

Protección del tramo de costa “La Guardia – La Restinga” en Venezuela. 3: Soluciones

Luis Fermín Córdova López

Centro de Investigaciones Hidráulicas, CUJAE, La Habana

e-mail: cordova@tesla.cujae.edu.cu

Ronnie Torres Hugues

Centro de Investigaciones Hidráulicas, CUJAE, La Habana

e-mail: ronnie@cih.cujae.edu.cu

RESUMEN

Una vez que se ha analizado en trabajos anteriores el comportamiento del oleaje, las corrientes y el transporte de sedimentos en el tramo costero “La Guardia – La Restinga”, en el cual se está produciendo una acelerada erosión de la playa, se plantean un grupo de acciones costeras para satisfacer las demandas realizadas por el Ministerio del Ambiente de este territorio. Las modificaciones en cuanto a la dinámica costera ocasionadas por estas obras son descritas en este trabajo.

Palabras clave: costa, dinámica costera, obras costeras, soluciones de protección, Venezuela.

Protection of “La Guardia - La Restinga” coast in Venezuela. Part 3: Solutions

ABSTRACT

Behaviour of wave, current and sediment transport in coastal sector of “La Guardia – La Restinga” was analysed in former papers. In this coastal sector an accelerated erosion of the beach is being produced. In order to mitigate it, a group of coastal actions have been indicated taking into account the requirements of Ministerio del Ambiente for this land. Modifications in coastal dynamics as a consequence of these works are described in this paper.

Keywords: coast, coastal dynamics, coastal works, protecting solutions, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

En el tramo costero conocido como La Guardia – La Restinga se está produciendo una acelerada erosión de la playa producto de eventos ambientales y la acción del hombre, lo cual está afectando negativamente el desarrollo socio-económico de la zona. Las estructuras colocadas más de 20 años no satisfacen las nuevas condiciones de la zona en cuanto a protección de la costa y atraque de pequeñas embarcaciones. Además, se ha producido una fuerte erosión en el lugar donde comienza La Restinga, lo que pone en riesgo una importante laguna. Para recuperar este tramo de costa deben llevarse a cabo una serie de acciones.

SOLUCIONES POR SECTOR

Como se ha descrito anteriormente, cada sector de la playa tiene características distintas por lo que la solución debe analizarse casuísticamente. Las medidas para cada sector, ver figura 1, se muestran en círculos naranjas en la figura 2. Además, en esta figura se muestra para distintas estructuras la altura de ola, periodo y sobreelevación del nivel del mar debido al oleaje, parámetros que fueron obtenidos con el modelo SWAN (Córdova y Torres 2013). Las estructuras duras fueron calculadas a partir de la fórmula de Van der Meer (1993).



