

**UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTION DEL
RIESGO DE DESASTRES**



**FONDO NACIONAL PARA LA GESTION DEL RIESGO
DE DESASTRES**

CONTRATO No. 9677-PPAL001-067-2024

En virtud del presente contrato interadministrativo, LA UNIVERSIDAD, se obliga para con el FONDO a: Asesorar técnicamente el desarrollo de las actividades de verificación de parámetros y ajuste de diseños en la ejecución del proyecto “Intervenciones para mitigar y prevenir la erosión costera el distrito de Cartagena” conforme a las actividades y ejecución de las obras que se desarrollen en el marco del convenio administrativo No. 9677-PPAL001-257-2018, celebrado entre el Fondo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre -FNGRD- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre – UNGRD- y el Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias.

**SEGUIMIENTO A LAS OBRAS DE PROTECCION COSTERA
CARTAGENA**

**FASE II COMPONENTE 1
SECTOR EL CABRERO ENTRE ESPOLONES 7 Y 8**

CARTAGENA, ABRIL 04 2024



**UNIVERSIDAD DE
CARTAGENA**

**INSTITUTO DE
HIDRAULICA Y
SANEAMIENTO
AMBIENTAL - IHSA**

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
2	REVISION DE LOS PARAMETROS DE LAS OBRAS DISEÑADAS DE LA FASE II COMPONENTE 1 DEL PROYECTO DE PROTECCION COSTERA.....	4
2.1	PLANTAS DE EQUILIBRIO ESTIMADAS EN PLAYA 6.....	5
2.1.1	PLANTAS DE EQUILIBRIO ESTIMADAS EN PLAYA 6 (ENTRE ESPOLONES 7 Y 8)	6
3	AJUSTE DISEÑO SOLUCIÓN ENTRE ESPOLONES 7 Y 8	7
3.1	Alternativa 1	7
3.2	Alternativa 2	8
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	9
5	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	10

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto *“Actualizar los diseños y línea base ambiental para las obras de protección costera en el tramo comprendido entre el Túnel de Crespo y el Espolón Iribarren, y ampliación de la Avenida 1era de Bocagrande, en Cartagena de Indias D.T y C.”* desarrollado bajo el Contrato Interadministrativo No. VAL 02-2017, el Instituto de Hidráulica y Saneamiento Ambiental de la Universidad de Cartagena elaboró los diseños correspondientes al objeto del contrato de acuerdo con las condiciones, modelación y datos de campo recopilados. Considerando que estos diseños se realizaron en el año 2017 y la construcción de las estructuras solo inició en el año 2021, se ha requerido llevar a cabo una actualización de los componentes del diseño que sean necesarios, de acuerdo con los cambios de las condiciones actualizadas del terreno en cuanto a topografías y batimetrías, desarrolladas conforme a las actividades y ejecución de las obras que se desarrollen en el marco del convenio administrativo No. 9677-PPAL001-257-2018, celebrado entre el Fondo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre -FNGRD- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre –UNGRD- y el Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias. En este sentido, y en el marco del Contrato interadministrativo No. 9677-PPAL001-067-2024, entre la Universidad de Cartagena y el Fondo Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres se realiza un seguimiento a las obras construidas actualmente en la Fase II componente 1 del proyecto de protección costera, más específicamente entre los espolones 7 y 8 y, con el fin de verificar el comportamiento hidrodinámico de estas obras ya implantadas en el sitio.

En este documento se inicia con la actualización del clima marítimo comparado con el clima marítimo definido a partir de la serie de oleaje empleada en los diseños originales, seguidamente se realiza la verificación de las plantas de equilibrio estimadas una vez construidas las obras.

2 REVISION DE LOS PARAMETROS DE LAS OBRAS DISEÑADAS DE LA FASE II COMPONENTE 1 DEL PROYECTO DE PROTECCION COSTERA.

Una playa rara vez permanecen con una línea de costa recta. La playa recta, se transforma gradualmente en una playa curva definida por una ecuación polinomial que depende únicamente de la dirección predominante del oleaje y de la distancia entre las estructuras rocosas naturales o artificiales que conforman la costa. (Silvester y Hsu, 1997). La orientación de la línea de costa de las playas y por consiguiente su ancho, varía de acuerdo con la época del año, buscando la línea de costa una orientación perpendicular a la dirección del oleaje incidente (ortogonal perpendicular a la cresta de la ola). La Figura 1, muestra la dirección predominante del oleaje mar afuera en el Caribe colombiano, indicando que en el trimestre diciembre- enero-febrero (DEF) y en el trimestre marzo-abril-mayo (MAM) predominan las direcciones Norte (N) y Nor-Noreste (NNE) que coinciden con la presencia de los vientos alisos. Para los otros dos trimestres, las direcciones son más variadas. (Figura 1).

