

Cotutor: Ing. Homero Morciego Esquivel

Matanzas, 2018

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo Adrian Mesa Carrillo declaro que soy el único autor del trabajo de diploma “Aportes para norma cubana de diseño y construcción pedraplenes marinos”. En calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

_____	_____	_____
Presidente	Secretario	Vocal

“En tiempos de cambio, quienes estén abiertos al aprendizaje se advenarán del futuro mientras que aquellos que creen saberlo todo estarán bien equipados para un mundo que ya no existe”

Eric Hoffer

DEDICATORIA

A mis padres por ser el faro guía para la materialización de mis sueños y estar presentes en cada momento durante estos 5 años. Por su apoyo incondicional y por enseñarme que todo en la vida se logra con mucho esfuerzo y sacrificio.

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres por su apoyo incondicional en cada instante en este momento decisivo

A Arianna por estar siempre a mi lado y comprenderme en todo momento

A mis compañeros de cuarto Colina, Yaniel, Edel, Carlos (GCN-85-C)

A mi tutora y cotutor por recibir lo mejor de ellos en esta etapa final.

A mis compañeros de aula; y profesores por su dedicación y enseñanza en el logro de este objetivo.

A la Revolución por haberme dado la oportunidad de estudiar.

RESUMEN

Debido a la ausencia en Cuba de una norma que permita regir el proceso de diseño y construcción de pedraplenes, en el presente trabajo de diploma “Aportes para norma cubana de diseño y construcción de pedraplenes en el mar”, el autor se propone brindar la información necesaria, con la que posteriormente se pueda confeccionar una norma. Para ello se realizó una revisión bibliográfica, con el objetivo de evaluar el estado del arte referente a este tipo de construcciones; tomando como base la información y regulaciones nacionales, también las normativas y métodos que existen a nivel internacional relacionados con este tema. Atendiendo a aspectos tales como: métodos para el diseño, zonas fundamentales, principios del diseño, materiales y actividades para la ejecución. Posteriormente fueron analizadas tres de las obras de este tipo que se han ejecutado en nuestro país teniendo en cuenta sus soluciones constructivas, tipos de materiales utilizados y metodologías empleadas en su diseño y construcción. Posteriormente se procedió, sintetizar toda la información obtenida, de esta forma se establecieron los parámetros, los requisitos básicos fundamentales y necesarios para la realización de un correcto diseño y ejecución de las obras aquí tratadas de modo que se logren diseños lo más factibles, económicos y racionales posibles, manteniendo un equilibrio con el medio ambiente y el ecosistema.

Palabras claves: pedraplén, Medio Ambiente, resistencia, materiales, soluciones constructivas, mar

ABSTRACT

Due to the absence in Cuba of a norm, that permits to guide the process of design and construction of pedraplens, in the present research work: "Contribution for Cuban norm of design and construction of pedraplens in sears zone"; the author objective is to give the necessary information for doing a norm. For this reason, a bibliographic revision was made with the objective to evaluate the state of the art relating with this type of constructions, taking into consideration the national information and regulations, also the international norms and methods related with this topic; such as: methods for designing the fundamental zones, principles of design, materials and activities for the execution. Later three of works of this type that were done in our country were analyzed taking into consideration their constructed solutions, type of the materials, and methodology to used for design and construction. Then all the information was integrated, in this way the rules, the main fundamental and necessary requirement for doing a correct design and the execution of the work previously mentioned in this research work can get more effective, economic and rational designs, maintaining an equilibrium with the environment and the sea ecosystem.

Key words: pedraplens, ecosystem, resistency, materials, constructive solutions, sea

Índice

Introducción	1
Capítulo 1: Análisis del Estado del Arte.....	5
1.1-Resumen.....	5
1.2-Pedraplén. Definición:	5
1.2.1-Pedraplén como obra marítima:	6
1.2.2- Zonas fundamentales del pedraplén:	6
1.3- Métodos para el diseño de pedraplenes	8
1.3.1-Método de Yoshimi Goda	9
1.3.2-Método de Quinn	9
1.3.3- Método del Manual de Ingeniería de Costa (MIC)	10
1.4-Métodos constructivos	11
1.5-Ejecución de construcciones	12
1.6- Estudios previos al diseño y construcción de pedraplenes	13
1.6.1-Estudios de olas y vientos	14
1.7- Investigaciones ingeniero aplicadas para al diseño y construcción de pedraplenes...19	
1.7.1-Estudios topobatimétricos	19
1.7.2-Estudios geotécnicos:.....	19
1.6.3-Estudios hidrodinámicos para el cálculo del ancho necesario de las áreas abiertas del pedraplén.	20
1.7.4-Estudios en modelos físicos a escala reducida	21
1.7.5-Estudios de ubicación de canteras de los materiales necesarios para la construcción del pedraplén.	21
1.8-Características generales de los materiales a emplear en la construcción de pedraplenes.....	22
1.9- Otros conceptos de interés:	23
1.10- Conclusiones parciales:.....	23
Capítulo 2 “Estudio de obras realizadas”	24
2.1-Resumen.....	24
2.2-Pedraplén de Caibarién a Cayo Santa María.....	24
2.2.1-Breve reseña histórica.....	24

2.2.2-Estudios realizados	25
2.2.3-Proyecto	25
2.2.4-Sección típica	27
2.2.5-Construcción del vial	28
2.2.6-Fallo	31
2.3- Pedraplén unión con Cayo Buba	31
2.3.1- Breve reseña histórica.....	31
2.3.2-Estudios realizados	31
2.3.3-Proyecto	33
2.3.4-Sección típica	34
2.4.5-Construcción	35
2.4.6-Fallo	35
2.4-Pedraplén del Viaducto en la ciudad de Matanzas	36
2.4.1-Breve reseña histórica.....	36
2.4.2- Estudios realizados	36
2.4.3-Proyecto	36
2.4.4-Sección típica	37
2.4.5- Construcción	37
2.4.6-Fallo	39
2.5-Análisis comparativo	39
2.6-Conclusiones parciales	40
Capítulo 3: “Recomendaciones y especificaciones para el diseño y ejecución de pedraplenes en zonas marítimas”	41
3.1- Resumen.....	41
3.2-Diseño	41
3.2.1-Geometría.....	41
3.2.2-Solicitaciones:	43
3.2.3-Materiales:.....	50
3.2.4-Suelo de cimentación	52
3.3-Trazado	52
3.3.1-En planta:	53

3.3.2-En perfil:	53
3.4-Construcción:	54
3.4.1-Preparación de la superficie de apoyo	54
3.4.2- Excavación, carga y transporte del material	57
3.4.3- Vertido del material	58
3.4.3.1- Extensión de las tongadas:	60
3.4.4-Compactación.....	61
3.4.5- Puesta a punto del método de trabajo	62
3.4.6- Tolerancias de las superficies acabadas:.....	64
3.4.7- Fase de experimentación.....	65
3.4.8- Limitaciones en la ejecución	66
3.5-Manejo Ambiental.....	66
3.5.1-Propuesta de sistema de medidas en la concepción del proyecto para evitar o disminuir las afectaciones en los ecosistemas marinos	69
3.6-Conclusiones parciales	70
Conclusiones:	71
Recomendaciones	72
Bibliografía	73
Anexos	74

INTRODUCCIÓN

Los pedraplenes son estructuras de tierra y/o rocas utilizados en la construcción de vías de comunicación, diques y obras hidrotécnicas, construidos generalmente en zonas costeras proclives a las inundaciones y penetraciones del mar, apoyados sobre suelos con despreciables propiedades geotécnicas. Con el desarrollo de las tecnologías de las maquinarias de movimiento de tierra, los equipos de izaje y los medios de navegación también se han empleado en plataformas insulares, construcción de islas artificiales y en obras de protección costera. La construcción de pedraplenes en Cuba se desarrolla desde los años 30, después del triunfo de la Revolución el Ministerio de la Construcción ha tenido resultados que han merecido un reconocimiento relevante nacional e internacionalmente entre ellos están la construcción de carreteras en el mar (los pedraplenes) como vía alternativa de desarrollo de un país del tercer mundo para acceder a los cayos con vistas a la explotación turística. Pero no es hasta la década del 70; que debido a las necesidades en obras de la industria petrolera, del turismo e infraestructura vial se desarrolla en Cuba por orientación del Comandante en Jefe, una tendencia a la construcción de pedraplenes. Fundamentalmente en la costa norte de la región central del país y específicamente en las provincias de Matanzas y Villa Clara; en Cayo Coco y Cayo Santamaría. En ese momento no existía ninguna norma referente a la realización de este tipo de obras y a pesar de la cantidad de construcciones realizadas; en la actualidad aún no existe normativa alguna que rijan el diseño, construcción y control de este tipo de estructuras.

A mediados de la década del 80 del siglo pasado que se intensifica en Cuba el uso de pedraplenes como vías de acceso hacia determinados puntos de la plataforma insular. Uno de los ejemplos más relevantes lo protagonizan las plataformas petroleras en la Bahía de Cárdenas (Pedraplén Marbella) y el Pedraplén de Turiguanó a Cayo Coco para unir dicho cayo con tierra firme para la explotación de este con fines turísticos.

La necesidad de llegar a esos lugares, utilizando una vía terrestre, y la importancia económica que esto significa, han creado la tendencia cada vez con más fuerza hacia la construcción de estas vías dentro del mar.

En el futuro en Cuba, se continuará construyendo pedraplenes, teniendo en cuenta los amplios programas, tanto petroleros como turísticos y la enorme cantidad de cayos que se encuentran en las costas norte y sur de nuestro país a distancias razonables y separados de la isla mayor por mares de poca profundidad (hasta 5.00m), que son adecuados para este tipo de obra, independientemente que puedan construirse para mayores profundidades.

Situación problemática:

A pesar del desarrollo que ha existido en Cuba, por más de 85 años, en la construcción de pedraplenes, debido a la inminente necesidad de continuar proyectando y construyendo este tipo de obras para dar solución a la demanda del turismo, aún no se cuenta con una norma capaz de regir el proceso de diseño y construcción de pedraplenes en zonas marítimas en el país.

Problema Científico:

¿Cómo brindar aportes que puedan ser empleados para elaborar una norma que rijan el diseño y construcción de pedraplenes en zonas marítimas, aplicable a nuestro país; tomando como bases el análisis del estado del arte, los métodos constructivos, las regulaciones constructivas y las normativas existentes a nivel internacional?

Hipótesis:

Si se evaluara el estado del arte de las obras del tipo pedraplenes existentes en Cuba, los métodos constructivos, las regulaciones constructivas en conjunto con las normativas extranjeras, se podría elaborar un compendio de información que pueda ser empleado como aportes, con el fin de posteriormente desarrollar una norma, que rijan el proceso de diseño y construcción de pedraplenes en zonas marítimas acorde a las características de nuestro país.

Objeto de estudio:

El diseño y construcción de pedraplenes

Campo de acción:

Estado del arte, métodos y normas para la construcción de pedraplenes en Cuba

Objetivo general:

Realizar un compendio de información que pueda ser empleado como aportes para la realización de una normativa que rijan el diseño y construcción de pedraplenes en Cuba.

Objetivos específicos:

- Analizar estado del arte del diseño y construcción de pedraplenes tanto en Cuba como a nivel internacional
- Analizar y comparar obras del tipo pedraplén existentes en Cuba
- Sintetizar los parámetros de diseño y construcción necesarios para la ejecución de pedraplenes

Métodos Científicos:

Para desarrollar la presente investigación se emplearán diferentes **métodos teóricos**, entre los que figuran:

- Análisis-síntesis.

Una vez definidos el objetivo general y las tareas de la investigación, se comenzará la recopilación de información referente al tema, estableciendo puntos de concatenación entre la presente indagación y materiales anteriores en cuanto a enfoque, visión y perspectiva. Al localizar la información en las diferentes fuentes bibliográficas, se realizará el fichaje para su posterior procesamiento, el cual consistirá en una lectura exhaustiva con el fin de describir los elementos relacionados en la búsqueda y establecer conexiones entre los mismos que posibilitarán el logro de los objetivos y el cumplimiento de las tareas de investigación.

- Histórico-lógico.

Como parte de la caracterización del objeto de estudio, y como resultado de la revisión bibliográfica, se elaborará una reseña con la descripción de los antecedentes de los estudios de estructuras compuestas, tanto en el ámbito nacional como en el internacional.

- Inducción-deducción.

Tomando como referente los resultados de investigaciones referidas al diseño de pedraplenes se inducirá una metodología que permita regir el diseño y construcción de pedraplenes en Cuba.

Resultados esperados:

Aportes para futura confección de norma

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

1.1-Resumen

Durante la realización de este capítulo se analizará cómo se ha venido desarrollando el diseño y construcción de pedraplenes en el mundo; para poder definir qué posición ocupa el estado del arte de este tipo de obras en Cuba. Para ello se analizarán aspectos tales como: definiciones y conceptos de pedraplenes desde varios puntos de vista, las zonas o partes fundamentales del pedraplén atendiendo a criterios de diferentes autores, métodos empleados para el diseño, estudios preliminares necesarios, las investigaciones ingeniero-aplicadas empleadas, las características de los materiales empleados los métodos constructivos fundamentales para la ejecución en conjunto con sus actividades

1.2-Pedraplén. Definición:

Después de analizadas diferentes bibliografías, se toma como referencia los conceptos que a continuación se citan. Según lo planteado en el libro “Terraplenes y Pedraplenes, estado actual de la técnica” son un elemento constructivo que consiste en la extensión y compactación de materiales pétreos procedentes de excavaciones de roca. Se usa para la construcción rellenos, bien de gran altura o que sean inundables. El pedraplén suele estar formado por fragmentos de roca de gran tamaño que oscilan entre los 100 mm y los 900 mm”(Escario et al., 1981)

Según se plantea en la Regulación 3014 son construcciones de materiales pétreos para elevar el nivel del terreno natural(García et al., 1981)

A partir de lo planteado por el Ing Juan Luis Torres son explanaciones construidas dentro del mar y que tienen como elemento fundamental para su ejecución a las piedras”(Torres, 2008)

El autor define como pedraplén: Elemento constructivo basado en la extensión y compactación de materiales pétreos, que tienen como elemento fundamental las estructuras de roca todo ello con el objetivo de elevar el terreno natural o modificar el estado del firme aumentando su capacidad resistente.

1.2.1-Pedraplén como obra marítima:

El Ing. Juan Luis Torres define los pedraplenes ejecutados en el mar como obras que constituyen una de las tres alternativas para lograr la comunicación sobre equipos terrestres en el mar, siendo las otras dos: los puentes y los túneles. El empleo solamente de estas estructuras de rocas es la solución más económica para evadir el obstáculo mar, pero provoca grandes daños al ecosistema marino al no permitir libremente la circulación del agua e interrumpir el flujo de las corrientes y sedimentos, por otra parte, la construcción de puentes o túneles evita estos problemas ecológicos (permite el paso del agua y no afecta el flujo de las corrientes y sedimentos) pero son extremadamente costosas y complejas, por lo tanto, es práctica común proponer soluciones que vinculen la ejecución de pedraplenes y puentes, dejando como última alternativa la ejecución de túneles(Torres, 2008)

El Ing. Pedro Andrés Orta Amaro plantea que son estructuras mixtas formadas por rocas con granulometría distribuida y suelos granulares seleccionados, provistas de escolleras protectoras o rompeolas en ambos taludes, para formar una estructura resistente a la acción no solo de las cargas que circulan sobre el mismo, sino también el efecto destructor de las olas y en general del interperismo”(Amaro, 2013)

El autor asume para la realización de este trabajo la utilización de este segundo concepto.

1.2.2- Zonas fundamentales del pedraplén:

Según lo planteado por el Ing. Juan Luis Torres en su ponencia: “Diseño de carreteras en el mar: Los pedraplenes”, las zonas fundamentales son:

- “El núcleo que es la parte central del pedraplén y está formado por piedras de menor tamaño que las del filtro y la coraza. Sus funciones principales son servir para sustentar las capas de filtro y protección (coraza) así como las canalizaciones para redes de ingeniería y la estructura del pavimento, proveer una cierta barrera contra la transmisión de la energía de las olas y formar una plataforma de trabajo aceptable para la colocación de las demás capas de la estructura”
- “El filtro que es el conjunto de piedras que forman una o más capas con el objetivo de que el oleaje no actúe sobre los elementos que forman el núcleo. Otras de sus

funciones son proveer una base satisfactoria para sustentar la capa de protección y proteger al núcleo temporalmente hasta que se coloque la coraza”

- “La coraza que es el conjunto de piedras que forman una o más capas con el objetivo de proteger el filtro de la acción directa del oleaje e impedir la fuga de las rocas”

1.2.2.2- Según lo planteado en la Orden Circular 320/00 “Geotecnia vial en lo referente a materiales para la construcción de explanaciones y drenajes” las zonas fundamentales del pedraplén son:

- “Transición: Formada por la parte superior del pedraplén, con un espesor de dos tongadas y como mínimo de un metro (1m), a no ser que en el Proyecto se indique expresamente otro valor”
- “Núcleo: Parte del pedraplén comprendida entre el cimiento y la zona de transición”
- “Cimiento: Formada por la parte inferior del pedraplén en contacto con el terreno preexistente o superficie de apoyo. El espesor será como mínimo de un metro (1 m) o la máxima altura libre desde la superficie de apoyo hasta la zona de transición del pedraplén, cuando dicha altura libre fuera inferior a un metro (1 m)”
- “Espaldones: Es la parte exterior del relleno que ocasionalmente constituye o forma parte de los taludes del mismo”
- “Zonas especiales: son zonas del pedraplén con características especiales, tales como zonas inundables, etc. De existir, el proyecto deberá fijar sus características y dimensiones”

En este caso el autor considera que las dimensiones dadas para cada una de las capas pueden ser muy variables atendiendo a la funcionalidad que vaya a tener la obra y no necesariamente tiene que ser la que aquí se muestra. Estas dimensiones quedarán definidas durante el diseño de la estructura.