Figura 1. Sectores en la playa La Guardia

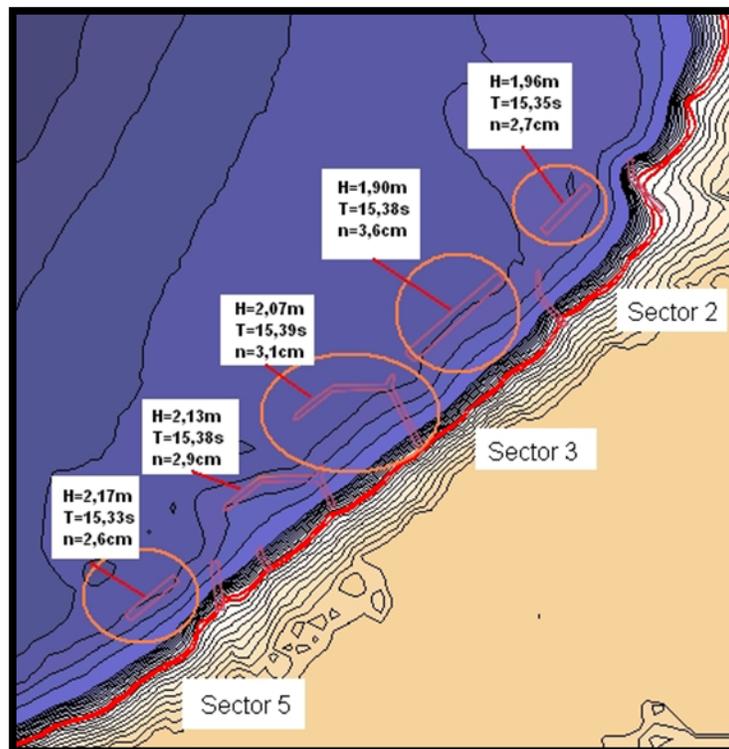


Figura 2. Esquema en planta con las obras actuales, obras propuestas y el oleaje incidente

Sector 1

Considerando que, en este sector, la playa presenta un ancho de varios metros, lo cual es beneficioso para la protección de la población, se considera:

No llevar a cabo ninguna acción.

Sector 2

Este sector de costa sufre, en ocasiones, de penetraciones del mar, por lo que la solución debe estar encaminada a disminuir este efecto disipando la energía del oleaje. Para ello se considera llevar a cabo:

- La colocación de un rompeolas emergido.

El rompeolas es diseñado para disminuir las penetraciones del mar, se considera para su altura el dato más crítico de marea que ha ocurrido en la zona, 1 m de marea. Se proyecta para que sea:

- Rebasable de baja cresta.
- Permeable.
- De elementos sueltos.
- Con armadura y núcleo.
- Estáticamente estable.

Esta tipología se utilizará, de igual manera, en los rompeolas del sector 3 y 5.

Este se ubicará a 200 m de la costa, específicamente entre la punta de los espigones que sirven de límite al sector. Con una longitud de 190 m, queda a 35 m del Espigón 5 y a 75 m del Espigón 4, ver figura 3.



Figura 3. Esquema de la solución para el Sector 2

Para el diseño de la sección transversal de los rompeolas de los sectores 2, 3 y 5 se han considerado los datos de la tabla 1.

Tabla 1. Variables consideradas en el diseño de la sección transversal

Variable	Valor
Cotangente (α)	2
Factor de Permeabilidad	0,5
Bordo Libre [m]	0,6
Profundidad del mar [m]	3
Nivel de Marea [m]	0,5
Nota: α : ángulo del pie del talud	

A partir de los datos de la tabla 1 se obtiene la sección transversal de la figura 4.

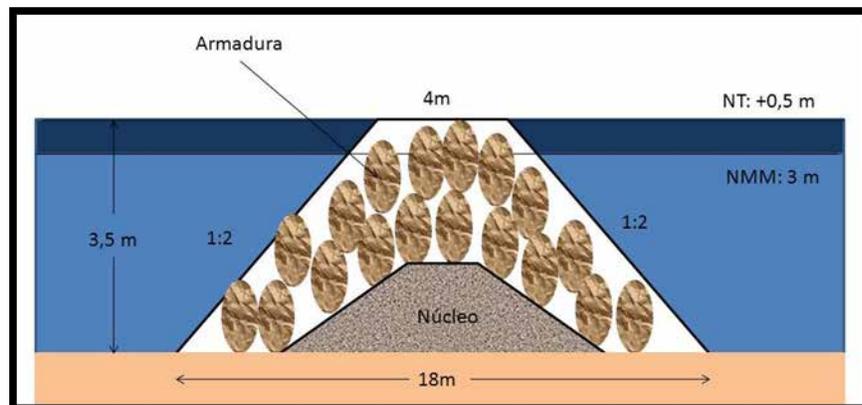


Figura 4. Sección Transversal correspondiente a los rompeolas de los sectores 2, 3 y 5

Para la determinación del peso de los elementos, por la expresión de Van der Meer (1993) para rompeolas en Aguas Someras, se tuvieron en cuenta, además de los datos anteriores, los que aparecen en la tabla 2.

