

Propuesta de Reparación para enrocado de protección contra el oleaje y erosión litoral, en el predio de la Casa de Prácticos Autoridad Portuaria de Guayaquil

Proposed repair of the Guayaquil Port Authority's Pilothouse for protection against waves and coastal erosion

Pacheco Quintana, Guillermo; Stay Coello, David; Gomez de la Torre, Manuel; Corapi, Pietro; Friend, Nella

Guillermo Pacheco Quintana

guillermo.pachecoq@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador

David Stay Coello david.stayc@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador

Manuel Gomez de la Torre

manuel.gomezdelatorreg@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador

Pietro Corapi pietro.corapi@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador

Nella Friend nellafriend16@gmail.com

Colegio de Ingenieros Civiles del Guayas, Ecuador

Investigación, Tecnología e Innovación

Universidad de Guayaquil, Ecuador

ISSN: 1390-5147

ISSN-e: 2661-6548

Periodicidad: Cuatrimestral

vol. 15, núm. 19, 2023

revistaiti@ug.edu.ec

Recepción: Febrero 11, 2023

Aprobación: Noviembre 01, 2023

URL: <http://portal.amelica.org/amei/journal/593/5934891001/>

DOI: <https://doi.org/10.53591/iti.v15i19.1919>

Los autores que publican en Investigación, Tecnología e Innovación conocen y aceptan las siguientes condiciones: Los autores retienen los derechos de copia (copyright) sobre los trabajos, y ceden a Investigación, Tecnología e Innovación el derecho de la primera publicación del trabajo, bajo licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 que permite a terceros compartir la obra siempre que se indique su autor y su primera publicación esta revista. Los autores conservan los derechos de autor y garantizan a Investigación, Tecnología e Innovación el derecho de publicar el trabajo a través de los canales que considere adecuados. Los autores son libres de compartir, copiar, distribuir,

Resumen: **Contexto:** Mediante la propuesta de reparación del enrocado de protección costera emplazado en los exteriores De la Casa de Prácticos de la Autoridad Portuaria de Guayaquil, en Posorja se procura mitigar y/o subsanar las fallas de dicha estructura observadas desde 2020. Trabajos anteriores han permitido caracterizar el clima costero con base en lo cual se proponen medidas para obtener una obra segura y duradera de defensa costera, la obra cuenta con una longitud de 190 metros. Previamente se analizan las causas de los probables mecanismos de fallas observadas. La acción de agentes exógenos como oleaje, viento predominante, erosión, son considerados para identificar su incidencia en la estabilidad de la estructura. Los agentes endógenos como lo son los parámetros geotécnicos del terreno y las propiedades del enrocado existente también son considerados como factores condicionantes de la estabilidad de la estructura a corto y largo plazo, por lo cual se propone la elaboración de una propuesta de reparación caracterizando previamente el fenómeno de erosión desencadenado por la dinámica costera, **Método:** Se caracteriza el ambiente marino del sitio aplicando los criterios del Manual de Protección Costera del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE, 1984), los mecanismos de falla se identifican mediante la aplicación del documento técnico Circular Ingeniería Hidráulica No 25, HEC-25, propuesto por la Administración Federal de Carreteras del Departamento de Transporte de los Estados Unidos (FHWA),e Implementado un Análisis Preliminar de Amenazas o PHA por sus siglas en inglés; **Resultados:** Se evidenció inestabilidad Geotécnica en la sección transversal, así como en la armadura de la estructura por lo cual se desarrolló el diseño conceptual de acuerdo con el documento técnico Circular 25 de Ingeniería Hidráulica proponiendo una nueva sección tipo la cual se implementará en los sectores que presentan deformaciones considerables, así como el abatimiento del talud, **Conclusiones:** Se realizó los estudios para elaborar la propuesta de reparación, en este contexto el realizar la intervención parcial del enrocado es más viable y económico que el derrocarlo

ejecutar y comunicar públicamente la versión del trabajo publicado en Investigación, Tecnología e Innovación, haciendo reconocimiento a su publicación en esta revista. Se autoriza a los autores a difundir electrónicamente sus trabajos una vez que sean aceptados para publicación.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Como citar: Pacheco Quintana, G., Stay Coello, D., Gomez de la Torre, M., Corapi, P., & Friend, N. (2023). Propuesta de Reparación para enrocado de protección contra el oleaje y erosión litoral, en el predio de la Casa de Prácticos Autoridad Portuaria de Guayaquil. Investigación, Tecnología E Innovación, 15(19), 23–41. <https://doi.org/10.53591/iti.v15i19.1919>

y realizar uno completamente nuevo, se recomienda realizar mantenimientos periódicos y preventivos que permitan aumentar la vida útil de las obras de protección costera.

Palabras clave: MECANISMO DE FALLA, EROSIÓN COSTERA, ENROCADOS.

Abstract: Context: The proposed repair of the coastal protection rockfill located outside the Guayaquil Port Authority's pilot house in Posorja seeks to mitigate and/or remedy the failures of this structure observed since 2020. Previous works have allowed characterizing the coastal climate based on which measures are proposed to obtain a safe and durable coastal defense work, the work has a length of 190 meters. Previously, the causes of the probable failure mechanisms observed are analyzed. The action of exogenous agents such as waves, prevailing wind, and erosion, are considered to identify their impact on the stability of the structure. Endogenous agents such as the geotechnical parameters of the terrain and the properties of the existing rockfill are also considered conditioning factors of the stability of the structure in the short and long term, for which the elaboration of a repair proposal is proposed, previously characterizing the erosion phenomenon triggered by the coastal dynamics, **Method:** The marine environment of the site was characterized by applying the criteria of the U.S. Army Corps of Engineers Coastal Protection Manual (USACE, 1984), the failure mechanisms were identified by applying the Hydraulic Engineering Circular 25 technical document, HEC-25, proposed by the Federal Highway Administration of the U.S. Department of Transportation (FHWA), and a Preliminary Hazard Analysis or PHA was implemented; **Results:** Geotechnical instability was evidenced in the cross section, as well as in the reinforcement of the structure for which the conceptual design was developed according to the technical document Circular 25 of Hydraulic Engineering proposing a new type section which will be implemented in the sectors that present considerable deformations, as well as the lowering of the slope, **Conclusions:** The studies were carried out to elaborate the repair proposal in this context, performing the partial intervention of the rockfill is more feasible and economical than toppling it and making a completely new one, it is recommended to perform periodic and preventive maintenance to increase the useful life of the coastal protection works.