El autor decide para la realización del presente trabajo tomar como zonas fundamentales del pedraplén las empleadas por el Ing. Juan Luis Torres, realizando una modificación de modo que se fracciona el núcleo en dos zonas fundamentales: Corona y Núcleo. Donde la corona conformará la parte superior del pedraplén.

Además se sustituye la terminología coraza por escollera quedando entonces constuída de la siguiente forma:

1. Corona
2. Núcleo
3. Cimiento
4. Filtro
5. Escollera

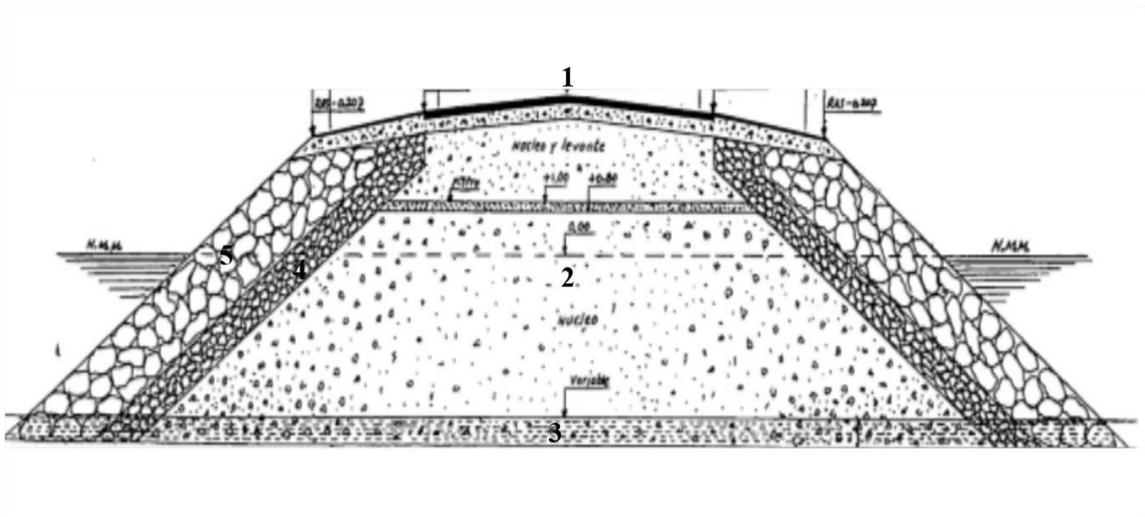


Figura 1.1 Zonas fundamentales del pedraplén

1.3- Métodos para el diseño de pedraplenes

En el mundo se han desarrollado métodos para el diseño de pedraplenes a partir de la incidencia del oleaje tales como el método de Yoshimi Goda, el método de Quinn y Método del Manual de Ingeniería de Costa desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos este último se considera más aplicable a la región del Caribe debido a la cercanía de Cuba con el citado país.

1.3.1-Método de Yoshimi Goda

En cuanto al método de Goda en este se analiza la probabilidad de ocurrencia de tsunamis; debido a que este método está desarrollado en Japón, región del Pacífico, que es afectado por este tipo de fenómenos, lo que sugeriría en primer lugar un sobredimensionamiento y por transitividad un aumento del costo de construcción de este tipo de obras ya que Cuba no se ve afectado por los tsunamis (U.S.Armi, 2003). Aunque se están realizando estudios debido a la posibilidad de que en el Caribe exista falla de las placas tectónicas provocando la ocurrencia de estos.

Para su análisis Goda asume la estructura como un bloque sin pendientes laterales, como si lateralmente lo que existiesen fueran paramentos verticales y tiene en cuenta parámetros tales como:

- Densidad saturada del relleno
- Densidad sumergida del relleno
- Densidad del agua del mar
- Coeficiente de fricción
- Factor de seguridad al vuelco
- Factor de seguridad al deslizamiento
- Ángulo de incidencia del oleaje
- Pendiente del fondo frente al rompeolas

1.3.2-Método de Quinn

“Para la caracterización de la ola predominó el criterio de aguas de poca profundidad, condición que limita su altura por dos factores:

Fricción del fondo. Esta acción se incrementa con el crecimiento de la ola hasta que finalmente alcanza un estado estacionario, en el cual la energía transmitida por el viento es gastada en vencer la resistencia por fricción del fondo del mar y no queda energía para el crecimiento de la ola. En este caso no influye el *fetch* o campo de viento, que se define como la extensión horizontal del área de generación del viento.

Rompiente. Es factible que la ola, antes de alcanzar su estado estacionario se “rompa”. Esto ocurre cuando la ola alcanza una altura aproximadamente de 0.80 veces la profundidad del agua tranquila. Una vez que la ola ha comenzado a romper, la energía adicional transmitida por el viento se gasta en el rompiente de la cresta y no se puede lograr ningún otro crecimiento. Los parámetros descriptores que caracterizan una ola de agua poco profunda son los siguientes:

- d : Profundidad del agua.
- V_v : Velocidad del viento en nudos a 10 metros de altura.
- T : Período de la ola.
- L : Longitud de la ola.
- H_s : Altura significativa de la ola. Se define como la altura promedio del tercio más alto de las olas observadas en un período de tiempo determinado. Coincide, además, con la altura que aprecia una persona al observar las olas.”(Díaz, 2013)

1.3.3- Método del Manual de Ingeniería de Costa (MIC)

El MIC plantea para aguas poco profundas la siguiente consideración:

“Muchos estudios indican que la profundidad del agua modifica el crecimiento de la ola. El rozamiento inferior y el filtrado (Putnam y Johnson, 1949; Bretschneider y Reid, 1953) han sido postulados como procesos importantes que disminuyen las alturas de la ola en aguas poco profundas; sin embargo los estudios recientes en aguas poco profundas (1993 de Jensen) indican que el incremento de la ola está limitado por el fetch, en aguas someras, siguiendo las leyes del crecimiento de ola en aguas profundas para la misma velocidad del viento, hasta un punto donde una altura sintótica de ola es alcanzada en dependencia de la profundidad”. Por la razón anterior es prudente: “ignorar los efectos de la fricción sobre el aumento de la ola en aguas poco profundas”.(Díaz, 2013)

También, según el MIC, “pruebas de Bouws et al. (1985) indican que espectros de ola en el agua poco profunda no parecen tener una dependencia perceptible sobre las diferencias en sedimentos inferiores. Por consiguiente, es recomendado que las fórmulas de crecimiento de ola de aguas profundas sean utilizadas para todas las profundidades, con

la restricción de que ningún período de ola puede crecer más allá de un valor restrictivo, como demostró Vincent (1985).”(Díaz, 2013)

1.4-Métodos constructivos

Los métodos constructivos para los pedraplenes en el mar estarán condicionados por la dirección y/o sentido en que se inician las actividades constructivas. Lo que a su vez determinará las tareas a acometer y la maquinaria a emplear en su ejecución. Cumpliendo siempre con los requisitos del proyecto. Una de los métodos que actualmente se utiliza para el control de la calidad de la ejecución es mediante el empleo de buzos verificando que las rocas se encuentren en el lugar correcto, que estén debidamente asentadas y que no se le produzcan fracturas. La construcción de pedraplenes se puede llevar a cabo mediante tres métodos distintos:

La primera corresponde a las obras que se ejecutan desde tierra firme hacia el mar; los que suelen llamarse pedraplenes de vía terrestre. Por lo general son los pedraplenes más económicos teniendo en cuenta que la actividad de relleno se realiza a través del vertido directo mediante el volteo desde camiones. Los equipos son reutilizables para otras actividades y para otro tipo de obras. Estas obras suelen volverse costosas en la medida que se requiera la transportación de mucho volumen de material a pie de obra.

Otra forma en que se ejecutan este tipo de obras es en sentido inverso, o sea desde el mar hacia la tierra. Esta solución constructiva es mucho más costosa que la antes mencionada sobre todo atendiendo a la maquinaria que se utiliza para la ejecución de las actividades por lo que sería necesaria la utilización de equipos tales como los gánguiles y las pontonas.(Rodríguez, 2015)

También se emplea una combinación de estos dos métodos logrando de esta forma una disminución de los tiempos de ejecución y un aprovechamiento de los aspectos positivos que presentan cada uno de estos métodos. Es muy útil para realizar la parte sumergida u luego la finalización o parte no sumergida de la obra.(Rodríguez, 2015)

1.5-Ejecución de construcciones

Para la ejecución de pedraplenes, en nuestro país, no existe normativa alguna que permita regir este proceso; solo se cuenta con la regulación de la construcción 3014 de abril de 1981. La construcción entonces está basada en normativas, regulaciones, métodos y órdenes circulares desarrolladas en países como México, Holanda, España y Estados Unidos. Agregar también que la construcción de pedraplenes en Cuba está basada en experiencias acumuladas con el devenir de los años y el esfuerzo y dedicación de los ingenieros, técnicos y obreros que día a día hacen posible que con tan escasos recursos y documentación básica se sigan desarrollando este tipo de construcciones.

La construcción de pedraplenes está basada en tres actividades fundamentales que a la vez su ejecución estará condicionada por otras tantas actividades; pero sobre todo el parámetro fundamental que decidirá la forma en que se ejecutarán y el ordenamiento de estas es la solución constructiva a utilizar analizadas en el epígrafe 1.4. Dichas actividades son:

- Preparación de la superficie de apoyo del pedraplén
- Excavación, carga y transporte
- Extensión y compactación del material en tongadas(Carreteras, 2000)

(Todas las actividades serán retomadas en el capítulo 3)

Preparación de la superficie de apoyo:

Esta actividad se realizará fundamentalmente cuando la construcción del pedraplén cuente con un tramo de vía en tierra firme, donde habrá que realizar trabajos de desbroce, excavación, escarificación, etc.

También en caso de que fuera necesario realizar el dragado de cieno debido a que el espesor de la capa fuera muy gruesa, esto se realiza generalmente en los bordes de las costas(Carreteras, 2000)

Excavación, carga y transporte: Estas actividades se desarrollan en las canteras de préstamo para garantizar la suministración de los materiales pétreos necesarios para la ejecución de las obras. También estas actividades podrán ser desarrolladas con la finalidad de dar solución a la actividad de preparación de la superficie de apoyo.(Carreteras, 2000)

Extensión y compactación del material en tongadas:

La extensión del material estará determinada por la solución constructiva empleando la maquinaria correspondiente en cada caso y la compactación se reiterará cuantas veces sea preciso.(Carreteras, 2000)

1.6- Estudios previos al diseño y construcción de pedraplenes

Es de suma importancia llevar a cabo la realización estudios preliminares debido a que los mismos brindan, en buena medida, las características de los diferentes aspectos o variables que pueden llegar a afectar en determinado momento la estabilidad y resistencia de la estructura en general; lo que garantiza un mayor tiempo de vida útil. Para ello se tendrá en cuenta la ejecución de dos grupos de estudios fundamentales, los estudios ambientales y los estudios geológicos. Estos a su vez se subdividen en una serie de estudios quedando estructurado entonces de la siguiente forma:

- I. Estudios Ambientales
 - 1. Estudios Físicos:
 - Meteorológicos
 - Vientos
 - Presión atmosférica
 - Temperatura
 - Lluvias
 - Ciclones o Huracanes
 - De impacto medio ambiental
 - 2. Estudios Oceanográficos

- Para aguas profundas:
 - ✓ Oleaje
 - ✓ Corrientes marinas
 - ✓ Mareas
- Para aguas poco profundas:
 - ✓ Oleaje
 - ✓ Corrientes
 - ✓ Mareas
 - ✓ Procesos Litorales
 - ✓ Fenómenos específicos del lugar o zona.

II. Estudios geológicos

- Mecánica de suelos
- Mecánica de rocas
- Geofísicos
- Geológicos diversos

1.6.1-Estudios de olas y vientos

Dentro de los estudios físicos se deben realizar con mayor profundidad el estudio de los vientos, olas, mareas y corrientes ya que la combinación de estos factores son los que mayor incidencia tienen en el incremento del poder destructivo del mar. Estos aspectos antes mencionados, en su conjunto, condicionan la determinación de la llamada ola crítica o de diseño; a través de un factor que se ha nombrado sobreelevación, consistente en la adición de las alturas obtenidas a partir de la sobreelevación propia de cada uno de estos factores de manera independiente. Quedando entonces determinada por la ecuación:(Torres, 2008)

$$S = Sv + So + Sp + Ma$$

Siendo entonces:

- Sobreelevación por efecto del viento (Sv)

“El viento que sopla sobre un espejo de agua, ejerce una fuerza horizontal sobre la superficie e induce una corriente superficial en su dirección media. Junto a la costa se acumula el agua transportada por las corrientes, provocando la sobreelevación del nivel del mar en la zona de sotavento y el consiguiente descenso en la zona de barlovento.”(Torres, 2008)

- Sobreelevación por efecto del oleaje (So)

“Está demostrado que luego de la rotura del oleaje, se produce una sobreelevación adicional que depende exclusivamente de las características del oleaje en rotura y que es el resultado de la acción de un tren de múltiples olas durante un período de tiempo suficiente. Esta sobreelevación puede entenderse como una transformación de la energía cinética de las olas en energía potencial.”(Torres, 2008)

- Sobreelevación por efecto de la presión atmosférica (Sp)

“El nivel del mar aumenta, además, debido a la disminución de la presión atmosférica que acompaña a estos fenómenos, por el llamado efecto del barómetro invertido. El nivel del mar varía a razón de 1 cm por cada milibar (mb) de variación de la presión atmosférica. Dicha variación será la diferencia entre la presión atmosférica media en la zona de estudio y la presión mínima registrada durante los fenómenos meteorológicos más intensos.”(Torres, 2008)

- Marea astronómica (Ma)

“Teniendo en cuenta que la probabilidad de que la ocurrencia de un fenómeno meteorológico extremo coincida con la ocurrencia de una pleamar máxima es muy poca y se hace necesario tener en cuenta la existencia de las oscilaciones de marea, es razonable, asumir como valor de altura de marea sobre el nivel medio del mar, la semiamplitud promedio de marea en la estación mareográfica ubicada en la zona.”(Torres, 2008)

Los vientos: Del mismo modo en que el agua fluye de puntos de potencial más elevado a los de potencial más bajo, en el aire el potencial varía de uno a otro punto de la atmósfera, fundamentalmente como consecuencia de las variaciones de la temperatura

sobre la superficie de la tierra y porque la densidad del aire cambia al hacerlo la temperatura. Son tres los factores que se combinan para producir las distribuciones estacionales de los vientos. En la región del Caribe los vientos son un fenómeno que provoca grandes daños, por lo que es imprescindible su análisis y estudio. El comportamiento detallado de los mismos se obtiene en los Institutos de Meteorología existentes en cada país, no obstante los ingenieros civiles deben estudiar también estos eventos debido a los efectos que provocan sobre las construcciones. El desarrollo y el efecto de los vientos son de poca importancia al ser comparados con las situaciones excepcionales provocadas por los huracanes debido a que se producen vientos críticos dependiendo del grado de intensidad que puedan alcanzar los mismos. En cuanto a las estructuras marítimas auto resistentes, en particular los pedraplenes, las obras protectoras de costas y puertos; durante estos eventos los efectos de las olas alcanzan sus máximos valores para los que deben diseñarse.(Amaro, 2013)

Origen de las Olas:

La brisa deslizando sobre un mar en calma da lugar a la aparición de pequeñas ondulaciones u olas, las que a su vez provocan cambios en la corriente del aire que produjo las ondulaciones; cada ondulación obstruye el flujo del aire y se forman pequeños remolinos de aire del lado de las ondulaciones situado en contra de la dirección del viento. La pequeña ola que avanza continúa creciendo bajo la acción de un viento continuo de velocidad constante, alcanza el tamaño máximo correspondiente a la diferencia de presiones originada con la velocidad del viento existente. Si el viento cesa antes de que esta haya alcanzado su tamaño máximo y si la ola alcanza la costa su crecimiento cesa o se interrumpe, de lo contrario continúa creciendo pudiendo dar lugar a enormes olas denominadas tsunamis, con efectos devastadores y mortales. En los pedraplenes que se construyen mar adentro, hay que proteger ambos taludes laterales con elementos que constituyan una coraza protectora, la cual cumplirá la misión de disipar la energía de las olas, de modo que proteja estas estructuras de las acciones destructivas de las olas que inciden sobre el mismo.(Amaro, 2013)