Tabla 2. Variables consideradas en el peso de los elementos

Variable	Valor
Profundidad local, con marea	3,5 m
Altura de ola Significativa	2,17 m
Periodo Medio	15,33 s
Cantidad de olas	2818
Nivel de Daño	Daño Inicial [=2]
Densidad de la roca [kg/m ³]	2650
Densidad del agua [kg/m ³]	1025
Relación H ₂ %/H _s	1,40
Factor de Seguridad	1,63
Factor de reducción de la masa	0,58
Factor de reducción del diámetro	0,83

El factor de seguridad de 1,63 equivale a haber seleccionado un factor de permeabilidad de 0,1. El diseño de los elementos se muestra en la tabla 5.

Sector 3

Al igual que con el sector anterior, éste es afectado por penetraciones del mar, por lo que en este sentido se plantea:

- La colocación de un rompeolas emergido.

La colocación de un puerto muy similar, en cuanto a capacidad, al del Sector 4. El objetivo de esta propuesta es establecer un mejor manejo de la zona costera, dirigido a concentrar los botes pesqueros en ambos puertos, eliminando la actividad de atraque en el sector 1, donde se conjugan en estos momentos la actividad recreativa de la comunidad y visitantes con las actividades típicas del proceso de pesca, produciéndose contaminación y degradación del medio físico.

La tipología de este rompeolas es idéntica a la del rompeolas del Sector 2.

Por su parte, el rompeolas de abrigo del puerto se proyecta:

- Emergido no rebasable.
- Impermeable.
- De elementos sueltos.
- Con coraza, filtro y núcleo.

El rompeolas se ubicará a 190 m de la costa, muy próximo a la punta del Espigón 4 que sirven de límite Este al sector. Con una longitud de 290 m, queda su extremo a 50 m del espigón, ver figura 5.

El rompeolas de abrigo del nuevo puerto estará a 240 m al Este de su homólogo.



Figura 5. Esquema de la solución para el Sector 3

La sección transversal del rompeolas de este sector se corresponde con la anterior. Para el diseño de la sección transversal del rompeolas de abrigo, ver figura 6, además de los valores de la tabla 1, se ha tenido en cuenta la trepada de la ola en ese punto obtenida con el programa informático BREAKWAT (Van der Meer, 1993), ver tabla 3. De la misma se ha seleccionado el valor medio.

Tabla 3. Trepada de la ola según probabilidad de diseño

Nivel de Trepada	0,5%	1%	2%	5%	10%	Significativo	Medio
Valor [m]	7,8	6,4	5,8	4,8	4,3	4,0	2,4

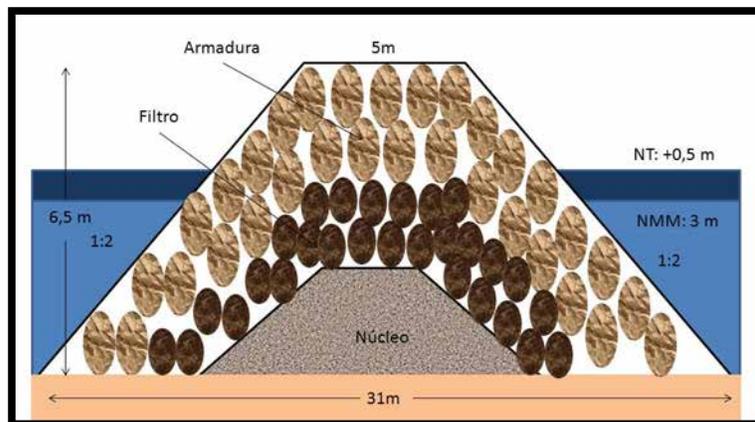


Figura 1. Sección Transversal correspondiente a los rompeolas de abrigo de los sectores 3 y 4

A partir de los datos de la tabla 2 se obtiene el resultado que aparece en la tabla 5.