Keywords: FAILURE MECHANISMS, EROSIÓN COASTAL, DEFENSE BREAWATER.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador cuenta con una extensión de línea de costa de 670km de longitud, desde el río Mataje en el norte, hasta el Golfo de Guayaquil en el sur, siendo una de las principales fuentes de ingreso económico del país, debido a que el mayor asentamiento poblacional, turismo y actividad portuaria se encuentra en esta región, el correcto manejo de los recursos costeros, incluyendo el resguardo de las playas hacen necesario el conocer la dinámica costera y los factores que pueden desencadenar procesos que conlleven a la pérdida de la línea de costa

sean estos naturales así como de influencia antrópica. Contrarrestar dichos procesos a menudo nos puede llevar a plantear remediaciones para el control de procesos erosivos, lo cual puede llegar a representar una labor exhaustiva ya que el implementar una obra de mitigación costera, puede generar un análisis multidisciplinar donde el especialista en costas debe previamente entrar en contexto, determinando las variables que están influenciando o agravando el problema, y luego contemplar el uso de una obra de mitigación sea esta de carácter dura o blanda, ya que implementar una obra de mitigación sin conocer la geomorfología, la Carga hidráulica compleja, los procesos erosivos naturales de la dinámica costera, así como el clima marino característico de la zona, simplemente podría resultar en un fracaso e incluso en la exacerbación del problema para lo cual dicha obra estaba contemplada a mitigar. El Manual de Protección Costera de la USACE (United State Army Corps of Engineers) (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS RESEARCH CENTER, 2002), define las obras de Protección costeras como medidas Duras todas las obras de ingeniería tales como enrocados (Backshore u offshore), espigones, diques, etc., y como medidas blandas toda mitigación de carácter natural el cual contemple como método el uso de barreras biológicas tales como manglares, el uso de bioingeniería. Siendo las primeras de mayor análisis por la potencial afectación debido a los factores exógenos característicos de la zona, así como el posible efecto adverso a largo plazo a desarrollarse en la zona de estudio. En los predios de la Casa de Prácticos de la Autoridad Portuaria de Guayaquil, ubicada en Posorja, la cual cuenta con un área de 23.295 m², se observó el incremento del proceso erosivo circundante en la zona de playa lo cual ha impactado de forma directa al enrocado de protección costera emplazado en los exteriores, el cual se desempeña como una obra de defensa costera ante el fenómeno de erosión así como el de mitigar la fuerza del oleaje sobre las instalaciones de la Autoridad Portuaria de Guayaquil, por lo cual se emprendió una serie de estudios entre los que incluye la previa caracterización del clima costero de la zona (Arroyo et al., 2021), y el estudio para la reparación de dicho enrocado, con la finalidad de brindar una solución a bajo costo para la institución, así como entender previamente los procesos exógenos y poder dar una solución viable que mitigue el proceso erosivo activo el cual amenaza con flanquear el lateral derecho de los predios.

Ubicación

El enrocado en estudio se encuentra emplazada en los exteriores de La Casa de Prácticos de la Autoridad Portuaria de Guayaquil, ubicada en las coordenadas E:576257.01 y N: 9699847.41, Data de Posorja, localidad del Cantón Playas en la provincia del Guayas, cuenta un tiempo de más de 25 años desde su construcción, y una longitud aproximada de 190 m, la falta de mantenimiento, así como la exposición directa a la dinámica costera del Océano Pacífico han agravado su deterioro, lo que conlleva a la vulnerabilidad de las instalaciones de la Casa de Prácticos, Figura 1.



Figura 1
 Casa de Prácticos Autoridad Portuaria de Guayaquil

Planteamiento del problema

La mayor parte de las infraestructuras o edificaciones situadas en la línea de costa necesitan ser protegidas por obras de defensa costera debido a la interacción con la dinámica litoral. Muchas han llegado o se aproximan al fin de su ciclo de vida útil debido al escaso o nulo monitoreo o mantenimiento los cuales son primordiales para que puedan ser preservadas y conserven sus propiedades ingenieriles ya que esto permite que dichas estructuras puedan encarar los embates del mar de forma efectiva. El deterioro gradual del enrocado situado en las inmediaciones de la Casa de Prácticos de la Autoridad Portuaria de Guayaquil, por la fuerza del oleaje, el proceso de erosión activo, la falta de mantenimiento preventivo y la probable falta de mantenimiento correctivo hace necesario la pronta intervención para rehabilitar la estructura de protección costera con la finalidad de reutilizar sus elementos, permitiendo así una reparación de bajo costo, a diferencia de construir una estructura totalmente nueva lo cual podría suponer un mayor costo. El presente trabajo propone una metodología de reparación que permita la reparación del enrocado.

Antecedentes

Los estados costeros o que cuentan con salida hacia el mar deben considerar los problemas de erosión y acreción de las costas, lo cual siempre ha existido, y ha contribuido a moldear el perfil costanero como parte de un proceso natural dentro de la dinámica entre océano y continente, sin embargo ciertas actividades antrópicas como el emplazamiento de obras de defensa costera sin un previo estudio multidisciplinar, podría alterar dicha dinámica exacerbando procesos erosivos los cual debido al alto costo de la tierra en la zona costera hacen que la erosión por oleaje, así como la producida por las tormentas puedan significar un problema importante en el intento de reducir la erosión con medidas de defensa costera (Pilarczyk, 2003). Para entender el problema y encontrar una medida de control adecuada hay que entender los procesos hidráulicos y morfológicos involucrados. Los procesos morfológicos cubren esos procesos físicos, que eventualmente resultan en la modificación de la forma de una costa. Los procesos hidráulicos y morfológicos en la zona costera se rigen por dos fenómenos primarios, a saber, el viento y la marea. Los vientos son directamente responsables de la generación de olas, corrientes y fluctuaciones del nivel del agua y, como resultado, para el transporte de arena en tierra y en la playa seca, mientras que las mareas se expresan en un aumento y caída periódica del agua y en las corrientes de marea, (Pilarczyk, 2003).