Para tener mayor información sobre este tema y tener nociones de la altura y el efecto destructivo de las olas marinas, seguidamente se explican aspectos básicos de los Maremotos o Tsunamis. Este fenómeno se origina según investigaciones debido a tres causas: los terremotos, erupciones volcánicas y grandes deslizamientos de tierra. Estas enormes olas tienen gran poder destructivo y originan grandes pérdidas de vidas humanas sobre todo en las fajas costeras, como las que han ocurrido en el Océano Pacífico en una zona de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas en los fondos marinos, aunque lo anterior no significa que pueda ocurrir en el Atlántico incluso en el Mar Caribe o en el Mediterráneo. Por su ubicación geográfica Japón es uno de los países más afectados por estos fenómenos. Los japoneses han creado una clasificación de los lleva el nombre de su autor: Imamura-Lida, la que permite tener una rápida idea de los efectos de los maremotos o tsunamis de acuerdo con la altura de la ola, la que se presenta en el Anexo1.(Amaro, 2013)

Los Ciclones:

“La velocidad media en una corriente de flujo laminar es notablemente inferior a las velocidades particulares en los remolinos que se forman detrás de un obstáculo a flujo general. Al abrigo de un obstáculo se forma pequeños remolinos que se desplazan aguas abajo, cada uno de estos remolinos está caracterizado por una depresión cónica en la superficie del agua y esta disminución de energía de posición va acompañada de un incremento en la energía cinética, producido por la acción giratoria alrededor del eje vertical del remolino. En las corrientes de aire en la atmósfera pueden formarse remolinos similares por la influencia de las masas terrestres calientes o por el rozamiento entre corrientes de aires vecinas opuestas o más directamente, por una zona de baja presión local de origen térmico. El diámetro de un remolino de este tipo puede ser de unos pocos metros hasta de cientos de kilómetros. Un tornado es un “tubo” o cono de aire que gira a cientos de kilómetros por hora, pero el conjunto se desplaza, normalmente unos 80 Km. a una velocidad de 40 Km/hora, como consecuencia de disturbios de una pequeña extensión y corta vida, sin embargo un ciclón, huracán o tifón (palabras empleadas para describir el mismo fenómeno) es también un movimiento giratorio del aire pero con un diámetro de cientos de kilómetros, las velocidades del viento pueden

superar los 300 km/hora y se desplazan a velocidades de hasta 20 Km/hora, ambos valores están por debajo de las velocidades correspondientes para un tornado. Por la escala mucho mayor de los Huracanes, este tipo de perturbación hace posible el crecimiento de olas marítimas destructoras (de varios metros de altura), la sobre elevación del nivel del mar, lo cual origina grandes daños sobre todo cuando son clasificados como Huracanes de Categorías Superiores (III, V y V en la Escala Safir-Simpson)”(Amaro, 2013)

Estudios para la conservación del Medio Ambiente:

Se debe tener sumo cuidado en cuanto a la proyección de los pedraplenes debido a que el impacto que este tipo de construcciones supone para el Medio Ambiente es sumamente destructivo para los ecosistemas marino por lo tanto deberán estudiarse con mucho detenimiento todos los problemas que pudieran traer consigo estas construcciones y darles solución en el diseño del mismo, a pesar de que se conoce lo compleja que pueden llegar a ser las condiciones en cada lugar en específico y muy difíciles las decisiones a tomar para tenerlas en cuenta, pero, no obstante, no es posible permitir que se obvien los estudios e investigaciones necesarias para tomar la decisión.

Entre los problemas más importantes se tiene la ubicación, a que separación y de que longitud se diseñarán los puentes para el mantenimiento del ecosistema así como las velocidades permisibles de las corrientes marinas en ellos para evitar la socavación.(Torres, 2008)

“En Cuba está establecida la obligatoriedad de obtener la Licencia Ambiental, para lo cual el Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) a través del Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA) realiza los análisis necesarios para la aprobación de este tipo de obra una vez demostrado que no producen afectaciones al medio ambiente.”(Torres, 2008)

1.7- Investigaciones ingeniero aplicadas para al diseño y construcción de pedraplenes.

1.7.1-Estudios topobatimétricos

“Se efectuarán levantamientos topobatimétricos a escalas adecuadas que permitan elaborar variantes de trazado, teniendo en cuenta las curvas isobatas (de igual profundidad) para lograr la utilización de la menor cantidad posible de rocas e investigaciones geotécnicas utilizando la geofísica que permiten definir los perfiles longitudinales de cada uno de los trazados.”(Torres, 2008)

“Será necesario establecer una red geodésica, a la cual se referenciará el levantamiento topobatimétrico realizado. Esta red partirá de puntos de control horizontal y vertical de la red nacional de coordenadas. La utilización de modernos programas de computación nos permitirá elaborar los diseños de forma automatizada. Por otra parte los puntos de control geodésico nos servirán para el replanteo del trazado en planta y perfil del pedraplén.”(Torres, 2008)

1.7.2-Estudios geotécnicos:

“Como parte de las investigaciones geotécnicas se ejecutará un estudio geofísico e hidrográfico para determinar la profundidad del fondo marino, la profundidad de yacencia del horizonte reflector correspondiente al subfondo marino, los espesores de los elementos no consolidados y algunas características físicas de esos sedimentos.”(Torres, 2008)

Para ello se realizarán los siguientes estudios:

- **Perfilaje sísmico de reflexión de alta resolución:**

“Esta metodología tiene la finalidad de determinar la profundidad de yacencia del elemento reflector que subyace el elemento marino así como los espesores del paquete de sedimentos no consolidados. El perfilaje ofrece un corte de profundidades de los horizontes de reflexión que es obtenido a partir del tiempo de ida y regreso que emplea la

onda acústica durante su recorrido por el medio acuoso y por los sedimentos no consolidados, obteniéndose de forma continua a lo largo de un perfil de sondeo, las fronteras correspondientes al fondo marino y al subfondo rocoso.”(Torres, 2008)

- **Batimetría**

“Tiene como objetivo fundamental realizar un levantamiento batimétrico en toda la zona de estudio y apoyar el perfilaje sísmico de alta resolución. Se efectúa mediante el empleo de un equipo ecosonda.”(Torres, 2008)

- **Calas de contacto**

“Su objetivo es la determinación de los espesores de los sedimentos no consolidados de forma directa. Consiste en la hincada manual de una varilla graduada de 4 m de longitud a modo de comprobación para con ello realizar la correlación de los horizontes reflectivos obtenidos en los registros del perfilaje sísmico con los valores de medición directa.”(Torres, 2008)

- **Muestreo geológico superficial**

“Tiene como finalidad caracterizar los sedimentos no consolidados presentes en la zona de estudio. Consiste en la toma de muestras en varios puntos distribuidos en una red regular en toda la zona de estudio. A las muestras colectadas se les determinan sus características a partir de los ensayos de granulometría, hidrómetro, peso específico y límites plásticos.”(Torres, 2008)

1.6.3-Estudios hidrodinámicos para el cálculo del ancho necesario de las áreas abiertas del pedraplén.

“Comprenden la medición de las corrientes marinas en las estaciones ubicadas en las principales pasas de los cayos y la obtención de información mareográfica en varios puestos de nivel provisionales ubicados en la zona de influencia del pedraplén.”(Torres, 2008)

“Una vez organizada y analizada la información hidrodinámica disponible se procede a realizar los siguientes cálculos:

- Cálculo del desplazamiento de la onda de marea. Desfasaje en ocurrencia de pleamares y bajamares entre los puestos de nivel.
- Cálculo del prisma de marea para las distintas zonas que se hayan considerado a lo largo del pedraplén.
- Cálculo de la relación corriente – marea en cada estación.
- Determinación de las velocidades media y máxima, direcciones predominantes y duración de las corrientes de flujo y reflujos.
- Cálculo del transporte de volumen en todas las pasas para un período de marea.
- Definición del peso o importancia hidrodinámica de las pasas afectadas por el pedraplén, en base al porcentaje en que su dinámica incide en el prisma de marea.
- Cálculos hidrodinámicos con los puentes previstos en el proyecto preliminar.
- Cálculo del ancho necesario de las áreas abiertas a practicar en el pedraplén de acuerdo a las exigencias hidrodinámicas determinadas.”(Torres, 2008)

1.7.4-Estudios en modelos físicos a escala reducida

“Se realizarán en laboratorios hidráulicos cuando la acción del oleaje es determinante en el diseño y el peso de los elementos de protección (coraza) no permite su colocación a volteo directo o cuando la importancia de la otra lo requiera. Estos modelos son muy costosos y necesitan de mucho tiempo para su preparación y realización en laboratorios especializados con personal altamente calificado.”(Torres, 2008)

1.7.5-Estudios de ubicación de canteras de los materiales necesarios para la construcción del pedraplén.

Dado que la roca es el material principal en la construcción de los pedraplenes, deberá ser investigada cuidadosamente, no sólo su disponibilidad, sino también su densidad, dureza y su propiedad para romperse en grandes bloques cuando se explote la cantera, así como la posibilidad de producirla y entregarla económicamente en la obra.”(Torres, 2008)

Para estudiar cada cantera deberán realizarse los siguientes trabajos:

- Trabajos topográficos: Consiste en la ubicación y nivelación de los puntos destinados a las calas a perforar referidos al sistema nacional de coordenadas.(Torres, 2008)
- Trabajos de perforación: Comprende la realización de las calas definidas para el área de ubicación de la cantera. La metodología empleada en la descripción y reconocimiento de los materiales extraídos en la perforación es la que aparece en la norma ASTM – D- 2488-90.(Torres, 2008)
- Ensayos de laboratorio: “A las muestras de rocas obtenidas durante la perforación se les realizarán ensayos físicos – mecánicos y químicos. A continuación se relacionan los tipos de ensayos a realizar y las normas a aplicar:
 - ✓ Ensayos de compresión sin confinamiento según la norma ASTM–D-2938.
 - ✓ Ensayos de absorción y peso específico de las rocas según la norma ASTM–C-97.
 - ✓ Ensayos de estabilidad de los áridos a la acción de los sulfatos de sodio o magnesio según la norma cubana NC-54-247-83.
 - ✓ Análisis químico de las rocas según la norma cubana NC-44-19-76.”(Torres, 2008)

1.8-Características generales de los materiales a emplear en la construcción de pedraplenes.

Según lo establecido en la RC-3014 de 1981 el material pétreo a utilizar en la construcción de pedraplenes, será roca sana con características y propiedades aprobadas según ensayos realizados a la cantera suministradora, tales como: dureza, angulosidad, dimensionamiento, intemperización y resistencia a la descomposición bajo agua en los casos necesarios, de acuerdo a lo establecido en el proyecto.

La relación entre la dimensión máxima, y espesor mínimo de la piedra a emplear, no será mayor de tres.

- Dureza. Según la exigida en el proyecto.

- Angulosidad. La dimensión mayor no debe ser superior a 3 veces el lado más pequeño.
- Intemperización. Resistente a la acción de los agentes atmosféricos.
- Resistente a la acción de los sulfatos y a la descomposición bajo agua.
- Resistencia a la descomposición bajo agua
- Dimensionamiento
- Porcentaje permisible de finos y áridos menores(García et al., 1981)

1.9- Otros conceptos de interés:

- “Enrocamiento: Obra construida de material pétreo para la protección de cortinas, diques y vertederos de presas, de obras de canalización o de cualquier tipo de obra que se construye fundamentalmente sobre terrenos destinados a ser cubiertos por el agua, contra el embate de olas y/o el erosionamiento de la corriente de agua”(Blumenkranz and Molinero, 1981)
- “Presión atmosférica: La presión atmosférica es la fuerza por unidad de área que ejerce el aire sobre la superficie terrestre”(Monkhouse, 1978)
- “Corrientes marinas: Una corriente oceánica o corriente marina es un movimiento superficial de las aguas de los océanos y en menor grado, de los mares más extensos. Estas corrientes tienen multitud de causas, principalmente, el movimiento de rotación terrestre (que actúa de manera distinta y hasta opuesta en el fondo del océano y en la superficie) y por los vientos constantes o planetarios, así como la configuración de las costas y la ubicación de los continentes”(Monkhouse, 1978)

1.10- Conclusiones parciales:

- 1- La bibliografía cubana referente al tema pedraplenes en Cuba escasea en gran medida; y la que existe es prácticamente obsoleta por el tiempo en vigencia que tiene por lo tanto se recurre al empleo de documentación extranjera.
- 2- En Cuba no se cuenta con las tecnologías necesarias para realizar con mayor precisión los estudios referentes a las características del terreno y los materiales debido a cuestiones económicas, y que estos novedosos medios son muy costosos.

CAPÍTULO 2 “ESTUDIO DE OBRAS REALIZADAS”

2.1-Resumen

Durante la elaboración del presente capítulo se analizarán obras del tipo pedraplén realizadas en nuestro país tales como el Pedraplén de Caibarién a Cayo Santamaría ubicado en Villa Clara, el pedraplén de unión Cayo Buba emplazado en la Península de Hicacos y el pedraplén ubicado en el Viaducto de la costa norte en la ciudad de Matanzas. El objetivo fundamental de este capítulo es realizar el análisis del proyecto y construcción de estos. Para finalmente analizar el estado en que se encuentran y el fallo.

2.2-Pedraplén de Caibarién a Cayo Santa María

2.2.1-Breve reseña histórica

A todo lo largo del tercio central del litoral norte del país existe una serie de cayos e islotes denominados Los Jardines del Rey, de gran belleza, que pertenecen casi vírgenes desde el descubrimiento de Cuba por Cristóbal Colón. La necesidad de poner a disposición del desarrollo de Cuba estos lugares de interés turísticos tan importantes, y el hecho de contar con los recursos necesarios para emprender tan magna obra, motivó la decisión del estado cubano, de acometer los estudios, investigaciones, proyectos y la construcción de un vial marítimo, que partiría de los alrededores de la ciudad de Caibarién y llegaría hasta el cayo Santa María, alejado 48 km de tierra firme.(Martino and Urbay, 2001)

Para los constructores constituyó un gran reto, que significaba mucha dedicación, esmero y rigor técnico, ya que se planteaba construir una de las vías más bellas del mundo que atravesaría por encima del mar y por las cayerías, observándose una gran diversidad de flora y fauna, un ambiente muy saludable y paisajes antes nunca vistos, constituyendo un turismo ecológico maravilloso.(Martino and Urbay, 2001)

2.2.2-Estudios realizados

Para la conformación de la base documental y teórica de este proyecto se realizaron investigaciones donde se debió conocer en primer término las condiciones ambientales de la región; otras con el objetivo de saber las características geológicas del trazado general, de los lugares de ubicación de los puentes, del tipo de rocas de las canteras, así como el conocimiento geodésico necesario para el replanteo y control topográfico de la obra. Entre otras se efectuaron las siguientes investigaciones:

- Características del régimen termohalino y de circulación de las aguas en la región, por el Instituto Cubano de Hidrografía (1989-1990)
- Preparación de la base topogeodésica de la zona del trazado, por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (1989).
- Investigaciones geólogo-geofísicas para elegir la variante más ventajosa, por el Instituto Cubano de Hidrografía (1989).
- Estudio de las condiciones del ambiente marino, por el Grupo de Proyecto del Pedraplén (1989-1990).
- Prospección de los materiales de construcción, por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (1989-1991).
- Estudio de estabilidad del pedraplén, por el centro de Investigaciones Hidráulicas de la Universidad de La Habana (1990).(Martino and Urbay, 2001)

2.2.3-Proyecto

Para la realización de un proyecto de este tipo, en Cuba existía poca literatura relacionada con el diseño de pedraplenes por lo que su análisis se realizó sobre la base de la bibliografía internacional que trata el manejo e inserción en el ecosistema, el problema del oleaje, las costas, los sedimentos, etc. Se tomó la decisión de que el proyecto de la vía en el acuatorio cumpliera con los siguientes requisitos:

- Que el trazado fuera ubicado por aquellas zonas con la menor potencia de cieno
- Que el trazado permitiera utilizar la presencia de los bajos y cayos como elementos de protección natural para disipar oleaje

