

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES**

TRABAJO DE DIPLOMA

**DISEÑO DE UNA OBRA DE PROTECCIÓN COSTERA, EN FORMA DE
ROMPEOLAS SUMERGIDO EN PLAYA DON LINO**

JORGE ENRIQUE SUÁREZ OLIVERA

**HOLGUÍN
2016**

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES**

TRABAJO DE DIPLOMA

**DISEÑO DE UNA OBRA DE PROTECCIÓN COSTERA, EN FORMA DE
ROMPEOLAS SUMERGIDO EN PLAYA DON LINO**

JORGE ENRIQUE SUÁREZ OLIVERA

Tutor: MSc. Raymundo C. Rodríguez Tejeda

MSc. Elier Alexander Córdova García

Investigador auxiliar

Profesor asistente

HOLGUÍN

2016

RESUMEN

Don Lino se localiza en el polo turístico de Holguín, costa nororiental de Cuba. En la actualidad la playa sufre un proceso erosivo, observándose la aparición de extensas superficies rocosas en la cara de la playa, así como un marcado déficit de arena en sus costas, llevándola a condiciones desfavorables, poniendo en riesgo su calidad ambiental y estabilidad. Para llegar a esta conclusión se desarrolló un estudio minucioso de la zona, donde se desarrollaron distintos tipos de métodos teóricos y empíricos que resultaron indispensables para la caracterización y el diagnóstico general de la zona costera. Con el desarrollo del diagnóstico se manifestó la falta de un correcto proyecto que pudiera atenuar o mitigar este tipo de fenómeno, ya que la solución aplicada con anterioridad en el vertimiento de arena (solución blanda) no cumpliera con los objetivos trazados a largo plazo, además de la inexistencia de estudios de oleaje que brindarían información de cómo este fenómeno afecta la playa. Por ende, los resultados obtenidos permitió calcular la transformación del oleaje, y de esta manera proponer un diseño de obra de protección costera en forma de rompeolas sumergidos (solución dura) que dadas sus características puede brindar la ayuda necesaria como complemento para garantizar la estabilidad de la playa durante un período de tiempo largo, así como controlar y atenuar la erosión en la zona, y por ende, mejorar la calidad ambiental en la playa.

ABSTRACT

Don Lino beach is located in a very nice touristical area in the northeast part of the country. In this moment beach is under an erosion process that you can notice through big rocky surfaces and also the remarkable lack of sand by the coast, all this, of course, would affect the quality of the atmosphere in the place. Different theoretical and empiric methods were used to come to this conclusion. Through this study that we have made we found out importance of a new project because the previous one concerning specifically the pouring of sand (soft solution) was not correct. We also analyzed in a very carefully way how the rush of waves might be affecting this phenomenon, so, the results we have had has allowed us to propose a work design in order to project the coast of this area in a submerged breakwater way (hard solution) that would help to keep the stability of the beach for a period of time, and also to control and to extenuate the erosion of this area and then of course a better quality of the atmosphere at the beach.

ÍNDICE

	Denominación	pág.
	INTRODUCCIÓN	8
	CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS – METODOLÓGICOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE PLAYA DON LINO.	14
	Introducción al Capítulo	15
1.1	Teoría entorno al Oleaje	15
1.1.1	Descripción del Oleaje	15
1.1.2	Efectos que definen a las olas	16
1.1.3	Parámetros que definen las olas	18
1.2	Teoría Lineal del Oleaje	20
1.3	Principios de la transformación del oleaje	21
1.4	Refracción del Oleaje.	23
1.5	Difracción del Oleaje	23
1.6	Reflexión del Oleaje	24
1.7	Efecto del fondo	24
1.8	Rompiente de las Olas	24
1.9	Sedimentos de las Playas:	26
1.9.1	Transporte de sedimentos	27
1.9.2	Tipos de Transporte de sedimentos	27
1.10	Software empleado	28
1.11	Obras de protección Costeras	28
1.11.1	Ingeniería Costera, principales tendencias	29
1.11.1.1	Obras de protección costeras	29
1.11.2	Análisis histórico de los problemas erosivos	35
1.11.2.1	Antecedentes del fenómeno de la erosión en Playa Don Lino	35
1.11.3	Características del litoral	38
1.11.4	Régimen hidrometeorológico	38
1.11.5	Vientos	39
1.11.6	Frentes fríos	39
1.11.7	Ciclones tropicales	40
1.11.8	Oleaje	42

	Conclusiones del Capítulo	43
	CAPÍTULO II: DISEÑO DE UNA OBRA DE PROTECCIÓN COSTERA, EN FORMA DE ROMPEOLAS SUMERGIDO EN PLAYA DON LINO	44
	Introducción al Capítulo	45
2.1	Características técnicas - constructivas de la zona de protección costera de playa Don Lino	45
2.2	Diagnóstico del estado actual de la zona de protección costera de playa Don Lino	46
2.2.1	Acciones implementadas para el diagnóstico	46
2.2.2	Resultados obtenidos	46
2.2.3	Análisis de los resultados	47
2.2.3.1	Causas que inciden en la manifestación del problema	47
2.3	Cálculo para la transformación del Oleaje	48
2.4	Método de Goda	48
2.4.1	Cálculo de la máxima sobre elevación de la ola	49
2.4.2	Cálculo de las componentes de presiones ejercidas por la ola sobre la cara frontal de la pared vertical	50
2.4.3	Coeficientes de presión de ondas	51
2.4.4	Cálculo del momento de subpresión	52
2.4.5	Fuerza ascensional de sustentación	53
2.5	Método de Hudson	53
2.5.1	Cálculo de la ola Hs frente a la estructura	54
2.5.2	Cálculo de Altura de la capa de la coraza del rompeolas por debajo del NMM	55
2.5.3	Cálculo de la Elevación de la Corona	56
2.5.4	Luego se calcula la altura de la corona	56
2.5.5	Diseño de la sección transversal	56
2.5.6	Cálculo del ancho de la corona	58
2.5.7	Cálculo del espesor de la capa exterior	58
2.5.8	Cálculo del pie al frente del rompeolas	59
2.5.9	Cálculo del material del Núcleo	60

2.6	Cálculo de la estabilidad estructural de la zona de protección costera de playa Don Lino	61
2.6.1	Factor de seguridad contra el deslizamiento	61
2.6.2	Factor de seguridad contra el vuelco	62
2.7	Mínima elevación de la cresta del rompeolas	62
2.8	Cálculo de la altura total del elemento	62
2.9	Cota de corona del rompeolas con respecto al nivel de aguas tranquilas (Z_c)	63
2.10	Profundidad por encima de la banquetta	64
2.11	Determinación del ancho del rompeolas	64
	Conclusiones del Capítulo	66
	Conclusiones Generales	67
	RECOMENDACIONES	68
	Bibliografía	69
	Anexos	72

INTRODUCCIÓN:

A escala global las playas son escenarios naturales capaces de brindar importantes ingresos a la economía de regiones y países, una vez que son utilizadas por la industria turística, específicamente para el uso de la modalidad sol y playa, su creciente auge convierte las playas de excelentes condiciones naturales en áreas altamente vulnerables por la acción del hombre. En Cuba existen más de 5 746 km de costas y más de 4 000 cayos e islotes donde se localizan excelentes playas y una diversidad biológica abundante (Decreto Ley 212/2000). Las construcciones de innumerables infraestructuras turísticas que van desde hoteles, villas, como por ejemplos se pueden citar; Varadero en la Península Hicacos de la provincia de Matanzas, Cayo Coco al Norte de la provincia de Ciego de Ávila, Cayo Largo del Sur en la Isla de la Juventud y la región turística de Holguín localizada en la región norte - oriental de Cuba, se encuentran limitados en las zonas costeras en muchos casos sobre elementos morfológicos que conforman el perfil de la playa atentando contra la calidad ambiental de estos ecosistemas.

Una de las principales problemáticas que enfrentan estos polos turísticos es la existencia de procesos erosivos, situación que está determinada entre otros factores por la construcción en el pasado sobre elementos morfológicos del perfil de playa (duna, berma), extracciones de importantes volúmenes de sedimentos para la construcción, los cuales aceleraban de esta forma la erosión de las playas, resultados que afectan en la actualidad la calidad ambiental de estos escenarios (playas) en función del turismo de sol y playa.

La provincia de Holguín localizada en la región nororiental de Cuba, presenta 350 kilómetros de costa (libro de costa marítima), la cual presenta varios sectores costeros donde se ha visto una evolución en sus playas, en las cuales predominan los procesos acumulativos favorecidos por la forma espacial cóncava (caletas) de las mismas. Estas playas presentan características naturales excelentes, lo cual ha sido un factor determinante en el incremento del turismo en la región sobre todo en el de sol y playa. Estas características le permiten a la región turística de Holguín ser considerada el tercer polo turístico del país.

Pesquero Viejo, como era conocida Don Lino, fue una de las numerosas playas, que en Cuba, sufrieron el saqueo de sus arenas. En 1981, al promulgarse la Ley 33 “Protección del Medio Ambiente y el Uso Racional de los Recursos Naturales”, se suspende esta nefasta práctica que para entonces sólo había sobrevivido una pequeña playa, en la caleta este, de las dos que formaban el sector. El sector costero Don Lino, a donde van dirigidas las acciones del presente trabajo de diploma, fue uno de los sitios más conocidos y concurridos del litoral holguinero, dadas las singularidades de la villa existente allí, unido a las riquezas paisajísticas de los fondos en la plataforma marina.

Durante la segunda mitad del siglo XX en este sector de costa, se llevaron a cabo numerosas acciones que repercutieron desfavorablemente en la estabilidad física de sus dos playas y en la calidad de su paisaje natural, lo que provocó la desaparición total de la playa existente en la caleta oeste y la disminución de los niveles arenosos en la caleta este, además de considerables daños a la flora y fauna marina y terrestre. Esto condujo a que a partir de 1993 se iniciaran un grupo de estudios como sustento de las acciones que fueron emprendidas para llevar a cabo la rehabilitación ambiental de este sector costero y mitigar los impactos ambientales acumulados.

Estos estudios tuvieron como cúspide los trabajos de creación artificial de las playas ejecutados en 1999 a partir del “Proyecto Ejecutivo para la Regeneración del sector costero Don Lino”, elaborado por el Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales y Tecnológicos de Holguín (CISAT), que permitió crear una playa de más de 14 250 m² en la caleta oeste, ampliando y mejorando las condiciones naturales del sector costero, satisfaciéndose las necesidades de áreas de exposición solar y de baño en la villa turística existente allí. Luego de quince años de ejecutados los trabajos y varios eventos meteorológicos extremos, aparecen afloramientos rocosos en la cara de la playa, los cuales constituyen evidencias de la necesidad de llevar a cabo nuevos aportes de arena, ello va a tomar relevancia en el marco del programa nacional de preservación de playas de Cuba.

La presente propuesta de recuperación del sector costero Don Lino, responde a la solicitud de Inversiones Gamma S.A., de actualizar el proyecto elaborado por el Centro de Investigaciones de Servicios Ambientales y Tecnológicos de Holguín, que considera únicamente la caleta oeste, cuya playa fue creada

arterialmente en 1999, para ello, en los meses de noviembre y diciembre de 2013 fueron llevados a cabo los trabajos de campo para la recogida de la información necesaria. En el mismo se integran una serie de trabajos de investigación iniciados en 1993 y otros realizados posteriormente, que ha sido necesarios para definir las soluciones ingenieras en aras de mitigar y contrarrestar los efectos de la erosión siguiendo los estándar metodológicos para la elaboración de un proyecto de esta índole.

Teniendo en cuenta las causas y la magnitud de la erosión en Don Lino y la efectividad mostrada en su momento que tuvieron los trabajos de regeneración ejecutados en años anteriores, se propone como una posible solución, el diseño de una obra de protección costera, en forma de rompeolas sumergidos en playa Don Lino, dada sus ventajas estéticas y ecológicas, así como la necesidad de lograr una solución inmediata que pueda atenuar el déficit de áreas de exposición solar en la playa. Por tanto, de lo anterior se deriva el problema científico siguiente: **¿Cómo atenuar la erosión costera para el mejoramiento de la calidad ambiental de la playa Don lino?** Razón por la cual se hace necesario buscar la solución más práctica y positiva para el mejoramiento de la calidad ambiental y así lograr llevar esta playa a los lugares cimeros que tuvo en años anteriores.

Contando con un **objeto de investigación** que será: **Don Lino**, el mismo contará con un **campo de acción** que será **la protección de la erosión costera** situación que ha retenido que se desarrollen disímiles factores en los sistemas hoteleros, en compensación a los sedimentos perdidos en los últimos quince años luego de creada la playa artificial.

La investigación tendrá como **objetivo general**: El diseño de una obra de protección costera en forma de rompeolas sumergido.

Los **objetivos específicos** planteados son:

- ✓ Revisión bibliográfica de las obras de protección costera
- ✓ Caracterizar de manera general el entorno ambiental de la playa Don Lino
- ✓ Levantamiento de la data primaria sobre el comportamiento físico geográfico de playa Don Lino
- ✓ Diagnosticar la calidad ambiental de la playa Don Lino

- ✓ Proponer soluciones ingenieriles para atenuar la erosión de la playa Don Lino

Hipótesis: Si se diseña una obra de protección costera en forma de rompeolas sumergido para mitigar la erosión costera en playa Don Lino, entonces, habrá un mejoramiento en la calidad ambiental de la playa.

Para el cumplimiento del **Objetivo específico** se plantearon **las Tareas científicas siguientes:**

- ✓ Revisión bibliográfica de las obras de protección costera
- ✓ Caracterización de manera general del entorno ambiental de la playa Don Lino
- ✓ Levantamiento de la data primaria sobre comportamientos físicos geográficos de la playa Don Lino
- ✓ Diagnosticar la calidad ambiental de Playa Don Lino
- ✓ Evaluación de soluciones ingenieriles

Métodos teóricos:

- ✓ Análisis-síntesis: Permite llegar a síntesis científica a partir del proceso de la caracterización del objeto y del campo de la investigación sustentado en su historia y el marco teórico contextual.
- ✓ Histórico-lógico: Permite llegar a la obtención de los antecedentes que han caracterizado el campo de acción de Playa Don Lino.
- ✓ Hipotético-deductivo: Permite concebir el proceso con una lógica hipotética deductiva traducido en la elaboración de la hipótesis de la investigación, precisión en la variable de la hipótesis y manipulación de la variable independiente.

Métodos empíricos:

- ✓ Observación Científica: Permite la percepción directa del campo del objeto de investigación, o sea orienta hacia un objetivo y fin determinado dando

un conjunto de características para un mejor desarrollo del trabajo en Playa Don Lino.

- ✓ **Medición:** Permite desarrollar información numérica acerca del objeto o fenómeno, en este caso serviría para el levantamiento de la data primaria ya que pudiera ser empleado en la nivelación topográfica y en la escala de trabajo a realizar en Playa Don Lino.

Con el desarrollo de esta investigación se podría alcanzar como **aporte:** La propuesta de una obra de protección costera para el mejoramiento en la calidad ambiental de la playa Don Lino con el objetivo de convertirla en un importante destino dentro de la región turística holguinera de manera que logre satisfacer las expectativas de los turoperadores y turistas.

Que a su vez contará con una **novedad científica** que estará basada en el diseño de una obra de protección costera, el cual nunca ha sido implementado en la región oriental de nuestro país (Holguín), por lo que será una primicia la utilización de este tipo de estructura y los resultados que ella pueda brindar, para ello se desarrollarán métodos buscando encontrar el diseño más económico y eficaz que ayude en la lucha de atenuar este tipo de fenómeno y por tanto pueda brindar estabilidad y confort a la playa.

La **actualidad de la investigación:** Radica en que se continúen las línea de investigación del Departamento de Ingeniería Civil dándole un impulso significativo, ya que estarían conjuntamente trabajando con la institución de investigaciones del Servicios Ambientales y Tecnológicos de Holguín (CISAT), en cuanto a conservación de sistemas naturales contruidos ante los cambios climáticos, para el mejoramiento de las playas y poder convertirla en un destino importante en la región turística de Holguín.

Estructura del Informe de la Investigación:

Para formalizar la investigación ofrecida se conformó un informe que cuenta con dos capítulos. En el capítulo I se abordarán las premisas teórico metodológicas para el diagnóstico de mejora para la calidad ambiental en playa Don Lino, con énfasis en los parámetros del oleaje, transporte de sedimento y como otros países enfrentan este tipo de fenómeno. En el capítulo II se calcula la

transformación del oleaje teniendo en cuenta la altura de la ola en los casos de eventos sinópticos extremos fundamentalmente de categoría tres, y con ello se calcularán los métodos de Goda y Hudson para el diseño de una obra de protección costera, evaluándose las soluciones que nos brinden mejor estabilidad y condiciones naturales en aras de obtener resultados positivos en el desarrollo del diseño de la estructura, elaborando con ello la propuesta más positiva y a la vez más eficaz para contrarrestar los efectos de la erosión en Playa Don Lino.

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS – METODOLÓGICOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE PLAYA DON LINO

Introducción al Capítulo.

El inadecuado manejo al que estuvo sometido el litoral Don Lino durante más de cuatro décadas, con el vertido de residuales sin tratamiento o pobremente tratados hacia el mar, la construcción de instalaciones sobre bermas y dunas, unido a la extracción de arena para la construcción, condujo a que se produjera la desestabilización del sistema y en consecuencia al deterioro ambiental del ecosistema costero en general.