De acuerdo con(Alejandra Lira, 2020), Marina Dock Age, las consecuencias destructivas de las olas, mareas y acciones fluviales en los enrocados pueden ser fácilmente observadas a través de los cambios en la forma del perfil de las estructuras, erosión en el pie del talud, asentamientos y deterioro de la capa de armadura, así como el desplazamiento o fractura de las rocasEl Circular de Ingeniería Hidráulica No.25, determina como mecanismos de falla a problemas comunes en las obras de defensa costera tales como; diseño inadecuado de la armadura, flanqueo, capa subyacente inadecuada, overtopping, socavación al pie del talud, problemas geotécnicos, (Douglass & Webb, 2020).

METODOLOGÍA

Para la realización del presente estudio se desarrolló la siguiente metodología propuesta (Figura 2). Realizando un estudio descriptivo, explicativo, cuantitativo, ya que previamente se efectuó una visita en campo para constatar y describir el estado a la fecha, 2022 del enrocado en estudio, así como la evolución del deterioro de su estructura. Se obtuvo datos in situ a través de topografía y material del enrocado para el posterior análisis, también se utilizaron los datos preliminares obtenidos de caracterización del clima costero de la zona de estudio de acuerdo con (Arroyo et al., 2021) (Tabla 1), Adquiriendo como resultados variables cuantificables, finalizando con el análisis se podrá explicar las causas y efectos que correlacionen el deterioro en proceso de la infraestructura del rompeolas así como la potencial amenaza que podría conllevar el no realizar una reparación de la estructura de defensa costera cuya finalidad es la protección de las inmediaciones de la casa de prácticos de la Autoridad Portuaria de Guayaquil, así como una propuesta de reparación de acuerdo a las directrices para el diseño de enrocados del Circular de Ingeniería Hidráulica No. 25.

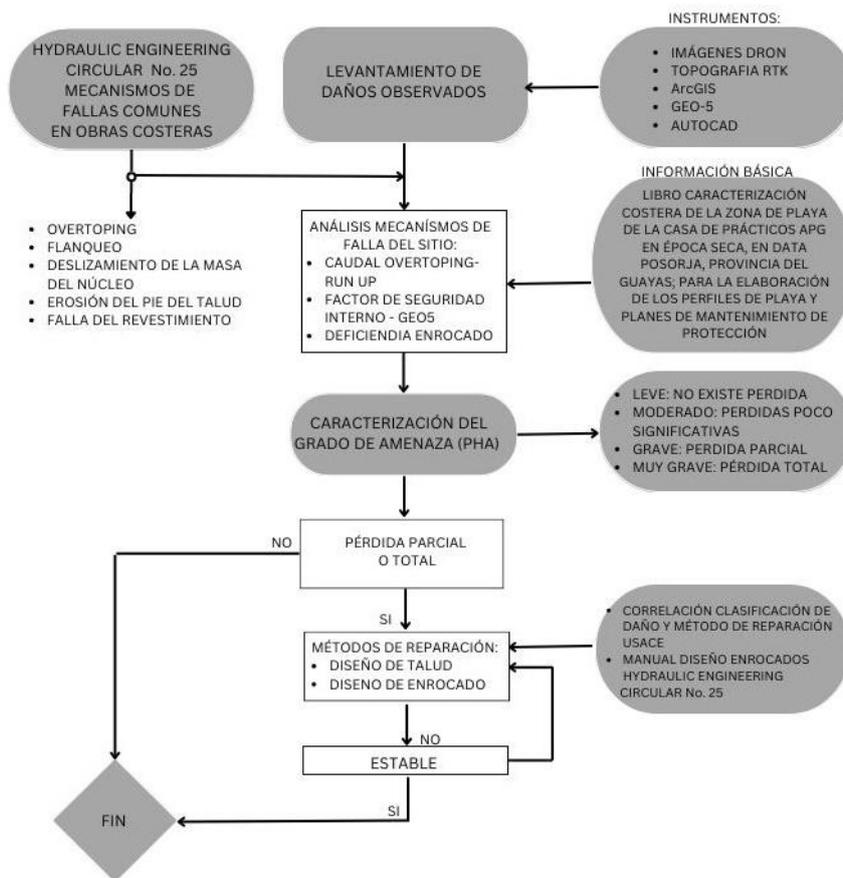


Figura 2
Metodología
Autores

Tabla 1
Valores obtenidos en Caracterización Clima Costero (Arroyo et al., 2021)

CARACTERÍSTICAS	VALOR
H_s (m)	2.00
Periodo	9.99
Δ^3	1.6
γ_a (t/m^3)	1.026
$(\gamma_c, t/m^3)$	2.6

Autores

Instrumentos

- IMÁGENES DRON
- TOPOGRAFÍA RTK
- ArcGIS
- GEO-5
- AUTOCAD
- DISEÑO DEL MANUAL DE PROTECCION COSTERA (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, USACE).