Sector 4

Debido al deterioro que sufre el Espigón 1, y su función como retenedor de arena se propone:

- Rehabilitar el Espigón 1, el cual cambiará su función, transformándose en elemento de cierre del suministro de arena en su lado Este.

Debido al deterioro que sufre el Rompeolas de abrigo del puerto, y su función como protector se propone:

- Reparar el Rompeolas de abrigo del puerto, incorporando al diseño actual las características del correspondiente al Rompeolas de abrigo del Sector 3.

El Espigón 1 es:

- Emergido con cota de corona de +1 m.
- De elementos sueltos.
- Con coraza, filtro y núcleo.

Por su parte, el rompeolas de abrigo del puerto tiene las siguientes características:

- Emergido con cota de corona de +6,5 m.
- De elementos sueltos.
- Con coraza, filtro y núcleo.
- No rebasable e impermeable.

Ambas estructuras mantienen su ubicación actual.

Sector 5

En este sector se encuentra la problemática de La Restinga, en la cual se evidencia una fuerte erosión en el extremo oriental de la playa. Esta tiene sus causas en la incidencia del oleaje del norte y noreste que arrastran la arena aguas abajo del lugar, dígase en dirección oeste, y que aguas arriba de este extremo existe un conjunto de estructuras duras tales como un espigón y un revestimiento rocoso que detienen el flujo longitudinal de la arena en esa región reforzándolo en el comienzo de la playa. Por ello es que se propone como medida:

- El retiro del recubrimiento rocoso que se ubica en el extremo oriental del sector.
- La demolición de 100 m de la capa asfáltica al comienzo de La Restinga.
- La colocación de un montículo de cantos rodados en los primeros 100 m del extremo oriental de La Restinga.
- La colocación de un vertimiento de arena que abarca el tramo comprendido entre Espigón 1 y 450 m al oeste del comienzo de La Restinga para recuperar de manera artificial la pérdida de arena de decenas de años.

La colocación de un rompeolas emergido para disminuir la energía de la ola en la zona más erosionada actualmente. La tipología de este rompeolas es idéntica a la del rompeolas del Sector 2. El vertimiento de arena se proyecta:

- Para la parte seca y húmeda de la playa.
- Su perfil se intersecta con el rompeolas que le queda enfrente.
- La altura de la berma es de 0.5 m.

Su geometría en planta es rectangular. En la parte Este descansa sobre el Espigón 1 y se intersecta con la playa a 550 m hacia el Oeste. El rompeolas se ubicará a 130 m de la costa, específicamente en la punta del espigón que sirve de límite al sector. Tiene una longitud de 200 m. El vertimiento de arena se ubicará sobre la parte seca erosionada del comienzo de La Restinga. Se extenderá 550 m a lo largo de la costa hasta que se intersecte con la playa actual, ver figura 7.