Por tanto, el proceso erosivo se encuentra manifestado particularmente a lo largo de la playa, lo que ha conllevado a la formación de escarpes y afloramientos rocosos en toda la cara de la playa, provocando la pérdida de más del 62% de la arena vertida como solución blanda en su momento, evidenciándose que la playa está necesitada de un aporte más eficaz que logre atenuar este fenómeno y así poder lograr estabilizar y brindar mejoras en la calidad ambiental en la playa.

1.1 Teorías en torno al Oleaje

1.1.1 Descripción del Oleaje:

Las olas son ondas que se desplazan por la superficie de los mares, océanos, lagos, canales, acompañadas por corrientes locales, las cuales se distingue por dos movimientos, el primero es la oscilación del medio movido por la onda desarrollando un movimiento circular, el segundo es la propagación de la onda que se produce porque la energía se transmite con ella, trasladando el fenómeno con una dirección y velocidad.

Su forma más simple es la sinusoidal por lo que el fenómeno del oleaje es provocado generalmente por el viento, cuya fricción con la superficie del agua produce un cierto arrastre, dando lugar a la formación de rizaduras (arrugas) en la superficie del agua, llamadas ondas u olas capilares de solo unos milímetros de altura y hasta 1,7 cm de longitud de onda.

Al intensificarse el efecto de fricción y las pequeñas rizaduras iniciales, dejan paso a las olas de gravedad que tienden a restaurar la forma lisa de la superficie del agua provocando el avance de la deformación con la tensión superficial y la gravedad, manteniendo las ondas capilares esencialmente solo por la tensión

superficial, mientras que la gravedad es la fuerza que tensa y mueve las olas más grandes.

A mayor altura de las olas, mayor es la cantidad de energía que pueden extraer del viento de forma que se produce una realimentación positiva, dependiendo fundamentalmente de tres parámetros, viento, velocidad y la estabilidad de su dirección, de esta manera los oleajes mayores se alcanzan en circunstancias meteorológicas en que se cumplen estas condiciones.

1.1.2 Efectos que definen a las olas:

El efecto que define y que a su vez causan las olas sobre las playas llega a tener efectos constructivos y destructivos:

- ✓ **Efecto Constructivo:** Es cuando las olas son pequeñas y de poco período o sea tienden a mover poco sedimento, sobre todo cerca de la orilla, tendiendo a acumular la arena en la parte alta de la playa, formando la llamada playa seca.
- ✓ **Efecto Destructivo:** Depende fundamentalmente por las olas altas, de períodos largos, con gran longitud de onda, que a su vez pueden mover el sedimento más profundo provocando una importante corriente del fondo hacia el mar que progresivamente va erosionando la playa seca.

Tabla 1: Clasificación de las olas según su profundidad relativa (Vander Velden 2000).

Clasificación	H/L
Aguas Someras	$H/L < 1/20$
Aguas Transicionales	$1/20 < H/L < 1/2$
Aguas Profundas	$H/L > 1/2$



Figura 1. Definición de aguas someras (Vander Velden 2000).



Figura 1.1. Definición de las aguas transicionales (Vander Velden 2000).

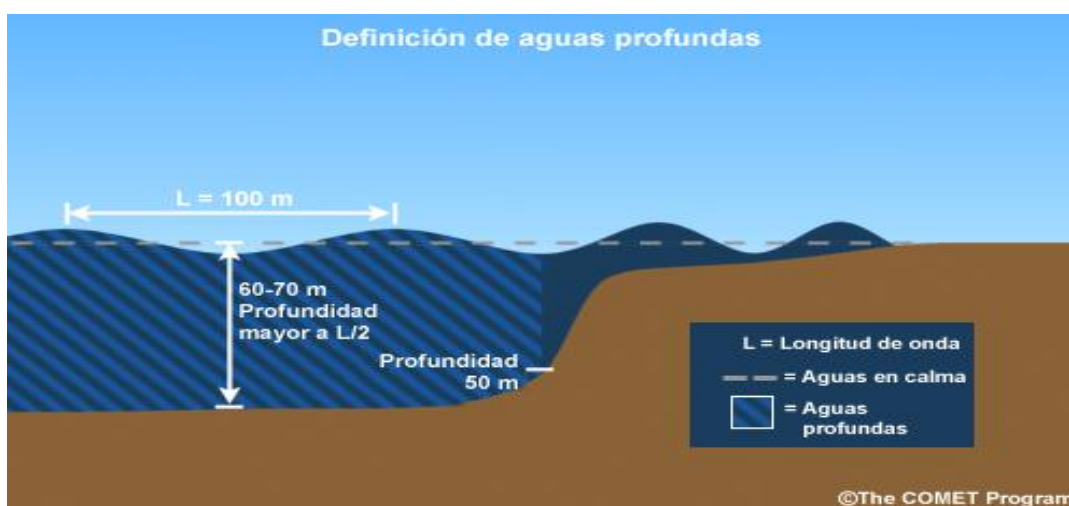


Figura1.2 Definición de las aguas profundas (Vander Velden 2000)

1.1.3 Parámetros que definen las olas.

Los parámetros que definen una ola simple creciente que se propaga sobre un fondo horizontal son:

- ✓ Longitud de onda (λ): Es la distancia horizontal entre dos crestas o dos valles.
- ✓ Altura (H): Es la diferencia de altura entre la cresta y el valle de la ola.
- ✓ Pendiente (δ): Es la inversa de la tangente entre la altura y la longitud de onda.
- ✓ Amplitud (A): La mitad de longitud vertical entre la cresta y el valle de la onda (m).
- ✓ Período (τ): Es el tiempo que transcurre entre el paso de dos puntos homólogos por un punto determinado, se expresa en seg.
- ✓ Celeridad de la onda (c): Es la Velocidad de propagación de la ola.
- ✓ Números de olas (k): Representa el cambio de fase por unidad de distancia de propagación en un tiempo dado, se expresa en 1/m.
- ✓ Celeridad del grupo de olas (C_g): Es la velocidad de grupo, donde la velocidad se desplaza como un tren de olas y se expresa en (m/s).

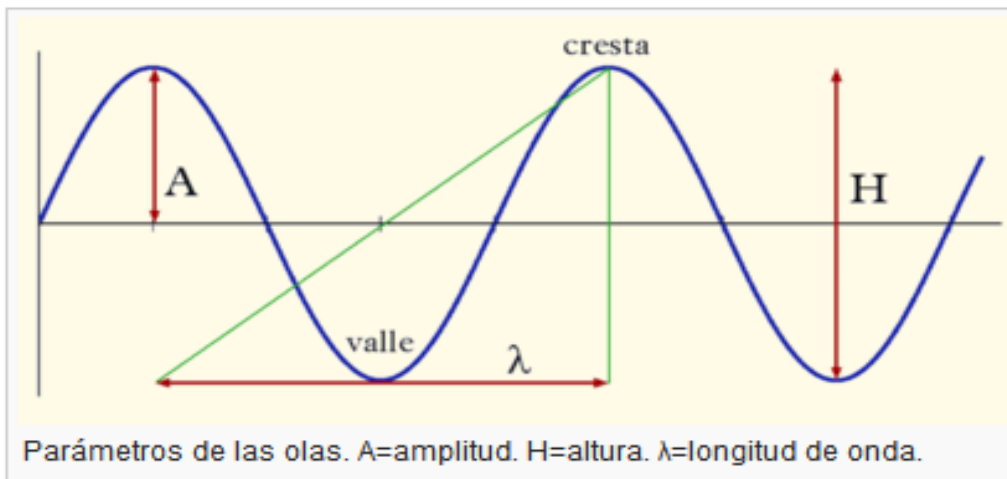


Figura1.3 Parámetros de las olas (Internet).

- ✓ Longitudes de olas (λ):

Aguas Someras: $\lambda = T\sqrt{gh} = CT$ (Ec. 1.1)

Aguas Transicionales: $\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$ (Ec.1.2)

Aguas Profundas: $\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} = Co * T$ (Ec.1.3)

- ✓ Pendiente (δ): $\delta = \arctg(H / \lambda)$ (Ec.1.4)

- ✓ Números de olas (k): $k = 2\pi/L$. (Ec.1.5)

- ✓ Celeridad de ola (c):

Aguas Someras: $C = \frac{L}{T} = \sqrt{g * h}$ (Ec.1.6)

Aguas Transicionales: $C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$ (Ec.1.7)

Aguas Profundas: $C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$ (Ec.1.8)

- ✓ Celeridad del grupo de olas (C_g):

Aguas Someras: $C_g = C$ (Ec.1.9)

Aguas Transicionales: $C_g = nC = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{\left(\frac{4\pi h}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{4\pi h}{L}\right)} \right] * C$ (Ec.1.10)

Aguas Profundas: $C_g = \frac{1}{2} C = \frac{gT}{4\pi}$ (Ec.1.11)

- ✓ Cresta de la ola: Punto donde el perfil de la ola alcanza su mayor altura.
- ✓ Valle de la ola: Punto donde el perfil de la ola tiene su nivel más bajo.
- ✓ Velocidad y Aceleración de la partícula de agua.

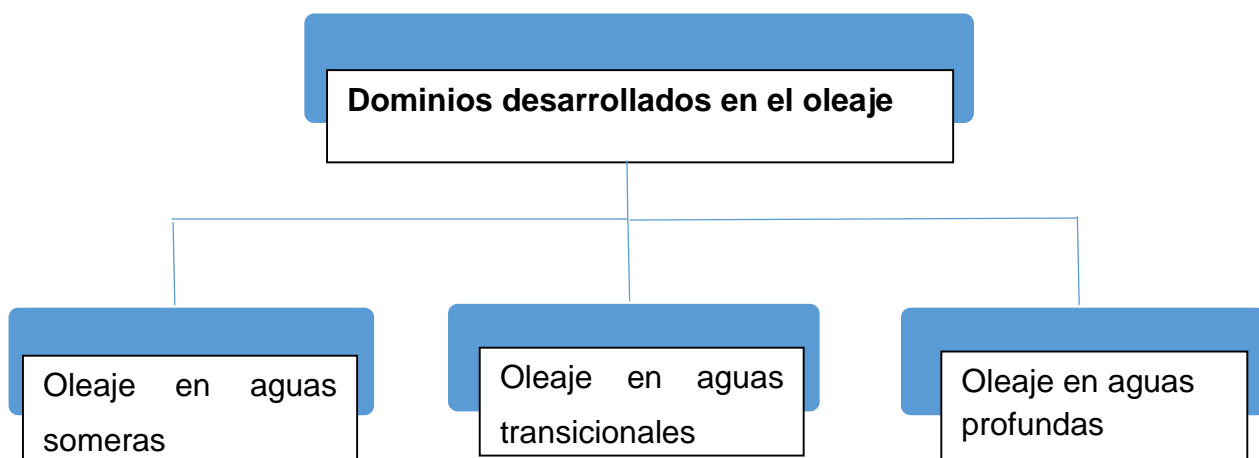
Para la proposición lineal, las velocidades, aceleraciones y líneas de las partículas son expresadas como funciones sinusoidales, o sea cuando se obtienen los valores de las velocidades horizontales bajo la cresta y bajo el valle de la ola en teoría lineal, se observa que estas tienen signos contrarios, pero magnitudes iguales, no existiendo transporte de masa en la dirección del oleaje, por lo que el recorrido de las partículas son cerradas.

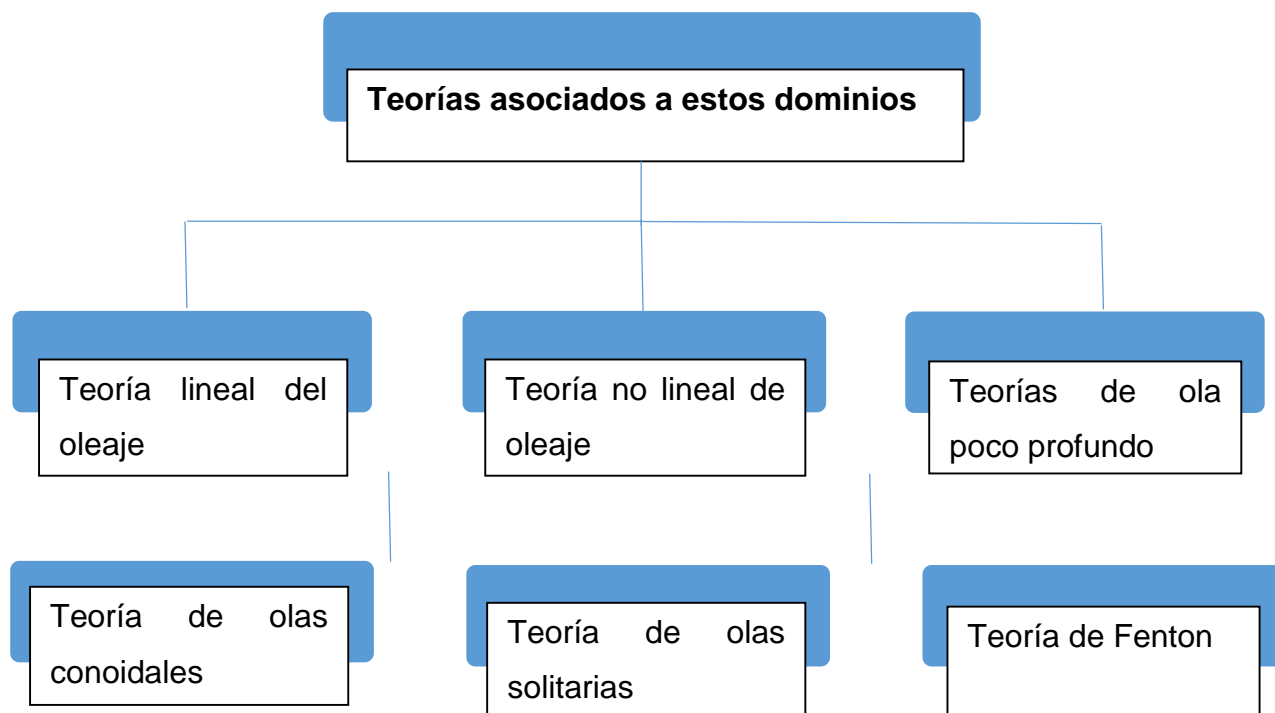
En teoría lineal, cuando se desarrolla el recorrido de la velocidad horizontal contra la velocidad vertical, la aceleración horizontal contra la aceleración vertical, y de la trayectoria horizontal contra la trayectoria vertical, se obtiene para la zona de aguas profundas una circunferencia cerrada, lográndose para las zonas de aguas intermedias y profundas una elipse cerrada.

1.2 Teoría Lineal del Oleaje.

Con el desarrollo del estudio de las olas y las fuerzas que ellas generan es fundamentalmente importante la selección del esquema adecuado para lograr una mayor eficacia en los proyectos costeros, ya que son el primer factor que determina la geometría de las playas, la proyección y el diseño a emplearse en las distintas estructuras como puertos deportivos, vías navegables, estructuras hidráulicas, (civiles y militares) de las obras costeras.