- Circular de Ingeniería Hidráulica No. 25 (HEC- 25)

Mecanismos de Falla HEC-25

Los Mecanismos de Falla más comunes en obras de protección costera de acuerdo con el Circular de Ingeniería Hidráulica No. 25 son:

1. Overtopping
2. Flanqueo
3. Deslizamiento de la masa del núcleo
4. Erosión del pie del talud
5. Falla del revestimiento

Cálculo Overtopping y Run Up

Ola de rebase para revestimiento de enrocado, se estima desde la ecuación adimensional (Ward 1992). Donde Q' es el Overtopping adimensional definido como Ecuación #1.a. Q es el caudal de rebase dimensional en unidades consistentes como cfs/ft, (cubic feet second/feet), Ecuación # 1.b.

$$Q' = C_0 e^{C_1 F'} e^{C_2 m} \quad (1.a)$$

$$Q' = \frac{Q}{(gHm\sigma)^{\frac{1}{3}}} \quad (1.b)$$

Donde F' es el francobordo (Distancia vertical desde la cresta hasta la superficie del SWL), Ecuación # 1.c.

$$F' = \frac{F}{(H_{mo}^2 L_0)^{\frac{1}{3}}} \quad (1.c)$$

- m : Cotangente de la pendiente del revestimiento
- C_0 : 0.4578
- C_1 : - 29.45
- C_2 : 0.8464

Run Up

Máximo Run-up para olas irregulares en cobertura de revestimientos de enrocados puede ser estimada por (Ahrens and Heimbaugh 1988), Ecuación # 2.a. Shore Protection Manual. Previamente se debe definir el nivel de Aguas quietas o SWL (Still Water Level).

$$\frac{r_{max}}{h_{mo}} = \frac{a\xi}{1+b\xi}$$

- R_{max} : Máxima Altura vertical del Run up sobre el SWL (Still Water Level o Nivel de Aguas Quietas).
 - a, b: Coeficientes de regresión determinado como 1.022 y 0.247 respectivamente.
- ξ : Parámetro de rompiente. Ecuación # (2.b), θ : ángulo de la pendiente del revestimiento con la horizontal Parámetro de Rompiente:

$$\xi = \frac{\tan \theta}{\left(2 \pi H_{mo} g T_p^2\right)^{1/2}} \tag{2.b}$$

$$\left(H_{mo}\right)_{max} : 0.10 L_p \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_p}\right); \tag{2.c}$$

- L_p : es la longitud de onda calculado usando T_p and d.

Still Water Level

(SWL) por sus siglas en inglés o Nivel de Aguas Quietas. De acuerdo con el Hydraulic Design Manual (Thomason, 2019), el nivel de agua estancada es una combinación de: Mareas Astronómicas, Marejadas Ciclónicas, Aumento del Nivel del Mar, por lo cual usando los datos reportados en (Arroyo et al., 2021), Tabla 2, para niveles de marea en Data de Posorja se utiliza el nivel máximo de Pleamar, se descarta el nivel de marea de tormenta ya que el Ecuador no se caracteriza por clima de tormentas y para el incremento del nivel del mar se contempla 0.15 cm, de acuerdo con los datos registrados de incremento del nivel del mar para el Pacífico Sur donde se muestra una importante variabilidad interanual ocasionada por El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). una subida temporal del nivel del mar (> 10 a 15 cm) durante los episodios de 1997-1998 y 2015-2016. Según datos de la World Meteorological Organization, (World Meteorological Organization (WMO), 2021).

Tabla 2
Clasificación del nivel de mareas año 2020

Características	Abreviatura	Elevación de la marea con respecto al MLWS (m)
Máxima Pleamar Anual		2.70
Mínima Bajamar Anual		0.00
Promedio de Bajamares	MLW	0.48
Promedio de Pleamares	MHW	2.23
Promedio de las mareas Máximas de Sicigia	MHWS	2.64
Promedio de las mareas Mínimas de Sicigia	MLWS	0.06
Nivel medio del mar	NMM	1.35

(Arroyo et al.,2021)

Diseño Inadecuado de la Armadura

La fuerza de un revestimiento depende del suelo subyacente. Si la acción de las olas puede eliminar ese suelo a través de cualquier mecanismo típico de falla. Cabe recalcar que la fórmula de Hudson, ecuación # 3, empleada para el diseño de la armadura, no posee ningún factor de seguridad, únicamente el κ_b (coeficiente de estabilidad), establecido como un pequeño daño a la estructura de la armadura.

El nivel de daño fue definido como solo el 5% de las rocas sobre el revestimiento de la cara de la armadura de la estructura pueda moverse, por lo cual el ingeniero puede emplear un modelo más conservativo usando el κ_b (coeficiente de estabilidad), en la ecuación de Hudson Ecuación # 4, o incrementando el peso de roca mediano de diseño especificado.

$$W_{50} = \frac{W_r H^3}{K_D (S_r - 1)^2 \text{Cor } \theta}$$

Flanqueo

Mediante exploración en sitio, ingreso de oleaje. Socavación del material lateral de la estructura. Figura 3.

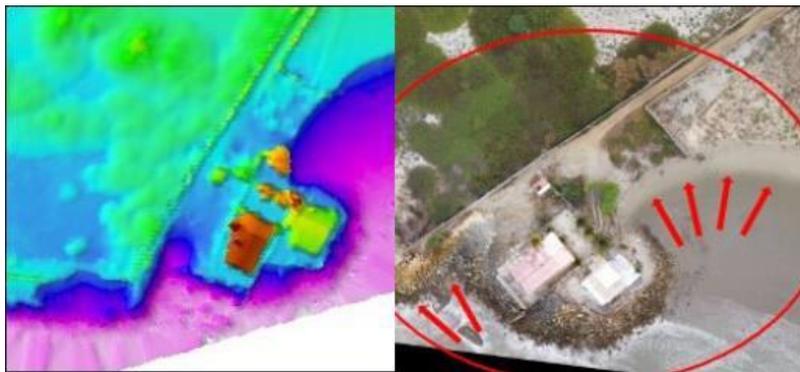


Figura 3
Mecanismo de Falla flanqueo lateral

Problemas Geotécnicos

Previamente mediante el uso del programa AutoCAD, se seleccionarán 4 abscisas Figura 4, para realizar el análisis de estabilidad, eligiendo una sección considerada como estable al no presentar mayor deformación, y 3 secciones más para realizar una comparación entre las abscisas situadas en las zonas de estudio que componen el enrocado. Se zonificará la estructura para identificar los sectores que presentan fallas considerables, Figura 5.