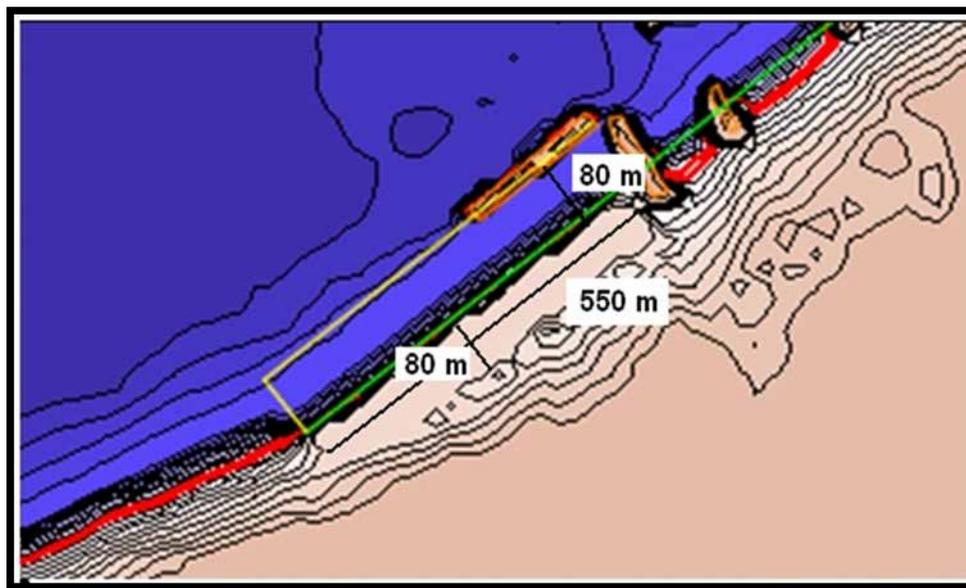


Figura 2. Esquema en planta del vertimiento de arena

La sección transversal del rompeolas de este sector se corresponde con la del Sector 2.

Para la sección transversal del vertimiento de arena se considera un perfil de equilibrio de Dean, con un coeficiente $A = 0,071 \text{ m}^{1/3}$. A continuación se muestra la ubicación de los perfiles, figura 8, empleados para el cálculo del volumen del vertimiento de arena. Estos resultados han sido obtenidos con el programa informático “Sistema de Modelado Costero” (SMC) (GIOC 2006). En la tabla 4 se muestra el área asociada a cada perfil. Para ejecutar este vertimiento de arena es necesario verter 51 884 m³ de arena, según los cálculos realizados con el SMC.

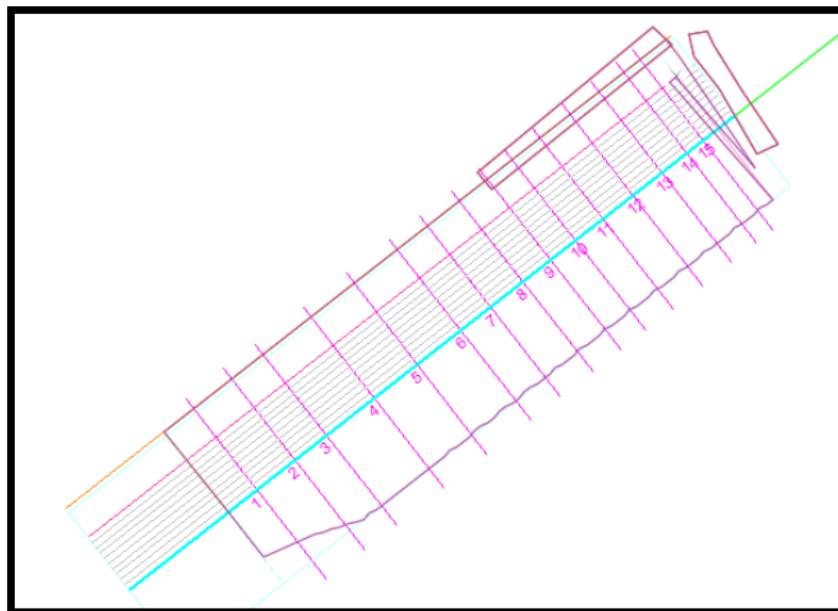


Figura 3. Localización de los perfiles para el vertimiento de arena en La Restinga

Tabla 4. Área correspondiente a cada perfil

Perfil	1	2	3	4	5	6	7	8
Área [m ²]	17.550	27.292	54.638	92.941	108.508	117.450	127.922	139.388
Perfil	9	10	11	12	13	14	15	
Área [m ²]	151.115	158.171	158.811	151.625	138.837	122.595	109.426	

En estas secciones varía el perfil del vertimiento de arena, aumentando el volumen de arena a medida que se aproxima al perfil 15, que es el que se encuentra más próximo al Espigón 1. Este comportamiento es el esperado teniendo en cuenta que los últimos corresponden con la zona erosionada de La Restinga, en la cual el perfil de la playa tiene una pendiente más abrupta.