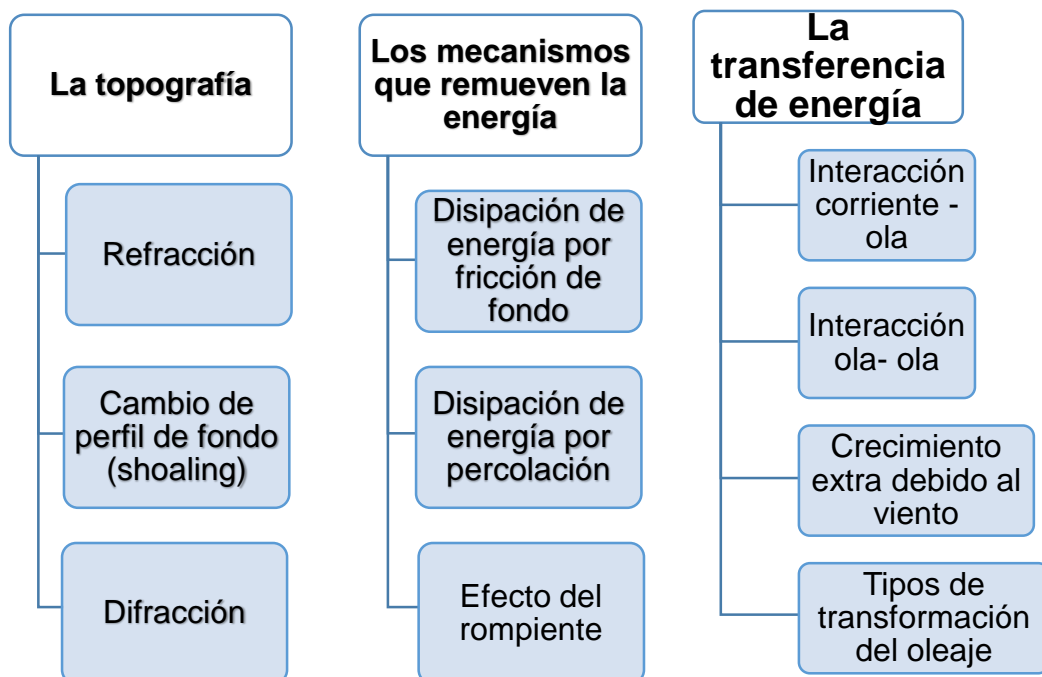
- ✓ Las teorías de oleaje más comunes asociada a estos dominios son:





1.3 Principios de la transformación del oleaje.

En esta sección, se mostrarán los principios científicos que gobiernan la transformación de oleaje. Los cuales desarrollan términos que pueden afectar la altura de ola en su movimiento hacia la línea de costa dependiendo de:



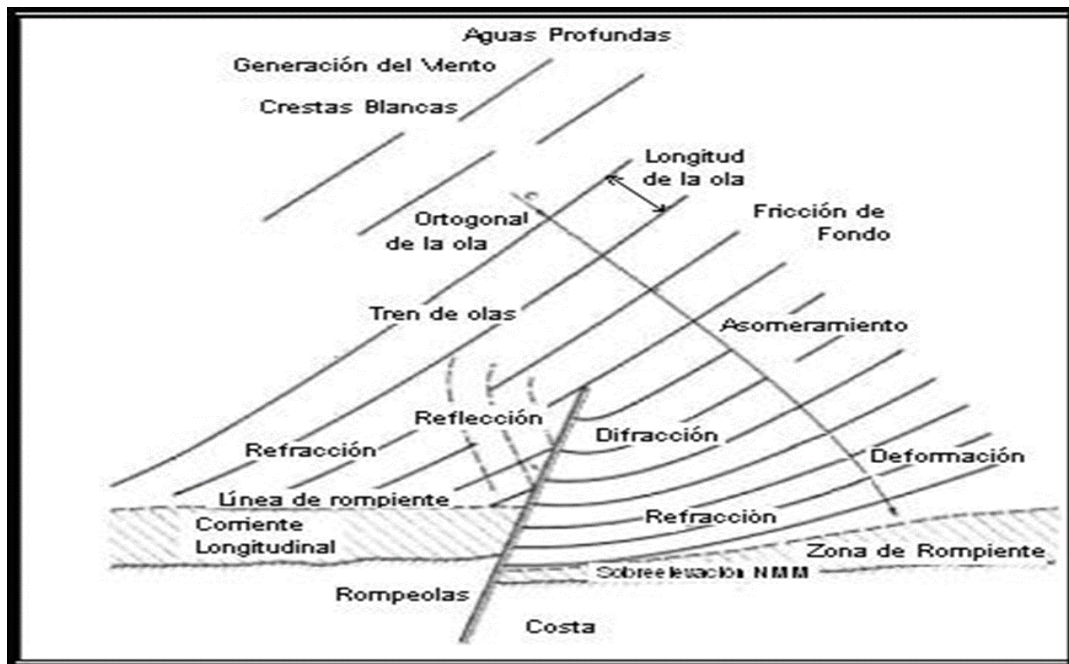


Figura 1.4 Procesos de la ola en proximidades a la costa (Vander Velden 2000)

1.4 Refracción del Oleaje.

Esta acción se ve reflejada cuando un tren de ondas incurriendo oblicuamente acercándose hacia la costa delimita un cambio de profundidad, de forma tal que la parte del frente de la onda viaja en aguas más someras por la influencia del fondo sobre el tren de olas, que a su vez contribuye a modificar el ángulo de incidencia del oleaje, con menor celeridad que el resto dando lugar a un cambio de dirección.

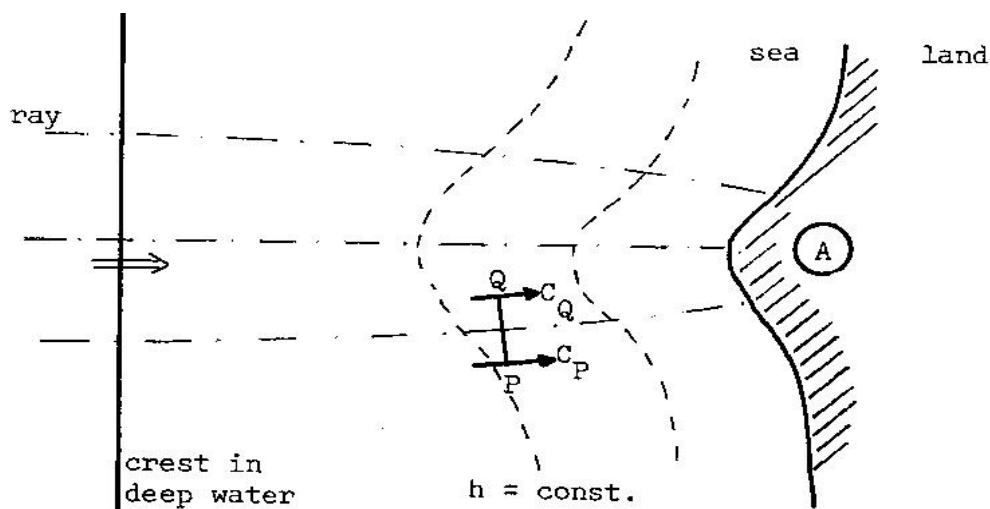


Figura 1.5 Acción de la refracción (Vander Velden, 2000 y Kamphuis, 2002.)

Cuando la ola se aproxima a la costa alcanzando a ser gradualmente poco profunda, entonces la cresta de la ola produce un ángulo con los contornos de la profundidad, esta se modificará, estando la evidencia que las secciones de la cresta en las partes más profundas viajarán con mayor celeridad que aquellas en los sectores de aguas poco profundas y por consiguiente, la cresta de la ola girará el ángulo entre la cresta de la ola y los contornos de las profundidades, provocando disminución notables en los contornos.

Por consiguiente, se puede expresar que la refracción puede ser correspondida al efecto del fondo y a la presencia de las corrientes.

1.5 Difracción del Oleaje.

Este tipo de fenómeno se caracteriza por la cesión lateral de energía prolongado en la cresta y, por tanto, en la dirección perpendicular a la dirección predominante de la propagación, la amplitud desarrolla y presenta una discontinuidad dando lugar a que ocurran grandes variaciones.

En el caso de que la ola encuentra un obstáculo (banco de arena, rompeolas), seguidamente una parte de la cresta de la ola se reflejará hacia el mar, el resto doblará en torno al obstáculo y así entrará en la zona protegida por el mismo. El fenómeno de la difracción ocurre cuando hay cambio notable en la energía de la ola a lo largo de su cresta. (Vander Velden, 2000.).

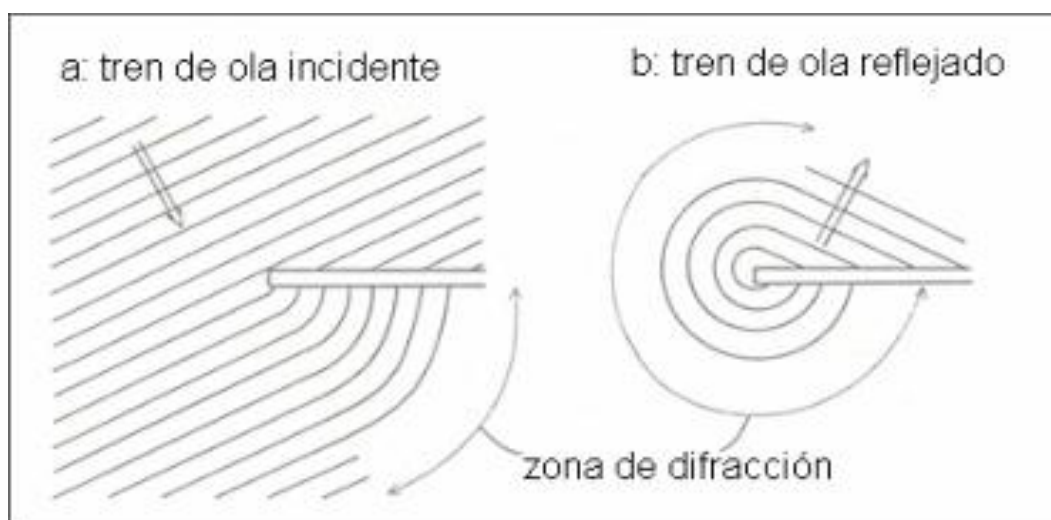


Figura 1.8 Difracción de un tren de olas (Kamphuis, 2002)

1.6 Reflexión del Oleaje.

La reflexión consiste en la devolución en sentido inverso de una parte de la energía en forma de oleaje, o sea, cuando la propagación de la ola se encuentra con un obstáculo, ya sea una isla, pendiente fuerte del fondo, discontinuidades batimétricas, rompeolas, etc., dependen mayormente de las pendientes que puedan presentar los obstáculos, que a medida que se acercan a la costa son capaces de verse transformada por la reflexión que posee el lugar en diferentes tipos de estructuras ya sean naturales o artificiales. Este fenómeno se ve reflejado no solo en las playas también en acantilados, diques o sea cambia por completo el campo de ondas inducidos por la de ondas incidentes, por lo cual, este fenómeno ocupa gran relevancia dado que las ondas reflejadas que continuamente cursan su camino en dirección al mar abierto, tendiendo a quedar atrapadas por el efecto de la refracción.

1.7 Efecto del fondo (asomeramiento).

El asomeramiento se evidencia como una variación de la altura de la ola causada por el efecto de la rugosidad y la pendiente del fondo en aguas someras, es decir la velocidad y la longitud de la ola disminuyen gradualmente mientras que la altura aumenta, para un periodo que se mantiene constante. (GIOC 2000)

1.8 Rompiente de las Olas.

Las zonas predominantes al fenómeno rompiente, toman un lugar en los procesos hidrodinámicos complejos, siendo a su vez más evidente la disipación de energía debido a la ruptura de la ola, donde las cuales pueden ser fácilmente observadas que la energía de la ola es transformada en turbulencia.

Uno de los primero en el mundo en desarrollar el estudio para la clasificación de los tipos de rompiente fue el español, Iribaren. Battjes (1974), definiendo el Parámetro de Rompiente, el cual nos permite definir los tipos de rompiente, relacionando pendiente de fondo y características del oleaje, los cuales se ven reflejados en la **tabla 1.2**.

Tabla 1.2 Tipos de rompiente según el Parámetro de Rompiente

Tipos de Rompientes	Parámetros de Irribaren en Aguas Profundas, ξ_o	Parámetros de Irribaren en rotura, ξ_b
Continua	<0.5	<0.4
Rodante	$0.5 - 3.3$	$0.4 - 2$
Colapsante	>3	>2
Ondulante	>3	>2

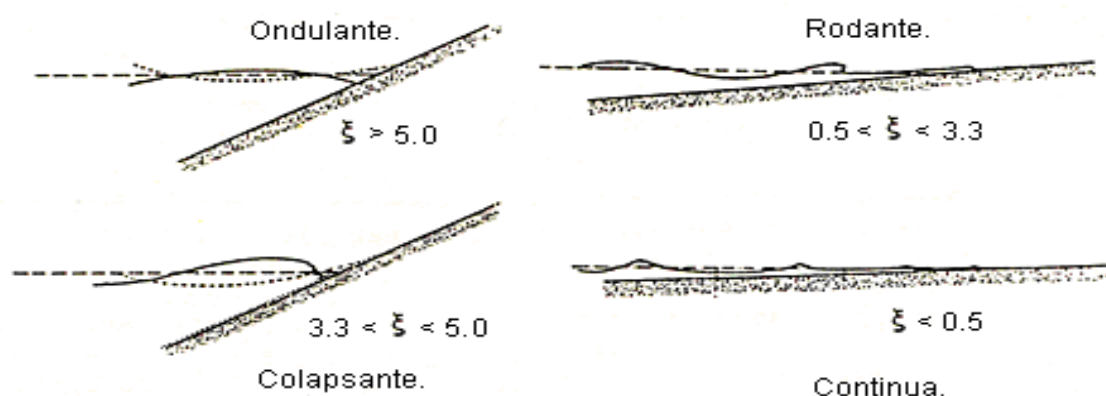


Figura 1.9 Tipos de rompientes (Vander Velden 2000)

- ✓ **Rompiente Continuo (spilling):** Se ve general manifestado en las pendientes suaves, en forma parecida a la espuma en la parte superior de la ola, que continúa propagándose con cambios de forma pequeños y perdiendo progresivamente altura.
- ✓ **Rompiente Rodante(plunging):** La parte delantera de la cresta va caminando sobre el seno precedente hasta quedar vertical y caer como un chorro sobre este. Dejando encerrada una bolsa de aire (tubo) bajo ella.
- ✓ **Rompiente colapsante (collapsing):** Al colapsar hacia delante la parte delantera de la cresta en forma vertical, generalmente sin producir bolsa de aire atrapada.
- ✓ **Rompiente Ondulante (surging):** Es el efecto de la ola cuando asciende y se retira suavemente de la pendiente sin producir escasamente espuma.

Estos disímiles tipos de rompiente nos muestran una gran variedad en el progreso de disipación de energía que a su vez producen distintos fenómenos de generación de corrientes, transporte de sedimentos y reflexión del oleaje en la playa. (CEDEX).

1.9 Sedimentos de las Playas:

En general las playas son un depósito de sedimento no consolidado que varían entre arena, grava y canto rodado, situada entre la línea de máximo alcance del oleaje y una profundidad que corresponda a la zona donde deja de producirse un movimiento activo de sedimentos debido a la acción del oleaje, ya que no es un plano aluvial o costa de manglar, que se extienden desde la base de la duna o el límite donde termina la vegetación hasta una profundidad por donde los sedimentos ya no se mueven. Generalmente esta profundidad varía entre playa y playa dependiendo de su batimetría, geomorfología y el oleaje.

1.9.1 Transporte de sedimentos:

El transporte de sedimentos, es asociado a los fenómenos generadores de la variación en el nivel del mar, constituyendo una de las causas de la erosión en las playas, por lo cual, los sedimentos son movidos fundamentalmente por los rompientes de las olas y por las corrientes que las mismas generan, los cuales llegan a presentarse perpendicular o paralelo a la línea costera, en ambos casos el análisis debe de efectuarse teniendo en cuenta las condiciones morfológicas e hidráulicas actuantes. Estas corrientes dentro de las zonas rompientes, son usualmente más importante que las corrientes marinas, y consecuentemente, tienen una mayor capacidad para transportar sedimentos.

1.9.2 Tipos de Transporte de sedimentos:

- ✓ **Sedimento Litoral:** Es cuando el movimiento de las partículas se produce en respuesta al oleaje. (El mismo puede presentarse perpendicular o paralelo a la línea costera, teniéndose en cuenta en ambas el análisis de las condiciones morfológicas e hidráulicas actuantes).

1.10 Software empleado:

A lo largo de los años se han utilizado una variedad de modelos y software buscando utilizar para cada estructura de protección costera el más óptimo, económico, eficaz, que brinden la información necesaria para atenuar los problemas del fenómeno de la (erosión), ellos son:

- ✓ CRESS804:
- ✓ CRESSRWS:
- ✓ ACES:
- ✓ BFM:
- ✓ BEACH PROGRAM
- ✓ EROS:
- ✓ ESI:
- ✓ MEM:
- ✓ Oluca-Q:
- ✓ Copla-Q:

1.11 Obras de protección Costeras:

Entre las medidas de tipo ingenieril, desarrolladas y más utilizadas en la actualidad por el hombre son:

- ✓ **Soluciones duras:** (Groins ó espigones, jetties, enrocamientos o rompeolas, etc...)
- ✓ **Soluciones blandas:** (Suministro, vertimiento o realimentación artificial de arena)
- ✓ **Soluciones no convencionales:** (Biotecnología, elementos de materiales locales, relocalización de estructuras, etc...)
- ✓ **Soluciones Mixtas:** (Combinación de las anteriores)

Rompeolas: Los rompeolas o escollera son estructuras no lineales construidas con bloques de rocas con dimensiones considerables, o con elementos prefabricados de hormigón, ya sean, cubos, paralelepípedos, dolos y tetrápodos o Cuadrípodos, los mismos son colocados dentro del agua, en ríos, arroyos o próximos a la costa marítima en playas, con la intención de aumentar el flujo en varias direcciones determinadas, reducir el oleaje o evitar la decantación de arena.

1.11.1 Ingeniería Costera, principales tendencias.

1.11.1.1 Obras de protección costeras.

La erosión y en consecuencia, el retroceso de la línea de costa puede ser apreciado a lo largo de la mayoría de las playas del mundo y en Cuba, aun en aquellas donde la intervención del hombre es casi nula, donde diversos estudios realizados evidencian que son muy variadas las causas, aunque generalmente sus principales problemas se encuentran evidenciados en el crecimiento poblacional, los ecosistemas costeros y los efectos que llegan a causar los cambios climáticos.

Lo que esto ha conllevado a que el hombre desarrolle la capacidad para elevar el nivel de protección de las infraestructuras costeras, con las representaciones de un conjunto de obras y sistemas construidos e implementados para la defensa y estabilización del litoral contra los embates de las inclemencias del mar. Por ende, los elementos que han logrado satisfacciones en defensa a estos eventos son: 1)prevenir la erosión de la línea de costa ,sea esta natural o artificialmente ganada al mar; 2)prevenir inundaciones en zonas costeras causadas por sobrelevaciones del nivel del mar (de alta frecuencia con oleaje generado por viento, con períodos comúnmente de 5 a 15 segundos de baja frecuencia como las sobrelevación por tormenta, con períodos de horas o días); 3) proteger contra el oleaje a las entradas y recintos de puertos o marinas, generando zonas de calma. Estas son algunas de las medidas que se han tomado en diferentes países para lograr mitigar de una forma este tipo de fenómeno.

A continuación se muestra ejemplos de cómo algunos países trabajan arduamente para lograr retener el fenómeno de la erosión:

Francia:

En Francia existe actualmente una de las tasas de retroceso costero más espectaculares de todo el continente europeo, ya que la erosión retranquea la orilla de sus playas a unos 23 m/ año.