Mediante el Software Geo5, realizando un "Back Analysis", se comparará las abscisas elegidas para determinar la estabilidad del talud y el factor de seguridad de cada sección, lo que nos permitirá saber si la falla del talud fue por diseño inadecuado de la pendiente del talud.

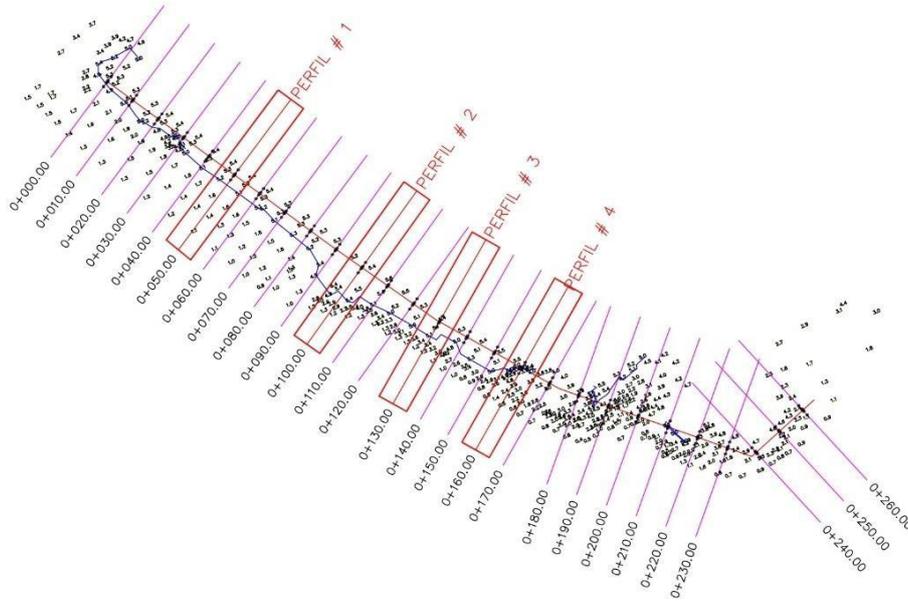


Figura 4
Selección de 4 abscisas para Análisis de estabilidad



Figura 5
Zonificación de la estructura

RESULTADOS

Análisis de Mecanismos de Falla del Sitio

De acuerdo con los cálculos realizados previamente para corroborar la preexistencia de alguno de estos mecanismos de falla se obtuvo los siguientes resultados, con base en estos se realizará un Análisis Preliminar de Amenazas para evaluar el estado general de la estructura y vinculando a la metodología del Manual de Protección Costera correlacionar el tipo de reparación a realizar en la estructura.

Run Up y Overtopping

Para estimar la altura de rebase del Run Up se debe sumar el resultado obtenido, del Run up + el SWL (Still Water Level) o (Nivel de Aguas Quietas).

Run Up: De acuerdo con el nivel de aguas quietas estimado en 1.50m y haciendo uso de la ecuación # 1, la altura máxima de Run Up es de 2.67, por lo tanto, la altura máxima que puede trepar una ola en la peor condición es ≈ 4.17 m, Figura 6.

Overtopping: De acuerdo con el Hmo (Altura de Ola en Aguas someras).

Ecuación # (2.c) Hmo: 0.97 m, la altura de borde libre F²: 1.50 m, el caudal de rebase.

Ecuación # (1.b) se sitúa en Q: 0.001719 (m³/s) /m, de acuerdo con los límites establecidos para daños significativos en la corona de la estructura por caudal de rebase:

$Q < 0.05 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$ No daños en la parte posterior del revestimiento

$Q < 0.2 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$ Daños si el área del revestimiento no es pavimentada

$Q > 0.2 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$ Daños incluso si el área posterior esta pavimentada

$$0.05 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m} <$$

Para Q, la resultante es de $\therefore 0.001719 \text{ (m}^3/\text{s)}/\text{m}$ lo que es menor a 0.05 (m³/s) /m, por lo cual existe Overtopping, pero el caudal que sobrepasa la corona no es significativo como para generar daños en el trasdós del revestimiento.

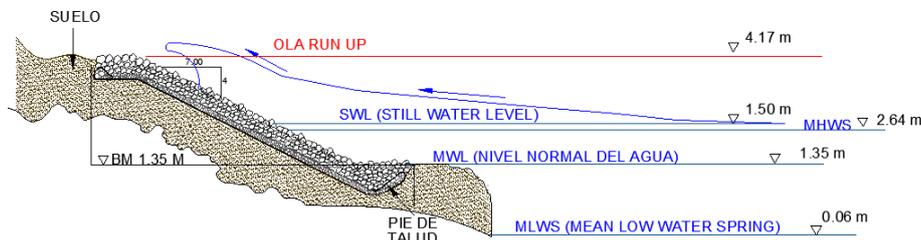


Figura 6

Esquema del Run up sobre la pendiente del enrocado

Capa Subyacente Inadecuada

Mediante inspección a sitio se observó daños en el geotextil y núcleo expuesto, Figura 7.

Probablemente capas inadecuadas de filtro subyacente permitieron el lavado de los finos, al no resistir los embates del oleaje.



Figura 7
Material del núcleo y Geotextile expuesto
Autores

Flanqueo

Mediante inspección en campo y usando imágenes tomadas con Dron Figura 8, se puede constatar el ingreso del Oleaje en el extremo sur del enrocado, debido a la refracción de las olas, erosionando el lateral del enrocado.