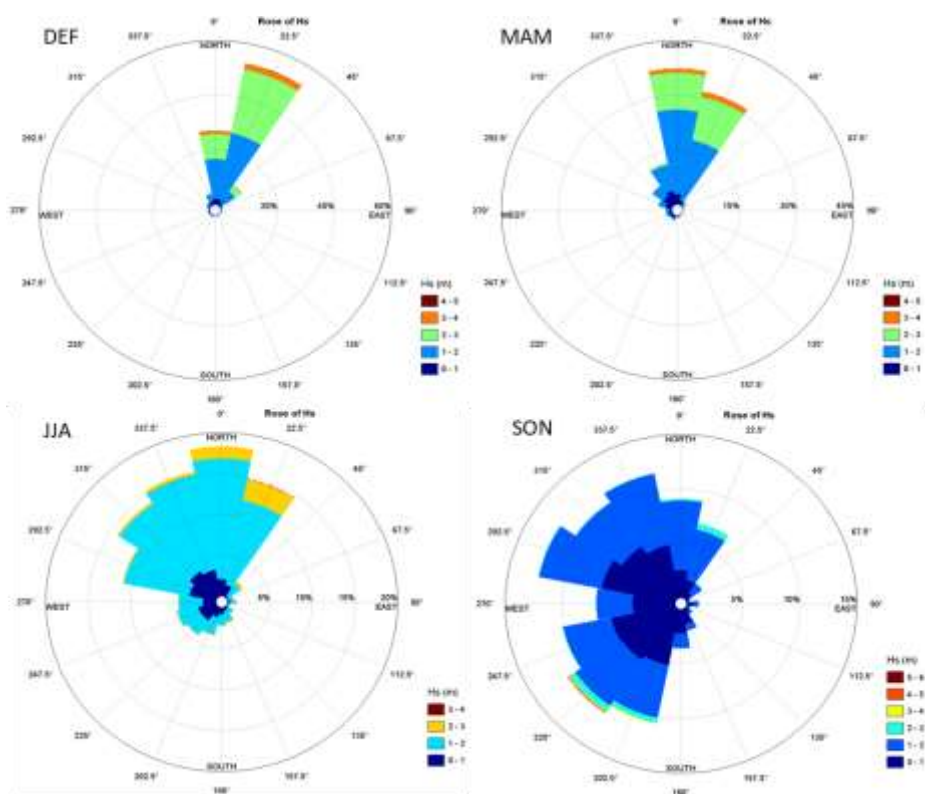


Figura 1 Rosas de Oleaje mar afuera en el Caribe para los cuatro períodos climáticos indicando alturas (Hs) en metros, direcciones (grados) y porcentajes de ocurrencia (eje horizontal).

Es bueno aclarar en esta figura que, en las rosas de oleaje, los eventos de oleaje se agrupan en 16 direcciones con una amplitud de 22.5°, como indica la Figura 1, por lo que cuando se escoge una dirección de propagación del oleaje para hacer una modelación (N, NNE, NNO, etc.) se asume que

los oleajes provienen de las direcciones de la rosa de oleaje por lo que las direcciones con $\pm 11.25^\circ$ son representados con una única dirección específica.

2.1 PLANTAS DE EQUILIBRIO ESTIMADAS EN PLAYA 6

Como se dijo anteriormente, la línea de costa varía gradualmente en una playa formando una curva definida por una ecuación polinomial. El estado de equilibrio en planta (vista desde arriba de la línea de costa en un plano horizontal) se basa en la parametrización de la forma en planta de la playa siguiendo una determinada curva, cuyas características dependen de las condiciones de contorno y del oleaje medio que se aproxima a la playa (Figura 2). Se aplica a playas encajadas (entre dos puntas rocosas o entre dos espolones), y se asume que no existen entradas ni salidas del sedimento fuera del sistema limitado por las estructuras, la costa y la profundidad de cierre del perfil de la playa, sin embargo, estas playas están sujetas a variaciones en su forma debido a la existencia de gradientes en el sentido longitudinal de transporte de sedimentos. Para el caso del estudio realizado por la Universidad de Cartagena a las playas en estudio, se aplicó el modelo en planta de González (1995), basado en el modelo parabólico de Hsu y Evans (1989) quienes propusieron un modelo parabólico con una expresión para la forma en planta de la playa afectada por la difracción – refracción del oleaje como se indica en la Figura 2, y que será la planta de equilibrio que se obtiene a largo plazo, cuando ya esté consolidado el relleno.