Su principal agente es el oleaje que durante el desarrollo de los fenómenos tormentosos suele alcanzar su máxima capacidad erosiva trasladando el material de las orillas (cantos y arenas)hasta barras submarinas, o a expensas de las corrientes que las puedan trasladar a otros lugares, esto ha conllevado a un proceso de degradación que se deriva de la acción combinada de factores naturales y antrópicos, en definitiva, todo ello, supone un auténtico reto para la

gestión costera del país que vive principalmente de su litoral. Hasta el momento las soluciones aportadas han estado siempre dirigidas a la construcción de 30 diques, con variedad de espigones y otros tipos de infraestructuras (rompeolas) que no han conseguido resultados positivos.

México:

En el caso de México es uno de los países con mayor extensión litoral en el mundo, relativo a su superficie, por ende, una de sus mayores riquezas, por lo que la protección costera obedece generalmente a necesidades e intereses más localizados, para lograr la estabilidad de las playas, ya sean para fines turísticos o intereses de particulares por conservar estable su frente playero,

En la Bahía de Todos Santos, B.C., ubicada sobre la costa Noroccidental de la península de Baja California, el crecimiento urbano y de infraestructura en la costa ha generado cambios en la dinámica costera que resultan en una crecida de la vulnerabilidad de la costa ante fenómenos naturales como el aumento en el nivel del mar y la erosión costera (Lizárraga & Fisher 2008).

Para ello han tenido que desarrollar alternativas que logren enfrentar esta vulnerabilidad, que se ha basado en la construcción de 50 obras de protección costeras entre espigones, muros, rompeolas y enrocamientos (también conocidos como acorazamientos).



Figura 1.10 (muros construidos en la región Norte de la Bahía de Todos Santos)



Figura 1.11 (Enrocamientos construidos en la región Sur de la Bahía de Todos Santos)



Fig.1.12 (muro colapsado en la región Sur de la Bahía)

Tanto es apreciable así, que los proyectos de protección costera se encuentran interactuando de manera activa con el medio, como se puede observar en la (Fig.1.12), obras construidas a base de concreto, presentando fracturas que la conllevaría a que colapsaran algunas de sus secciones, producto a la erosión en los costados y en la parte inferior,



Fig.1.13 (Enrocamientos construido en la región Norte de la Costa de la Bahía de Todos Santos visiblemente dañada por la acción del oleaje)



Fig.1.14 (Muro construido en la región central de la Costa de la Bahía de Todos Santos que presenta erosión por el oleaje en su base)

Ecuador:(Malecón de la Libertad)

Se presentan diseños de obras de protección costeras que son requeridas para desarrollar el nuevo Malecón del cantón de la Libertad. Los mismos han sido concebidos para estabilizar el sector costero junto al malecón, el cual sufre un fuerte proceso erosivo desde hace varias décadas.

Para ello se evaluaron las siguientes alternativas de diseño para la protección costera buscando la más eficaz y capaz de atenuar el fenómeno de la erosión.

1. Reconstrucción integral del muro marginal de enrocado.
2. Escolleras costa afuera y muro marginal de enrocado.
3. Regeneración de la playa.

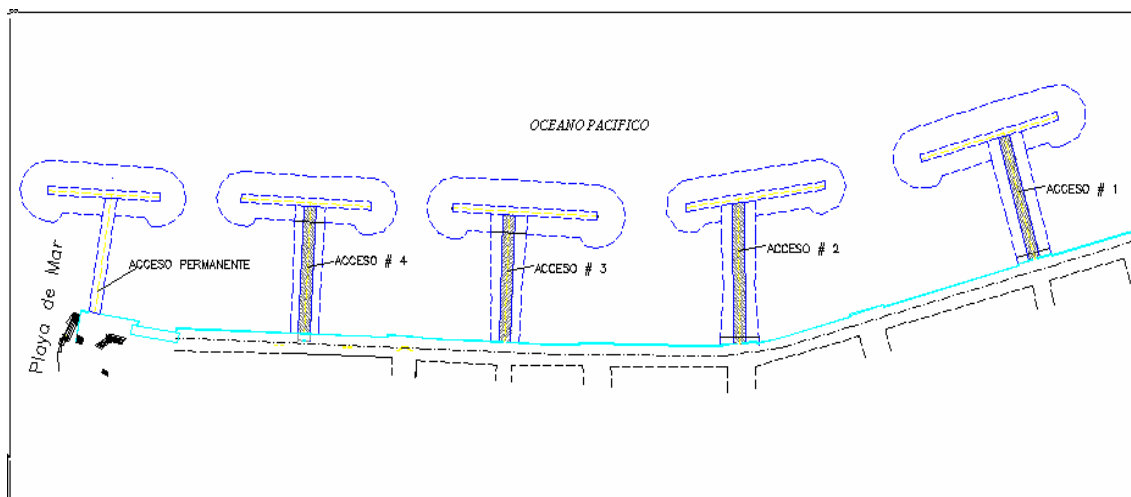


Fig. 1.15 (Se presenta la implantación de escolleras costa-afuera)

En función de las soluciones propuestas se consideró la segunda por ser la más eficaz, económica y positiva para controlar la erosión de la costa, la misma consistió en la construcción de cinco escolleras (espigones-rompeolas) costa afuera y en la reconstrucción integral del muro de contención de enrocado. Hasta la fecha se han logrado construir las tres primeras escolleras con resultados satisfactorios que indican que la erosión de la costa ha sido controlada en el sector de estas estructuras.

Argentina:

En las playas del Sur de la Ensenada de Mogotes, al agravarse la situación erosiva, como solución, se planificó la construcción de siete rompeolas en la zona y la construcción de la prueba piloto del primer arrecife sumergido multipropósito, como un cambio de paradigma en la gestión costera, construyéndose sólo tres rompeolas, en el caso de los de más propuestos fueron desvinculados producto a que esas estructuras iban a acumular arena formando tómbolos en los primeros 500 metros (como las escolleras en forma de herradura), esta propuesta no ha cumplido con los objetivos trazados en la costa marplatense, por lo que se ha desarrollado un cambio en el paradigma en defensa de la protección costera con la construcción de arrecifes con el objetivo de aflorar el Macizo de Tandilia en el Océano Atlántico, haciendo romper las olas de tormenta mar adentro y permitiendo el transporte sedimentario corriente abajo.

Estos arrecifes sumergidos multipropósito, mantienen el carácter natural de las playas aumentando sus estabilidad, permitiendo su utilización para los deportes

que utilizan las olas surfeables y generando una zona de aguas tranquilas en la costa, sin alterar el perfil natural costero como en el caso de las escollera.

Cuba:

Cuba por su condición de isla se ve afectada constantemente por diferentes fenómenos meteorológicos adversos que atacan sus costas y provocan grandes daños, estudios realizados por Juanes (1996) ,sobre la base de un inventario de 140 playas muestran que en ese momento el 86% de las playas se encontraban afectada por la erosión, estando determinadas fundamentalmente por fenómenos naturales, sobre la base de 41 playas interiores muestran que este tipo de fenómeno(erosivo) apreciado se debe fundamentalmente a factores antrópicos, reportando retrocesos medios de 1m a 3m para la mayoría de las playas del interior centro y occidente del país, por la cual se han tomado un grupo de medidas para lograr evitar que se siga extendiendo por nuestras costas este fenómeno. Para ello el diseño de un espigón de fin de playa en cayo Libertad, Punta Hicacos (Varadero) forma parte del manejo para la protección de las zonas costeras.

Sin embargo, al igual que el resto de las playas del occidente del país, el sector costero evidencia la invasión de las lagunas costeras por material arenoso, la caída de árboles, la formación de escarpes en la duna y el afloramiento de turba frente a la playa, siendo necesario tomar medidas para la conservación y mejoramiento de toda la franja litoral, principal recurso turístico del Polo.

Para estabilizar el sector de playa en el extremo este de Cayo Libertad, se proyectó un espigón con sus dimensiones correspondientes para tratar de alguna manera de frenar o atenuar este fenómeno, la misma estará sometida a los efectos de los fuertes oleajes generados por eventos meteorológicos como es el caso de los huracanes, según la información aportada por el Instituto de Meteorología de Cuba, durante el período 1800-2005 (205 años).

El espigón servirá de contención lateral a la arena que es transportada por efecto de la deriva litoral hacia el Canal de Buba, contribuyendo a estabilizar este sector de playa al favorecer la acumulación de sedimentos, el incremento del ancho de playa y la protección del borde costero para uso turístico.

En cuanto a la región nororiental, incluyendo las costas interiores de las numerosos bahías, donde también se presentan costas exteriores teniendo la

singularidad de estar expuesta al embate directo del oleaje oceánico, para ello Rodríguez (2006) realizó un estudio en 99 de las 139 playas existentes con el objetivo de hallar las causas y la magnitud exacta del nivel de erosión existente, encontrándose como evidencia erosiva la consideración de la presencia sostenida de escarpes en bermas y dunas, la caída de grandes árboles sobre la costa, la presencia de tocones de árboles en la zona de baño, la aparición de sustrato rocoso intermareal y en particular el retroceso de la línea de costa, este estudio nos representa el 71,2% del total de las playas existentes en la región, demostrando los resultados según su génesis, extensión, ubicación, estado de conservación entre otros factores, estando en el 58,6% de los casos afectados por procesos erosivos como mostramos en la tabla siguiente:

Tabla 1.3 Distribución de las playas erosionadas por provincias

Provincias	Total Existente	Total Estudiada	%	Total Erosionadas	%
Camagüey	1	1	100	1	100
Las tunas	40	29	72,5	17	58,6
Holguín	67	47	70,1	30	63,8
Guantánamo	31	22	71	10	45,4
Total	139	99	71,2	58	58,6

Aunque este comportamiento es variable a lo largo del litoral, estando representado en la tabla anterior las playas de Holguín con un 63,8 % son las más afectadas por el proceso erosivo, correspondiendo de este total 36,7 % a causas naturales, el 20 % a causas antrópicas y el 43,4% a la combinación de ambas causas.

Demostrándose que los procesos erosivos en esta nuestra región se encuentran determinados por una amplia diversidad de factores y fenómenos, independientemente de su tipo y constitución geológica.

1.11.2 Análisis histórico de los problemas erosivos.

1.11.2.1 Antecedentes del fenómeno de la erosión en Playa Don Lino.

Durante la década de los años 60 y 70 del siglo XX, muchas playas cubanas se convirtieron en fuente de abastos de áridos para la industria de la construcción, así nacieron cientos de miles de viviendas, se pavimentaron numerosas calles y aceras, y se construyeron cientos de granjas agropecuarias, industrias, etc. Don Lino fue unas de las numerosas playas que sufrieron saqueo de sus arenas que para aquel entonces, producto a este nefasto evento solo pudo sobrevivir una pequeña playa en la caleta este de las dos que formaban el sector.

La aparición de afloramientos rocosos en la cara de la playa de la caleta este, unido a la ausencia de playa en la caleta oeste, motiva en 1993, a la realización de los primeros estudios por parte del Laboratorio de Dinámica Costera del Instituto Cubano de Hidrografía (ICH) en Holguín y se obtienen los primeros resultados sobre el funcionamiento morfodinámico del perfil de playa.

Figura 1.12Caleta oeste, sector costero Don Lino 1997



En 1997, dicha institución elabora el Proyecto técnico de Regeneración de la Playa Don Lino proponiendo la creación de una playa artificial en la caleta oeste para el mejoramiento de las condiciones de baño de la caleta este, además del reordenamiento y ambientación paisajística de todo el sector costero a petición de la Dirección de Inversiones de Cubanacán en 1999, el Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales y Tecnológicos de Holguín (CISAT).

El trabajo consistió en el vertimiento de 40 015 m³ de arena a lo largo de 300 m de costa para una densidad media de 133.4 m³/m lineal de playa, para ello se utilizaron como préstamo las arenas del yacimiento Bariay localizado en la bahía del mismo nombre. La extracción de la arena se realizó con la draga de succión estacionaria (DSE) XXX Aniversario de la Empresa de Obras Marítimas del MICONS. Una vez, extraída la arena y depositada en tierra, los trabajos consistieron en verter la arena directamente sobre la costa, para lo cual se utilizaron camiones de volteo con capacidad de hasta 10 m³.

Los estudios realizados con posterioridad al vertimiento demostraron una alta efectividad de los trabajos de creación artificial de la playa, Rodríguez y Córdova (2010), reportan que ocho años después de ejecutados los trabajos, la playa aun retenía el 62.63 % de las arenas vertidas aunque con tendencia a perder arena, cuestión que era de esperar pues se trata de una playa creada de manera artificial, cuya existencia está ligada a los aportes externos.

Figura 1.13 Inicio de los trabajos de regeneración, julio de 1999





Figura 1.14 Playa Don Lino, luego de ocho años de ejecutados los trabajos

En el año 2008, posterior al paso de la tormenta tropical Hanna y el huracán Ike, aparecen afloramientos rocosos en la cara de la playa, los cuales se han hecho persistentes luego del paso de la tormenta tropical.



Figura 1.15 Isaac y el huracán Sandy en el año 2012, Afloramientos rocosos

Ello constituye una evidencia de la necesidad de llevar a cabo nuevos aportes que logren de una manera más efectiva desde el punto de vista económico atenuar la erosión existente y a su vez suplir el déficit de arena en el balance sedimentario de la playa, para así lograr estabilizar nuevamente la línea de costa.

1.11.3 Características del litoral.

Este sector de costa está formado por dos caletas en la que se ubican las playas Don Lino (al Este) y Pesquero Viejo (al Oeste), ambas separadas entre sí por un saliente rocoso que forma acantilados activos de poca altura.

Hacia el sector costero este, aparece una terraza y trechos de acantilados activos de 4 m a 5 m de altura sobre los que se desarrolla el lapiés y otras formas cársicas litorales. La parte posterior de esta terraza y las porciones más bajas del acantilado, está ocupada por una playa fósil constituida por arenas organógenas de granulometría gruesa, cuya parte posterior ha sido muy modificada por el saqueo de sus sedimentos.

La misma posee una cara de 12 a 15 m de ancho, con una fuerte pendiente y una amplia berma que oscila entre los 18 y 60 m, con pequeñas dunas en proceso de formación.

El área de baño está constituida por fondos rocosos, con algunas porciones de arena y profundidades medias que oscilan entre 1.4 y 1.8 m. La comunicación directa con el mar es antecedida por la continuidad del arrecife coralino, que se extiende de manera casi continua, casi paralelo, respecto a la línea de costa. Esta zona de arrecifes, está soportada por fondos de fuerte pendiente, elevándose suavemente en dirección a la costa hasta casi 1 m respecto al NMM. Ello la convierte en una zona de rompientes y de defensa de la playa ante la acción de los oleajes extremos.

1.11.4 Régimen hidrometeoro lógico.

Para entender los procesos que tienen como escenario las zonas litorales, es esencial la comprensión del clima marítimo y el complejo proceso de interacción de las olas y el viento. Ya que nos permite definir las particularidades del funcionamiento del sistema playa, para contener los factores energéticos encargados de provocar el transporte de sedimentos desde las zonas de producción hasta la playa y desde la misma hasta las profundidades donde la arena no puede retornar de manera natural a la costa.

1.11.5 Vientos.

La estación meteorológica de Punta Lucrecia, tiene la ventaja de ubicarse aproximadamente al Este de la zona de estudio, de caracterizar el régimen de vientos costeros directamente al final de la zona de generación del oleaje y de mantener una base de datos de muchos años de registro.

La orientación de la línea de costa en el sector costero Don Lino es aproximadamente este-oeste. Esto hace que esta zona sea afectada por olas generadas por los vientos del I y IV cuadrantes, considerados como los rumbos de interés para la zona de estudio.

Tabla 1.5 Distribución frecuencial del viento.

Velocidad del viento (km/h)	Números de casos (%) por Rumbos								Total
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Calmas	-	-	-	-	-	-	-	-	14.20
0-18	1.71	4.53	20.60	5.70	0.75	0.27	0.36	0.36	34.28
18-36	2.15	4.80	29.48	3.28	0.32	0.10	0.11	0.43	40.67
36-54	0.49	1.03	7.14	0.33	0.03	0.03	0.02	0.10	9.17
54-72	0.08	0.13	1.15	0.02	-	0.01	-	0.08	1.47
> 72	0.02	0.05	0.10	0.01	-	-	0.01	0.02	0.21
TOTAL	4.45	10.54	58.47	9.34	1.10	0.41	0.50	0.99	100.00

Estos elementos ponen de manifiesto, que sólo los rumbos Norte, Nordeste y Este, definen los procesos hidrodinámicos en este litoral y en consecuencia el comportamiento morfodinámico de la playa.

1.11.6 Frentes fríos

La entrada cada año, durante la época invernal, de numerosos frentes fríos, tiene una extraordinaria importancia para la recuperación de los potenciales arenosos y el normal funcionamiento dinámico de esta playa y muchas otras del litoral de Holguín (Rodríguez P, 2004,). Estudios realizados por el mismo autor en playa Estero Ciego (2007), evidenciaron que los frentes fríos generan porcentajes mayores de retención de las arenas, para un 68.43 % del material vertido, contra 61.88 % para los meses no afectados por frentes fríos y juegan un importante papel en el restablecimiento de las arenas en las porciones orientales de las playas.