DISEÑO FINAL DE LAS OBRAS DURAS

Según el análisis realizado se establecen para condiciones normales 15 casos de oleaje, correspondiente a las 5 con mayor probabilidad de ocurrencia por cada dirección analizada.

Tabla 5. Características de los rompeolas

Estructura	RO S2	RO S3	RA S3	RA S4	RO S5
Tipo de Rompeolas	Emergido	Emergido	Emergido	Emergido	Emergido
Talud 1:	2	2	2	2	2
Distancia desde la costa [m]	200	190	-	-	130
Profundidad del mar [m]	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Marea [m]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cota de corona [m]	+0,5	+0,5	+6,5	+6,5	+0,5
Longitud [m]	190	290	Variable	Variable	200
Ancho Corona [m]	4	4	5	5	4
Diám. Nominal de los elementos. Armadura [m]	1,0	1,0	1,2	1,2	1,0
Masa de los elementos. Armadura [kg]	2400	2400	4000	4000	2400
Espesor. Armadura [m]	2,0	2,0	2,4	2,4	2,0
Diám. Nominal de los elementos. Filtro [m]	-	-	0,6	0,6	-
Masa de los elementos. Filtro [kg]	-	-	500	500	-
Espesor. Filtro [m]	-	-	1,8	1,8	-
Diám. Nominal de los elementos. Núcleo [m]	0,30	0,30	0,15	0,15	0,30
Masa de los elementos. Núcleo [kg]	75	75	123	123	75
Diám. Nominal de los elementos. Morro [m]	1,0	1,0	1,8	1,8	1,0
Masa de los elementos. Morro [kg]	8300	8300	14500	15400	8300

Desde un punto de vista práctico se considera que los rompeolas de los sectores 2, 3 y 5, RO S2, RO S3 y RO S5 respectivamente, tendrán las mismas características en cuanto al diámetro y peso de los elementos. El resto de las características se muestran en la tabla 5. Los rompeolas de abrigo del sector 3 y 4, RA S3 y RA S4, presentan igual diseño.

Para la determinación de los diámetros de los elementos se tuvo en cuenta el planteamiento expuesto en Van der Meer (1993), ver tabla 6.

Tabla 6. Relación de diámetros de Van der Meer

Caso	P	Relación de Diámetro Nominal 50			Espesor [m]	
		Armadura	Filtro	Núcleo	Armadura	Filtro
1	0,1	D_{n50A}	$\frac{D_{n50A}}{D_{n50F}} = 4,5$	-	$2D_{n50A}$	$0,5D_{n50A}$
2	0,4	D_{n50A}	$\frac{D_{n50A}}{D_{n50F}} = 2$	$\frac{D_{n50F}}{D_{n50N}} = 4,0$	$2D_{n50A}$	$1,5D_{n50A}$
3	0,5	D_{n50A}	-	$\frac{D_{n50A}}{D_{n50N}} = 3,2$	$2D_{n50A}$	-
4	0,6	D_{n50A}	-	-	-	-
D_{n50A} : Diámetro Nominal de las piedras de la Armadura. D_{n50F} : Diámetro Nominal del material de filtro. D_{n50N} : Diámetro Nominal del núcleo.						

No obstante lo expuesto, se recomienda realizar un modelo físico para estudiar la estabilidad de este diseño.

DISEÑO FINAL DEL VERTIMIENTO DE ARENA

El diseño del suministro de arena para la zona erosionada de La Restinga queda según se muestra en la figura 7.

Tabla 7. Diseño final del Vertimiento

Variable	Valor
Geometría en planta	Rectangular
Diámetro medio [mm]	0,125
Longitud [m]	550
Ancho de la Berma [m]	80
Altura de la Berma [m]	0,5
Ancho del frente de playa [m]	3
Volumen a verter [m ³]	51884
40% [m ³]	20754
Volumen total [m ³]	72638

COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS

La efectividad de las soluciones propuestas se lleva a cabo mediante la comparación de la tasa de transporte de sedimentos para la situación actual y después de la colocación de las estructuras propuestas, tabla 8. En este sentido se hace énfasis en los efectos de las soluciones para el Sector 5, tabla 9. Se destaca que la comparación se realiza para tres alturas de olas en condiciones normales que corresponden con las de mayor aporte al transporte de sedimento neto, y se selecciona la dirección Norte para la comparación en condiciones extremas por ser la situación más desfavorable.