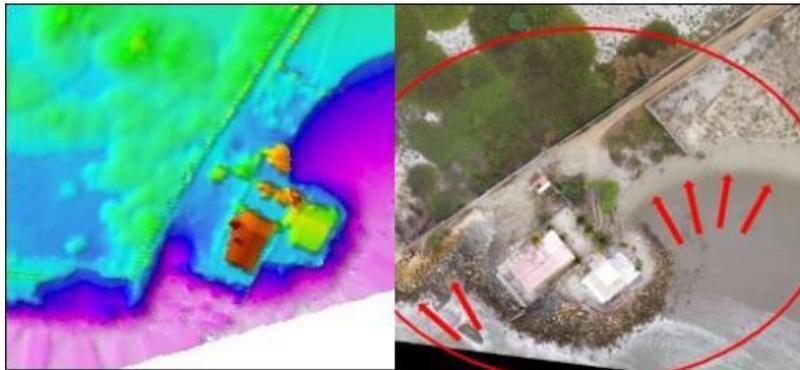


Figura 8
Material del núcleo y Geotextile expuesto
Autores

Erosión al Pie del Talud

Asentamiento de las rocas en la base de la estructura, desplazamiento de las rocas permitiendo el movimiento de las rocas superiores Figura 9 (a-b).



Figura 9 a
Desplazamiento de Unidades de la armadura
Autores



Figura 9 b
Desplazamiento de Unidades de la armadura
Autores

Inestabilidad de la Armadura

Desplazamiento de Rocas de la armadura, de acuerdo con la Ola de diseño Hs: 2.00m y fórmula de Hudson, deberían ser de 0.80 a 0.90 m, de acuerdo con lo observado en sitio, existen ejemplares menores a ese tamaño, según ASTM C-130 Abrasión máxima de 25%, Abrasión realizada en Laboratorio muestra 43.67%.
Tabla 3.

Tabla 3
Datos para ensayo abrasión de los ángeles

Muestra	Peso gr	Retenida malla #12	Metodo	# Esferas
1	5000	3513.7	A	12
2	5000	2816.7	C	8

Autores
Ensayo Abrasión de los ángeles (ASTM C-130)

Método A:

%Desgaste: 29.73

Método C:

%Desgaste: 43.67

Fallas Geotécnicas: Inestabilidad del talud

Sector sur del enrocado, estación 1, Figura 10, existe deslizamiento y deformación de la geometría del talud, así como material del enrocado desplazado, se puede evidenciar el material del núcleo, y geotextiles expuestos. Mediante un Back Análisis y el uso de Geo 5, usando todos los métodos de verificación, Tabla 4, se determinó que los parámetros geomecánicos Tabla 5, son proclives a la inestabilidad, debido a que los factores de seguridad son menores a los establecido FS: 1.20 para fines del estudio de la estabilidad del enrocado.



Figura 10

Ubicación estación 1, falla por deslizamiento y deformación de la geometría del talud

Autores

Tabla 4

Parámetros Geomecánicos obtenidos en Back Analysis

ITERACIONES	γ	φ	c	Fs
4	20	17	3	0.99

Autores

Tabla 5

Factores de Seguridad de acuerdo con el método utilizado en software Geo-5

Método	Fs
Bishop	1.12
Fellenius	0.99
Spencer	1.15
Jambú	1.12
Morgen-Price	1.10

Autores

Análisis Preliminar de Amenaza (PHA)

De acuerdo con la caracterización previa de los diferentes mecanismos de fallas del HEC-25 citados previamente, se realiza el Análisis Preliminar de Amenazas, para caracterizar el daño y evaluar el estado general de la estructura en estudio, pudiendo estimarse en Perdida Total los sectores a intervenir ya que presentan de acuerdo con los datos obtenidos, Deslizamiento de la Masa del Núcleo, Erosión del pie del talud y Falla en el revestimiento de la estructura, Tabla 6.

Parámetros Geomecánicos obtenidos en Back Analysis

- Leve: No existe Pérdidas
- Moderado: Pérdidas no Significativas
- Grave: Perdida Parcial
- Muy Grave: Pérdida Total

Tabla 6
Análisis Preliminar de Amenazas enrocado APG

EVEN TO CAUSANTE DE DAÑO	PRESENTA DAÑO	OBSERVACIÓN	GRADO	CARACTERIZACIÓN DEL DAÑO
OVERTOPING	SI	$Q_c < 0.001719 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} < Q_c < 0.05\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$, no causa daños al revestimiento	Leve	NO EXISTE PÉRDIDAS
DESPLAZAMIENTO DE LA MASA DEL NÚCLEO	SI	Inestabilidad en la masa del núcleo, propiedades geomecánicas proclives a la desestabilización, deformación del talud	Muy Grave	PÉRDIDA TOTAL
FLANQUEO	SI	Flanqueo en el extremo derecho del enrocado, existe refracción del oleaje en ese extremo	Grave	PÉRDIDA PARCIAL
EROSION DEL PIE DEL TALUD	SI	Asentamiento de rocas en la base, desplazamiento de rocas superiores	Muy Grave	PÉRDIDA TOTAL
FALLA DEL REVESTIMIENTO	SI	Rocas de diámetro menor al nominal, $D_n < 60 < 80 \text{ cm}$ Desplazamiento de un número considerable de rocas	Muy Grave	PÉRDIDA TOTAL

Autores

Método de Reparación del Manual de Protección Costera (USACE)

Según los datos obtenidos la estructura a rehabilitar posee daños significativos tales como fallas en la capa de la armadura, Núcleo expuesto, fallas geotécnicas y fallas en el pie del talud por lo cual Mediante la clasificación de daños propuestas por el Manual de Protección Costera (USACE) Tabla 7, situándonos en una clasificación de daño total y la correlación para el método de reparación más adecuado del enrocado Tabla 8.

Método #3 reconstruir Sección de la Estructura, el cual implica la eliminación de la armadura original y las capas inferiores y la colocación de nuevas capas después de la preparación del núcleo bien compactado material y la colocación de un filtro adecuado entre el núcleo y el material de armadura.

De acuerdo con la correlación presentada en el Shore Protection Manual, Método # 3, nos incida que, para resarcir este tipo de fallas, la solución puede resultar necesaria para poder superar problemas graves como:

- Inestabilidad geotécnica, por ejemplo, pendientes que son demasiado pronunciadas en relación con la fricción interna del núcleo, el material de la capa inferior o el subsuelo.
- Asentamientos totales indebidos de la armadura y corona debido a la pérdida de material del núcleo causada por la falta de filtros adecuados o la

erosión del material del subsuelo cerca de la punta del rompeolas debido a la falta de protección del subsuelo.