El Instituto de Meteorología clasifica los frentes fríos atendiendo a sus tipos, de acuerdo a las condiciones sinópticas que les dan origen y también según las intensidades de sus vientos. Esta última clasificación consideramos que es la más útil desde el punto de vista práctico, la misma es la siguiente:

- ☑ Débiles: Aquellos frentes cuyos vientos no sobrepasan los 35 Km/h.
- ☑ Moderados: Los frentes cuyos vientos tienen velocidades entre 36 Km/h y 55 Km/h.
- ☑ Fuertes: Los frentes con vientos superiores a los 55 Km/h.

Del total de frentes fríos que llegan a Cuba, sólo el 57 % afectan al litoral de Holguín. Estos en su desplazamiento van perdiendo intensidad y llegan en su mayoría débiles e incluso, en ocasiones ya disipados.

1.11.7 Ciclones tropicales.

Los ciclones tropicales son en su mayoría los causantes del régimen de oleaje extrema en el área de estudio. Entre los efectos adversos del tiempo asociados a los ciclones tropicales se destacan, los vientos con fuerza de huracán, las inundaciones debido a las lluvias intensas, las marejadas y la surgencia.

Según datos estadísticos del Centro Provincial de Meteorología en Holguín, desde 1979 hasta el 2013, este litoral ha sido afectado por 23 situaciones sinópticas que han provocado inundaciones costeras, para una frecuencia de un organismo cada 18 meses, siendo los huracanes Ike, en el año 2008, con olas entre 5.5 m y 7.5 m de altura y Sandy en el año 2012, con olas entre 4.5 m y 6.5 m de altura, los que mayores daños ha provocado al litoral.

Estos son la causa fundamental de la ocurrencia de inundaciones costeras en este litoral, aunque también éstas pueden estar asociadas a frentes fríos y bajas extratropicales, tal y como se aprecia en la **Tabla 1.6**

Tabla 1.6. Inundaciones costeras y alturas de la ola más significativas.(P.Cayo Lucrecia)

No.	Situación sinóptica	Altura de la ola (m)	Fecha de ocurrencia
1.	Huracán David	2.5 – 3.5	1/09/1979
2.	Combinación de anticiclón y baja extratropical	4.0 – 5.0	13/10/1982
3.	Huracán Kate	4.0 – 5.0	11/1985
4.	Anticiclón migratorio	3.0 – 4.0	31/01/1988
5.	Anticiclón migratorio	3.5 – 4.0	16/03/1993
6.	Combinación de anticiclón y baja extratropical	2.5 – 3.5	17/10/1994
7.	Combinación de anticiclón y baja extratropical	2.5 – 3.5	18/12/1994
8.	Combinación de anticiclón y baja extratropical	2.5 – 3.5	7/02/1996
9.	Huracán Edourd	3.0 – 4.0	30/08/1996
10.	Combinación de anticiclón y baja extratropical	2.5 – 3.5	17/11/1996
11.	Anticiclón migratorio	3.0 – 3.5	3/04/1997
12.	Anticiclón migratorio	2.5 – 3.5	3/01/1998
13.	Huracán Georges	4.0 – 5.0	23/09/1998
14.	Anticiclón migratorio	3.5 – 4.5	2/02/1999
15.	Huracán Floyd	3.5 – 4.0	23/08/1999
16.	Tormenta Tropical Noel	2.5 – 4.0	30-31/10/2007
17.	Tormenta Tropical Olga	3.5 – 5.5	12/12/2007
18.	Tormenta Tropical Hanna	3.5 – 5.5	1°-2/09/2008
19.	Huracán Ike	5.5 – 7.5	7-8/Sept./2008
20.	Huracán Earl	2.5 – 3.5	1°/Sept./2010
21.	Huracán Irene	3.0 – 3.5	24/Ago./2011
22.	Tormenta Tropical Isaac	3.0 – 4.0	25-26/Ago/2012
23.	Huracán Sandy	4.5 – 6.5	25/Oct/2012

Como puede observarse en la tabla, este tipo de fenómeno trae aparejado olas con alturas superiores a los 2.5 m siendo la causa fundamental de la pérdida de arena que muestra la parte central de la playa.



Figura 1.17. (Escarpes y afloramientos rocosos en la berma y cara de la playa luego del paso del huracán Sandy (25 de octubre de 2012)

1.11.8 Oleaje

Para el análisis del oleaje que afecta al sector costero Don Lino, se modeló la evolución e incidencia en la playa del oleaje oceánico proveniente del I y IV cuadrantes para los parámetros de altura y período característicos de la zona en estudio.

Los oleajes de los rumbos Este y Noreste, reinan prácticamente durante todo el año (Tabla 1.7), en un diapasón de baja energía con alturas de 0.0 - 1.5 m y longitudes de 5.0 - 20.0 m (para un 90 % de la frecuencia de incidencia por rumbo). Su incidencia sobre la playa condiciona un transporte litoral dirigido de este a oeste.

Tabla 1.7 Distribución anual frecuencial del oleaje en %

Altura del oleaje (m)	Cuadrantes y Rumbos								Total
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Calmas	-	-	-	-	-	-	-	-	1.80
0-1	3.33	6.86	10.41	7.37	4.27	1.97	1.66	1.73	37.60
1-2	3.37	6.74	12.14	8.11	3.71	1.07	0.98	1.60	37.72
2-3	1.78	3.03	4.82	2.96	1.32	0.31	0.40	0.87	15.49
3-4	0.78	1.05	1.40	0.75	0.37	0.09	0.16	0.42	5.02
4-5	0.31	0.34	0.38	0.17	0.10	0.02	0.06	0.18	1.56
5-6	0.14	0.11	0.11	0.03	0.03	0.01	0.02	0.08	0.53
6-7	0.11	0.06	0.02	0.02	0.01	-	0.01	0.05	0.28
TOTAL	9.82	18.19	29.28	19.41	9.81	3.47	3.29	4.93	100.0

Conclusiones del capítulo.

Con el desarrollo de los estudios realizados en el sector oeste de playa Don Lino, se evidenciaron las causas que provocan el fenómeno de la erosión, siendo este provocado por la amplia acción sinóptica que afecta esta zona, así como la altura del oleaje y el transporte de sedimento, que tanto daño ocasionan a la playa.

De tal manera se hace indiscutible la importancia de hacer una correcta valoración de la zona para tener conocimiento de la envergadura del fenómeno de la erosión que se encuentra destruyendo cada día más la playa, para lograr no solo atenuar o mitigar este fenómeno sino alcanzar la estabilidad estructural que nos puede llegar a brindar la utilización de una obra de protección costera en playa Don Lino.

CAPÍTULO II: DISEÑO DE UNA OBRA DE PROTECCIÓN COSTERA, EN FORMA DEROMPEOLAS SUMERGIDO EN PLAYA DON LINO.

Introducción al Capítulo.

Teniendo en cuenta que el sector de playa Don Lino se ha visto varias veces afectada por situaciones sinópticas, provocando en ella un incremento mayor en las alturas de las olas, transporte de sedimento, penetración del mar y fuertes marejadas, siendo estos elementos dinámicos provocantes de la erosión, es por ello que luego de una inspección minuciosa a la zona se determinó que la implementación en su momento de la solución blanda o sea el vertimiento de arena no ha cumplido con los requerimientos que necesita la playa para lograr estabilizarse.

Por tanto en este capítulo se demostrará con la implementación de un nuevo método o sea el desarrollo de un diseño de obra de protección costera, rompeolas sumergido (solución dura) buscando encontrar la solución más eficaz desde el punto de vista económico, que pueda brindar la estabilidad necesaria para lograr el mejoramiento de la calidad ambiental en playa Don Lino, para ello se trabajara con datos reales de diferentes aspectos como la velocidad de las olas, altura, longitudes de ondas y profundidad del mar, además del transporte de sedimento, buscando que esta nueva propuesta logre atenuar o mitigar este fenómeno.

2.1. Características técnicas - constructivas de la zona de protección costera de playa Don Lino.

Según datos estadísticos del Centro Provincial de Meteorología en Holguín, hasta el 2013 este litoral ha sido afectado por diferentes situaciones sinópticas que han provocado un incremento incontrolable de la erosión en la playa, ya sea, por las inundaciones, alturas de las olas y transporte de sedimento, que han conllevado a que se tomen nuevas medidas ya que el vertimiento realizado en 1999 de 40 015 m³ de arena (solución blanda) a lo largo de 300m de costa, no cumpliera con los objetivos trazados para ampliar y mejorar las condiciones naturales del sector costero y la recuperación de la playa Don Lino, para suplir la compensación de los sedimentos perdidos en los últimos quince años, se ha tomado como nueva medida la aplicación de un nuevo método nunca utilizado en nuestra provincia (solución dura), la cual estará basada en el diseño de un rompeolas sumergido paralelo a toda la línea de costa, con el cual se piensa que el desarrollo de este nuevo proyecto se logre estabilizar el litoral así como mitigar

o contrarrestar la erosión existente allí, para así lograr mejorar las condiciones naturales del sector costero, satisfaciéndose las necesidades de área de exposición solar y de baño de la villa turística.

2.2. Diagnóstico del estado actual de la zona de protección costera de playa Don Lino.

2.2.1. Acciones implementadas para el diagnóstico.

Con el desarrollo de este trabajo se obtuvieron las informaciones necesarias, con el cual se realizará el diagnóstico correspondiente del estado actual del litoral, para de esta forma lograr el objetivo de estabilizar el sector costero de playa Don Lino, empleándose las siguientes acciones:

- ✓ **Análisis visual:** Esta acción deparó información importante acerca de cómo se encuentra el sector de baño de la playa, la cual cuenta con una fuerte pendiente y una amplia berma que oscila entre los 18 y 60m, con pequeñas dunas en proceso de formación.
- ✓ **Entrevistas:** Se desarrollaron una serie de entrevistas a turistas, trabajadores del centro, así como a compañeros del CITMA y CISAT, buscando las informaciones necesarias para lograr cumplir el objetivo de estabilizar y lograr mejorar la calidad ambiental de playa Don Lino.
- ✓ **Análisis de Documentos:** Se analizaron documentos proporcionados por el CISAT, que brindó información valiosa y necesaria para el desarrollo de este trabajo de diploma.

2.2.2. Resultados obtenidos

De las acciones realizadas para el diagnóstico se obtuvieron los siguientes resultados:

- ✓ Los trabajos realizados con el vertimiento de arena (solución blanda) convirtiéndola en una playa artificial, con el transcurso del tiempo se ha notado la pérdida de aproximadamente el 62 % de las arenas vertidas, por lo que se considera que el período de vida de los trabajos de regeneración ha llegado a su fin.
- ✓ Falta de un proyecto de construcción buscando mejorar la calidad ambiental de la playa.

- ✓ Presenta asentamientos provocados por la erosión debido al oleaje y al transporte de sedimento.
- ✓ La Playa sufre un efecto erosivo de carácter fuerte, esto se pone de manifiesto con la aparición de afloramientos rocosos en la cara de la playa, los escarpes en la duna y el aumento de la retracción de su línea de costa.
- ✓ Alta disminución de los niveles arenosos en la caleta oeste, además de considerables daños a la flora y fauna marina y terrestre.

2.2.3 Análisis de los resultados.

Al presente como secuencia de las acciones efectuadas por el Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales y Tecnológicos de Holguín (CISAT), para lograr estabilizar y de una manera mitigar y contrarrestar la erosión del litoral, se ha trabajado en el diseño para la construcción de un rompeolas sumergido, lo que trae consigo que sea una primicia el diseño y la aplicación de este tipo de solución (solución dura), del cual se espera cumpla con los objetivos trazados ya que es el primero de este tipo desarrollado en la zona oriental del país en función de la protección costera, el mismo constará con secciones que estarán fortalecidas por materiales como (piedras, etc...), por lo que se prevé que el resultado que pueda brindar sea satisfactorio por la capacidad de resistir las fuerzas del oleaje y el transporte de sedimento.

2.2.3.1. Causas que inciden en la manifestación del problema.

- ✓ Desconocimiento total de cómo se puede realizar trabajos para lograr mitigar o contrarrestar la erosión.
- ✓ No existen estudios del alcance del oleaje y transporte del sedimento en la playa actuales.
- ✓ La no existencia de un plan de resuministro que sea capaz de satisfacer o restablecer las condiciones de la playa
- ✓ Malas condiciones en la cara de la playa con la aparición de afloramientos rocosos.
- ✓ Considerables daños a la flora y fauna marina y terrestre.
- ✓ La ocurrencia de eventos extremos que provocan un transporte de sedimentos transversal que no retorna al sistema.

- ✓ Ejecución de proyectos para restituir a la playa sus condiciones naturales.
- ✓ La elevación del nivel del mar asociado a los cambios climáticos globales y el déficit en los aportes de las fuentes naturales.

2.3. Cálculo para la transformación del Oleaje.

Para desarrollar el cálculo de transformación del oleaje, son necesarios los valores de altura significativa de la ola (**Hsig**), período de la ola (**T**), estos valores son mostrados en la **tabla 2.1**.

Tabla 2.1.Datos de clima marítimo

Ir	Hsig ₀ (m)	T(seg)
5	2,5	4,9
25	3,3	6,1
50	3,7	7,8
100	4,1	9,2

Tabla 2.2 Transformación del oleaje:

TABLA DE TRANSFORMACION DE LOS DATOS DE OLAJE														
Ir	F	P(Hsig ₀)	Hsig ₀ (m)	T (seg)	h' (m)	λ ₀ (m)	ht (m)	Hsig ₀ /ht	ht/λ ₀	H/H ₀	Hsig ₁ (m)	ξ ₀	γ	Hsig ₂ (m)
5	0,2	9,132E-05	2,5	4,9	1,31	37,46	6,31	0,396197	0,1685	0,913	2,28	0,010	0,5822	3,67
25	0,04	1,826E-05	3,3	6,1	1,4	58,05	6,4	0,515625	0,1103	0,926	3,06	0,011	0,5883	3,76
50	0,02	9,132E-06	3,7	7,8	1,51	94,91	6,51	0,568356	0,0686	0,96700	3,58	0,013	0,6029	3,92
100	0,01	4,566E-06	4,1	9,2	1,6	132	6,6	0,621212	0,0500	1,02		0,015	0,6347	4,19

2.4 Método de Goda.

Nota: Goda deduce su fórmula a partir de numerosos ensayos de laboratorio, simulando en el modelo un cajón vertical cimentado sobre una baqueta de escollera y sometido a todas las condiciones de oleaje incidente (no rotura, en rotura y rota).

Nota: Para el diseño se establece una longitud de 30m por prescripción con el objetivo de lograr abarcar toda la cara de la playa.

Datos generales:

Fondo rocoso.

Escollera con roca

Pendiente de fondo 1:15

Altura de la marea 0,10-0,55 m

Vida útil 50 años

Duración de la tormenta 4 horas

Tasa de interés 9%

Profundidades:

h=NMM + marea desde el fondo sobre el cimiento

d= altura del muro sobre el cimiento hasta el nivel del mar (incluye marea)

h' =Altura del muro (pared vertical) + hasta el nivel de aguas tranquilas + marea

hc= cota de corona - marea

Nota: Si el muro apoya directamente en el fondo $h' = d$

- ✓ Para escoger la ola de diseño, se tomara la máxima que se refleja en la tabla de transformación de oleaje, para eventos sinópticos de categoría tres, por ser el de mayor probabilidad a que pase por nuestro litoral, por tanto $H_{max} = H_d$.

2.4.1 Cálculo de la máxima sobre elevación de la ola. Para un ángulo de incidencia de 90° , entonces aplicamos la ecuación siguiente:

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta)H_{\text{máx}} \quad \text{para } \beta = 90 \quad (\text{Ec.2.1})$$

Sustituyendo en la ecuación obtenemos:

Tabla 2.3 Máxima elevación de la ola

λ_o (m)	Hmax (m)	η^* (m)
38	3,67	2.75
58	3,76	2.82
95	3,92	2.94
132	4,19	3,14

2.4.2 Cálculo de las componentes de presiones ejercidas por la ola sobre la cara frontal de la pared vertical:

Donde:

- * P_1 tiene su mayor valor en el nivel del agua en reposo (kN/m²)
- * P_2 es la intensidad del empuje en el fondo del mar (kN/m²).
- * P_4 ocurre si el valor de P_1 supera la cota de la corona, (lo que significara que habrá rebase) se trunca el diagrama en el nivel de aguas normales (kN/m²).
- * P_3 Al nivel del fondo del mar proporcional a P_1 con la que se une linealmente se le denomina P_3 en el pie del cajón (kN/m²).
- * En la subpresión ejercida por la ola en la base del cajón, se asume una distribución lineal de intensidad cero en el lado interior y P_u en el pie del lado opuesto (kN/m²).

$$P_1 = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) (\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta) \rho_w \cdot H_{\text{máx}} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$P_2 = \frac{P_1}{\cosh\left(\frac{2\pi \cdot h}{L}\right)} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$P_3 = \alpha_3 \cdot P_1 \quad (\text{Ec. 2.4})$$

$$P_4 = P_1 \left(1 - \frac{h_c}{\eta^*} \right) \text{----- para } \eta^* \geq h_c$$

$$P_4 = 0 \text{----- para } \eta^* < h_c \quad (\text{Ec. 2.5})$$

$$P = \frac{1}{2}(P_1 + P_3) \cdot h' + \frac{1}{2}(P_1 + P_4) \cdot h_c^* \quad (\text{Ec. 2.6})$$

2.4.3 Coeficientes de presión de ondas:

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi \cdot \frac{h}{L}}{\sinh\left(4\pi \cdot \frac{h}{L}\right)} \right]^2 \quad (\text{Ec. 2.7})$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{hb - d \left(\frac{H_{\max}}{d} \right)}{3hb}; \frac{2d}{H_{\max}} \right\} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \right] \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Tabla 2.4 Coeficientes de presión de ondas

λ_o (m)	α_1	α_2	α_3	Hb (m)
37.46	0.815	0.197	0.692	9.001
58.05	0.943	0.211	0.844	10.281
94.91	1.03	0.214	0.937	10.921
132	1,06	0,213	0,966	11.561

Nota: Para el cálculo de los valores de α_1 , α_2 y α_3 se utilizaron las ecuaciones (2.7), (2.8) y (2.9) respectivamente. En la ecuación (2.8) correspondiente al valor de α_2 , se trabajó con el menor valor obtenido.

