

Mitigación de Erosión en Paseo Lineal en Puerta de Tierra

Fernando J. Martínez Cintrón

Programa de Gerencia de Ingeniería

Dr. Héctor J. Cruzado

Departamento de Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y Agrimensura

Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — La situación actual en el Paseo Lineal de Puerta de Tierra requiere una acción inmediata para mitigar la erosión costera. Bajo el renglón de análisis, se evaluaron varias alternativas y en busca de efectividad tanto económica, durabilidad, y proceso de instalación se encontró que el uso de tubos geotextiles son una solución de amplia gama con muchos beneficios como protección de biodiversidad, control de erosión y adaptación al medioambiente. Es imperativo como toda construcción, que haya un monitoreo periódico para maximizar la inversión y a la vez proteger la zona costera.

Términos claves — Cavitación, Ingeniería, Playas, Viejo San Juan

INTRODUCCIÓN

El proceso erosivo es un fenómeno natural que ocurre en todos los cuerpos de agua, especialmente en la zona costera. Esto se debe a un constante proceso de deposición de arena y remoción de arena que son determinados por la energía de las olas y por la fuente de los mismos sedimentos. Esto produce un desbalance cíclico el cual crea un déficit cuando la remoción ocasionada por la erosión no puede ser repuesta luego. Durante los pasados cinco años, el paseo lineal en Puerta de Tierra ha experimentado erosión a tal nivel de comprometer estructuras adyacentes y presentar un peligro inminente a los transeúntes.

El objetivo general de este estudio es presentar la estrategia viable que cumpla con las condiciones existentes y permita el control de erosión en el paseo lineal para conservar la integridad de la playa y todas las infraestructuras aledañas. Por eso es imperativo entender los procesos costeros y luego poder aplicar la ingeniería de forma que se pueda mitigar dichas zonas.

TRASFONDO

El manejo de la erosión costera es vital en cualquier país. Es importante presentar una solución que sea costo efectivo y que beneficie al equilibrio natural de la zona costera.

La construcción del paseo lineal de Puerta de Tierra comenzó en el 2014 con la asignación de \$32 millones. La duración de la construcción fue aproximadamente dos años. La intención principal era crear un centro de recreación pasiva entre los transeúntes, ciclista y poder aliviar el flujo vehicular hacia el Viejo San Juan. Siendo un área altamente concurrida por turistas, el proyecto sería un baluarte a la economía de la ciudad. Siete años más tarde, se puede ver como se ha deteriorado la zona a tal nivel que se han cerrado áreas por alto riesgo a derrumbes.

En la Figura 1 se puede apreciar dos tipos de sedimentos encontrados. El de la izquierda fue introducido como método para el control de erosión a través de geo-muros el cual es un sistema de contención de tierra estabilizada mecánicamente. A la derecha se puede ver el terreno natural encontrado en la región.



Figura 1
Estado Actual en el Paseo Lineal

REVISIÓN DE LITERATURA

Como parte de la revisión de literatura, es importante que se mencione el tipo de erosión

costera que ocurre en el paseo lineal de Puerta de Tierra.

En la Figura 2 se presenta un proceso erosivo sobre un acantilado. Comienza con la socavación del terreno en el punto más bajo. La infiltración de agua continua crea un suelo poco cohesivo por el cual ocasiona desprendimientos. Esto va creando agujeros que a su vez debilitan el terreno alto.



Figura 2

Proceso de Erosión por Acantilado (Fuente: Conocemos la Tierra – Google Imágenes)

La región de mayor impacto necesita una respuesta inmediata. Por esta razón se ha delimitado la zona de mayor riesgo con un aproximado de 1,100 pies lineares. El área a ser impacta es aproximadamente 21,600 pies cuadrados.

En la Figura 3 se aprecia amplia vegetación en la zona lo cual permite absorción de energía creada por las corrientes marítimas. La construcción del Paseo Lineal agravó la situación eliminando esa vegetación y sustituyéndola por geo-muros. La introducción de un material sedimentario diferente al existente aportó también al derrumbe del geo-muro en el área. Luego de la construcción, la Figura 4 se aprecia la reducción de vegetación en el área costera lo cual posibilitó un desbalance al terreno creando erosión por acantilado.