- Que en toda la trayectoria, la vía pasara preferentemente por zonas donde no existieran manglares
- Que al interceptar las canalizas y canales se separaran un cayo de otro, la vía pasara lo más alejada posible de su boca de entrada norte
- Que la ubicación de las obras para el intercambio de agua para las mareas, fuera en los cauces naturales de circulación
- Que los cálculos hidráulicos para determinar el intercambio de agua a través del pedraplén fueran condicionados a alcanzar velocidades máximas de las corrientes en los puentes de 1.5 m/s.
- Que era necesario integrar la regulación hidráulica que provoca el vial marítimo, al entorno general del acuatorio, teniendo especial cuidado con la influencia que ejerce sobre el litoral de Caibarién, manejándolo de tal manera que provoque mejorías en el mismo, tanto en las aguas como en los procesos sedimentológicos u erosivos.
- Que todas las medidas que se tomen estén avaladas ecológicamente.
- Que los taludes de la obra fueran alcanzables con el volteo directo de los camiones.
- Que la obra fuera suficientemente segura, lo más económica posible y que tuviera niveles de confort de primera categoría
- La planta del trazado por el mar, se seleccionó a partir de los criterios planteados en la fundamentación de la factibilidad, los cuales establecieron que el mismo debía cruzar en todo su trayecto por los lugares de profundidad hasta la parte firme del fondo marino, además de no permitir espesores de cieno mayores de 1.50m en la base, debiéndose dragar los espesores mayores de esa cifra. Por esta causa se dragaron 1200m al inicio de la obra con espesores de cieno entre 2 y 4m (Martino and Urbay, 2001)

La planta de trazado por el mar, se seleccionó a partir de los criterios planteados en la fundamentación de la factibilidad, los cuales establecieron que el mismo debía cruzar en todo su trayecto por los lugares de menor profundidad hasta la parte firme del fondo marino, además de no permitir espesores de cieno mayores de 1.50 m en la base, debiéndose dragar los espesores mayores de esa cifra. Por esta causa se dragaron 1200 m

al inicio de la obra con espesores de cieno entre 2 y 4 m. Esta es la razón por la cual la vía consta de 23 curvas con radio mínimo de 344 m y rectas cuya longitud no sobrepasa 20 veces la velocidad de diseño que es de 100 km/h, es decir, rectas menores o iguales a 2 km. Se proyectaron 44 puentes que se encuentran ubicados en los puntos naturales de circulación y en aquellos puntos de interés especial.(Martino and Urbay, 2001)

El perfil de la vía en el mar, fue diseñado para que no sobrepasaran por encima del pedraplén las olas de 2 m de altura generadas por vientos máximos de 220 km/h, propios de huracanes de gran intensidad, con un 2% de probabilidad de ocurrencia, y para un 5% de daños al vial.(Martino and Urbay, 2001)

2.2.4-Sección típica

En el pedraplén las olas de 2 m de altura generadas por vientos máximos de 220 km/h, propios de huracanes de gran intensidad, con un 2% de probabilidad de ocurrencia, y para un 5% de daños al vial.(Martino and Urbay, 2001)

La rasante es variable por tramos, en correspondencia con la profundidad del agua y la altura calculada de las olas. La cota máxima en el pedraplén es de 4.15m sobre el N.M.M, alcanzándose en algunos puentes alturas superiores para permitir el cruce de embarcaciones pesqueras, llegando a casi 8.0 m en los puentes sobre los canales de Los Barcos y Las Guasas. La rasante mínima de 2.15m está condicionada al paso de una conducción de agua soterrada, y no a la altura del oleaje, ya que en esta caería la altura máxima de la pleamar es de 0.81 m. El trazado tiene una correcta coordinación planta-perfil y su pendiente máxima de 1.56% se produce para alcanzar el nivel del puente Canal de Los Barcos.(Martino and Urbay, 2001)

La sección típica del pedraplén, presenta una corona de 14.50 m con un ancho de calzada de 7.50 m y paseos laterales de 3.50 m, que incluyen bandas de reforzamiento de 0.40 m, utilizándose el paseo derecho para la construcción de la conducción de agua de 0.5 m de diámetro. El núcleo central está compuesto por material rocoso de características apropiadas. La escollera varía en espesor, así como en tamaño y peso de los elementos

que la componen, de acuerdo con la altura de la ola en los distintos tramos.(Martino and Urbay, 2001)

Para la optimización de la estabilidad del proyecto, se sometieron a ensayos algunos modelos físicos a escala reducida, en tres secciones diferentes, por ambos lados y en los morros o estribos de los puentes. Estas simulaciones fueron ejecutadas en el canal de oleaje y la piscina de pruebas del Centro de Investigaciones Hidráulicas en la Universidad de La Habana. La capa intermedia y la escollera cubren ambos taludes proyectados 1.5:1, hasta los niveles superiores de la obra, para evitar erosiones por trepada de la ola en las grandes tormentas. Para el diseño de la capa de base del vial marítimo se decidió utilizar el material calizo extraído de la cantera de cayo Las Brujas, por las buenas características del mismo. Para el hormigón asfáltico caliente se diseñaron dos capas: la primera semidensa de 6 cm de espesor, cubriendo 8.30m de la vía y la segunda densa de 4 cm cubriendo toda la vía incluyendo los paseos.(Martino and Urbay, 2001)

2.2.5-Construcción del vial

El 15 de diciembre de 1989 se tiró la primera piedra al mar. A la vista no aparecían señales de cayos; solo el mar abarcaba todo el horizonte; solo se observaban las torres bajas de los puntos de inflexión de las primeras curvas, donde se colocarían los instrumentos topográficos que guiarían el replanteo del eje del pedraplén. Al comienzo de la obra, a lo largo de 1200 m antes de salir al mar se encuentra una franja de mangles altos, sobre un lecho de cieno de 2 a 4 m de espesor, que fue necesario extraer para la ejecución del vial. Se realizó una trocha de 20 m de ancho en el manglar, procediéndose al dragado de la misma por medio de una grúa con almeja, montada sobre una patana o plataforma flotante. Esta operación duró aproximadamente 6 meses, por la obsolescencia de la tecnología empleada, rellenándose posteriormente el canal con material pétreo de tamaño adecuado, hasta lograr la estabilidad requerida.(Martino and Urbay, 2001)

Con las primeras piedras echadas al mar, ya surgieron dificultades en el replanteo topográfico del vial. Se comenzó hincando balizas o jalones situados cada 20 m en el eje y los laterales; pero cuando la profundidad del agua o la dureza del fondo no permitieron

la colocación de este tipo de señales, se recurrió al uso de flotadores anclados al fondo, también cada 20 m. Este método fue efectivo en zonas de poco calado, pues en los lugares de mayor profundidad, la existencia de fuertes vientos y corrientes de aguas provocaban oscilaciones excesivas en las boyas, sustituyéndose finalmente esta variante por la colocación de balizas de replanteo por detrás del extremo del pedraplén, cada 10 y 20 m en curvas y rectas respectivamente. Este método se utilizó en el resto de la obra, con muy buenos resultados. (Martino and Urbay, 2001)

En los inicios de la construcción de la obra los camiones volteaban las piedras al borde del pedraplén, empujándose este material a todo lo ancho de la vía cuidando de que las mayores piedras seleccionadas en la cantera, de acuerdo a la protección contra el oleaje. Pronto las construcciones determinaron que este no era el método correcto pues se perdía una gran cantidad de piedra de escollera que era la más difícil y costosa de extraer y seleccionar y que por su tamaño, la que mayor deterioro provocaba en los volteos de los camiones; además de no colocarse los espesores de filtros y escolleras correctamente, era necesario aplicar un método que tuviera en cuenta los espesores proyectados de escolleras, de la capa intermedia, y del filtro superior en la cota + 0.80 m. Se aplicó entonces un método novedoso que consiste en verter los materiales pétreos al mar de la forma siguiente:

Avanzar con el núcleo adelantado en la punta del pedraplén unos 10-12 m, volteando el material más fino en la zona central y el más grueso en los laterales, no directamente al mar, sino aproximadamente a 5 m del extremo; y por medio de un bulldózer con la cuchilla levantada a 25 cm del suelo, ir avanzando y acarreado el material hacia el mar, a todo lo ancho de la vía con lo cual se debe formar un filtro en la cota +0 0.80 m, con las piedras más pequeñas que deja su avance la cuchilla levantada. Las rocas de mayor tamaño y peso, por la ley de gravedad, caen primero al fondo dándole más estabilidad al pedraplén, y formándose así lateralmente una capa de transición con piedras mayores acarreadas de la forma anteriormente explicada, con espesores entre 1.00m y 1.20 m, y con el talud natural proyectado de 1.5:1. A una distancia de 10-12 m por detrás se coloca la escollera de grandes piedras con tamaños de 0.80m a 1.00m y superiores, por medio del bulldózer, que al ser acarreadas, resbalan por el talud formado delante, quedando así

ejecutada la escollera con los espesores del proyecto, que en las zonas de mayor oleaje llega a alcanzar un ancho horizontal de más de 4.00m. La capa de transición descrita se proyectó con el objetivo de evitar la erosión de los materiales más finos del núcleo por las grandes olas, a través de las piedras mayores que componen la escollera.(Martino and Urbay, 2001)

A los seis meses de iniciada la obra desde la costa, se abrió un nuevo frente de trabajo en el cayo Las Brujas que se encontraba justamente en el kilómetro 38 del trazado, al cual se llegó por medio de patanas remolcadas para llevar los equipos necesarios para la apertura de una nueva cantera estudiada en este cayo. De esta forma se continuó la vía hacia cayo Santa María, distante 10 km al este y situado en el kilómetro 48 y final del proyecto.(Martino and Urbay, 2001)

En los alrededores del kilómetro 18 del vial, en un tramo de aproximadamente 2 km de longitud, se encontraron espesores de cieno de 1 a 1.5m. La necesidad de extraer este material, y la existencia de muy poco calado en el lugar (0.5 m), que dificultaba, aplazaba y encarecía en extremo el uso de equipos de dragado para realizar esta operación, condujeron a la aplicación de un nuevo método para la construcción de la obra en esta zona cenagosa. Consiste en ir avanzando en forma de saeta, y se apila con un bulldózer de mayor potencia y tamaño, buscando con este aumento del peso sobre la punta que el pedraplén se asentara directamente sobre el lecho de las rocas.(Martino and Urbay, 2001)

La conclusión de la vía en este tramo se realizó con todo éxito, lo cual fue comprobado posteriormente por medio de calas practicadas en la zona analizada. El cieno fue desplazado, emergiendo a la superficie a ambos lados de la vía, formando un cordón de 2 km de longitud, lo que permitió la rápida germinación de las semillas del mangle, que al pasar el tiempo están conformando una verde y bella avenida entre manglares.(Martino and Urbay, 2001)

Como la construcción del cuerpo del vial marítimo avanzaba más rápidamente que la ejecución de los puentes, se hizo necesario construir desvíos provisionales en el mar en las zonas de ubicación de estos últimos, para poder continuar el tiro de materiales con los camiones. Estos desvíos se construían dejando libre el espacio donde se ubicarían las

grúas flotantes en los puentes construidos desde el mar, o rellenando dicho espacio cuando el puente se cimentaba y montaba desde el mismo cuerpo de la vía. Los desvíos se ejecutaron paralelos al pedraplén, con un ancho suficiente para permitir el cruce de dos camiones y lo más cercanos posible a su trazado, para facilitar el montaje de las superestructuras de los puentes con las grúas de izaje.

2.2.6-Fallo

La principal causa de fallo que se puede apreciar en este pedraplén es debido a la escasa inclinación presente en los taludes de la misma lo que impide que se dicipe correctamente la energía provocada por la ola cuando impacta contra la estructura de piedra.

2.3- Pedraplén unión con Cayo Buba

2.3.1- Breve reseña histórica

El imponente desarrollo del polo turístico de Varadero obliga a ir a la búsqueda de un crecimiento de su infraestructura hacia sus áreas vírgenes, incluyendo sus Cayos colindantes, ejemplo de ello es la zona de Punta Hicacos, donde ya existe la unión de la península por vía terrestre (pedraplén) con Cayo Libertad, donde ha sido posible crecer la infraestructura hotelera, ampliándose además el área costera de playa.(Rodríguez, 2015)

Este pedraplén permitiría la explotación con fines turísticos de Cayo Buba que cuenta con una superficie próxima a las 66 hectáreas y según estudios realizados por los compañeros de GEOCUBA, se encuentra en su totalidad cubierto de vegetación fundamentalmente mangle, con el 90% de su territorio inundado predominando las zonas bajas en todo su borde costero, su ubicación es a 500m al SE de Cayo Libertad, en la Bahía de Cárdenas, Provincia de Matanzas.(Rodríguez, 2015)

2.3.2-Estudios realizados

Una vez decidida la variante a ejecutar se realizaron estudios marinos con vista a la etapa de documentación técnica de proyecto ejecutivo, dándose a conocer en la memoria descriptiva del proyecto del mencionado proyecto, ellos fueron:

- Levantamiento Topográfico.
- Levantamiento Batimétrico.
- Estudios Geólogo-Geomorfológico.
- Estudios Oceanográficos.

Para la realización del estudio geológico en etapa de Anteproyecto se aplicó un conjunto de métodos que permitieron la obtención de los datos de campo, interpretación, análisis y propuestas de soluciones, acordes a los objetivos propuestos.

- Preparación de los trabajos: A partir de la fotointerpretación de una imagen satelital de Cayo Buba, el manejo de las bases de datos en formato SIG, así como del Levantamiento Topográfico ejecutado, se planificaron los trabajos de campo, principalmente los derroteros de 10 marcha rutas.
- Aseguramiento geodésico: Se utilizó para la ubicación y replanteo de las marcha rutas, ejecución de perfiles, puestas sísmicas, ensayos de penetración dinámica y calas geológicas manuales, un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) modelo GPS III Plus de la firma Garmin Corporation, autónomo, adquiriéndose los datos en coordenadas geográficas con una precisión en el orden de los 2-3 m
- Marchas rutas: Por lo escabroso que resultaba el tránsito libre por el interior de Cayo Buba, dadas sus condiciones naturales y vírgenes, así como por el tipo de vegetación presente, se planificó la realización del Levantamiento Geológico mediante la realización de marcha rutas

Medición de espesores de sedimentos no consolidados y yacencia del techo de la roca

En la zona emergida del cayo se realizaron en 51 de los 121 puntos o estaciones de trabajo, la hinca de una varilla graduada de acero, de 4,0 m de longitud y 14 mm de diámetro. En cada una de las estaciones se realizaron tres mediciones con un intervalo de separación de 1,0 m una de otra; promediándose estos valores.

- **Sísmica Somera de Refracción**

La SRS se utilizó con el objetivo de delimitar la estructura geométrica del corte geológico (espesores y número de capas, profundidad de la roca) además de caracterizar algunas propiedades físico-mecánicas de los elementos presentes, a partir de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas refractadas. La misma se realizó con la estación sísmica de tres canales GEODE, de la firma Geometrics, USA

2.3.3-Proyecto

El Proyecto Ejecutivo “Pedraplén de Unión a Cayo Buba” se trata de una obra hidrotécnica, elaborado en el año 2009, se caracteriza por ser un diseño de pedraplén en el mar, su trazado es recto atravesando el Canalizo de Buba, (zona de agua ente ambos Cayos), no posee espacios abiertos ya que uno de los objetivos de su construcción además de la accesibilidad y comunicabilidad entre ambos Cayos, es el cierre total del canal, ampliando por su parte norte la zona de playa, posee una longitud es de 560 m, su cota rasante es de 1.50m sobre el nivel medio del mar, ancho de corona de 11.10 m, su punto de inicio Estación 0+0.00 se encuentra en el extremo SE de Cayo Libertad, que posee la cota +0.22 NMM, continuando con una pendiente suave hacia el canal en talud natural de 1:5, llegando a tener en la zona cubierta por agua de 390 m de largo, profundidades entre los 4 y 6m, conectándose con Cayo Buba por una zona con talud natural en suelo cienoso de 1:12, donde se ubica la Estación 56+0.00 que se corresponde con el fin del trazado, la cual posee la cota existente +0.10 NMM. (Rodríguez, 2015)

Se plantea excavar una trinchera donde se situará la estructura del pedraplén con el objetivo de garantizar su estabilidad y evitar posibles asentamientos futuros, las dimensiones serán de 50 m de ancho y profundidad de hasta 0.5 a 1.0 m del techo de la roca, de manera que se logre que el material de construcción logre desplazar por su propio peso el espesor de cieno que pueda quedar después del dragado en el fondo marino, asentándose en el estrato de roca calcarenita. El espesor a dragar en la zona del canal es de alrededor de 1.0 m, siendo mayor en los aproches, que sobrepasa los 5m en Cayo Libertad y en la zona de arribo en Cayo Buba promedia unos 2 m. (Rodríguez, 2015)

Para su ejecución se plantea utilizar una combinación de medios marítimos y medios terrestres partiendo del criterio que el único acceso por tierra al área de la obra es a través de Cayo libertad, lo que ocasionaría incomodidades para la prestación de los servicios de hotelería y turismo en el área, al interrumpir la zona con accesos para el paso de los camiones, trayendo consigo ruidos y malestares a los turistas, atendiendo a esta situación, se plantea hacer el pedraplén utilizando una combinación de medios marítimos y terrestres, o sea por el método constructivo mixto. Que a pesar que existe poca experiencia en Cuba del trabajo con esta técnica ofrece múltiples ventajas. (Rodríguez, 2015)

La transportación marítima, se plantea con gánguiles, necesitándose acondicionar un cargadero, planteándose que sea en el Muelle del Pedraplén de Marbella, para el que se ha diseñado un canal de acceso y dársena de maniobras. Debiéndose dragar la zona para utilizar los gánguiles al máximo de su capacidad de carga, suponiendo que sean estos medios la ruta crítica de la obra. (Rodríguez, 2015)

El proyecto recomienda la opción de no dragar en el Muelle de Marbella y utilizar los gánguiles a un 50 y 60 % de llenado de la capacidad de la cantara, evitando realizar un dragado de 136000 m³ que a su vez complicaría su vertimiento por la lejanía de los vaciaderos posibles a aprobar por el CITMA.(Rodríguez, 2015)

2.3.4-Sección típica

El pedraplén será de un ancho de corona de 11.10 m, de los cuales 6 m serian transitables, con altura de 1.50 m NMM, con talud 1:2, llegando a tener en el centro del canal más de 6.0 m bajo agua, lo que permite tener una sección en la base de alrededor de 45 m. Su estructura la componen las siguientes partes:

1-Núcleo: Compuesto por material “Todo uno de Cantera” producto de la voladura de la roca en cantera sin seleccionar, con tamaño mínimo de 0.20 – 0.30 m de diámetro, de peso aproximado entre 0.03 – 0.04t.