Tabla 2.5 Presiones de ondas

λ_o (m)	P1 (kN/m ²)	P2 (kN/m ²)	P3 (kN/m ²)	P4 (kN/m ²)	P (kN)
37.46	8,925	6,151	6,176	0,00	55,810
58.05	10,533	8,881	8,896	0,00	70,282
94.91	11,989	11,225	11,232	0,00	83,042
132	13,179	12,733	12,737	0,00	71,269

Nota: En la tabla se muestran los valores de P1 calculados por la ecuación (2.2), los de P2 por la ecuación (2.3), los de P3 por la (2.4), los de P4 por la (2.5), debido a que el valor de sobrelevación máxima de la ola es menor que la altura de corona. La presión total se calculó por la ecuación (2.6).

2.4.4 Cálculo del momento de subpresión:

$$M_P = \frac{I}{6}(2P_1 + P_3) \cdot h'^2 + \frac{I}{2}(P_1 + P_4) \cdot h' \cdot h_c^* + \frac{I}{6}(P_1 + 2P_4)h_c^{*2} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

$$\text{Dónde: } h_c^* = \min\{\eta^*, h_c\} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

2.4.5 Fuerza ascensional de sustentación.

La sección vertical está sujeta a la flotación correspondiente al desplazamiento del volumen de agua debajo del nivel de diseño en aguas tranquilas.

$$P_u = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot \rho \cdot H_{\max} \quad (\text{Ec.2.12})$$

Cuando la elevación de la cresta $h_c > \eta^*$ las olas sobrepasan el

$$U = \frac{1}{2} P_u \cdot B \quad \text{--- Empuje} \quad (\text{Ec.2.13})$$

$$M_u = \frac{2}{3} U \cdot B \quad \text{--- Momento} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Tabla 2.5 Momentos y empuje de la subpresión

	$\lambda_o = 38 \text{ m}$	$\lambda_o = 58 \text{ m}$	$\lambda_o = 95 \text{ m}$	$\lambda_o = 132 \text{ m}$
Mp (kNm)	109,184	205,911	384,220	444,831
Pu (kN/m²)	5,902	6,035	6,291	9,486
U (kN/m)	8,835	9,052	11,010	16,601
Mu (kNm)	20,610	21,121	25,690	38,735

Nota: Para la obtención de los valores de **Mp** se desarrollaron los cálculos por la ecuación (2.11) y se trabajó con $h_c^* = 2,7 \text{ m}$, por ser un valor entre la altura de corona y la sobreelevación máxima de la ola.

Para la obtención de la fuerza ascensional de sustentación (**Pu**), se utilizó la ecuación (2.12) y para el cálculo del empuje y el momento de empuje se utilizaron las ecuaciones (2.13) y (2.14) respectivamente.

2.5 Método de Hudson.

Para el desarrollo de este método debemos de tener en cuenta los siguientes datos:

- ✓ Mareas.
- ✓ Condiciones del lugar.
- ✓ Profundidad.
- ✓ Material de fondo.
- ✓ Pendiente de fondo
- ✓ Duración de la tormenta
- ✓ Intervalo de recurrencia Ir
- ✓ Probabilidad de excedencia P(Hsig_o)
- ✓ Altura de la ola significativa en aguas profundas Hsig_o
- ✓ Periodo de la ola. T
- ✓ Nivel del mar con respecto al nivel medio del mar. h`
- ✓ Nivel medio del mar Nmm

Nota: Para iniciar con el diseño del Rompeolas es necesario realizar la transformación del oleaje con los datos de las condiciones de tormenta, marea y condiciones del lugar, como se muestra en la **tabla 2.7**

Tabla 2.7 Datos de clima marítimo

Ir	Hsig _o (m)	T(seg)
5	2,5	4,9
25	3,3	6,1
50	3,7	7,8
100	4,1	9,2

Nota: La tabla de transformación del oleaje se ve representada en la **tabla 2.2**

2.5.1 Cálculo de la ola Hs frente a la estructura:

- ✓ Para $H_{sig_o}/h_t = 0,6$ la ola rompe
- ✓ Para $H_{sig_o}/h_t < 0,6$ la ola no rompe
- ✓ Para $H_{sig_o}/h_t > 0,6$ la ola ya rompió

Nota: El diseño de la sección transversal del Rompeolas se calculará mediante el Método de Hudson, debido a que este método condiciona que el rompeolas estará sujeto a olas no rompientes, es decir que la relación $H_{sig_o}/h_t < 0,6$.

Por tanto:

$$H_{sig} = \left(\frac{H}{H_o} \right) x H_{sig_o} \quad \text{para olas no rompientes} \quad (\text{Ec.2.15})$$

$$H_{sig} = (0,913) x 2,5 = 2, 55 \text{ m}$$

$$H_{sig} = (0,926) x 3,3 = 3, 06 \text{ m}$$

$$H_{sig} = (0,967) x 3,7 = 3, 60 \text{ m}$$

$$H_{sig} = (1,02) x 4,1 = 4, 20 \text{ m}$$

2.5.2 Cálculo de Altura de la capa de la coraza del rompeolas por debajo del NMM:

Nota: Se escoge la mayor de las siguientes elevaciones

- Para una tormenta común y marea baja, para una ola con intervalo de recurrencia (Ir) de 0,1 a 5 veces por año.
- ✓ $h_a = 1,5 H_{sig} + (\text{altura de marea}).$ (Ec.2.16)

Por tanto:

Para una tormenta común $H_{sig} = 2,28 \text{ m}$ y marea baja de $0,1 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad h_a &= 1,5 (2,28) + (0,1) \\ h_a &= 3,52 \text{ m} \end{aligned}$$

- Para una tormenta severa se recomienda trabajar para una ola con intervalo de recurrencia (Ir) de 20 a 25 veces por año.

$$\checkmark \quad h_a = 1,5 H_{sig} - (\text{nivel de agua para } P(H_{sig})) \quad (\text{Ec.2.17})$$

Por tanto:

Para una tormenta severa con un intervalo de recurrencia de 25 años y $H_{sig} = 3,06 \text{ m}$

$$P(H_{sig}) = h' = 1,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad h_a &= 1,5 (3,06) - 1,4 \\ h_a &= 3,19 \text{ m} \end{aligned}$$

- Para una tormenta severa se recomienda trabajar para una ola con intervalo de recurrencia (Ir) de 20 a 25 veces por año, pero asumiendo marea baja.

$$\begin{aligned} \checkmark \quad H_{sig} &= (\text{Nivel de agua para } (P(H_{sig})) - \text{rango de marea} + d_r) \quad (\text{Ec.2.18}) \\ H_{sig} &= (1,4 - 0,55) + (5,55 x 0,5444) \\ H_{sig} &= 3,87 \text{ m} \end{aligned}$$

Luego:

- ✓ $ha = 1,5 H_{sig} - (\text{Nivel de agua para (PHs)}) - \text{rango de marea}$
 $ha = 1,5 (3,87) - (1,4 - 0,55)$
 $ha = 4,85 \text{ m}$

Nota: Se toma la mayor de las tres alturas es decir: **ha=4,85m**

2.5.3 Cálculo de la Elevación de la Corona:

$$Z_c = \frac{R}{H_o} x H_{sig_0} + h' \quad (\text{Ec.2.19})$$

Nota: Se debe iniciar con el cálculo del remonte (Run-up) o trepada, en este caso será por la norma del Shore Protection Manual (SPM).

Por tanto:

La elevación será lo suficientemente alta más de una vez cada 5 años, según nuestras condiciones de diseño, entrando en nuestra tabla de transformación de los datos del oleaje, obtenemos para un intervalo de recurrencia de 5 años una altura de ola significativa en aguas profundas de **Hsig₀ = 2,5 m**, una longitud de ola **λ₀ = 38 m**, y una profundidad total **ht = 6,31 m**

Con la relación $\frac{H_{sig_0}}{\lambda_0} = 0,066$ y la pendiente de 1:15, entramos en el Grafico para la determinación del Run-up relativo de Shore Protection Manual (SPM),

$$\text{Run-up relativo} \left(\frac{R}{H_o} \right) = 0,80$$

2.5.4 Se calcula la altura de la corona:

Sustituyen en la formula anterior:

$$Z_c = 0,80 x 2,28 + 1,31 = 3,15 \text{ m} \quad (\text{Ec.2.20})$$

2.5.5 Diseño de la sección transversal:

Cálculo del ancho de la corona para determinar el ancho mínimo de la coraza:

$$B = nK_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_s} \right]^{1/3} \quad (\text{Ec.2.21})$$

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{K_d (S_s - 1)^3 \cot \theta} \quad (\text{Ec.2.22})$$

Donde:

B: Ancho mínimo de una corona.

n: Número de elementos, (máximo recomendado es 3).

W: Peso de un elemento en la corona, (Kgf). Se calcula con la ecuación.

γ_s : Peso específico del elemento, (Kgf/m³).

W/γ_s : Es el volumen de un elemento.

K_{Δ} : Seleccionado de la tabla 2.3 será: **$K_{\Delta}=1,15$**

H: Altura de la ola de diseño frente a una sección o tramo de escollera, (m), se trabaja con la ola significativa.

θ : Ángulo del talud de la estructura con respecto a la horizontal (°)

K_d : Coeficiente de estabilidad,

S_s : Densidad de sólidos, igual a γ_s/γ_a donde γ_a es el peso específico del agua en la cual estará inmersa la estructura.

Nota: Se toma inicialmente un diseño para una tormenta con un intervalo de recurrencia de una de cada vez cada 50 años y la altura para esa recurrencia, es decir, **Hsig=3,58 m.**

Se debe de tener en cuenta para el Cálculo del Coeficiente (**K_d**) lo siguiente:

- ✓ Elemento: para este diseño será Roca de Cantera rugosa y angulosa
- ✓ Número de unidades que conforman la coraza (n): se eligió **2**.
- ✓ Tipo de colocación de los elementos: al azar
- ✓ Tipo de Ola: **no rompiente**

- ✓ Parte que se está diseñando: **tronco**
- ✓ Angulo que forma el talud de la estructura con respecto a la horizontal (θ): se encuentra entre 1,5 y 2,5 de acuerdo a los parámetros anteriores, se tomará el valor de **2**.
- ✓ Porcentaje de daño aceptado al actuar el oleaje de diseño: 0 – 5 %

$$K_d = 4 \quad \cot \theta = 2$$

Donde:

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_a} = \frac{2700 \text{ Kg} / \text{m}^3}{1030 \text{ Kg} / \text{m}^3} = 2,62 \quad (\text{Ec.2.23})$$

$$W = \frac{2700 \text{ Kg} / \text{m}^3 \times (3,58)^3}{4(2,62 - 1)^3 \times 2} = 3642,32 \text{ Kgf}$$

Nota: El cálculo del peso se realiza por la ecuación (2.22)

2.5.6 Cálculo del ancho mínimo de la corona:

$$B = 2 \times 1,15 \left[\frac{3642,32 \text{ Kgf}}{2.700 \text{ Kgf}} \right]^{1/3} = 2,5 \text{ m}$$

Nota: Se realiza este cálculo con la ecuación (2.21)

2.5.7 Cálculo del espesor de la capa exterior:

$$E = n K_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_s} \right]^{1/3} = 2 \times 1,15 \left[\frac{3642,32 \text{ Kgf}}{2.700 \text{ Kgf}} \right]^{1/3} = 2,5 \text{ m} \quad (\text{Ec.2.24})$$

Nota: Para el cálculo de la segunda capa, la cual se construye de piedra. Para obtener el peso necesario de las rocas que serán colocadas se tiene en cuenta que esta capa deberá soportar una tormenta menos severa que la que soportará la primera capa, por lo tanto se escoge una altura de ola de diseño. $H_{sig0} = 3,06$ m con un intervalo de recurrencia de 25 años, $K_d = 4$, $\cot \theta = 2$.

$$W = \frac{2700Kg / m^3 \times (3,06)^3}{4(2,62-1)^3 \times 2} = 2274,54Kg$$

Nota: El cálculo del peso se realiza por la ecuación (2.22)

2.5.8 Cálculo del pie al frente del rompeolas:

Este diseño se necesita la construcción de un pie al frente del rompeolas, para el cual se utilizara la misma roca, ahora con el peso obtenido en el diseño anterior, se entra en la fórmula de Hudson y se obtiene la pendiente que tendrá el pie, para una tormenta con un intervalo de recurrencia de 25 años, se debe de tomar en cuenta que el valor de pendiente valido establecido por Hudson es de (1:1,5 a 1:4.)

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{K_d (S_s - 1)^3 \cot \theta}$$

$$\cot \theta = \frac{\gamma_s H^3}{K_d (S_s - 1)^3 W} \quad (\text{Ec.2.25})$$

$$\cot \theta = \frac{2700Kg / m^3 \times (3,58)^3}{4(1,62)^3 \times 2274,54Kg} = 3,22$$

Nota: La obtención de la **cotθ** se realiza con la ecuación (2.25), el valor obtenido se encuentra fuera de lo establecido por Hudson, por lo que se prueba calculando **cotθ** con el valor del peso W/10

$$\cot \theta = \frac{2700Kg / m^3 \times (3,58)^3}{4(1,62)^3 \times 227,454Kg} = 32$$

Nota: Ninguno de los dos valores anteriores se encuentra entre el rango de valides de Hudson, por lo que se deberá aumentar la masa del elemento, para el peso de las rocas, para una tormenta con un intervalo de recurrencia de 50 años, **Hsig=3,58 m.**

Se tiene:

$$W = \frac{2700Kg / m^3 \times (3,58)^3}{4(2,62 - 1)^3 \times 2} = 3642,32Kg$$

$$\cot\theta = \frac{2700Kg / m^3 \times (3,58)^3}{4(1,62)^3 \times 3642,32Kg} = 2$$

Nota Este valor se realiza por las ecuaciones (2.22) y (2.25), los mismos se encuentran dentro del rango de validez por lo que serán los que se utilizarán para el diseño, con el objetivo de calcular el ancho y la altura del pie al frente del rompeolas de acuerdo a lo consultado en el SPM, con un peso de W/10 y n = 3 para el cálculo de ancho (B) y n=2 para el espesor (E), se tiene:

$$W/10 = \frac{3642,32Kg}{10} = 364,232Kg$$

$$B = 3 \times 1,15 \left[\frac{364,232 Kg}{2.700 Kg} \right]^{1/3} = 1,80m$$

$$E = 2 \times 1,15 \left[\frac{364,232 Kg}{2.700 Kg} \right]^{1/3} = 1,20m$$

Nota: Se realizaron los cálculos con las ecuaciones siguientes la (2.21) para el ancho mínimo de la corona, espesor de la capa (2.24) y la masa (2.25).

2.5.10 Cálculo del material del Núcleo:

Se tomara para el cálculo del peso de las rocas una tormenta menos severa, por lo tanto será una ola **Hsig**=3,06 m, **Kd**=4, **cotθ** =2

$$W = \frac{2700Kg / m^3 \times (3,06)^3}{4(2,62 - 1)^3 \times 2} = 2274,54Kg$$

Aplicando la recomendación del SPM se tiene que:

$$\frac{W}{4000} = \frac{2274,54Kg}{4000} = 0,60Kg \quad \textbf{(Ec.2.26)}$$

Nota: Tomando en cuenta la siguiente figura se estableció como 0,60 m el espesor de la capa que sirve de colchón al núcleo, igualmente se colocó un ancho de pie del lado protegido de 1,50 m y del lado exterior de 5 m.

2.6 Cálculo de la estabilidad estructural para la protección costera de playa Don Lino:

Como se está trabajando en el diseño del rompeolas se debe calcular la estabilidad del mismo para mayor seguridad, escogiéndose los mayores valores desarrollados en los cálculos realizados para las presiones y momentos en el método de Goda, ya que el mismo nos brinda los datos que debemos de tener en cuenta para el diseño de la estructura marítima con el objetivo de que pueda resistir cualquier embate de las olas o eventos sinópticos. En el caso del método de Hudson no nos brinda esta posibilidad ya que en él se calcula los pesos de los elementos así como las dimensiones con que se deben de contar para la estructura, realizándose las comprobaciones pertinentes al deslizamiento y al vuelco para mayor seguridad de la estructura a diseñar.

Tabla 2.6. Valores resultantes por el Método de Goda

Mp (kNm)	P (kN/m)	Mu (kNm)	U (kN/m)
205,911	70,282	21,121	9,052

Nota: La estabilidad de un rompeolas contra la acción de las olas se revisada por dos formas de fallo: **(Deslizamiento y Vuelco)**.

Nota: Tomando como ancho inicial para el rompeolas como valor mínimo de diseño de **8 m** según el (Shore Protection Manual (SPM)), dependiendo de las características que presenta la playa Don Lino,

Para el cálculo del factor de seguridad contra el deslizamiento se utiliza la ecuación (2.29) con un peso de la estructura calculado de la siguiente manera.