Tabla 7. Estimación del transporte de sedimentos en la situación actual

No	H [m]	T[s]	Dirección	P [%]	S [m ³ /h/ml]	Ancho zona activa [m]	S [m ³ /a]
1	1,5	4,5	Noroeste	0,1565	-0,43	80	-472
2	1,5	5,5	Norte	0,5854	0,8	90	3692
3	2,5	7,5	Noreste	1,6983	2	50	14877
4	10,68	17,55	Norte	-	20	80	19200
H: altura de ola, T: periodo de la ola, P: probabilidad de ocurrencia, S: transporte de sedimentos.							

Estas medidas transforman la magnitud del transporte de sedimentos en la zona de La Restinga disminuyéndolo desde un 50 hasta un 80%, según se aprecia en la tabla 9 y figuras 9 y 10.

Tabla 8. Efecto del Rompeolas RO S5

Parámetro	H [m]	T[s]	Dirección	Sin realizar acciones	Con Rompeolas	Reducción [%]
Altura de ola [m]	1,5	4,5	Noroeste	1,69	0,25	85
	1,5	5,5	Norte	1,63	0,25	84
	2,5	7,5	Noreste	1,35	0,25	81
	10,68	17,55	Norte	2,17	0,25	89
Corriente [m/s]	1,5	4,5	Noroeste	0,10	0,02	80
	1,5	5,5	Norte	0,06	0,04	33
	2,5	7,5	Noreste	0,08	0,05	37
	10,68	17,55	Norte	0,15	0,12	20
S [m ³ /a]	1,5	4,5	Noroeste	-1316	-472	64
	1,5	5,5	Norte	13846	3692	73
	2,5	7,5	Noreste	29754	14877	50
	10,68	17,55	Norte	96000	19200	80

Para los sectores 2 y 3 se muestra la efectividad de las soluciones para disminuir las penetraciones del mar al disminuir las alturas de ola, según se muestra en la figura 10. Es preciso

recordar que en estos puntos la altura de ola bajo las condiciones actuales oscila entre 0,5 y 1 m. Por lo que esta solución permite disminuir la altura de ola entre un 50 y un 25% respectivamente.