Figura 3

Estado de la Zona Costera en el 2006 (Fuente: Google Earth)



Figura 4

Estado en la Zona Costera en el 2019 (Fuente: Google Earth)

Mediante la aplicación de métodos ingenieriles, se podrá mitigar el proceso de erosión costera. Existen varios métodos viables que pueden reducir la erosión costera. Estos son:

- **Regeneración de Playas:** Proceso mediante el cual se extrae arena de otro lugar para rellenar el área afectada y poder estabilizar el proceso natural de la erosión. [1]
- **Geotextiles:** El uso de geotextiles rellenos de arena para poder mantener la arena en la zona y evitar que la misma regrese al mar debido a la erosión. [2]
- **Arrecifes Artificiales:** Se construyen en el área del ante playa y su finalidad es actuar como un rompeolas sumergido.
- **Rompeolas:** El método utiliza rocas de gran magnitud en altamar o en la costa para reducir la energía potencial de la ola. [1]
- **Dolos:** Son principalmente bloques de hormigón armado de formas geométricas que pueden llegar a pesar hasta 80 toneladas. Son utilizados en muchas ocasiones para construir revestimientos de protección contra las fuerzas erosivas de las olas de un cuerpo de agua.

Anteriormente se han presentado casos parecidos en otras jurisdicciones de los Estados Unidos. La sección de playa en Miami Beach, luego del Huracán Irma, estuvo bajo un foco de erosión crítica. El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, bajo una inversión de \$16 millones aplicó la regeneración de playas vertiendo alrededor de 305,000 yardas cúbicas de arena [3].

ANÁLISIS DE CASO

La erosión en el Paseo Lineal ha llegado a un punto donde es necesario una respuesta para mitigar el impacto tanto ecológico como estructural. De las alternativas mencionadas anteriormente, la regeneración de playas es una opción viable que permite reestablecer un perfil de equilibrio de la playa. No acarrea consecuencias nefastas puesto que permite elevar la pendiente de las playas. El material extraído debe ser igual al existente de forma tal que no altere el sistema. Conlleva un costo alto debido al acarreo del material puesto que la zona no es de fácil acceso. El reto se encuentra en el uso de sistemas hidráulicos en altamar para bombear arena en las zonas más afectadas. El costo aproximado de acarrear material considerando un viaje de 30 millas es de \$50.00 por yarda cúbica. Equivaldría un costo aproximado de \$2.5 millones.

Por otro lado, el uso de tubos geotextiles de polipropileno puede ser utilizado para poder mantener la arena en la zona y evitar que regrese al mar debido a la erosión. Tienen menor impacto visual dado que están formados por materiales que son permeables, flexibles, resistente y favorecen al crecimiento de vegetación. Requieren continuo mantenimiento debido a que pueden absorber agentes contaminantes. Pueden ocasionar déficit sedimentario en otras zonas no protegidas. El costo aproximado de utilizar geotextiles en la zona baja del paseo lineal es de unos \$300 por pie lineal. Esto equivaldría a un costo aproximado de \$3.0 millones instalando 10 filas de tubos a lo largo de la zona impactada. La Figura 5 presenta uno de los métodos de instalación para los geotextiles. Pueden ser apilados dependiendo de los requerimientos de diseño.

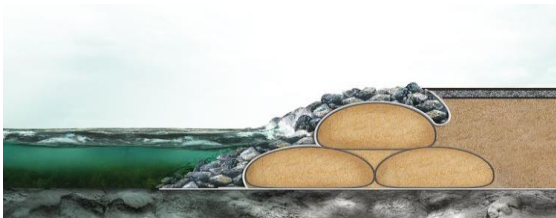


Figura 5
Instalación de Geo-tubos (Fuente: GeoSistemas – Google Imágenes)

El uso de arrecifes artificiales es una alternativa viable que puede conservar la biodiversidad marina. Tienen poco o ningún impacto visual ya que se encuentran sumergidos. Las costas con rangos bajos de marea no son propicias para la implantación de arrecifes artificiales ya que deben poseer una estructura masiva y pueden ocasionar un impacto visual en momentos de marea baja. Estos pueden ser hechos en concreto con abertura de diferentes tamaños para la proliferación de vida marina. El costo aproximado para la construcción de arrecifes artificiales es de \$225.00 la yarda cúbica. Los arrecifes podrían tener diferentes tamaños por lo que se tendría que hacer un estudio de la zona para determinar cuántos arrecifes artificiales son necesarios para mitigar la erosión costera. Evaluando los costos de fabricación e instalación mediante el uso de barcaza y maquinaria pesada para colocación equivaldría un costo aproximado de 2.0 millones con la instalación de 1000 arrecifes a razón de 5 yardas cubicas por arrecife.