2- Filtro: Lo compone una capa de rajoncillo de diámetro entre 8” y 10” con un espesor de 0.50 m.

3-Coraza: Compuesta por dos capas de rocas seleccionadas con diámetro entre 0.5 – 0.6 m y peso entre los 200- 300 Kg., haciendo que se logre un espesor de 1.0 m.

4-Capa exterior de rodamiento: Comprende un espesor de 0.90 m de material de mejoramiento A-2-4, con espesores de capa de acuerdo a los medios que se cuente para la compactación, exigiéndose el 95% de su densidad del Próctor Modificado.(Rodríguez, 2015)

2.4.5-Construcción

El pedraplén fue diseñado con un ancho de corona de 30 m, presenta la colocación de berma de roca, compuesta por rocas seleccionadas con diámetro entre 2.30 – 2.40 m y peso mayor a 1.5 toneladas.

Núcleo: Compuesto por material seleccionado producto de la voladura de la roca en cantera, con tamaño mínimo de 0.20 – 0.30 m de diámetro, de peso aproximado entre 0.03 – 0.04t. La escollera está compuesta por rocas seleccionadas con diámetro entre 0.5– 1.5 m y peso entre los 500- 1500 Kg.

Capa exterior de rodamiento (base): Comprende un espesor de 0.90 m de material de mejoramiento A-1-b, con espesores de capa de acuerdo a los medios que se cuente para la compactación, exigiéndose el 95% de su densidad del Próctor Modificado.

También está compuesto por la infraestructura siguiente: Acera, muro del malecón, parterre, área verde, contén, pavimento de 11 cm de espesor(3cm de hormigón asfáltico denso, 4cm de hormigón asfáltico semidenso), separador central, contén, área verde y la otra senda.(Rodríguez, 2015)

2.4.6-Fallo

La causa fundamental del fallo de este pedraplén fue debido a que el oleaje provocado por el huracán, en la región de aguas pasivas del pedraplén destrullera la escollera que durante el diseño se consideró que debido a la escasa incidencia del oleaje en esta zona no debía protegerse en igual medida que la correspondientes a aguas activas.

2.4-Pedraplén del Viaducto en la ciudad de Matanzas

La información que se muestra referente a esta obra fue resultado de una entrevista realizada al Ing. Rafael Alfoso director del MICONS Matanzas.

2.4.1-Breve reseña histórica

Debido a los trabajos de construcción del viaducto de Matanzas obra vial con el propósito de viabilizar el acceso de los vehículos que accedan al polo turístico de Varadero desde La Habana

Con su construcción también se buscó integrar el paisaje urbano al área existente dotándolo de actividades de uso a la población como la creación de áreas verdes, áreas deportivas, zonas de descanso y de recreación. Todo esto respetando la estética y a el medio en que se encuentra.

2.4.2- Estudios realizados

Se realizaron trabajos como:

Trabajos de topografía, Trabajos de perforación: utilizándose una máquina perforadora UCB-50, también se tomaron calas utilizándose esta misma máquina

Trabajos de laboratorio:

Las muestras más representativas de suelo fueron enviadas al laboratorio con el fin de someterlas a ensayos tanto físicos como mecánicos realizándose un total de 31 de ellos 26 físicos y 5 mecánicos

2.4.3-Proyecto

Para la concepción de este pedraplén se proyectó el puente Guanima de unos 160m de longitud, que tiene como principal objetivo salvar la playa del Tenis. También tiene 8 obras de fábrica menores (alcantarillas) las cuales son las encargadas de evacuar el drenaje pluvial de la zona en gran medida. El pedraplén tiene un trazado bordeando dicha bahía, donde solo uno de sus lado se encuentra expuesto a la acción directa de las olas, razón

por la que su sección presenta berma de roca y escollera, donde la segunda es la encargada de proteger a los otros elementos estructurales que lo componen de la acción directa de las olas, además de proteger a el malecón y a el vial

2.4.4-Sección típica

El pedraplén fue diseñado con un ancho de corona de 30 m de ancho,

Berma de roca: Compuesta por rocas seleccionadas con diámetro entre 2.30 – 2.40 m y peso mayor a 1.5 toneladas.

Núcleo: Compuesto por material seleccionado producto de la voladura de la roca en cantera, con tamaño mínimo de 0.20 – 0.30 m de diámetro, de peso aproximado entre 0.03 – 0.04 t.

Escollera: en aguas activas compuesta por rocas seleccionadas con diámetro entre 0.5 – 1.5 m y peso entre los 500- 1500 Kg.

Capa exterior de rodamiento (base): Comprende un espesor de 0.90 m de material de mejoramiento A-1-b, con espesores de capa de acuerdo a los medios que se cuente para la compactación, exigiéndose el 95% de su densidad del Próctor Modificado.

También está compuesto por la infraestructura siguiente: Acera, muro del malecón, parterre, área verde, contén, pavimento de 11 cm de espesor(3cm de hormigón asfáltico denso, 4cm de hormigón asfáltico semidenso), separador central, contén, área verde y la otra senda.

Se ejecutó la construcción de viraderos para facilitar las operaciones de vertido directo. Hoy una de las zonas más afectadas por el efecto del mar.

2.4.5- Construcción

Extracción en cantera. Las piedras, rocas y todo el material usado como relleno en la construcción de este pedraplén fueron extraídas de tres canteras, la primera era La Meseta, su ruta era por la calle Covadonga-La Meseta a una distancia de tiro de 3km, en

ésta cantera había que utilizar explosivos para extraer el material. También se utilizaba más equipamiento de lo normal porque la piedra tenía bolsones de arcilla y estaban muy contaminadas, debido a estas circunstancias había que seleccionar bien el material. La segunda era la cantera de la Escuela Provincial del PCC a una distancia de tiro de 7km, las características del material eran muy buenas del tipo (A-1-b) y cumplían con los requisitos para cualquier estructura del pedraplén, pero esta cantera era muy dura, donde había que utilizar explosivos al igual que la cantera anterior. La tercera y última era la cantera de Guanábana ubicada cerca de Materia Prima a una distancia de tiro aproximadamente de 12km, era también de un buen material, útil también para todas las partes del pedraplén excepto para la base, pero en ésta cantera no era necesario el uso de explosivos.

Para extraer el material (principalmente en las dos primeras canteras) que permitiera alcanzar las dimensiones adecuadas de las piedras se colocaron explosivos, utilizando patrones de voladuras definidos por todos los organismos que autorizaban el trabajo de explotación.

También por requisitos de medio ambiente, marítimos y entre otros la bahía no podía alcanzar cierto nivel de contaminación por lo que los materiales extraídos en las canteras principalmente en la primera tenían que ser seleccionados.

Transportación y equipos de trabajos. Para los trabajos en cantera se usaron Buldocer, Grúa Frente Pala Sobre Esteras, Cargadores Sobre Esteras y Cargadores Sobre Neumáticos. Para la transportación se usaron 10 camiones de Volteo Kraz (KP-3) de 8m³ y 4 camiones de Volteo Kamaz de 7m³, estos tenían una organización productora de un 70 % aproximadamente y para los trabajos en obras se utilizaron Buldécer, Motoniveladoras, camión pipa de agua, Compactadores de 30 toneladas sobre neumáticos y Cilindro Vibrocompactador de 10 toneladas. Algunos equipos eran prácticamente nuevos y se le daban mantenimiento y limpieza periódicamente.

Colocación. Se colocaron las primeras capas de cimiento, que son las de mayor diámetro, luego se fue subiendo y se iba disminuyendo el diámetro de las piedras por capas de 30cm el diámetro hasta llegar al material seleccionado(base del pavimento); las capas

más bajas tenían hasta un 85% de compactación y las de arriba hasta un 90%. Luego al final de la capa protectora del talud se colocó la escollera y luego la berma de roca de una longitud de 10m aproximadamente.

2.4.6-Fallo

Este pedraplén no ha fallado, pero si se evidencia un gran deterioro tanto en los parámetros y taludes de diseño como en las obras de fábrica.

2.5-Análisis comparativo

Las construcciones de los pedraplenes han sido desarrolladas fundamentalmente basado en experiencias adquiridas durante el propio proceso constructivo, esto se evidencia en el pedraplén de Caibarién. Es importante destacar que a pesar de la economía del país se observa un desarrollo en cuanto a las investigaciones ingeniero geológicas, mostrándose en la marcada diferencia que existe con la precisión y magnitudes de los ensayos y estudios realizados en el pedraplén de Cayo Buba en comparación con los otros dos. También con respecto a esto se debe mencionar que los equipos empleados para ello cuentan con una tecnología más avanzada, pero todavía un tanto atrasada con respect a los países más desarrollados.

En cuanto a las soluciones constructivas hay que reconocer la increíble labor desempeñada por los obreros, técnicos e ingenieros capaces de realizar estas obras; brindando las soluciones más factibles y ecológicas cada una de acorde al período y desarrollo de la ciencia en que se desarrollaron.

Con respecto a las secciones típicas cada una fue realizada de acuerdo con las necesidades atendiendo a la finalidad con que estaba siendo construída cumpliendo con los requisitos necesarios para garantizar la estabilidad, resistencia y confort. Hay que mencionar que se considera que los taludes en el pedraplén de Caibarién tienen una pendiente bastante marcada.

Los materiales se encuentran dentro de los parámetro y requisitos necesarios para garantizar que fueran resistentes y duraderos frente a la acción del interperismo.

Se considera como uno de los principales fallos en la estructura de los pedraplenes es debido a errores en cuanto a la inclinación y pendiente de los taludes laterales (escollera), impidiendo una correcta descomposición de las fuerzas horizontales provocadas por el impacto del oleaje provocando la pérdida de la estabilidad de la estructura. Por lo tanto se considera que esto es un factor imprescindible a tener en cuenta para lo que se planteará lograr que dicha pendiente sea lo más suave posible siempre atendiendo a que se cumplan los parámetros de economía logrando la factibilidad de la obra.

Otra causa de fallo es debido a la falta de protección en cuanto a la resistencia de la escollera. Se considera que esta es la principal y más importante zona del pedraplén debido a que es la que soportará el impacto del poder destructivo del mar por lo que se debe controlar en todo momento que esta cumpla con los requisitos y parámetros del proyecto. También se debe analizar la escollera protectora en aguas tranquilas y la probabilidad de ocurrencia de fenómenos extremos para ello se estudiará la batimetría del terreno, y si existen las condiciones necesarias para la ocurrencia de oleaje (profundidad, longitud, fuerza del viento); a partir de esto se establecerá si la protección y pendiente necesaria debe cumplir los mismos requisitos que la escollera en aguas activas.

2.6-Conclusiones parciales

1. En Cuba, a pesar de la escasa documentación y recursos existentes se ha podido llevar a cabo la construcción de obras del tipo pedraplén que cumplan con los requisitos básicos que garanticen su estabilidad, durabilidad y factibilidad.
2. Aunque los recursos y la documentación no son suficientes, se evidencia un desarrollo relativamente progresivo en cuanto al diseño y ejecución de este tipo de construcciones en el país.
3. Las principales causas del fallo de pedraplenes en Cuba han sido: la falta de protección en las escolleras y errores en lo referente a las pendientes en los taludes.

CAPÍTULO 3: “RECOMENDACIONES Y ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO Y EJECUCIÓN DE PEDRAPLENES EN ZONAS MARÍTIMAS”

3.1- Resumen

En el presente capítulo se realizará la conformación y síntesis de la información que será tomada para la sintetización de los aportes que sentarán las bases para la elaboración de una norma que permita regir, en Cuba, lo referente al proceso de diseño y construcción de pedraplenes. Garantizando que las inminentes y futuras construcciones de este tipo que se realizarán en nuestro país cuenten con la calidad y confort necesario en combinación con el mínimo impacto ambiental y logrando un equilibrio económico acorde a la situación del país. Para esto se tendrá en cuenta tres factores fundamentales para la construcción de cualquier pedraplén:

- EL diseño
- El trazado
- La construcción o ejecución

También se realizará el análisis correspondiente al impacto ambiental de este tipo de construcciones

3.2-Diseño

Siendo el pedraplén una estructura en fin se tendrán en cuenta para su diseño los principios básicos de la modelación de estructuras para ello se realizará el análisis de los cuatro factores fundamentales que rigen este proceso; las solicitaciones, los materiales, la geometría y las condiciones de apoyo.

3.2.1-Geometría

En planta:El análisis de la geometría en planta tendrá en cuenta el dimensionamiento del ancho de la corona, condicionado por la funcionalidad del pedraplén. Algunas de las principales funciones son:

- Función tecnológica: se define la misma como el pedraplén que se utiliza para colocar conductoras de agua, petróleo, etc. El ancho de la corona será definida entonces en función del diámetro de la tubería a colocar
- Función de infraestructura vial: se define como el pedraplén empleado como base para la colocación de carreteras. En este caso el ancho de la corona se determinará en función del número de vías y el ancho de los carriles
- Para vía férrea: empleado para la transportación de trenes tanto de pasajeros como de carga
- Utilización como diques de presas
- Como obra hidrotécnica

En perfil:

El dimensionamiento total de la altura del pedraplén estará determinado por la altura máxima que pueda alcanzar el oleaje en un estado crítico debido a los fenómenos atmosféricos y ambientales que puedan ocurrir en la zona de emplazamiento.

Se realizará también el dimensionamiento de los espesores de sus capas (cimiento, núcleo y corona), teniendo en cuenta entonces que para que se desarrolle la ola deben existir tres parámetros que condicionan el surgimiento de las mismas:

- Debe existir altura o profundidad del agua que a su vez esta condicionará la altura máxima que alcanzará la ola, es decir, la altura máxima que puede alcanzar una ola es equivalente a la profundidad máxima del mar en el lugar en que esta se forma
- Debe existir recorrido, esta es la distancia que va a existir entre el lugar donde se forma la ola y hasta donde se va a desplazar permitiendo que la misma se propague y vaya variando su dimensión a medida que se desplaza
- Debe existir fuerza o velocidad del viento este se considera el generador de las olas

Considerando que el fenómeno principal que afecta los pedraplén es el impacto del oleaje y teniendo en cuenta que nuestro país se encuentra en la región tropical de

América el mismo durante los meses de junio a noviembre se encuentra afectado por los huracanes que debido a los fuertes vientos son generadores de grandes olas.

Entonces tomando como punto de partida los métodos analizados en el capítulo 1 se decide que para nuestro país es más aplicable el método desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos debido a la cercanía de esa región con nuestro país.

Posteriormente se procede al análisis del dimensionamiento de las distintas capas componentes de la estructura del pedraplén de forma independiente. Lo cual se recomienda que dependerá entonces del diámetro nominal de las piedras componentes de la escollera quedando determinado de la siguiente forma:

Se recomienda que el espesor de la escollera sea dos veces el diámetro nominal de las rocas que la componen. Luego para el filtro se recomienda que el espesor sea una y media vez de dicho diámetro.

En cuanto a las dimensiones de las rocas se recomienda que las del filtro tengan un diámetro equivalente a la mitad del correspondiente a las piedras de la escollera y el núcleo la cuarta parte de esta dimensión.

3.2.2-Solicitaciones:

Las solicitaciones principales que interactúan sobre pedraplén son las de remanso y la producida por el oleaje; estas dos solicitaciones van a ser resistidas por la protección lateral en este caso la escollera. La primera de estas se incrementa a medida que aumenta la profundidad de las aguas, o es muy usual que los pedraplenes fallen producto al efecto de remanso debido a la sección trapezoidal que estos presentan y como de igual forma aumentan las presiones con la profundidad aumentará entonces la sección del pedraplén en el fondo.