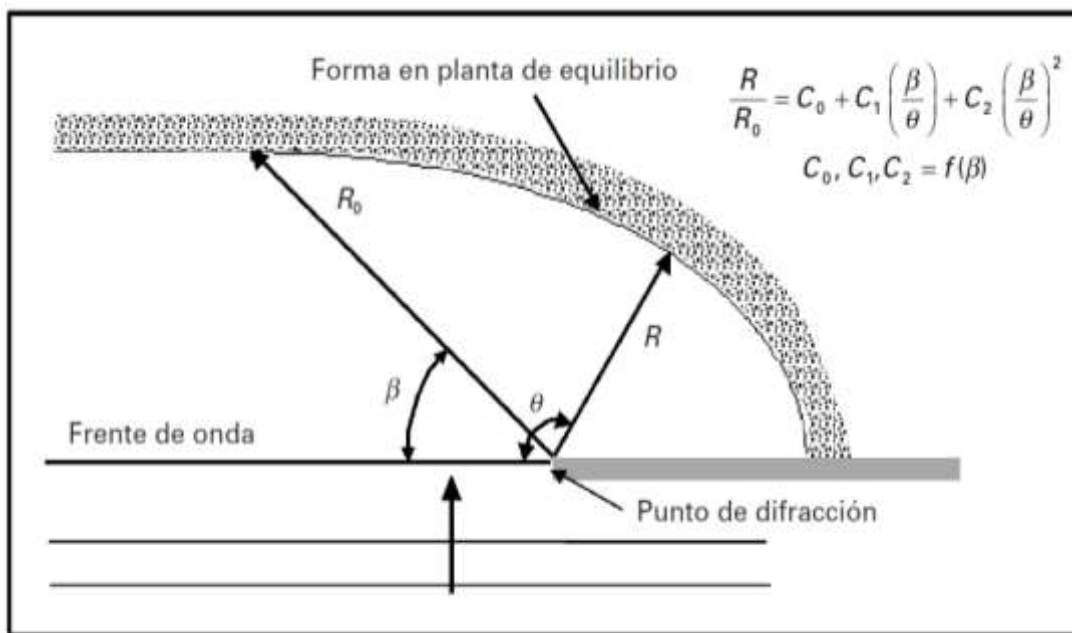


Figura 2 Forma en planta de equilibrio de una playa y las variables que intervienen.
(Medina, Vidal, González, Bernabeu y Galofré, 2001).

Es importante subrayar que esta aproximación supone una forma de equilibrio como respuesta a la acción del oleaje dominante, por lo que no puede asumirse que es una forma estática, sino que

sufrirá variaciones en función de las características del oleaje incidente (sin considerar el efecto de las tormentas). Este tipo de variaciones de la línea de costa se denominan basculaciones o basculamientos y, por lo general, tienen un carácter estacional relacionado con los cambios en la dirección del oleaje incidente. (Sánchez-Arcilla y Jiménez,1995).

Para aplicar el modelo es necesario conocer las características del frente de la onda en el punto de difracción que genera la estructura (espolón). Para ello se realizó el análisis de los patrones de oleaje por medio del modelado numérico haciendo usos de dos modelos, el SWAN y el Oluca-SP. Con el modelo SWAN se propagó el oleaje de mar afuera hasta la zona cerca de la costa y se generaron resultados en varios puntos frente al área de interés a una profundidad aproximada de 12 m. Con el modelo Oluca-SP se propagó el oleaje desde los puntos de salida de SWAN hasta la línea de costa utilizando mallas con celdas más pequeñas (10x10m) para obtener mayor resolución. Con los resultados de la modelación con Oluca-SP se obtuvieron alturas de ola y direcciones frente a cada costa. Con esos datos se calcularon las corrientes, el transporte de sedimentos y los estados de equilibrio en las playas.