En la Figura 6 se puede ver el proceso de instalación de los arrecifes artificiales. En el estudio de caso se tendría que utilizar una barcaza para el transporte de los arrecifes artificiales y colocarlos en altamar.



Figura 6
Instalación de Arrecife Artificial (Fuente: Consumer Fundación Eroski – Google Imágenes)

Debido al impacto arqueológico que impera en la zona, el uso de rompeolas tendría que ser en alta mar. Reducen grandemente la energía potencial de la ola. Suelen ser muy costosos ya que son construidos principalmente en altamar. El costo aproximado de acarrear material rocoso en alta mar

es aproximadamente de \$25.00 la tonelada de piedra. Se tendría que evaluar la longitud del rompeolas y la profundidad en la cual será colocado. Mientras más alejado de la costa, mayor será el costo de la obra.

Ocurre la misma situación con la colocación de dolos en la región de altamar por la importancia arqueológica en la costa. Los dolos son excelentes estructuras para disipar la energía de las olas. Son excelente herramienta para estudiar el movimiento de las olas debido a que pueden ser estudiados de acuerdo con cómo se acomodan con el movimiento de la marea. Tienen un bajo costo de producción. Son extremadamente pesados por lo que deben ser fabricados en un área cercana a su instalación. La Figura 7 se puede apreciar el gran tamaño que estas estructuras podrían adquirir. Esto imposibilita el área de impacto ya que tendrían que ser transportados por buques y colocados con maquinaria pesada. El costo aproximado para la construcción de un dolo es de \$4,000. Se tendría que evaluar nuevamente la profundidad en la cual serían colocados y la longitud de la zona que se pretende cubrir.



Figura 7
Fabricación de Dolos (Fuente: Wikipedia.org – Google Imágenes)

La combinación de las alternativas teniendo en cuenta un presupuesto de \$10 millones podría ser factible para la regeneración de playas en combinación con el uso de tubos de geotextiles. Ambos representan un impacto mínimo al ecosistema actual y estaría dentro del presupuesto estipulado con espacio a mejoras o monitoreo continuo.

RESULTADOS

Dentro de la evaluación de las alternativas presentadas en la sección anterior y considerando los costos aproximados de cada una de ellas, se encontró que la instalación de tubos geotextiles es la más costo efectivo y eficaz para la zona del Paseo Lineal en Puerta de Tierra. La instalación de tubos geotextiles permite flexibilidad ya que se pueden instalar con mayor facilidad y rapidez en comparación con las demás alternativas. La misma no implica el uso de equipo en altamar y mediante el bombeo de arena luego de ser colocados los tubos se procedería a llenar los mismos con arena. Tienen poco impacto ecológico ya que el material es eco amigable. La clave en la eficacia de esta medida será en evitar que la zona impactada sea objeto de químicos externos como, por ejemplo, derrame de combustibles, aguas residuales los cuales podrían afectar el ecosistema si estos son absorbidos por el geotextil.

La Tabla 1 demuestra una evaluación de las alternativas bajo diferentes renglones de estudios. Entre estos se encuentran si la medida presentada aporta una reducción al impacto ambiental, si es costo efectivo, cuan complejo es el método de instalación, ciclo de vida de una construcción sostenible y tiempo estimado en que se podría resolver la situación.