Siendo entonces la principal solicitación la producida por el oleaje, hay que tener en cuenta que realizando una disminución de la pendiente lateral de los taludes se logrará entonces una disminución del impacto e incidencia de la fuerzas sobre la estructura, pero

sin dejar a un lado el concepto de la economía logrando que el diseño alcance la relación óptima en cuanto a resistencia y economía. En este epígrafe se realizará el análisis del método del cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos anteriormente mencionado.

Otras solicitaciones en estas estructuras estarán dadas por la funcionalidad de la misma en caso de ser tecnológica se analizará el material que será transportado por las conductoras (agua, petróleo, etc.). En caso de ser un vial se encontrará afectada por factores como el Tránsito Promedio Diario Anual (PAIDT), y las cargas de diseño. Además de considerar el peso propio de la estructura. Si fuera para vía férrea se analizaría entonces el tipo o función del tren para el que será diseñado y a partir de esto las solicitaciones posibles sobre la estructura.

3.2.2.1- Método del Manual de Ingeniería de Costa desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos. En algunas ecuaciones se realizaron pequeñas variaciones en cuanto a la nomenclatura para facilitar el entendimiento del método.

1-Determinación del período tope para aguas someras:

$$Tp = 9,78 \left(\frac{d}{g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

Donde:

Tp: período tope [s]

d: profundidad en aguas someras [m]

g: constante gravitacional igual a 9.78 [m/s²]

2- A partir del lugar de emplazamiento se determinará el campo de viento o fetch que no es más que la extensión horizontal del área de generación de las olas por el viento. Es decir en función de la dirección del viento y su ángulo de incidencia se determina la longitud desde la costa.

3- Determinación del tiempo necesario para que se desarrolle la ola

Para que la ola se desarrolle totalmente necesita un tiempo el cual depende de la profundidad del agua (d) y de la velocidad del viento (u). Este tiempo, $t_{x,u}$, para un fetch limitado, se calcula por la ecuación MIC-II-2-35 del método aquí analizado.

$$t_{x,u} = 77.23 \left(\frac{X_0^{0.67}}{u^{0.34} g^{0.33}} \right) \quad (3.2)$$

Donde,

$t_{x,u}$: Tiempo necesario para que se desarrolle la ola [s]

X_0 : Fetch en aguas profundas[m]

u : La velocidad del viento a partir de la información de las velocidades según los fenómenos meteorológicos críticos. [m/s]

g : Constante gravitatoria [m/s²]

(Se realizará el cálculo para todos los valores de fetch correspondientes)

Estos fenómenos describen desarrollo de la ola en aguas profundas, que se detiene al producirse la ruptura de la ola por la Resistencia producida por la fricción en el fondo del agua. Lo que ocurre al alcanzar la ola su profundidad de rotura condicionada por el valor de la fricción del fondo. Para determinar esta profundidad de ruptura se deben realizar una serie de cálculo que a continuación se describen.

4- Determinación del coeficiente de deriva

$$C_D = 0.001(1.1 + 0.035u) \quad (3.3)$$

Donde:

C_D : Coeficiente de deriva

u : La velocidad del viento a partir de la información de las velocidades según los fenómenos meteorológicos críticos [m/s]

5-Determinación de la velocidad de fricción

$$v_* = \sqrt{C_D * u^2} \quad (3.4)$$

Donde:

v_* : Velocidad de fricción [m/s]

C_D : Coeficiente de deriva

u : La velocidad del viento a partir de la información de las velocidades según los fenómenos meteorológicos críticos [m/s]

6- Determinación Del Fetch equivalente:

A partir de la ecuación siguiente:

$$\frac{gX_{eq}}{v_*^2} = 5.23 \times 10^{-3} \left(\frac{gt_{x,u}}{u_*} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.5)$$

Donde:

X_{eq} : Fetch equivalente [m]

g : Constante gravitatoria [m/s^2]

v_* : Velocidad de fricción [m/s]

$t_{x,u}$: Tiempo necesario para que se desarrolle la ola [s] (*Se sugiere seleccionar el más crítico de los calculados*)

Despejando se obtiene la ecuación para el cálculo del Fetch equivalente:

$$X_{eq} = \frac{v_*^2 \left[5.23 \times 10^{-3} \left(\frac{gt_{x,u}}{u_*} \right)^{\frac{3}{2}} \right]}{g} \quad (3.6)$$

7-Determinación del período en aguas someras:

$$T_{ps} = 9.78 \left(\frac{d}{g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.7)$$

Donde:

T_{ps} : período tope de la ola en aguas someras [s]

d : profundidad en aguas someras [m]

g : Constante gravitatoria [m/s^2]

8- Determinación de la longitud de la ola en aguas profundas

$$L_0 = 1.5T_{ps}^2 \quad (3.10)$$

Donde:

L_0 : longitud de la ola en aguas profundas [m]

T_{ps} : período tope de la ola en aguas someras [s]

9- Determinación de la profundidad relative

La clasificación de las olas a partir de la profundidad relative se establece a partir del Anexo2

$$d_{rel} = \frac{d}{L_0} \quad (3.11)$$

Donde:

d_{rel} : profundidad relativa

L_0 : longitud de la ola en aguas profundas [m]

d : profundidad en aguas someras [m]

9-Clasificación de las olas a partir de la profundidad relativa

Tabla 3.1 Clasificación de las olas a partir de la profundidad relativa

9-Recálculo de la longitud de la ola

$$L_s = \frac{gT_{ps}^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 d}{T_{ps}^2 g}\right)} \quad (3.12)$$

Donde:

L_s : longitud de la ola en aguas someras [m]

T_{ps} : período tope de la ola en aguas someras [s]

d : profundidad en aguas someras [m]

g : Constante gravitatoria [m/s^2]

10-Determinación de la profundidad relativa

$$d_{rel,s} = \frac{d}{L_0} \quad (3.13)$$

Donde:

$d_{rel,s}$: profundidad relativa en aguas someras

L_0 : longitud de la ola en aguas profundas [m]

d : profundidad en aguas someras [m]

11-Determinación de la altura máxima de la ola

$$H_{m_0} = 0.0413 v_* g^{-\frac{1}{2}} X_{eq}^{\frac{1}{2}} \quad (3.14)$$

Donde:

H_{m_0} : altura máxima de la ola [m]

X_{eq} : Fetch equivalente [m]

g : Constante gravitatoria [m/s^2]

12- Clasificación de la ola por su ruptura

Al acercarse la ola a la costa, esta sufre una transformación en función de la disminución de profundidad del agua que provoca la ruptura de su parte superior. Para definir la forma cualitativa y cuantitativa de esta ruptura, es necesario conocerla para determinar su acción con el borde costero. Los tipos de rupturas se ilustran en el Anexo 3 en función del parámetro de similitud (ξ_0):

$$\xi_0 = \tan\beta \left(\frac{H_{m_0}}{L_s} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.15)$$

Donde:

$\tan \beta$: Pendiente del fondo del agua (s/d)

H_{m_0} : altura máxima de la ola [m]

L_s : longitud de la ola en aguas someras [m]

ξ_0 : Parámetro de la forma de la ola (s/d)

13-Determinación del índice de altura de la ola

El índice de ruptura de la ola se define como:

$$\Omega_b = \frac{H_b}{H_0} \quad (3.16)$$

Donde:

Ω_b : índice de altura de ruptura

H_b : altura de la ola en el momento de ruptura [m]

H_0 : altura de la ola en aguas profundas rupturas [m]

También puede ser calculado de la siguiente forma:

$$\Omega_b = 0.56 \left(\frac{H'_0}{L_s} \right)^{-1} \quad (3.17)$$

Donde:

L_s : longitud de la ola en aguas someras [m]

H'_0 : Altura de la ola refractada equivalente a H_{m0} multiplicado por el coeficiente de refracción K_r .

14- Determinación del índice de profundidad de ruptura para pendiente del fondo menor de 0,1:

$$\gamma_b = b - a \frac{H_b}{g T_{ps}^2} \quad (3.18)$$

Donde:

γ_b : índice de profundidad de ruptura

a : parámetro determinado por la ecuación:

$$a = 43.8(1 - e^{-19.5 \tan \beta}) \quad (3.19)$$

T_{ps} : período de la ola en aguas someras

b : parámetro determinado por la ecuación:

$$b = \frac{1.56}{1 + e^{-19.5 \tan \beta}} \quad (3.20)$$

15-Determinación de la profundidad de ruptura:

$$d_b = \frac{H_b}{\gamma_b} \quad (3.21)$$

Donde:

γ_b : índice de profundidad de ruptura

H_b : altura de la ola en el momento de ruptura [m]

3.2.3-Materiales:

Características de las rocas

Según lo planteado por el Ing. Juan Luis Torres en su ponencia: “Diseño de carreteras en el mar: Los pedraplenes”, los requisitos a cumplir por los materiales componentes del pedraplén son:

- Los materiales a utilizar serán rocas ígneas sin alteraciones o sedimentarias y metamórficas resistentes y no arcillosas, con un peso volumétrico igual o mayor a 2 t/m³ y peso específico mínimo de 2,65 t/m³
- La relación entre la resistencia a la compresión simple en estado saturado y seco deberá ser mayor o igual a 0,70
- Serán estables químicamente frente a la acción de los agentes externos en particular frente al agua
- La pérdida en peso por la acción de una solución de sulfato sódico deberá ser menor al 20%
- Fragmentos de tamaños representativos a los de la puesta en obra, sumergidos durante 24 horas, no podrán manifestar fisuración alguna y la pérdida de peso que sufran será menor o igual al 2%
- El Índice de Desgaste de Los Ángeles será inferior al 50%

También se considera que las rocas deberán cumplir con los requisitos que a continuación se muestran:

- La pérdida en peso por la acción de una solución de sulfato de magnesio deberá ser menor al 30%
- La textura de la roca debe ser rugosa y se evitara el uso de los bloques lajosos o aplanados.
- El % de bloques con relación de dimensiones extremas mayores de 3 no será superior a 25.
- Cuando existan finos (Tamiz # 4) en proporción mayor del 15% su plasticidad no debe superar el $LL < 30$ y $IP < 10$

Granulometría:

Los materiales para emplear en la construcción de pedraplenes provendrán de cantos rodados o rocas sanas, compactas, resistentes y duraderas. Deberán cumplir con los requisitos establecidos en los documentos técnicos del proyecto. Si los documentos del proyecto no establecen estos requisitos, se utilizarán los siguientes:

- El tamaño máximo no deberá ser superior a los dos tercios del espesor de la capa compactada.
- El porcentaje de partículas menores al tamiz de 25.0, será inferior al treinta por ciento.
- El porcentaje de partículas que pasen por el tamiz 200, será inferior al diez por ciento.
- Puede seguirse cualquiera de los husos granulométricos que se muestran en el Anexo 4.

- Por encima del nivel del mar hasta R-1.20 debe usarse la griba 30x30 cm en cualquiera de sus 6 casos, mantenimiento para el talud del mar Griba 80x80 cm o hasta 1.20 m de diámetro esto para el sistema de protección.
- Desde R-1.20 m hasta R-0.50 debe ser usada la granulometría marcada con 15x15 cm en cualquiera de sus usos manteniendo la fecha de 0.80 cm a 1.20 m en el lado del mar.00
- Los restantes 0.50 m serán especificados según las normas de terraplén.
- Los materiales de voladura se deben ajustar de los registros planteados anteriormente.
- La dimensión máxima de los bloques no será superior a las $\frac{3}{4}$ partes del espesor de las capas extendidas.

Los requisitos de granulometría que se exigen, se refieren al material ya compactado. Las granulometrías obtenidas en otros instantes solamente tendrán valor orientativo debido a las segregaciones y alteraciones inevitables durante la construcción.

3.2.4-Suelo de cimentación.

Para la evaluación del suelo de cimentación se realizarán los ensayos geotécnicos necesarios para conocer los tipos de suelos existentes y su correspondiente clasificación; así como conocer la geología general de la zona, los estratos de los diferentes tipos de suelo y sus correspondientes espesores y presiones admisibles..Esto brindará una medida de la resistencia que tendrá el suelo de cimentación en el lugar de emplazamiento y si soportará las solicitaciones a que será sometido.

Además se analizará la presencia en el lugar de fondos móviles.

3.3-Trazado

Para la realización del trazado de pedraplenes de modo general se tendrá sumo cuidado con respecto al cuidado y conservación del Medio Ambiente teniendo en cuenta que este tipo de obras reporta una incidencia extrema sobre los ecosistemas marinos. Hacer el trazado lo más económico posible y con un confort de primera categoría (en caso de ser

infraestructura vial). Es decir el trazado se realizará procurando una relación óptima en cuanto a medio ambiente, economía y funcionabilidad. Para ello se realizarán una serie de estudios que posibilitarán obtener la información necesaria para lograr dicha optimización:

- Estudios topobatimétricos
- Estudios de fotointerpretación
- Calas de contacto
- Muestreo geológico superficial
- Estudios biológicos

3.3.1-En planta:

- Para el análisis en planta se realizará el trazado lo más directo posible
- Se tratará de minimizar al máximo las instalaciones a ambos lados de la vía por su incidencia en el aumento de la corona del pedraplén y por ende en su costo
- Las redes de acueducto y alcantarillado serán colocadas soterradas una a cada lado en ambos paseos de la vía
- Para el resto de las redes (eléctricas, telefónicas y otras) se realizará un estudio técnico-económico de lo que cuesta ampliar el pedraplén contra los medios técnicos que será necesario emplear para garantizar esos servicios a las instalaciones a que accede el pedraplén
- Se realizará preferiblemente evitando el paso sobre zonas de manglares
- Evitar el paso sobre ecosistemas marinos de importancia relevantes como comederos, barreras de corales, zonas de desove etc.

3.3.2-En perfil:

- Se debe procurar que el asentamiento del pedraplén ocurra en aguas lo menos profunda posibles
- Que la capa de cieno del fondo sea lo más delgada posible
- Trepada de la ola (altura que alcanza la ola después del impacto)

3.4-Construcción:

Para el desarrollo de este tipo de construcciones se ha de tener en cuenta el método constructivo a emplearlo que determinará, las actividades a realizar, su modo ejecución y la maquinaria a emplear. Pero de modo general las actividades fundamentales a realizar para el desarrollo de las construcciones serán las siguientes:

- Preparación de la superficie de apoyo del pedraplén
- Excavación, carga y transporte del material pétreo que constituye el pedraplén
- Extensión y compactación del material en tongadas

Las especificaciones para la realización de las actividades que a continuación se muestran han sido tomadas de la Orden Circular 326/00 “Geotecnia Vial en lo referente a materiales para la construcción de explanaciones y drenajes” desarrollada por la Dirección de Carreteras del gobierno de España.

3.4.1-Preparación de la superficie de apoyo

En el caso específico de los pedraplenes emplazados en el mar la preparación de la superficie de apoyo de estos será modificable en caso de que si fuera necesario realizar el dragado de cieno en caso de que la capa de este fuera muy gruesa, esto se realiza generalmente en los bordes de las costas. Otra variante podría ser si el pedraplén estuviese emplazado en el mar, pero su construcción comenzara una distancia considerable en tierra firme por lo que para la preparación del terreno se realizaría tendiendo a que si el terreno donde se va a construir es natural, se efectuará lo estipulado respecto al desbroce del terreno y la excavación de la explanada cuyas especificaciones se encuentran en los artículos 300 y 320 del document analizado . “Sin embargo, el proyectista o el director de las obras, podrán eximir la eliminación de la capa de tierra vegetal en rellenos tipo pedraplén de más de diez metros (10) de altura, donde los asientos a que pueden dar lugar, en particular los diferidos, sean pequeños comparados con los totales del relleno y siempre que su presencia no implique riesgo de inestabilidad.”

“En caso de este suelo ser compresible y de baja resistencia, sobre todo en el caso de suelos orgánicos, la vegetación podrá mejorar la sustentación de la maquinaria de movimiento de tierras y facilitar las operaciones de compactación de las primeras tongadas. En estos casos el Proyectista o el Director de las Obras definirán su posible conservación.”

“En los casos que sean indicados en el Proyecto, se extenderán materiales granulares gruesos o geotextiles que permitan o faciliten la puesta en obra de las primeras tongadas del relleno. Tras el desbroce, se procederá a la excavación y extracción del material que se considere necesario para constituir la superficie de apoyo, en la extensión y profundidad especificadas en Proyecto.”

Una vez alcanzada la cota del terreno sobre la que finalmente se apoyará el relleno tipo pedraplén, se escarificará esa zona de apoyo, de acuerdo con lo previsto en Proyecto y en el artículo 303. Se compactará con las condiciones exigidas para el cimiento del relleno tipo pedraplén, siempre que estas operaciones no empeoren la calidad del terreno de apoyo en su estado natural.

Si el relleno tipo pedraplén debe construirse sobre un firme existente, se escarificará y compactará éste según lo indicado en el artículo 304 de la Orden Circular tratada.