2.1.1 PLANTAS DE EQUILIBRIO ESTIMADAS EN PLAYA 6 (ENTRE ESPOLONES 7 Y 8)

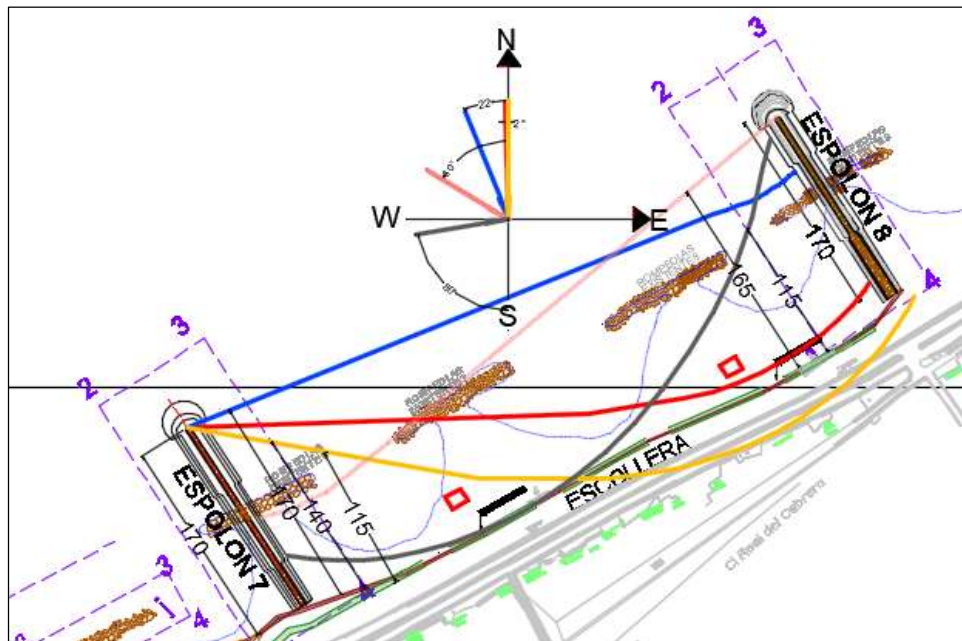


Figura 3. Forma en planta de la playa 6, para diferentes direcciones del oleaje en la zona.

La Figura 3 presenta las plantas de equilibrio de la playa 6, definida entre los espolones 7 y 8 para las diferentes direcciones de oleaje incidente. Para la época de vientos, de acuerdo al análisis realizado por las rosas de oleaje en el capítulo 2, el oleaje se aproxima a la línea de costa de la playa 6 con las direcciones que se indican (cuadrante N-W); tomando como límite de playa seca para la zona de bañistas, la escollera a construir, se observa un mayor ancho de playa seca sobre el espolón

7 (líneas de colores amarillo, azul y rojo) con anchos de playa seca que irían entre los 115m y 172m, mientras que para las direcciones que provienen más del Norte existe una afectación hacia la escollera (línea roja y amarilla); para el caso del oleaje Oeste (W) descrito con la línea rosada, se observa una variación de la planta de equilibrio donde la playa tiende a estabilizarse de forma casi paralela generando un ancho de playa hacia el espolón 8 con un ancho aproximado de 165m. Para la línea gris que representa los oleajes provenientes del Sur Oeste, se observa que las ganancias de playa son menores a los casos provenientes del sur con anchos promedios de 115 m hacia el espolón 8, mientras que hacia el espolón 7, la tendencia es hacia la escollera; todas estas plantas de equilibrio estimadas se alcanzan una vez esta playa alcance su estado de equilibrio y que se representa en una condición a largo plazo.

Teniendo en cuenta el análisis de plantas de equilibrio estimadas para playa 6 (Figura 3), en el que se evidencia que para los oleajes evaluados, si bien el tramo entre los espolones 7 y 8 mitiga los procesos erosivos teniendo como limite la escollera a construir entre estos espolones que fue diseñada teniendo en cuenta las variables de cambio climático y ascenso del nivel del mar y que se espera una estabilización de las playas como lo muestran las líneas de planta de equilibrio, es importante tener en cuenta que esto se dará en un largo plazo; por lo que se hace necesario evaluar alternativas que permitan que la playa que se va a conformar con el relleno arenoso a depositar se mantengan en el mediano y corto plazo.

3 ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA AJUSTE DE DISEÑO COMPORTAMIENTO PLAYA 6.

Con el fin de mitigar los efectos que se generan por la construcción de los espolones 7 y 8 a la playa que se conformará entre los mismos espolones se evalúan las siguientes alternativas:

3.1 Alternativa 1

La primera alternativa propuesta consiste en realizar un alargamiento en los dos espolones, 110 m para el espolón 7 y 60 m para el espolón 8 (Figura 4).