Tabla 1
Comparativa de Alternativas

Alternativa:	Medidas Ecológicas:	Costo Efectividad:	Facilidad de Instalar o Colocar:	Tiempo de Efectividad:	Rapidez en el Tiempo de Respuesta
Regeneración de Playas	Si	No	No	No	Si
Geotextiles	Si	Si	Si	Si*	Si
Arrecifes artificiales	Si	Si	No	Si	No
Rompe Olas	No	No	No	Si	No
Dolos	No	No	No	Si	No

*Mientras no ocurra un derrame ambiental

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La introducción de tubos geotextiles como posible solución a la erosión costera en el Paseo

Lineal no es un tema nuevo. Ha sido utilizado en muchas situaciones alrededor del mundo para proteger las áreas costeras. En el caso más reciente, Ocean City en Nueva Jersey, han utilizado tubos geotextiles como barrera protectora en las zonas de mayor vulnerabilidad a erosión. El proyecto busca continuar con la instalación de los tubos en otras regiones de la playa en Ocean City ya que probaron ser efectivas y de bajo costo. La inversión en la segunda fase ronda en los \$2 millones [4]. Esta información confirma que los costos para la instalación de los tubos geotextiles en el Paseo Lineal son apropiados para el tipo de mitigación analizada.

Los tubos geotextiles ayudan a la estabilización de las playas ya que mitigan la energía del oleaje y al mismo tiempo confinan la arena entre la línea costera y el eje del rompeolas. Entre sus principales virtudes se encuentra que son fáciles de instalar y también de remover en caso de amerite. Es un material versátil que permite ser manipulado a cualquier forma y no requiere el uso de equipos pesados y mano de obra especializada. Sería una obra con un bajo consumo en recursos económicos y empleomanía. Los tubos se llenarían por medio de bombeo mecánico de una mezcla de agua y arena. Debido a la porosidad de los tubos, el agua drenaría en su totalidad dejando atrás en confinamiento la arena [5]. La arena se compacta de manera tal que podría alcanzar una masa de hasta 100 toneladas dependiendo de su longitud.

Es importante recalcar que las principales fallas son debido a negligencia luego de ser instaladas. Por eso es importante que luego que la obra sea completada, se debe implementar campañas de monitoreo o programas de mantenimiento periódico. Su sistema de alto rendimiento, reducción de tiempo de construcción, flexibilidad de las secciones a instalar, adaptación al contorno del paisaje y fácil transporte a lugares de difícil acceso refuerzan el objetivo principal de este artículo el cual es una estrategia viable que cumple con las condiciones existentes y permite el control de erosión en el paseo lineal para conservar

la integridad de la playa y todas las infraestructuras aledañas.

CONCLUSIÓN

La introducción de los tubos geotextiles como método efectivo en el Paseo Lineal son sin duda el siguiente paso para mitigar la erosión. Su bajo costo, fácil instalación y versatilidad del producto permite que sea una alternativa viable y eficaz siempre y cuando se tenga un plan de mantenimiento periódico. La selección se basó en un análisis de varias alternativas las cuales fueron cada una de ellas evaluadas bajo diferentes renglones en los capítulos anteriores. Es recomendable hacer un estudio de marejadas para analizar el alcance de la erosión costera y así asegurar que el área impactada cumpla con su propósito.

REFERENCIAS

- [1] Dean, R. G. (2004). *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press. Disponible: <https://search.proquest.com/legacydocview/EBC/201854>
- [2] ANCORIM (Atlantic Network for Coastal Risk Management). (n.d.). Soluciones alternativas para la protección de las costas. [CORIMAT]. Disponible: https://corimat.net/wp-content/uploads/2017/03/2_Outil2_56P_ES.pdf
- [3] Vassolo, M. (2020, Enero 14). Miami Beach is thinning out. The feds will plump it up with 61,000 tons of new sand. [Miami Herald]. Disponible: <https://www.miamiherald.com/news/local/community/miami-dade/miami-beach/article239077713.html>
- [4] Vitale, M. (2021, Febrero 17). Ocean City, N.J., plans more geotextile tubes to protect beaches. *Geosynthetics Magazine* [IFAI Publications]. Disponible: <https://geosyntheticsmagazine.com/2021/02/17/ocean-city-n-j-plans-more-geotextile-tubes-to-protect-beaches/>
- [5] Shin, E., & Kim, S. (2018). *Case study of application geotextile tube in the construction of sea dike and shore protection*. [MATEC Web of Conferences] Disponible: https://www.researchgate.net/publication/328933700_Case_study_of_application_geotextile_tube_in_the_construction_of_sea_dike_and_shore_protection/fulltext/5bec291692851c6b27be03b2/Case-study-of-application-geotextile-tube-in-the-construction-of-sea-dike-and-shore-protection.pdf