“En las zonas de ensanche o recrecimiento de antiguos rellenos se prepararán éstos, mediante banquetas u otras actuaciones pertinentes, a fin de conseguir su unión con el nuevo relleno. Las operaciones encaminadas a tal objeto serán las indicadas en el proyecto o, en su defecto, por el director de las obras.”

“Si el material del antiguo relleno cuya remoción sea necesaria es del mismo tipo que el nuevo y cumple las condiciones exigidas para este, se mezclará con el del nuevo relleno para su compactación simultánea; en caso contrario será transportado a vertedero.”

“Cuando el relleno tipo pedraplén haya de asentarse sobre un terreno en el que exista agua superficial, se conducirá el agua fuera del área donde vaya a construirse, antes de comenzar su ejecución, mediante obras que podrán tener el carácter de accesorias, y que

se ejecutarán con arreglo a lo previsto para tal tipo de obras en el proyecto o, en su defecto, siguiendo las instrucciones del director de las obras.”

“Las tongadas susceptibles de saturarse durante la vida del relleno tipo pedraplén se construirán, de acuerdo con el Proyecto, con un material que tenga un comportamiento aceptable bajo dicha acción (erosión, expansión y colapso, etc).”

“Las transiciones de desmonte a relleno tipo pedraplén tanto transversal como longitudinalmente, se realizarán de la forma más suave posible, según lo indicado en el Proyecto o, en su defecto excavando el terreno de apoyo hasta conseguir una pendiente no mayor de un medio (1V:2H).”

“En los rellenos tipo pedraplén situados a media ladera, si las condiciones de estabilidad lo exigen, se escalonará la pendiente natural del terreno de acuerdo con lo indicado en el Proyecto. Las banquetas así originadas deberán quedar apoyadas en terreno suficientemente firme. Su anchura y pendiente deberán ser tales que la maquinaria pueda trabajar con facilidad en ellas.”

“En general y, especialmente, en las medias laderas donde, a corto o largo plazo, se prevea la presencia de agua en la zona de contacto del terreno con el relleno, se deberán ejecutar en planta y profundidad las obras necesarias, recogidas en el Proyecto, para mantener drenado dicho contacto.”

“Dado que las operaciones de desbroce, escarificado y escalonado de las pendientes dejan la superficie de terreno fácilmente erosionable por los agentes atmosféricos, estos trabajos no deberán llevarse a cabo hasta el momento preciso y en las condiciones oportunas para reducir al mínimo el tiempo de exposición, salvo que se recurra a protecciones de dicha superficie. La posibilidad de aterramientos de los terrenos del entorno y otras afecciones indirectas deberán ser contempladas en la adopción de estas medidas de protección.”

3.4.2- Excavación, carga y transporte del material

Los trabajos de excavación se ejecutarán de manera que la granulometría y forma de los materiales resultantes sean adecuadas para su empleo en pedraplenes.

En caso necesario, después de la excavación, se procederá a la eliminación o troceo de los elementos singulares que tengan forma o dimensiones inadecuadas, según indique el Director de las Obras.

La carga de los productos de excavación y su transporte al lugar de empleo se llevará a cabo de forma que se evite la segregación del material.

Extensión de las tongadas

Una vez preparada la base de apoyo del relleno tipo pedraplén, se procederá a la construcción del mismo, empleando los materiales que se han definido anteriormente, los cuales serán extendidos en tongadas sucesivas, de espesor uniforme y sensiblemente paralelas a la explanada.

El espesor de las tongadas será el adecuado para que, con los medios disponibles, se obtenga la compacidad deseada. A falta de otra especificación dicho espesor será de sesenta centímetros (60 cm) y salvo autorización expresa del Director de las Obras, a propuesta justificada del Contratista, el espesor máximo de las tongadas, una vez compactadas, no será nunca superior a un metro treinta y cinco centímetros (1,35 m) ni a tres (3) veces el tamaño máximo del árido. En todo caso, el espesor de la tongada debe ser superior a tres medios ($3/2$) del tamaño máximo del material a utilizar.

El material de cada tongada se descargará en obra sobre la parte ya extendida de dicha tongada y cerca de su frente de avance. Desde esta posición será empujado hasta el frente de la tongada y extendido a continuación de éste mediante tractor equipado con pala de empuje, realizándose la operación de forma que se corrijan las posibles segregaciones del material. En casos especiales podrá regarse el pedraplén con agua a presión, siempre que el Director de las obras lo considere conveniente.

Los rellenos tipo pedraplén sobre zonas de escasa capacidad de soporte se iniciarán vertiendo las primeras capas con el espesor mínimo necesario para soportar las cargas que produzcan los equipos de movimiento y compactación de tierras.

Durante la ejecución de las obras, la superficie de las tongadas deberá tener la pendiente transversal necesaria, en general en torno al cuatro por ciento (4%), para asegurar la evacuación de las aguas sin peligro de erosión y evitar la concentración de vertidos. Se procederá a la construcción de caballones en los bordes de las tongadas, que conduzcan las aguas hacia bajantes provisionales que controlen las aguas de escorrentía, así como a la adopción de las medidas protectoras del entorno frente a la acción de estas aguas de escorrentía, erosiva o sedimentaria, previstas en el proyecto o indicadas por el director de las obras.

Salvo prescripciones en contrario del proyecto o del director de las obras, los equipos de transporte del material y extensión del mismo operarán sobre todo el ancho de cada capa y, en general, en el sentido longitudinal de la vía.

Deberá conseguirse que todo el perfil teórico del relleno tipo pedraplén quede debidamente compactado, para lo cual, se compactará una franja de una anchura mínima de dos metros (2 m) desde el borde del talud, en tongadas más delgadas y mediante maquinaria apropiada. A propuesta del contratista, siempre que el director de la obra de su aprobación, podrá sustituirse el método anterior por el de dotar al pedraplén de un sobre ancho, de uno (1) o dos (2) metros, que permitan operar con la maquinaria de compactación de forma que el pedraplén teórico quede con la compactación adecuada. Este sobre ancho no será de abono. Podrá utilizar asimismo cualquier otro procedimiento que establezca el Proyecto o apruebe el Director de las obras.

3.4.3- Vertido del material

Esta actividad estará determinada en función de la solución constructiva que se esté realizando. La misma se relizará a través de tongadas cumpliendo con los requerimientos del subepígrafe 3.4.3.1 “Extensión de las togadas”.

Si el pedraplén se está realizando en la dirección de tierra hacia el mar generalmente se usa el método de volteo directo, mediante el cual los camiones van arrojando las rocas hacia el mar por lo que es lógico suponer que la posición que han de alcanzar las rocas al ser lanzadas al mar es bastante incontrolable por lo que este método no sería el más recomendado a emplear. También se debe considerar que está normalizado que los camiones de volteo pueden desplazarse en reversa una distancia limitada por lo que se hace necesaria la colocación de viraderos con el espacio requerido, que permitan a los conductores realizar las maniobras necesarias para realizar un correcto vertido sin la existencia de riesgo para accidentes de trabajo. En algunos lugares del mundo específicamente en la Isla Palmera en Dubái la colocación de rocas se realiza a través de grúa unidad por unidad por lo que esto resultaría una solución antieconómica ya que aumentaría significativamente los costos por el uso de maquinarias. Por lo tanto la solución más óptima y racional a utilizar en nuestro país para esta solución constructiva es la primera lo que se ha de tener sumo cuidado en el control de la ejecución de las actividades de vertido.

En el caso de que la solución constructiva que se esté ejecutando sea desde mar hacia tierra esta se realizará mediante gánguiles hasta el punto en que el vertido ya no sea posible debido a que la acumulación de material en el fondo marino ya no permita que se puedan abrir las compuertas que dejan escapar el material. En este punto se procederá a ejecutar dos posibles soluciones:

1- En caso de que el pedraplén no tenga como finalidad unir dos puntos terrestre sino que termine en mar abierto; se procederá a colocar el material en barcos o patanas y desde aquí se verterá utilizando como medio cargadores frontales

2- El otro caso sería que el pedraplén sí uniese dos puntos de tierra firme entonces se procedería a iniciar desde tierra firme el vertido del material a través del volteo directo. En caso de que se cumpliera la solución número 2, pero la cantera y/o el punto de acopio no se encontraran en el lugar donde se va a iniciar el volteo directo se procedería a colocar en una embarcación los camiones previamente cargados llevarlos a tierra firme, realizar el vertido y volverlos a trasladar de regreso realizando esta actividades cíclicamente hasta acabar la construcción

3.4.3.1- Extensión de las tongadas:

Una vez preparada la base de apoyo del relleno tipo pedraplén, se procederá a la construcción del mismo, empleando los materiales que se han definido anteriormente, los cuales serán extendidos en tongadas sucesivas, de espesor uniforme y sensiblemente paralelas a la explanada.

El espesor de las tongadas será el adecuado para que, con los medios disponibles, se obtenga la compacidad deseada. A falta de otra especificación dicho espesor será de sesenta centímetros (60 cm) y salvo autorización expresa del Director de las obras, a propuesta justificada del Contratista, el espesor máximo de las tongadas, una vez compactadas, no será nunca superior a un metro treinta y cinco centímetros (1,35 m) ni a tres (3) veces el tamaño máximo del árido. En todo caso, el espesor de la tongada debe ser superior a tres medios ($3/2$) del tamaño máximo del material a utilizar.

El material de cada tongada se descargará en obra sobre la parte ya extendida de dicha tongada y cerca de su frente de avance. Desde esta posición será empujado hasta el frente de la tongada y extendido a continuación de éste mediante tractor equipado con pala de empuje, realizándose la operación de forma que se corrijan las posibles segregaciones del material. En casos especiales podrá regarse el pedraplén con agua a presión, siempre que el Director de las obras lo considere conveniente.

Los rellenos tipo pedraplén sobre zonas de escasa capacidad de soporte se iniciarán vertiendo las primeras capas con el espesor mínimo necesario para soportar las cargas que produzcan los equipos de movimiento y compactación de tierras.

Durante la ejecución de las obras, la superficie de las tongadas deberá tener la pendiente transversal necesaria, en general en torno al cuatro por ciento (4%), para asegurar la evacuación de las aguas sin peligro de erosión y evitar la concentración de vertidos. Se procederá a la construcción de caballones en los bordes de las tongadas, que conduzcan las aguas hacia bajantes provisionales que controlen las aguas de escorrentía, así como a la adopción de las medidas protectoras del entorno frente a la acción de este agua de

escorrentía, erosiva o sedimentaria, previstas en el Proyecto o indicadas por el Director de las obras.

Salvo prescripciones en el proyecto o del Director de las obras, los equipos de transporte del material y extensión del mismo operarán sobre todo el ancho de cada capa y, en general, en el sentido longitudinal de la vía.

Deberá conseguirse que todo el perfil teórico del relleno tipo pedraplén quede debidamente compactado, para lo cual, se compactará una franja de una anchura mínima de dos metros (2 m) desde el borde del talud, en tongadas más delgadas y mediante maquinaria apropiada. A propuesta del Contratista, siempre que el Director de las Obras de su aprobación, podrá sustituirse el método anterior por el de dotar al pedraplén de un sobreecho, de uno (1) ó dos (2) metros, que permitan operar con la maquinaria de compactación de forma que el pedraplén teórico quede con la compactación adecuada. Este sobreecho no será de abono. Podrá utilizar asimismo cualquier otro procedimiento que establezca el Proyecto o apruebe el Director de las obras.

3.4.4-Compactación

El método de compactación elegido deberá garantizar la obtención de las compacidades mínimas necesarias. Con este objeto deberá elegirse adecuadamente, para cada zona del pedraplén, la granulometría del material, el espesor de tongada, el tipo de maquinaria de compactación y el número de pasadas del equipo. Estas variables se determinarán a la vista de los resultados obtenidos durante la puesta a punto del método de trabajo, según se indica en el epígrafe 3.4.5

Si en la compactación se utilizan rodillos vibratorios, el peso estático del equipo no deberá ser inferior a diez toneladas (10 t).

Las zonas de trasdós de obras de fábrica, zanjas y aquellas, que por su reducida extensión u otras causas, no puedan compactarse con los medios habituales tendrá la consideración de rellenos localizados.

3.4.5- Puesta a punto del método de trabajo

Salvo prescripción en contrario del Proyecto o del Director de las Obras el control de construcción de un pedraplén consistirá en un control de procedimiento que permita comprobar el método de construcción del relleno.

El Contratista propondrá por escrito al Director de las Obras el método de construcción que considere más adecuado para cada tipo de material a emplear, de manera que se cumplan las prescripciones indicadas en el presente Pliego. En la propuesta se especificará:

- Características de toda la maquinaria a utilizar.
- Método de excavación, carga y transporte de los materiales pétreos.
- Método de extensión
- Espesor de tongadas, método de compactación y número de pasadas del equipo.
- Experiencias, con materiales análogos, del método de ejecución propuesto.

Salvo que se aporte suficiente experiencia sobre el método de trabajo propuesto, la aprobación de éste por el Director de las Obras estará condicionada a su ensayo en obra. Dicho ensayo consistirá en la construcción de un tramo experimental con un volumen no inferior a tres mil metros cúbicos (3.000 m³), con objeto de comprobar la idoneidad del método propuesto o proceder a adaptarlo al caso considerado. Se harán como mínimo dos (2) tongadas de diez metros (10 m) de anchura.

Durante la construcción del pedraplén experimental se determinará la granulometría del material recién excavado, la del material extendido, y la granulometría y densidad del material compactado. Para determinar estos valores se utilizarán muestras representativas, de volumen no inferior a cuatro metros cúbicos (4 m³). Se efectuarán al menos tres (3) ensayos de cada tipo.

Asimismo, se inspeccionarán las paredes de las calicatas realizadas en el pedraplén para determinar las características del material compactado. Dichas calicatas afectarán a todo el espesor de la tongada tendrán un volumen mínimo de cuatro metros cúbicos (4 m)³, una superficie mínima de cuatro metros cuadrados (4 m²) una dimensión mínima en planta superior a cinco (5) veces el tamaño máximo del árido. Se controlarán las deformaciones superficiales del pedraplén, mediante procedimientos topográficos, después de cada pasada del equipo de compactación, y la densidad media y la porosidad del material compactado.

La porosidad del pedraplén experimental compactado ha de ser menor del treinta por ciento ($n < 30\%$). Las pasadas del rodillo compactador han de ser como mínimo cuatro (4).

El asiento producido con la última pasada ha de ser inferior al uno por ciento (1%) del espesor de la capa a compactar medido después de la primera pasada.

También se podrá controlar el comportamiento del material en el pedraplén experimental mediante otras técnicas, siempre que sean debidamente aprobadas por el Director de las Obras, tales como:

- Ensayo de carga con placa, siempre que el diámetro de la placa sea superior a cinco veces el tamaño máximo del material del pedraplén experimental. Los resultados a exigir en este ensayo serán indicados en el

Proyecto o, en su defecto, por el Director de las Obras.

- Ensayo de huella, siempre que la superficie del pedraplén experimental lo permita. (NLT 256). En este caso los valores máximos admisibles de la huella serían de tres milímetros (3 mm) para la zona de transición y de cinco milímetros (5 mm) para el resto del pedraplén. El Director de las

Obras en función de los resultados del pedraplén experimental podrá prescribir unos valores admisibles de huella inferiores a los indicados

- Técnicas geofísicas de ondas superficiales con longitudes de onda superiores a diez veces el tamaño máximo del material.

En el caso de pedraplenes no se deben usar los métodos nucleares de medida de densidad y humedad, pues el tamaño de los granos y de los poros así lo aconseja.

A la vista de los resultados obtenidos, el Director de las Obras decidirá sobre la conveniencia de aprobar, modificar o rechazar el método propuesto.

La variación sensible de las características de los materiales del pedraplén, a juicio del Director de las Obras, exigirá la reconsideración del método de trabajo.

3.4.6- Tolerancias de las superficies acabadas:

Las superficies acabadas del núcleo y de la zona de transición se comprobarán mediante estacas de refino, niveladas con precisión centimétrica, situadas en el eje y en los bordes de perfiles transversales que disten entre sí no más de veinte metros (20 m).

Se hallará la diferencia entre las cotas reales de los puntos estaquillados y sus cotas teóricas, con arreglo al Proyecto, y se determinarán los valores algebraicos extremos de dichas diferencias, para tramos de longitud no inferior a cien metros (100 m) (se considerarán positivas las diferencias de cota correspondientes a puntos situados por encima de la superficie teórica).

Se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Si la semisuma de los valores extremos es positiva, deberá ser menor que la quinta parte (1/5) del espesor de la última tongada.

- Si la semisuma de los valores extremos es negativa, su valor absoluto deberá ser menor que la mitad (1/2) del espesor de la última tongada.

- La semidiferencia de valores extremos deberá ser inferior a cinco centímetros

(5 cm) para la superficie del núcleo, y a tres centímetros (3 cm) para la superficie de la zona de transición.