Tabla 7
Métodos de reparación correlacionados a la clasificación de daños

CLASIFICACIÓN DE DAÑOS	PORCENTAJE DE UNIDADES DESPLAZADAS	DESCRIPCIÓN DE DAÑOS
MENOR	0-3%	Algunas Unidades individuales de la capa superior desplazadas, pero sin espacios en la capa superior de más de 4 unidades, capa inferior intacta
MODERADO	3-5%	No espacios en la capa superior de más de 6 unidades, ligeros desplazamientos de las unidades inferiores.
MAYOR	5-30%	Capa superior removida sobre un área más grande, capa inferior sobre no más de 2 unidades.
TOTAL	Sobre 30%	Armadura y capas subyacentes eliminadas sobre un área más grande, exposición del material del núcleo

(Army Corps of Engineers. Coastal Engineering, 1984)

Tabla 8
Correlación Nivel de daño y Método de reparación

DAÑO	PERIODO DE RETORNO EVENTO EXTERNO		
	0-1 AÑO	10-25 AÑO	50-100 AÑO
MENOR	CONDICION CERO (0)		
MODERADO	PROPORCIONAR REFUGIO (4)	RESTAURAR DISEÑO ORIGINAL	(1)
	FORTALECER LOS COMPONENTES DAÑADOS		
TOTAL	RECONSTRUIR SECCIÓN DE LA ESTRUCTURA (3)	(2)	

(Army Corps of Engineers. Coastal Engineering, 1984)

DISCUSIÓN

PROPUESTA DE REPARACIÓN SECCIÓN ENROCADO CIRCULAR DE INGENIERIA HIDRÁULICA No 25, (HEC-25)

Para garantizar la estabilidad del talud una de las condiciones es que su pendiente no sea más empinada que 1 vertical:1.5 horizontal, por lo cual de acuerdo con lo analizado en el Programa Geo 5, según los parámetros geomecánicos utilizados para el desarrollo del Back Analysis se recomienda abatir la pendiente del talud usando una relación de 2:1, Horizontal: Vertical, lo cual arroja un Factor de Seguridad de 1.30 mayor a 1.20 establecido para fines de este trabajo.

Para la zona del pie del talud se usará un talud de 1:1.5 el cual arroja un Factor de Seguridad de 1.29.

De acuerdo con el desarrollo de la metodología de reparación propuesta por el HEC-25, Pág. (146-151) (Douglass & Webb, 2020), los datos obtenidos para considerar una nueva sección tipo a implementar en la zona #4 que presentan un daño total Figura 11, son Tabla 9:

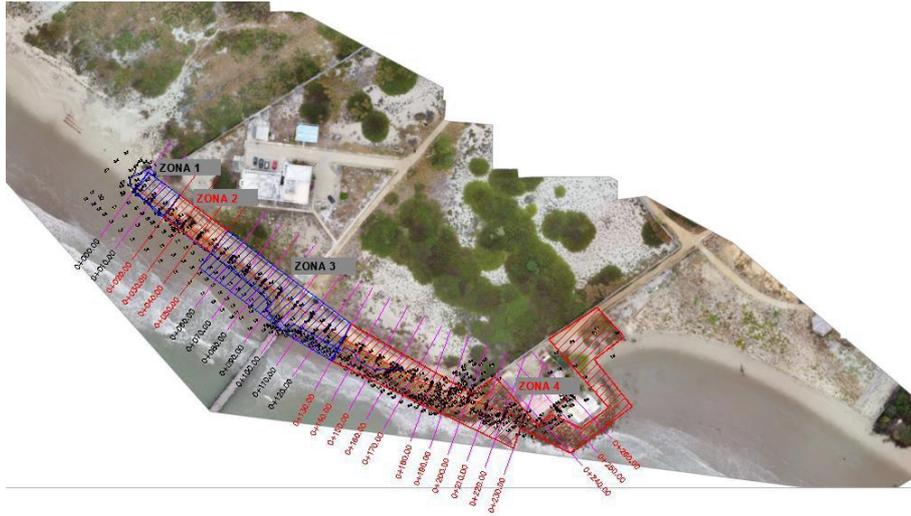


Figura 11
Zonificación de la estructura
Autores

Tabla 9
Datos obtenidos Diseño Sección para Enrocados HEC-25

Localización	Zona	Roca Tamaño	W50	Peso Específico	Abrasión Máxima ASTM C 131
Armadura	Zona # 1	1.00 m	2.00 ton	2.5	25%
	Zona # 2				
Subcapa	Zona # 1	0.45 m	0.20 ton	2.5	25%
	Zona # 2				
Pie Talud	Zona # 2	1.00 m	1.25 ton	2.5	25%
Hilera Pie Talud	Zona # 1	1.20 m	3.0 ton	2.5	25%
	Zona # 2				
Filtro de Grava	Zona # 1	0.03 -0.08 m	Espesor de 15a 20 cm	Grava de río	Grava de río
	Zona # 2				
Filtro para Erosión	Zona # 1	Geotextil Mirafi MW 700			
	Zona # 2				

Autores

Implementación Sección Tipo

De acuerdo con el análisis previo realizado, y con la finalidad de mejorar y garantizar la estabilidad y la durabilidad de la estructura en estudio, habiendo tomado en cuenta los posibles mecanismos de fallas presentes, se diseñó la sección tipo Figura 12 , la cual mejorará la respuesta contra los embates del oleaje y la erosión presente en el terreno circundante, la cual presenta un mejoramiento en su diseño el cual incluye una "Piedra de Sacrificio" en la zona de la trinchera al pie del talud, la cual podrá encarar y retardar los efectos erosivos antes de que estos penetren las rocas internas.