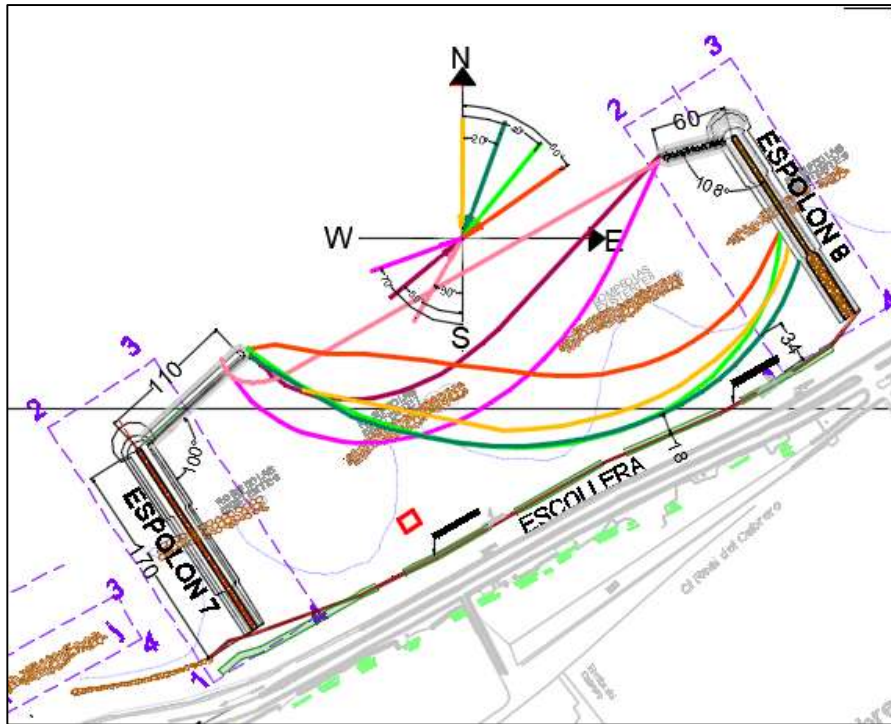


Figura 4. Alternativa propuesta 1.

En la Figura 4, se aprecian las plantas de equilibrio estimadas, con el ajuste realizado al diseño alargando los espolones 7 y 8 en las longitudes y direcciones mostradas en la imagen. Con esta alternativa se logra mitigar los efectos de pérdida de playas para las direcciones predominantes en la zona, permitiendo que para las condiciones mas criticas se logre mantener anchos de playa hasta de 18m aproximadamente.

3.2 Alternativa 2

Esta alternativa plantea la construcción de un espolón intermedio con una longitud de 105 m entre los espolones 7 y 8, tal y como se presenta en la Figura 5

5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CEPAL; UC-IH CANTABRIA. (2015). Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: Dinámicas, Tendencias y Variabilidad Climática. Santiago de Chile.

Montoya, R., Osorio Arias, A., Ortiz-Royer, J., & Ocampo-Torres, F. (2013). A wave parameters and directional spectrum analysis for extreme winds. *Ocean Engineering*, 67, 100-118.

Osorio, A. F., Montoya, R. D., Ortiz, J. C., & Pelaez, D. (2016). Construction of synthetic ocean wave series along the Colombian Caribbean Coast: A wave climate analysis. *Applied Ocean Research*, 56, 119-131.

Otero, L., Ortiz-Royero, J., Ruiz-Merchan, J., Higgins, A., & Henriquez, S. (2016). Storms or cold fronts: what is really responsible for the extreme waves regime in the Colombian Caribbean coastal region? *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 391-401.

Restrepo, J., Otero, L., Henao, C., Herrera, E., & Osorio, A. (2011). Erosión costera. En P. N. Naturales, *El Entorno Ambiental del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo* (págs. 95 - 107). Cartagena: PNN.

Torres Parra, R. (2013). Sea-level variability in the Caribbean Sea over the last Century. Thesis for the degree of Doctor Philosophy. United Kingdom: Faculty of Natural and Environmental Sciences - University of Southampton.

Torres, R., Gómez, J., & Afanador, F. (2006). Variación del nivel medio del mar en el caribe colombiano. *Boletín científico CIOH* (24), 64-72.

Torres, R., Otero, L., Afanador, F., & Marriaga, L. (2008). Comportamiento del nivel del mar en el litoral Caribe colombiano. *Boletín científico CIOH* (26), 8-21.

IHSA - UdeC (2017). Informe final de protección costera - actualizar los diseños y línea base ambiental para las obras de protección costera en el tramo comprendido entre el Túnel de Crespo y el Espolón Iribarren, y ampliación de la Avenida 1era de Bocagrande, en Cartagena de Indias D.T y C. Contrato interadministrativo No. VAL 02-2017



Alfonso Arrieta Pastrana

PhD En Ciencias del Mar.

Director Instituto de Hidráulica

Universidad de Cartagena