Si no se cumple la primera condición, se excavará la última tongada ejecutada y se construirá otra de espesor adecuado. Si no se cumple la segunda condición, se ejecutará una nueva tongada de espesor adecuado. Si no se cumple la condición tercera se añadirá una capa de nivelación con un espesor mínimo no inferior a quince centímetros (15 cm) sobre el núcleo, o a diez centímetros (10 cm) sobre la zona de transición, constituida por material granular bien graduado, de características mecánicas no inferiores a las del material del pedraplén, y con tamaño máximo de diez centímetros (10 cm) en el caso del núcleo o de seis centímetros (6 cm) en el caso de la zona de transición.

3.4.7- Fase de experimentación

Antes de iniciar los trabajos, el jefe de obra propondrá el método de construcción que considere más apropiado para cada tipo de material a emplear, con el fin de cumplir las exigencias de las especificaciones.(Vías, 2013)

En dicha propuesta se especificarán las características de la maquinaria a utilizar, los métodos de excavación, cargue y transporte de materiales, el procedimiento de colocación, los espesores de las capas y el método para compactarlas. Además, se aducirán experiencias similares con el método de ejecución propuesto, si las hubiesen. (Vías, 2013)

Salvo que el interventor considere que con el método que se propone existe suficiente experiencia satisfactoria, su aprobación quedará condicionada a un ensayo en la obra, el cual consistirá en la construcción de un tramo experimental, en el volumen que estime necesario, para comprobar la validez del método propuesto o para recomendar todas las modificaciones que requiera. (Vías, 2013)

Durante esta fase se determinará, mediante muestras representativas, la gradación del material colocado y compactado y se conceptuará sobre el grado de densificación alcanzado.(Vías, 2013)

Así mismo, se efectuarán apiques y trincheras sobre el material compactado para verificar visualmente la uniformidad con que quedan colocados los materiales de las diversas capas.(Vías, 2013)

Se controlarán, además, mediante procedimientos topográficos, las deformaciones superficiales del pedraplén, después de cada pasada del equipo de compactación. (Vías, 2013)

3.4.8- Limitaciones en la ejecución

La construcción de pedraplenes no se llevará a cabo en instantes de lluvia o cuando existan fundamentos o temores de que esta ocurra.

Los trabajos de construcción de pedraplenes se deberán realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado, el interventor podrá autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y operación del equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le permitirá el trabajo nocturno y deberá poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

3.5-Manejo Ambiental

Existen evidencias en todo el mundo, de diversos impactos negativos ocasionados por los pedraplenes, a continuación se describen estos fenómenos que suelen producirse como consecuencia de la construcción de pedraplenes marinos. Los fenómenos que a continuación son los resultados de la investigación realizada product a la construcción del pedraplén de Caibarién a Cayo Santa María tomados del del artículo “Experiencias Hidroecológicas en el diseño del pedraplén Caibarién”

Salinidad: su aumento es uno de los efectos fundamentales. Afecta significativamente la biota estenohalina, y se ha calculado que en fondos no consolidados un incremento de 1,0 ‰, después de 40‰, significa la pérdida de condiciones de vida de hasta 60 especies del bentos. En la bahía de Los Perros la salinidad llegó a sobrepasar un valor de 80‰ a causa del pedraplén de Cayo Coco. Se produce por aumento de la permanencia del agua sobre la plataforma, donde la evaporación concentra la sal.(Brown et al., 1995)

Eutrofización: resulta de una sobrecarga de nutrientes en el ecosistema o de la incapacidad del mismo para evacuar sus aguas nutrificadas, por lo que aparece cuando el intercambio plataforma-océano se restringe. (Brown et al., 1995)

Patrón de mareas: resulta de un estancamiento de las aguas sobre una zona de la plataforma que, generalmente, se manifiesta como un tránsito de un régimen semi-diurno a diurno. (Brown et al., 1995)

Erosión del fondo: los procesos erosivos pueden ser naturales a causa de las corrientes, pero como impacto ocurre, cuando estas se refuerzan en determinados lugares. Según la experiencia en canales, corrientes mayores a 1.5 m/s arrastran grava, por lo que estos efectos a consecuencia de pedraplenes ocurren en dos situaciones: en puentes hidráulicamente restringidos y en la punta del pedraplén durante su construcción a causa de los llenantes y los vaciantes. La erosión elimina sedimentos no consolidados y acarrea un cambio drástico del sustrato, que es un factor de alta selectividad por las especies de bentos. (Brown et al., 1995)

Recursos pesqueros: como parte de la biodiversidad, responden a las mismas causas que afectan a esta. Adicionalmente, pueden sufrir impactos negativos muy fuertes cuando se alteran o interrumpen las rutas de los peces a los sitios de desove, o cuando se afecta la dispersión de las larvas. (Brown et al., 1995)

Línea de costa: la costa puede sufrir afectaciones por erosión o por deposición de los sedimentos provocadas por las corrientes litorales, que en determinadas condiciones pueden cambiar por la inserción de un pedraplén. (Brown et al., 1995)

Zonificación de fitobentos: los cambios en la distribución espacial de la cobertura vegetal del fondo pueden tener causas disímiles. Las especies que la componen pueden responder a un cambio de sustrato, de temperatura, de la salinidad, de nutrientes, o simplemente a diferencias de la turbidez por el efecto de pantalla de la columna de agua a la luz del incidente. En general se trata de un reordenamiento de los parches naturales iniciales que no debe confundirse con cambios en la composición general de especies de una zona. (Brown et al., 1995)

Temperatura del agua: es un efecto directo del aumento del tiempo de retención del agua sobre a plataforma, lo que ocurre por la obstrucción parcial de las corrientes de llenante y de vaciante.(Brown et al., 1995)

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): obedece al aumento de una carga orgánica que llega al ecosistema o la imposibilidad de exportarla mara afuera por obstrucción del recambio. Este fenómeno tiende a disminuir la concentración de oxígeno disuelto y, consecuentemente, afecta a la biota que lo emplea.(Brown et al., 1995)

Tiempo de recambio del agua: del mismo depende la cantidad de energía solar que recibe una masa de agua y la temperatura que alcanza; la evaporación resultante aumenta la salinidad y la densidad. Aumenta cuando se obstaculizan las corrientes de llenante y de vaciante.(Brown et al., 1995)

Rutas de desove: las rutas de este tipo son fijas y su interrupción puede tener como respuesta un reacomodo, pero también puede cesar. El resultado es la disminución del reclutamiento de juveniles por la disminución de la natalidad.(Brown et al., 1995)

Turbiedad: el aumento de la turbiedad se ocasiona por erosiones que elevan sedimentos a la columna de agua. Su aumento disminuye la luz que llega al fondo, afectando así la fotosíntesis y, consecuentemente, la productividad primaria del ecosistema con ello disminuye la capacidad de carga del mismo, pudiéndose traducir en la denudación del fondo de vegetales y la disminución de los recursos pesqueros que, en última instancia, dependen de la energía que fija el fitobentos.(Brown et al., 1995)

Hábitat: el recambio del hábitat ocasiona un inevitable cambio de la biota que en él se asienta. Básicamente ocurre por erosión o deposición de sedimentos, además de cambios en los promedios de factores físicos del ambiente, como la temperatura y la salinidad.(Brown et al., 1995)

Régimen hidrodinámico: es la situación consistente en cambios drásticos en el régimen de corrientes, tanto en sus aspectos cualitativos (distribución parcial y direcciones), como en los cuantitativos (gastos, velocidades). En situaciones en pedraplenes marinos aparece

como consecuencia el entorpecimiento de los lugares donde los flujos de agua son mayores.(Brown et al., 1995)

Dispersión de larvas: el fenómeno es válido tanto para peces como para invertebrados. Aparece por alteraciones hidrodinámicas.(Brown et al., 1995)

Manglares y pastos marinos: la pérdida de manglares ocurre mayormente como consecuencia de un aumento de la salinidad. La planta requiere extraer agua dulce del mar, lo que implica un gasto energético que es mayor en la medida que el gradiente es más pronunciado. Es por esto que primeramente ocurre un crecimiento muy lento (manglares achaparrados) y mueren si el gradiente continúa aumentándose o si persiste por mucho tiempo. Una situación semejante puede darse en los pastos marinos, que además se afectan por turbiedad en la columna de agua o por cambios en el sustrato a cambio de la erosión o de la sedimentación.(Brown et al., 1995)

3.5.1-Propuesta de sistema de medidas en la concepción del proyecto para evitar o disminuir las afectaciones en los ecosistemas marinos

Análisis del trazado vial: la simple selección del trazado tiene una importancia enorme en la conservación del medio, debido a que logrando evitar la colocación del pedraplén en lugares como los manglares, zonas de desove, áreas de grandes intercambios de agua, etc., se contribuye en gran medida a evitar gran parte de los problemas anteriormente planteados.

Cálculo por secciones hidrológicas: la realización este estudio de corrientes permitirá conocer gastos y velocidades en una serie consecutiva de puntos; de esta forma se podrá conocer donde se ubican las variaciones de corrientes y se logrará homogeneizar los tramos en cuanto al movimiento de agua se refiere. Esto permite una mejor distribución de los puentes en caso de ser necesaria su colocación y la abertura necesaria en cada sección.

Ubicación de puentes: Se construyen, como principio de cuidado medioambiental, con el objetivo de permitir el intercambio de aguas.

Puentes ecológicos: son aquellos que vinculan los manglares y el mar; comienzan dentro de un manglar y terminan en el mar. Estos permiten la continuidad de las corrientes litorales y facilitan el mantenimiento de importantes procesos migratorios que ocurren frente a los manglares.

3.6-Conclusiones parciales

- 1- Utilizando el método del Manual de Ingeniería de Costa se puede obtener con precisión el valor de altura máxima para las olas en el lugar de emplazamiento del pedraplén.
- 2- Cumpliendo con las especificaciones técnicas se podrá lograr una correcta ejecución de las obras.

CONCLUSIONES:

- 1- Se ha logrado compilar la información referente al tema pedraplenes a nivel internacional, con un alto nivel de actualización. Permitiendo analizar los diferentes aspectos que condicionan el diseño y construcción de estas obras a nivel global y comparándola con la situación actual en que se encuentra el país con respecto a este tema.
- 2- Referente al diseño y construcción de pedraplenes en Cuba, el país se encuentra resagado con respecto al desarrollo alcanzado en el resto del mundo, debido a la ausencia de documentación y obsolescencia de la existente, condicionado fundamentalmente por razones económicas que han inhibido el desarrollo científico y tecnológico en esta rama de la ciencia, no obstante, a pesar de la ausencia de información propia de nuestro país referente al tema, se ha logrado desarrollar obras de este tipo que cumplen con los requisitos necesarios para ser factibles, económicas y duraderas.
- 3- Empleando el método del Manual de Ingeniería de Costa desarrollado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos y basándose en los requisitos fundamentales establecidos se han establecido los aportes que sentarán las bases para la elaboración de una norma cubana que permita regir el proceso de diseño y construcción de pedraplenes en zonas marítimas.

RECOMENDACIONES

- 1- Se recomienda al Ministerio de la Construcción emplear los aportes realizados en este trabajo de diploma, para la confección de una norma para el diseño y construcción de pedraplenes zonas marítimas que debe proponer al Instituto de Normalización.
- 2- Recomendar a la Universidad de Matanzas desarrollar una investigación referente a los pedraplenes emplazados sobre suelos blandos.

BIBLIOGRAFÍA

Compactación de pedraplenes.

Obras en el Mar: Los Pedraplenes. Diseño y ejecución.

AMARO, P. A. O. 2013. *Tecnología de Construcción de las Explanaciones*.

BLUMENKRANZ, I. I. & MOLINERO, I. P. 1981. RC-3015.

BROWN, C. A., MILITELLO, A. & KRAUS, N. C. 1995. Hydrodynamic assessment for elevation of the JFK Causeway.

CARRETERAS, D. G. D. 2000. Geotecnia Vial en lo referente a materiales para la construcción de explanaciones y drenajes. 326/00.

DÍAZ, Y. R. 2013. *Propuesta metodológica de rehabilitación de obras de protección costera en Autopista Sur de Varadero*.

ESCARIO, J. L., DR. INGENIERO DE CAMINOS, C. Y. P. & UNIVERSITY, M. S. H. 1981. *Terraplenes y Pedraplenes. Estado actual de la técnica*, Madrid.

GARCÍA, I. R. T., DÉCALO, I. F. & BLUMENKRANZ, I. I. 1981. RC-3014.

MARTINO, R. L. & URBAY, J. M. 2001. Pedraplén Caibarién a Cayo Santa María (Cuba).

MONKHOUSE, F. J. 1978. Diccionario de términos geográficos. *In: EDICIONES, T. (ed.)*. Barcelona.

RODRÍGUEZ, E. F. 2015. *Propuesta de proyecto ejecutivo de organización de obras del pedraplén unión a Cayo Buba en punta Hicacos*

TORRES, I. J. L. 2008. Diseño de carreteras en el mar: Los pedraplenes.

U.S.ARMÍ, C. O. E. 2003. Coastal Engineering Manual disponible en la internet en:<http://users.coastal.ufl.edu/~sheppard/eoc6430/>

Coastal_Engineering_Manual.htm.

VÍAS, I. N. D. 2013. Especificaciones generales de construcción de carreteras. 221.

ANEXOS

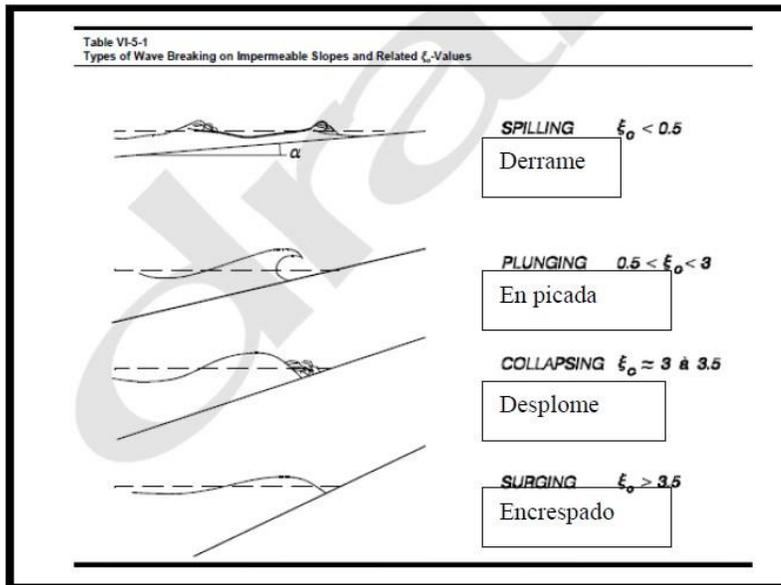
Anexo1: Clasificación de los tsunamis y sus efectos según Imamura-Lida.

<i>Clasificación del tsunami</i>	<i>Altura de la Ola</i>	<i>Daños o afectaciones probables a ocurrir</i>
- 1	Menor de 0,5 metros	Ninguno
0	Hasta 1 metro	Muy pocos o ninguno
1	Entre 2 metros y 3 metros	Daños en zonas bajas del litoral a viviendas y embarcaciones. Posibles víctimas humanas
2	Entre 4 y 6 metros	Pérdidas de vidas humanas y materiales de cierta consideración
3	Mayor de 6 y hasta los 10 metros	Grandes daños materiales y en vidas humanas (decenas de miles de personas) hasta aprox. 100 Km. de la línea costera
4	Hasta 30 metros y más.	Efectos catastróficos. Al originarse enormes daños materiales y significativas pérdidas de vidas humanas (cientos de miles de personas)efectos significativos hasta varios cientos de Km de la línea costera.

Anexo 2: Clasificación de las olas marinas en dependencia de la profundidad relative.

<i>Clasificación de las olas marinas en dependencia de la profundidad relative</i>	
Clasificación	d/L
Aguas profundas (OAP)	1/2 a
Transicional (OAT)	1/20 a 1/2
Aguas poco profundas o someras (OAS)	0 a 1/20

Anexo 3: Clasificación de la ola por su ruptura



Anexo 4: Husos granulométricos para materiales a emplear en la construcción de pedraplenes.

<i>Tamaños</i>	<i>No.1</i>	<i>No.2</i>	<i>No.3</i>	<i>No.4</i>	<i>No.5</i>	<i>No.6</i>
Criba 80x80cm	90-100	90-100	100	100	100	100
Criba 60x60cm	75-95	70-90	90-100	90-100	100	100
Criba 30x30cm	50-80	45-70	60-90	55-80	80-100	75-90
Criba 15x15cm	35-65	30-55	45-70	35-60	55-80	45-70
Criba 15x15cm	25-50	20-45	30-55	25-50	35-65	30-55
Criba 3"	15-35	13-35	20-40	18-40	20-45	20-45
Tamiz 1 ½"	15-35	13-35	20-40	18-40	20-45	20-45
Tamiz 3/8"	5-18	8-25	5-18	8-30	5-20	10-30
Tamiz No.4"	2-10	5-20	2-10	5-25	5-12	7-25
Tamiz 200	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5