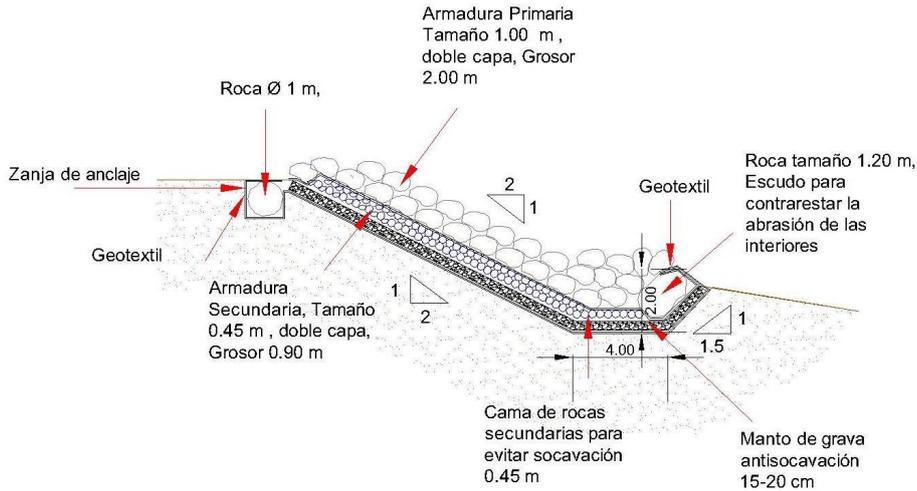


Figura 12

Diseño sección tipo para implementar en zonas de colapso

Autores

Pese a que en el sitio no existe un caudal considerable el cual pueda repercutir en el daño del trasdós de la estructura, se puede considerar en dicho caso una sección que incluya un delantal anti-salpicadura en la zona de la corona del enrocado, Figura 13.

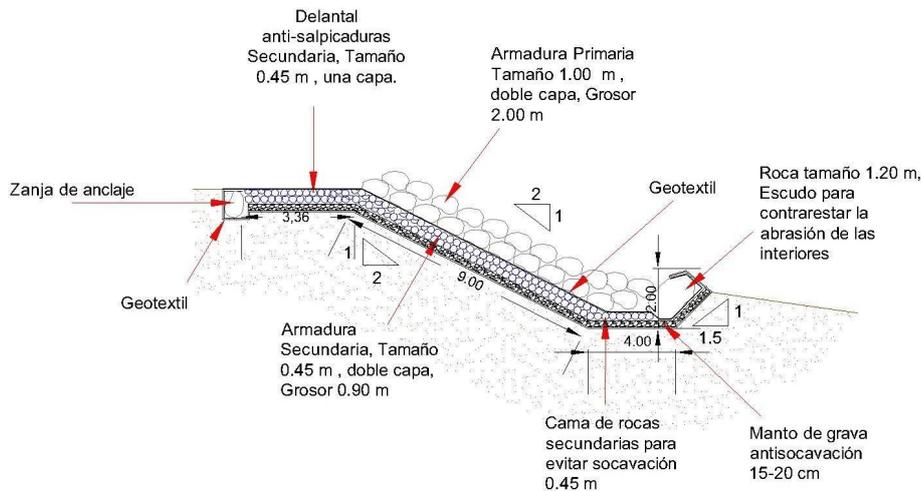


Figura 13

Diseño sección tipo con delantal anti-salpicadura para problemas de sobrevertido u Overtopping

Autores

CONCLUSIONES

Para implementar un diseño resiliente que permita alargar la vida útil de la estructura en estudio se realizaron los estudios previos para la elaboración de la propuesta de reparación. Se procuró usar los pesos y tamaños para el enrocado de acuerdo con los criterios expuestos en el Manual de Protección Costera del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, USACE 1984, y el Circular de Ingeniería Hidráulica No.25, de La Administración Federal de Carreteras, Departamento de Transporte de los Estados Unidos (FHWA),

anexo a esto se contempló en el diseño del pie del talud, el uso de una hilera de rocas de mayor tamaño para que mitiguen en primera instancia el proceso erosivo. Previo a esto se debe recalcar la caracterización del clima costero de la zona de estudio, así como identificación de los probables mecanismos de fallas que indujeron al colapso de las zonas afectadas de la estructura, tomando en cuenta estas variables, nos genera una mejor perspectiva para garantizar una solución apropiada ya que si no se realiza un diseño adecuado que pueda contrarrestar los procesos naturales, solo será el inicio del deterioro, hallar la causa por la cual una obra de protección costera puede llegar al colapso, no será debido a un solo factor sino a la suma de factores, sean estos geomorfológicos, hidráulicos, geotécnicos, estructurales, ambientales. Esta metodología de reparación propone un procedimiento viable, pudiéndose replicar en futuros trabajos que implique la reparación de enrocados de protección costera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejandra Lira, M. D. age. (2020). How to Approach Breakwater Maintenance as Water Levels Rise. <https://www.marinadockage.com/breakwater-maintenance/>
- Army Corps of Engineers. Coastal Engineering. (1984). SHORE PROTECTION MANUAL US Army Corps of Engineers. Coastal Engineering. <https://doi.org/https://doi.org/10.5962/bhl.title.47830>
- Arroyo, J., Sadaka, J., & Pacheco, G. (2021). Caracterización costera de la zona de playa de la casa de prácticos de la APG en época seca, en Data Posorja, provincia del Guayas; para la elaboración de los perfiles de playa y planes de mantenimiento de las obras de protección" (COMPAS (ed.); 1st ed., Vol. 1).
- Douglass, S. L., & Webb, B. M. (2020). Highways in the Coastal Environment. Hydraulic Engineering Circular No. 25, October 2014.
- Pilarczyk, K. W. (2003). Hydraulic and Coastal Structures in International Perspective. In Repository.Tudelft.nl (Issue October 2011). <https://doi.org/10.1142/9789814360579>
- Thomason, C. (2019). Texas DOT hydraulic design manual. Texas Department of Transportation: Hydraulic Design Manual, 10, 293–351. <http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/hyd.pdf>
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS RESEARCH CENTER. (2002). COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, 2002 SHORE PROTECTION MANUAL. 2 EDICION, 2500.
- World Meteorological Organization (WMO). (2021). State of the Climate in Latin America and the Caribbean (Issue 1)