2.6.1 Factor de seguridad contra el deslizamiento.

$$W = 20 \frac{kN}{m^3} * 2,7 m * 8 m * 1m = 432 m^3 \quad (\text{Ec. 2.27})$$

$$FS_d = \frac{\mu(W - U)}{P} \quad (\text{Ec. 2.28})$$

$$FS_d = \frac{0,4 * (432 - 9,052)}{70,282}$$

$$FS_d = 2.4 < 1.4$$

Nota: la estructura resiste al deslizamiento.

2.6.2 Factor de seguridad contra el vuelco.

Para el cálculo del factor de seguridad contra el vuelco se utilizó la ecuación (2.30) y el cálculo del peso de la estructura se realizó de la siguiente manera:

$$W = 20 \frac{kN}{m^3} * 2,7 m * 8 m * 1m = 432 m^3$$

$$FS_v = \frac{(Wxt - Mu)}{Mp} \quad \text{(Ec. 2.29)}$$

$$FS_v = \frac{(432 * 0.7) - 21,121}{205,911}$$

$$FS_v = 1,36 < 1.2$$

Nota: la estructura resiste al vuelco.

2.7 Mínima elevación de la cresta del rompeolas.

Se toman los valores de la altura de la ola máxima Hmax para eventos sinópticos de categoría tres y el nivel del agua d', de esa manera calculamos la elevación mínima de la corona por la ecuación.

$$hc = Hmax + d' \quad \text{(Ec. 2.30)}$$

$$hc = 3,76 + 0.55$$

$$hc = 4,31 m$$

2.8 Cálculo de la altura total del elemento.

Para una profundidad de los (8 m) donde se va a colocar la estructura, para el cálculo de la altura total hay que tener en cuenta la altura de diseño y el NMM, determinándola por la ecuación.

$$h^* = hc + NMM - 1.5 \quad \text{(Ec. 2.31)}$$

$$h^* = 4,31 + 5 - 1.5$$

$$h^* = 7,8 \text{ m}$$

2.9 Cota de corona del rompeolas con respecto al nivel de aguas tranquilas (Zc).

La cota de corona del rompeolas con respecto al nivel de aguas tranquilas se calcula por la ecuación:

$$Zc = h^* - (NMM) - d' \quad (\text{Ec. 2.32})$$

$$Zc = 7,8 - (5) - 0,55$$

$$Zc = 3,2 \text{ m}$$

2.10 Profundidad por encima de la banquetta.

La profundidad por encima de la banquetta se calculó teniendo en cuenta el NMM y la altura de la banquetta misma, el cálculo se realizó con la ecuación.

$$h' = NMM + d' \quad (\text{Ec.2.33})$$

$$h' = 5 + 0,55$$

$$h' = 5,55 \text{ m}$$

2.11 Determinación del ancho del núcleo del rompeolas.

Partiendo de la suposición de que el factor de seguridad contra el deslizamiento sea igual a 2.4 se busca un ancho predeterminado, para saber si cumple con lo establecido por (SMP).

$$FS_d = \frac{\mu(W - U)}{P}$$

$$W = W_a - (\rho * h' * B) \quad (\text{Ec.2.34})$$

$$W_a = \gamma_c'(h' + 0.5)B + \gamma_c(Zc - 0.5)B \quad (\text{Ec.2.35})$$

Sustituyendo en la ecuación (2.29) las ecuaciones (2.34) y (2.35), obtenemos la siguiente ecuación:

$$W = \gamma_c'(h' + 0.5)B + \gamma_c(Zc - 0.5)B - \rho * h' * B \quad (\text{Ec.2.36})$$

Nota: Luego sustituimos el valor de la subpresión (U) y del peso de los elementos (W) y despejando B en la ecuación (2.36), obteniendo la siguiente ecuación:

$$B = \frac{FS_d * P}{\mu[\gamma_c'(h' + 0.5) + \gamma_c(Zc - 0.5) - \rho * h' - 0.5Pu]} \quad (\text{Ec. 2.37})$$

$$B = \frac{2.4 * 70,282}{0.4[20(5.5 + 0.5) + 20(3.2 - 0.5) - 10.3 * 4.9 - 0.5 * 6,035]}$$

$$B = 3,65 \text{ m}$$

Nota: Hay que tener en cuenta que estos cálculos se realizaron con un valor del peso específico sumergido de la piedra escollera (γ_c') de 20 kN/m³.

Nota: Ahora se realiza el cálculo del ancho del núcleo del rompeolas para un factor de seguridad contra el vuelco igual a 1.36

$$FS_v = \frac{(Wxt - Mu)}{Mp}$$

Donde:

$$t = 0.5B \quad (\text{Ec. 2.38})$$

$$Mu = \frac{2}{3} U * B \quad (\text{Ec. 2.39})$$

Nota: Sustituyendo estas dos últimas ecuaciones (2.38) y (2.39) y despejando B en la ecuación (2.30), se obtiene:

$$B = \sqrt{\frac{FS_v * Mp}{0.5[\gamma_c'(h' + 0.5) + \gamma_c(Zc - 0.5) - \rho * h'] - \frac{1}{3}Pu}} \quad (\text{Ec. 2.40})$$

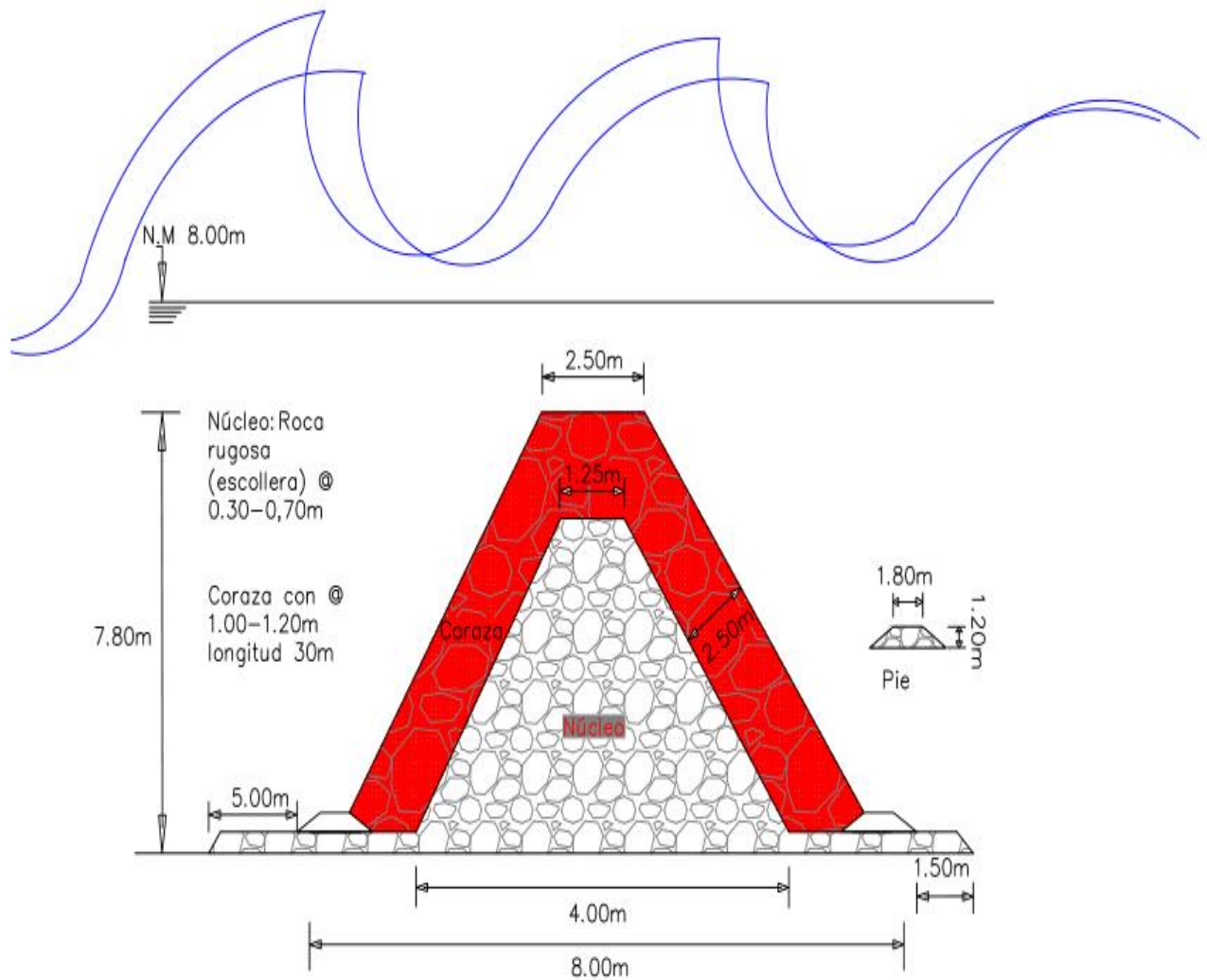
$$B = \sqrt{\frac{1,36 * 205,911}{0.5[20(5.5 + 0.5) + 20(3.2 - 0.5) - 10.3 * 5.5] - \frac{1}{3} * 6,035}}$$

$$B = 4,01 \text{ m}$$

Nota: Hay que tener en cuenta que estos cálculos se realizaron con un valor del peso específico sumergido de la piedra escollera (γ_c') de 20 kN/m³.

Nota: De estos dos valores de B contra el deslizamiento y contra el vuelco se escoge el de mayor valor para el núcleo, para mayor estabilidad en el rompeolas, por lo que se escoge como ancho mínimo $B = 4,01$ m.

Figura3. Sección transversal del rompeolas



Conclusiones del Capítulo.

Como se ha demostrado en este trabajo, la zona de protección costera en Don Lino se encuentra vulnerable a los eventos sinópticos, ya que la atención que se le brinda a la playa no es suficiente para lograr mejorar su calidad ambiental, es por tal razón que se realizó el diseño de un rompeolas sumergido desarrollándose como solución dura buscando que la misma cumpla con los factores de seguridad establecidos contra el vuelco y el deslizamiento, proponiéndose para que brinde la estabilidad necesaria en la playa.

Debido a las insuficiencias encontradas en función de la protección costera en la playa, se hizo necesario evaluar la resistencia de las fuerzas que ejerce el mar sobre la estructura a desarrollarse, para lograr que ella cumpla con los objetivos de retener o contrarrestar la erosión existente allí.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Teniendo en cuenta que Don Lino es una playa natural, la alternativa principal que se propone para su recuperación, es el diseño de un rompeolas sumergido por ser esta una solución que de manera efectiva y rápida crea las condiciones estéticas y recreacionales deseadas en la playa.
2. Luego de una revisión de los eventos atmosféricos que azotaron a Don Lino y las principales inundaciones costeras, se comprobó que ciclón Ike es el que ha causado mayor daño al sector, dejando considerables daños a la flora y fauna marina y terrestre.
3. Se presentó la teoría lineal del oleaje como la más exacta para obtener la tabla de transformación del oleaje, desarrollándose para las distintas longitudes de ola específicamente para los eventos sinópticos de categoría tres, además de la aplicación de los métodos de Goda y Hudson para desarrollo del diseño estructural del rompeolas esperando poder lograr estabilizar la playa.
4. Se determinó que las condiciones actuales del sector costero Don Lino no son favorables debido al desconocimiento total de cómo poder realizar trabajos para lograr mitigar o contrarrestar la erosión, conllevando esto a las malas condiciones con que cuenta la playa por la aparición de afloramientos rocosos ocasionados por el paso de los distintos fenómenos atmosféricos y el mal trabajo que se le ha brindado a la playa.
5. Como resultado de la investigación se ha podido determinar que la aplicación de la solución dura (rompeolas), sin dejar a un lado el vertimiento de arena (solución blanda) realizada en años anteriores pudiera ser la respuesta al fenómeno de la erosión, para de esta manera, lograr la estabilidad y mejora en la calidad ambiental en la playa Don Lino.

RECOMENDACIONES

1. Establecer un seguimiento (monitoreo) morfodinámico de la playa Don Lino, que permita la obtención de información para el desarrollo de proyectos marítimos y la toma de decisiones.
2. Continuar con las investigaciones para así estudiar más a fondo el tema de la erosión en playa Don Lino, teniendo en cuenta el fenómeno de transporte de sedimentos y el oleaje existente.
3. Realización de un proyecto constructivo buscando mejorar la calidad ambiental de la playa.
4. Desarrollar un programa de mejora y rehabilitación para el sector costero Don Lino, dirigido fundamentalmente a la protección y conservación de sus características y condiciones naturales que sustenten el turismo presente allí.
5. Aplicar la metodología del diseño óptimo del rompeolas que se presenta en este informe, para lograr la estabilidad y mejora en la calidad ambiental en playa Don Lino.

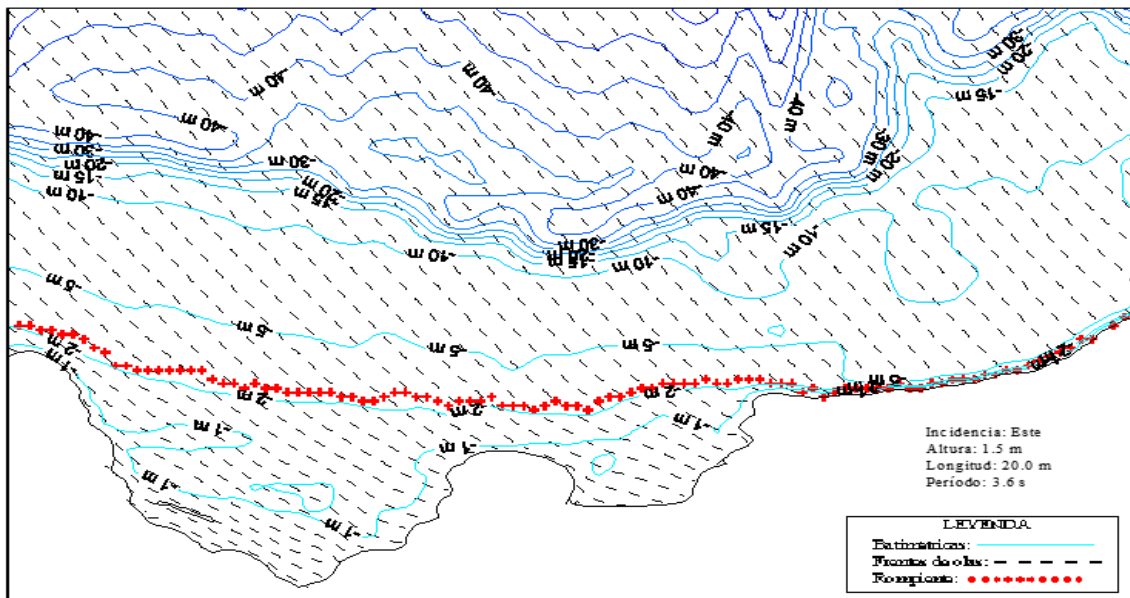
BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez A.; Juanes J. L.; García, C. 2001. "Alternativa para la protección de instalaciones turísticas ante la ocurrencia de eventos erosivos extremos en las playas." Revista Electrónica Serie Oceanologica.
2. Álvarez A., Pérez O., Juantorena Y., 2011, Oleaje generado por eventos meteorológicos extremos, Instituto de Meteorología e Instituto de Oceanografía, La Habana, Cuba.
3. Análisis morfodinámico de las playas Don Lino y Guardalavaca / E. Córdova García... [et al.]. Holguín; CISAT, 2003. 59 h. (Informed technical).
4. Battjes, J. A. 1974. "Computation of Set-Up, Longshore Currents, Run-Up, and Overtopping Due to Wind Generated Waves," Report 74-2, Committee on Hydraulics, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, The Netherlands.
5. Battjes, J. A. 1974b. "Surf Similarity," Proceedings of the 14th International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 1, pp 466-479.
6. Bruining, J. W. 1994. "Wave Forces on Vertical Breakwaters. Reliability of Design Formula," Delft Hydraulics Report H 1903, MAST II contract MAS2-CT92-0047.
7. Burchartch H, 2001, Reliability based design of coastal structures, Chapter VI.
8. Burcharth, H. F. 1984. "Fatigue in Breakwater Concrete Armour Units," Proceedings of the 19th International Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, Vol 3, pp 2592-2607.
9. Burcharth, H. F. 1993. "The Design of Breakwaters," Department of Civil Engineering, Aalborg University, Denmark.
10. Burchartch H. y Hughes S, 2001. Fundamentals of design, Chapter V.
11. Coastal engineering manual: engineering and design. USA: Washington. DC; Department of the Army, 1999. 3. t. (circular no. 1110-2-292).
12. Congreso de Ciencias del Mar (5.: 2000: La Habana). Alimentación artificial de arena en Don Lino: ejecución y efectividad. / C. García...? La Habana; Instituto de Oceanología, 2000.