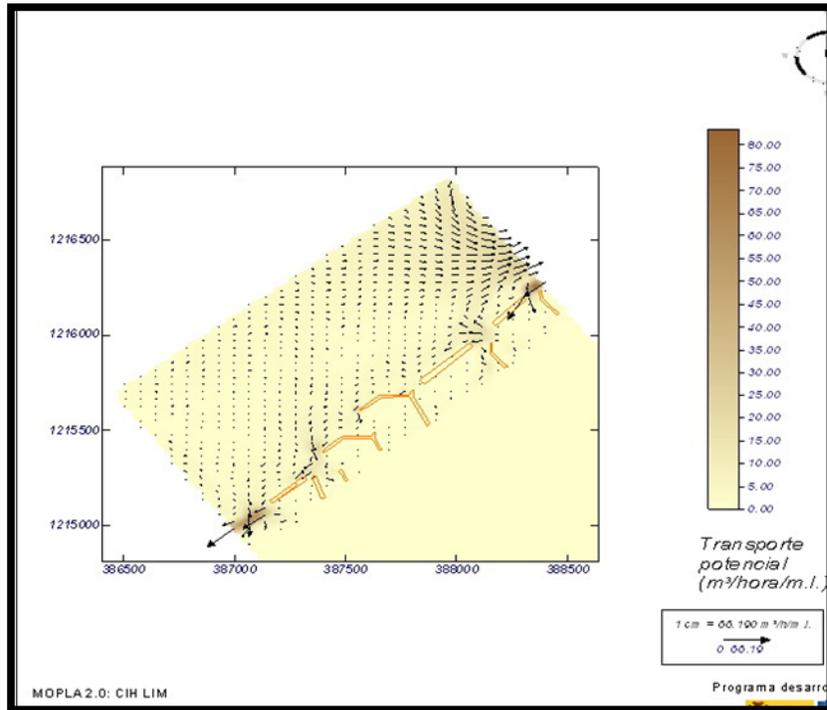


Figura 4. Comportamiento del Transporte de sedimentos para condición extrema afectado por las estructuras

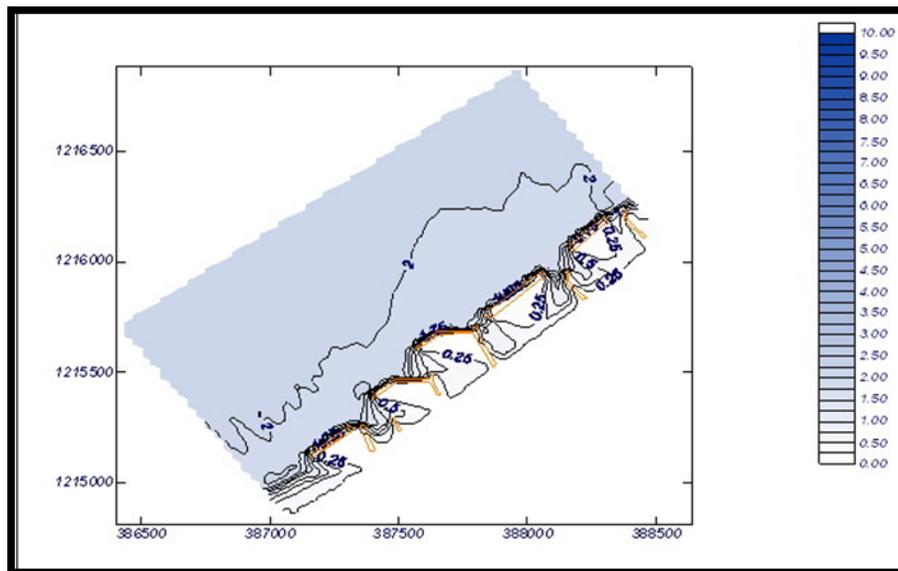


Figura 5. Comportamiento del oleaje del N para condiciones extremas en el interior de las soluciones propuestas.

CONCLUSIONES

A partir de las simulaciones realizadas mediante el uso del programa de computación SMC, las acciones costeras propuestas satisfacen la necesidad de proteger la costa contra las inundaciones en los sectores 2 y 3 y proceso erosivo en la zona de la Restinga (Sector 5). Con la propuesta de la construcción de un nuevo puerto (Sector 3) para las embarcaciones de la cooperativa pesquera se incrementan las capacidades de abrigo de embarcaciones y se elimina la utilización del Sector 1, la cual constituye zona de playa y con uso recreacional para toda la población; de llevarse a cabo esta propuesta se logra la disminución de la contaminación del medio marino en el Sector 1.

REFERENCIAS

- Córdova, L. y Torres, R. (2013).** "Protección del tramo de costa "La Guardia - La Restinga en Venezuela. 2: Dinámica Costera". Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXXIV, No. 1, pp.19-33, CIH, CUJAE, La Habana.
- GIOC (2006).** "Sistema de Modelado Costero". Universidad de Cantabria, M01-SMC, Cantabria, Jun.
- Van der Meer, J. (1993).** "Conceptual design of rubble mound breakwaters". WL|Delft Hydraulics, Publication no 483, Delft, Jan.
- Van der Meer, J. (1993).** "BREAKWAT 2.00". Reporte Técnico BWM01-UM, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands, Mar.