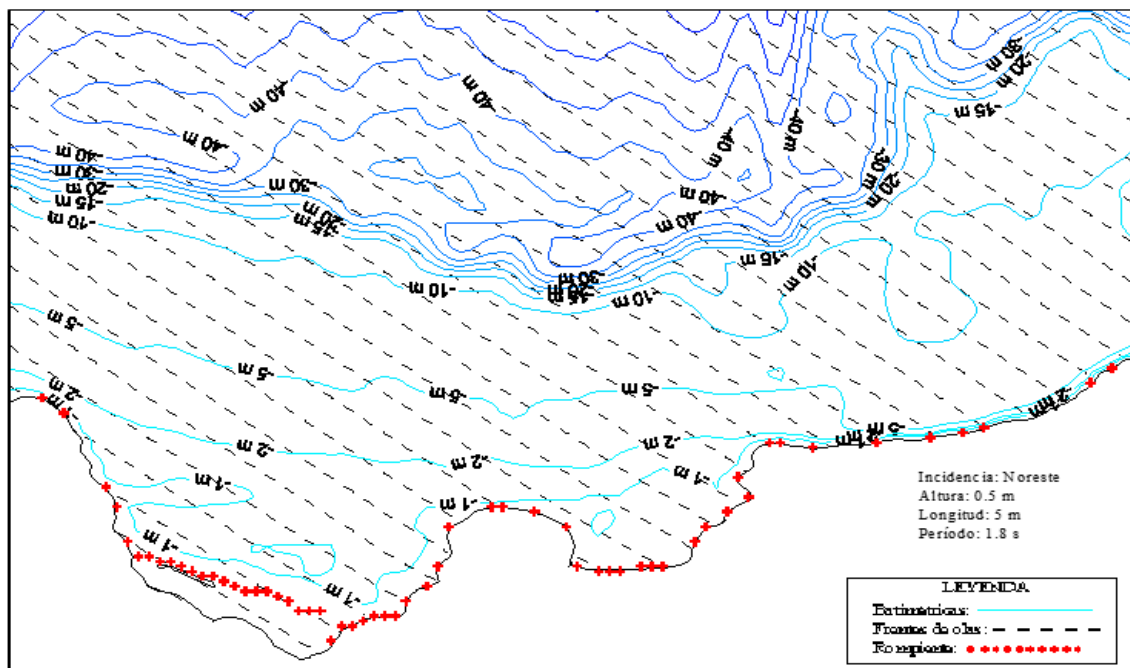
13. Congreso de Ciencias del Mar (6.; 2003: La Habana). Regeneración del Sector Costero Don Lino, Holguín / Ridel Rodríguez Paneque. Holguín; CISAT: CITMA, 2003.
14. Department of the Army U.S.A. 1984. Shore Protection Manual. Coastal Engineering Research Center.
15. Erosión Costera. ZOFEMAT (Unidad de zona federal marítima terrestre y ambientes costeros del Estado). Semarnat (México) ¿Seriada en línea?
16. Franco, C., van der Meer, J. W., and Franco, L. 1996. "Multidirectional Wave Loads on Vertical Breakwaters," Proceedings of the 25th International Coastal Engineering Conference, Vol 2, pp 2008-2021.
17. Goda, Y. 1970. "Estimation of the Rate of Irregular Overtopping of Seawalls," Report of Port and Harbor Research Institute, Vol 9, No 4, 1970 (in Japanese).
18. Goda, Y. 1974. "New Wave Pressure Formulae for Composite Breakwaters," Proceedings of the 14th International Coastal Engineering Conference, Vol 3, pp 1702-1720.
19. Goda, Y. 1985. Random Seas and Design of Maritime Structures, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.
20. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costa (GIOC) ,2000. Documento de referencia, Universidad de Cantabria.
21. Hidalgo, A. y Mitrani, 2012, Particularidades hidrometeorológicas del litoral Don Lino.
22. Iribarren, J.R. (1994) Experimentación en modelos físicos. Jornadas Hispano-Cubanas de Ingeniería de Costas. La Habana (Cuba). Dirección General de Costas - CEDEX.
23. Iribarren, R. 1938. "Una Fórmula Para el Cálculo de los Diques de Escollera," Technical Report HE 116-295, Fluid Mechanics Laboratory, University of California, Berkeley, CA (Translated by D. Heinrich in 1948).
24. Iribarren, R., Nogales, C. 1954. "Other Verifications of the Formula for Calculating Breakwater Embankments," PIANC Bulletin No. 39, Permanent International Association of Navigation Congresses.
25. Military Handbook, 1988. Seawalls, Bulkheads, and Quaywalls.
26. Mitrani, I et. al. 2012, 'Tendencias climáticas de las inundaciones costeras severas en áreas de Cuba', Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio, Vol.13, no.2, pp. 68-84. http://www.iga.cu/publicaciones/revista/cte_.pdf.

27. Mitrani, I. et al. 2000, Las zonas más expuestas a las inundaciones costeras en el territorio cubano y su sensibilidad al posible incremento del nivel medio del mar por cambio climático. Revista Cubana de Meteorología, vol.7, no.1. 45-50 pp.
28. Monitoreo morfodinámico de las playas Don Lino y Guardalavaca / Elier Córdova García... [et al.]. Holguín; CISAT, 2001. 40 h. (Informe técnico).
29. Ortiz, R, 1994, Descripción de los cinco huracanes más interesantes que han afectado en Cuba en los últimos cincuenta y cuatro años. INSMET, La Habana, Cuba, 9 pp.
30. Ortiz, R., 1985, Resumen de la Temporada Ciclónica de 1985. Instituto de Meteorología. La Habana, Academia de Ciencias de Cuba, 26 pp.
31. Pérez Suárez et al. 2006, Tabla cronológica de los huracanes de Cuba desde 1791 hasta el 2005. (Inédito), INSMET, La Habana, Cuba, 6 pp.
32. Rodríguez, M 1989, Cronología clasificada (por intensidades y provincias) de los huracanes que han afectado a Cuba desde el Descubrimiento hasta 1988. Laboratorio Cubano-Soviético de Meteorología Tropical. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba, 10 pp.
33. Rodríguez, R; Córdova E. Álvarez, R, 2005. La erosión en la costa de playa Don Lino, Cuba. CISAT, Holguín, Cuba, 7pp.
34. Rodríguez, R.; Córdova E. Efectividad de los trabajos de alimentación artificial con arenas ejecutados en playa Don Lino. Ciencias Holguín 2005 sep. 11(3). Seriado en línea?
35. Sánchez, Y. y Roselló A, 2002. Metodología para el diseño óptimo de rompeolas, Cuba.
36. Shore Protection Manual. USA; Department of the Army, Coastal Engineering Research
37. Torres, R, 2009, Maestría en Ingeniería Hidráulica, Mención Hidráulica Marítima, Cuba.
38. Vander Velden (2000). Coastal Engineering. Delft.

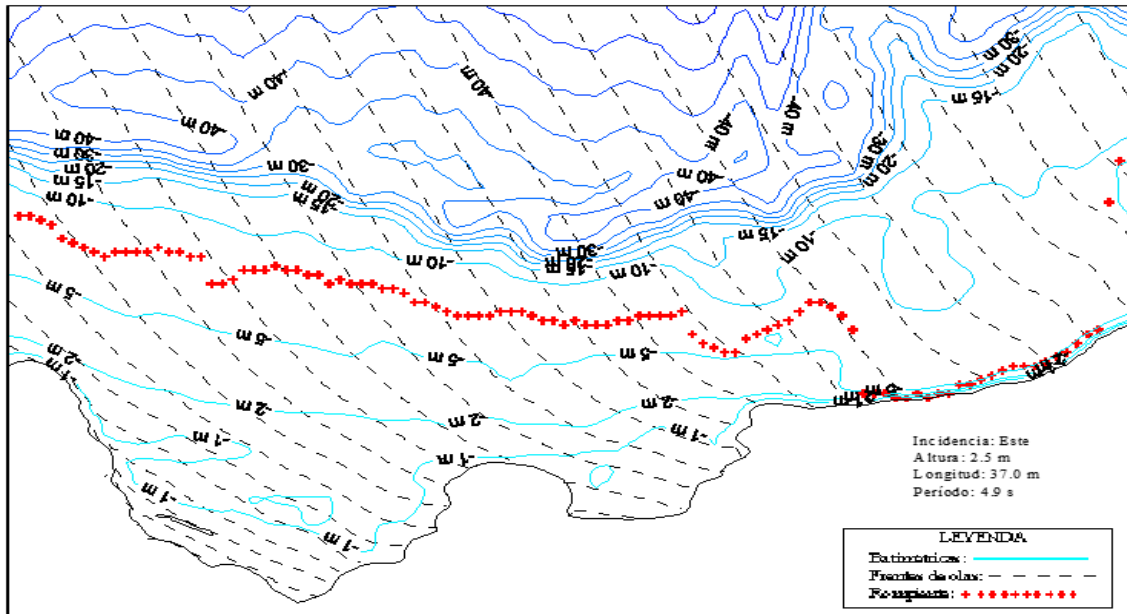
Anexos:



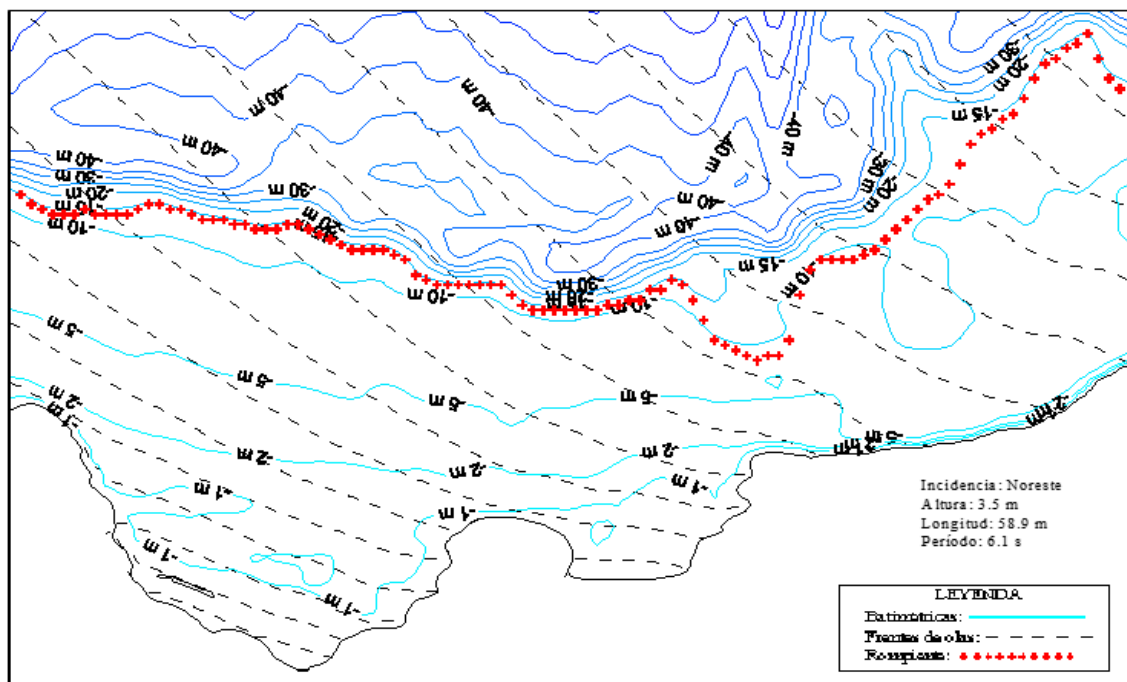
Anexo.1 Evolución del oleaje del este de baja energía (Batimetría obtenida del CIZAT).



Anexo.2 Evolución del oleaje del noreste de baja energía (Batimetría obtenida del CIZAT).



Anexo.3 Evolución del oleaje del este de alta energía (Batimetría obtenida del CIZAT).



Anexo.4 Evolución del oleaje del noreste de alta energía (Batimetría obtenida del CIZAT).



Anexo.5 Vista aérea del sector costero Don Lino. (CIZAT)

Anexo.6 Tabla de valores de K_d para determinar el peso de las unidades (Criterios sin daño o mínima roción)

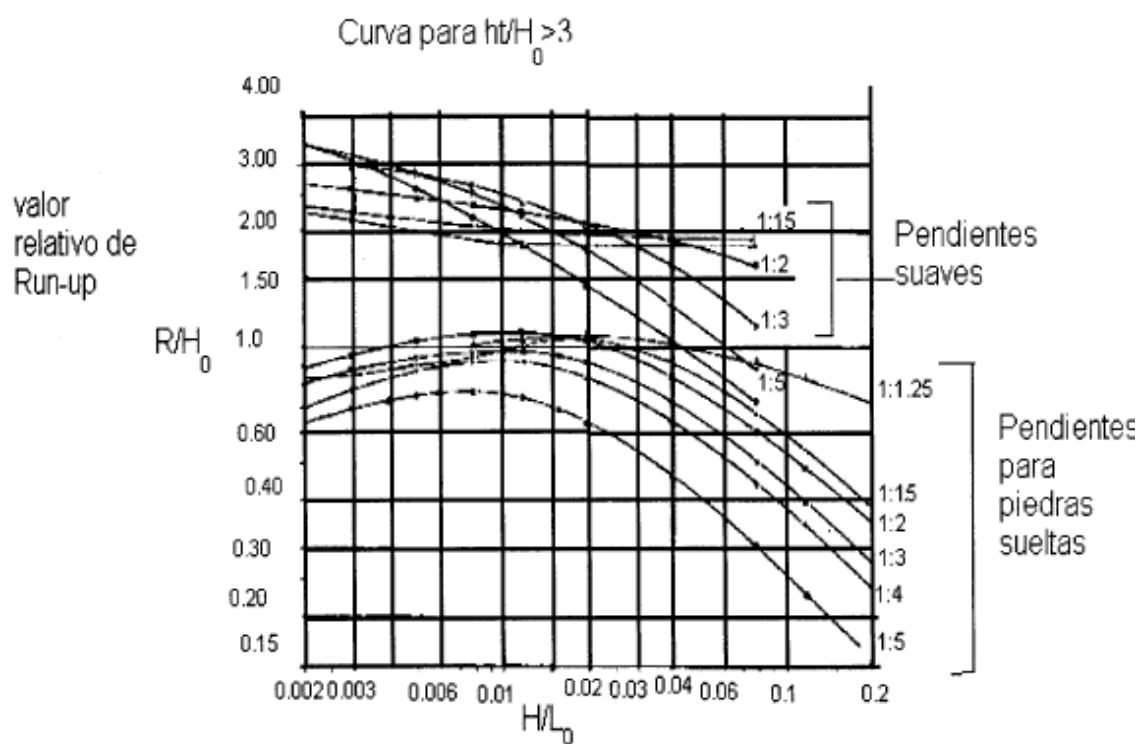
Tipo de elementos en la coraza	n(1)	Colocación	Tronco de la escollera K_d (4)		Morro de la escollera K_d		Talud $\cot\theta$
			Ola rompiente	Ola no rompiente	Ola rompiente	Ola no rompiente	
Roca de cantera	2	Azar	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 a 3.0 (5) (5)
Lisa y redondeada	>3	Azar	2.8	3.2	2.1	2.3	
Lisa y redondeada							
Rugosa y angulosa	1	Azar (2)	(2)	2.9	(2)	2.3	(5)
Rugosa y angulosa	2	Azar	3.5	4.0	2.9 2.5 2.0	3.2 2.8 2.3	1.5 2.0 3.0
Rugosa y angulosa	>3	Azar Especial(3)	3.9 4.8	4.5 5.5	3.7 3.5	4.2 4.5	(5) (5)
Tetrápodos y cuadrípodo	2	Azar	7.2	8.3	5.9 5.5 3.7	6.6 6.1 4.1	1.5 2.0 3.0
Tribar	2	Azar	9.0	10.4	8.3 7.8 7.0	9.0 8.5 7.7	1.5 2.0 3.0
Dolos	2	Azar	22.0 (6)	25.0 (6)	15.0 13.5	16.5 15.0	(7) 3.0
Cubo modificado	2	Azar	6.8	7.8	--	5.0	(5)
Hexápodo	2	Azar	8.2	9.5	5.0	7.0	(5)
Tribar	1	Uniforme	12.0	15.0	7.5	9.5	(5)

Anexo.6 Tabla de valores de K_d en función del daño sobre la coraza y el tipo de elementos utilizados.

Tipo de elemento		Daños en porcentaje (D)						
		0 a 5	5 a 10	10a 15	15a 20	20a 30	30a 40	40a 50
Roca de cantera (lisa)	H/H _{D=0}	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
	K _d	2.4	3.0	3.6	4.1	5.1	6.7	8.7
Roca de cantera (rugosa)	H/H _{D=0}	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56
	K _d	4.0	4.09	6.6	8.0	10.0	12.4	15.0
Tetrápodos y cuadrípodo	H/H _{D=0}	1.00	1.09	1.17	1.24	1.32	1.41	1.50
	K _d	8.3	10.8	13.4	15.9	19.2	23.4	27.8
Dolos	H/H _{D=0}	1,00	1,10	1,14	1,17	1,20	1,24	1,27
Tribar	H/H _{D=0}	1.00	1.11	1.25	1.36	1.50	1.59	1.64
	K _d	10.4	14.2	19.4	26.2	35.2	41.8	45.9

Anexo.7 Tabla del Coeficiente de capa y porosidades de varios tipos de elementos de coraza. K_{Δ}

Elementos de coraza	n	Colocación	Coeficiente de capa K_{Δ}	Porosidad (P), en %
Roca de cantera (lisa)	2	Volteo	1.02	38
Roca de cantera (rugosa) escollera.	>3	Volteo	1.15	37
Roca de cantera (rugosa)	2	Volteo	1.10	40
Cubo modificado	2	Volteo	1.10	47
Tetrápodos	2	Volteo	1.04	50
Quadrípodo	2	Volteo	0.95	49
Hexápodo	2	Volteo	1.15	47
Tribar	2	Volteo	1.02	54
Dolos	2	Volteo	1.00	63
Tribar	1	Uniforme	1.13	47



Anexo.8 Diagrama para la obtención de los valores remonte: