

46

Fecha de presentación: mayo, 2024
Fecha de aceptación: octubre, 2024
Fecha de publicación: diciembre, 2024

OPTIMIZACIÓN

DEL DISEÑO DE ROMPEOLAS BAJO EL EFECTO DEL INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR

OPTIMIZATION OF BREAKWATER DESIGN UNDER THE EFFECT OF SEA LEVEL RISE

Iván F. Arjona-Catzim^{1*}

E-mail: ivan.arjona@uaq.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1509-9579>

Karina G. Ocaña-E. de los Monteros²

E-mail: Karina.ocana@imt.mx

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1580-105X>

Jaime M. Horta-Rangel¹

E-mail: horta@uaq.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4314-3848>

Teresa López-Lara¹

E-mail: lolte@uaq.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7289-7919>

Eduardo Rojas-González¹

E-mail: erg@uaq.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6042-505X>

¹ Universidad Autónoma de Querétaro, México.

² Instituto Mexicano del Transporte, México.

*Autor para correspondencia.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Arjona-Catzim, I. F., Ocaña-E. de los Monteros, K. G., Horta-Rangel, J. M., López-Lara, T. & Rojas-González, E. (2024). Optimización del diseño de rompeolas bajo el efecto del incremento del nivel del mar. *Universidad y Sociedad*, 16(S2), 428-436.

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el impacto del incremento del nivel del mar debido al cambio climático en los rompeolas, comparando las condiciones actuales de diseño con cuatro escenarios de aumento del nivel del mar. Se desarrolló un algoritmo de optimización basado en un modelo de Agujero Negro para el diseño de elementos de coraza, analizando el efecto de cada incremento en el diseño de dichos elementos dentro de un punto de control en el rompeolas, comparando los resultados obtenidos con y sin restricciones en las dimensiones de cada elemento. Se obtuvo una primera aproximación para evaluar el efecto que los diferentes escenarios debidos al cambio climático tienen sobre las condiciones tradicionales y el grado de impacto esperado en un dique de abrigo para optimizar el diseño de los elementos de la coraza teniendo como variable objetivo el peso y volumen del concreto. Se obtuvieron diferencias de hasta un 22,08% entre los valores calculados tradicionalmente frente a los obtenidos mediante el algoritmo Black Hole.

Palabras clave: Algoritmo Black Hole, Coraza, Nivel del mar, Escollera, Dique de abrigo.

ABSTRACT

In this work, the impact of sea level rise due to climate change on breakwaters was evaluated by comparing current design conditions with four sea level rise scenarios. An optimization algorithm based on a Black Hole model was developed for the design of armor elements, analyzing the effect of each increase in the design of such elements within a control point in the breakwater, comparing the results obtained with and without restrictions in the dimensions of each element. A first approximation was obtained to evaluate the effect that different scenarios due to climate change have on the traditional conditions and the degree of impact expected in a breakwater to optimize the design of the armor elements having as target variable the weight and volume of concrete. Differences of up to 22,08% were obtained

between the traditionally calculated values and those obtained using the Black Hole algorithm.

Keywords: Black Hole algorithm, Armor, Sea level, Breakwater, Seawall.

INTRODUCCIÓN

Debido al impacto que tiene sobre el medio natural, los ecosistemas costeros y la economía social, el incremento en el nivel del mar se considera una amenaza latente para la supervivencia humana y el desarrollo económico. Lo anterior se debe a que algunas zonas costeras bajas pueden ser sumergidas, lo que favorece la erosión costera y el retroceso de la línea de playa (Yin et al., 2012). Además, a medida que incrementa el nivel del mar se espera un aumento en la frecuencia de las mareas de tormenta, poniendo en peligro la vida y bienes de los habitantes de la costa y salinizando la tierra (Esteban et al., 2013).

Estudios recientes (Sun et al., 2020) estiman que, considerando la perspectiva de una aceleración en el ritmo del incremento del nivel del mar debido al cambio climático, se estima un aumento de costos de entre un 8% y un 66% comparando una estructura construida en la actualidad contra una construida en el 2050, considerando un incremento de 1.30 m. Esto se explica debido a que al incrementar la profundidad del agua se esperan olas con mayores alturas.

La mayor parte de los proyectos en desarrollo en la actualidad consideran la protección del entorno natural, pero es esencial incorporar medidas de mitigación ambiental que contemplen el impacto del cambio climático.

Estas pautas deben tener en cuenta aspectos como el aumento del nivel del mar, las variaciones de temperatura y velocidad de las corrientes, su influencia en los procesos costeros y, por consiguiente, la modificación del ecosistema marino (IPCC, 2007a). El aumento del nivel del mar es un elemento que tiene consecuencias en áreas costeras y portuarias, por lo tanto, es fundamental dar prioridad a la evaluación técnica y económica del impacto que tiene el incremento del nivel del mar causado por el cambio climático en las construcciones de infraestructura costera y portuaria, especialmente en los rompeolas y escolleras (IPCC, 2007b).

Las estimaciones del aumento promedio del nivel del mar varían en el Golfo de México, desde 1.79 mm/año en Alvarado, Veracruz, hasta 9.16 mm/año en Cd. Madero, Tamaulipas. Es importante tener en cuenta que las series de datos utilizadas para estas estimaciones

no corresponden a los mismos períodos (Cecilia, 2003; Cecilia & Palma, 2005; INE, 2012).

Por otra parte, existe un creciente interés en la creación, adaptación y desarrollo de algoritmos inspirados en la naturaleza, ya sea por medio de seres vivos y su comportamiento o en fenómenos naturales. Estos algoritmos se pueden clasificar en diferentes grupos según los criterios que se consideren, como los basados en poblaciones, los iterativos, los estocásticos, los deterministas, entre otros. Con relación a la naturaleza del fenómeno simulado, de manera particular, los algoritmos heurísticos basados en poblaciones se dividen en dos grupos principales: los algoritmos basados en la inteligencia de enjambre y los algoritmos evolutivos (AE) entre los que podemos encontrar el algoritmo "*Black Hole*", inspirado en la región del espacio cuya gravedad es tan alta que no deja escapar ni la luz (Abualigah et al., 2022; Chakraborty et al., 2010; Fera et al., 2018;).

También es posible mejorar el rendimiento mediante la combinación de las fortalezas de diferentes algoritmos de optimización, lo que se conoce como hibridación de algoritmos. La hibridación es una estrategia efectiva para aumentar la eficiencia del algoritmo, ya que aprovecha las mejores características de cada uno. Algunos ejemplos de algoritmos hibridados se pueden encontrar en Karen et al. (2006); Passino (2002); Sun et al. (2011) y Yildiz (2009).

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo es desarrollar un algoritmo de optimización basado en el Algoritmo de Agujero Negro, considerando restricciones de carácter constructivo para coadyuvar el diseño de elementos de coraza, de un rompeolas armado con elementos artificiales tipo cubo modificado y de este modo poder reducir costos asociados a la construcción.

Para diseñar las secciones transversales, se utilizan datos de oleaje provenientes de diversas fuentes disponibles en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Además, se recopila información histórica de la batimetría y se establecen diferentes escenarios de cambio climático para el Golfo de México, teniendo en cuenta las proyecciones sobre el aumento del nivel del mar (Ocaña, 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Definición del oleaje de diseño

Para los datos de entrada se utilizó la información recopilada por una boya direccional medidora de oleaje, ubicada en la zona exterior de la ampliación del puerto de Veracruz, México proporcionada por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Esto se realizó a través de un análisis exhaustivo y se determinó el patrón de oleaje registrado

durante el año 2019, que considera el período con los datos más completos disponibles. Una vez que se establecieron los datos del oleaje, se llevó a cabo la modelación numérica de la refracción del oleaje extremo. Los resultados obtenidos de las simulaciones numéricas con diferentes direcciones se utilizaron para determinar las alturas del oleaje en el diseño de la sección transversal del rompeolas, considerando incrementos de nivel del mar pronosticados para la zona de estudio en (Ocaña, 2022).

En la Tabla 1 se muestran las alturas ola de diseño a utilizar en el cálculo de la sección transversal del cuerpo del rompeolas. Esta sección se ubica a 600 m medidos desde la costa hacia mar adentro. Se considera que a esta distancia el oleaje aún no rompe.

Tabla 1. Alturas de Ola de Diseño para el caso de estudio.

ICC ^a (m)	H _d (m)	Cadenamiento (m)
0.00	3.52	600
0.50	3.71	
1.00	3.89	

Fuente: elaboración propia.

Diseño de elementos de coraza tipo cubo modificado

Para calcular el peso de referencia de los elementos de coraza de la estructura se hizo uso de la ecuación de Hudson, la cual se muestra a continuación en (ver ecuación 1):

$$P = \frac{H_d^3 \gamma_s}{K_d (Sr-1)^2 \cot \alpha} \quad (1)$$

donde P es el peso de los elementos de coraza, H_d, la altura de la ola de diseño, γ_s, el peso específico del material de los elementos de coraza, Sr, la densidad relativa del material, α, el ángulo de inclinación del talud con respecto a la horizontal y K_d, representa el coeficiente de estabilidad.

Para el diseño se consideró que la coraza estaría construida en concreto con γ_s = 2.20 t/m³; K_d = 7.8 ya que el elemento está ubicado en la zona de ola no rompiente del cuerpo y el talud con proporción 2:1.

Algoritmo de optimización Agujero Negro.

Este algoritmo tiene las ventajas de ser de fácil implementación y que las soluciones convergen en un óptimo global en cada iteración por lo que se evita quedar atrapado en un valor óptimo local como es el caso de los algoritmos heurísticos (Hatamlou, 2013; Kumar et al., 2015; Zuwairie et al., 2018).

Se han realizado diversas modificaciones al algoritmo con el fin de lograr resultados adecuados a cada problema particular a resolver, sin embargo, la mayoría de estos no considera condiciones que ayuden a orientar la solución a una aplicación práctica (Deeb et al., 2022; Gao et al., 2016; Jeet & Dhir, 2015; Soto et al., 2018). Para este trabajo se establece el peso del elemento (P_{EL}) como función objetivo y como variables: el lado inferior (L_B), el lado superior (L_T) y la altura del cubo (H). La ecuación para calcular dicho peso se describe en (ver ecuación 2):

$$P_{EL} = \left(\frac{\pi}{3}\right) \left((L_B^2 - ((0.40)x0.14x2 + 0.05^2x2)) + (L_T^2 - ((0.40)x0.14x2 + 0.05^2x2)) + \left((L_B^2 - \right. \right. \quad (2)$$

$$\left. \left. (0.40)x0.14x2x0.05^2x2) \right) (L_T^2 - (0.40)x(0.14x2 + 0.05^2x2)) \right)^{\frac{1}{2}} \gamma_s$$

Adicionalmente, se considera que el valor de P_{EL} no puede ser menor que P y que la diferencia de P_{EL} - P < 0.50 t para garantizar que el elemento sea lo suficientemente pesado para resistir el oleaje de diseño, pero sin que sea excesivamente pesado, ya que eso implicaría gastos innecesarios. Por otra parte, se limitan las dimensiones de L_B y H en función de L_B, verificando que todas sean múltiplos de 0.05 m para tener medidas aptas para construcción. Las

restricciones para cada una de las variables serían las siguientes (ver ecuación 3 y 4):

$$90L_b \leq L_b \leq 1.00L_b \tag{3}$$

$$0.95LB \leq H \leq 1.00LB \tag{4}$$

En la Tabla 2 se puede encontrar el pseudocódigo con las consideraciones indicadas anteriormente.

Tabla 2. Algoritmo de Agujero Negro (modificado).

1:	Función objetivo: $\min f(x) = (x_1, x_2, x_3)$
2:	Establecer restricciones (3) y (4)
3:	Inicializar la población de N estrellas con una posición aleatoria en el espacio de búsqueda (múltiplos de 0.05)
4:	$t = 0$
5:	While ($t < \text{MaxGeneración}$) or (Criterio de paro)
6:	Evalue each (x_1, x_2, x_3) en la función objetivo
7:	BH = Mejor (x_1, x_2, x_3)
8:	Verificar restricciones de P y P_{EL}
9:	For $i = 1:N$
10:	$x_i = x_i + \text{rand} \times (x_{BH} - x_i)$
11:	end
12:	$R = f_{BH} / \sum_{i=1}^N f_i$
13:	For $i = 1:N$
14:	if $f(x_i) > f(BH)$ then
15:	Intercambiar (x_i, BH)
16:	end
17:	Verificar restricciones de P y P_{EL}
18:	if $(x_i - BH) \leq R$ then
19:	Mover x_i a una posición aleatoria en el espacio de búsqueda
20:	end
21:	end
22:	$t = t + 1$
23:	end

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS-DISCUSIÓN

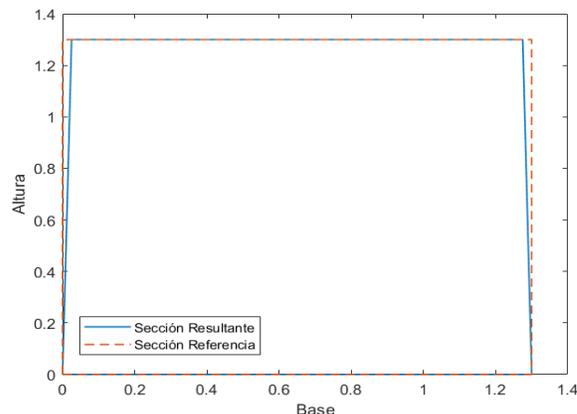
A partir de las olas de diseño indicadas en la Tabla 1 se realizan corridas para el diseño con y sin las restricciones marcadas en (3) y (4).

En la Fig. 1 observa el diseño para valores de $ICC=0.00m$; $H_d=3.52$ m con restricción. El peso de cada pieza es 4.32 t y las dimensiones del elemento son $L_b=1.30$ m, $L_b=1.25$

m y $H=1.3$ m. A partir de estos resultados se estima que el volumen del elemento debe ser de 1.96 m^3 .

En la bibliografía se registra un valor de $P_{EL}=5.05$ t, que representa una disminución de 14.45% al aplicar el algoritmo de optimización.

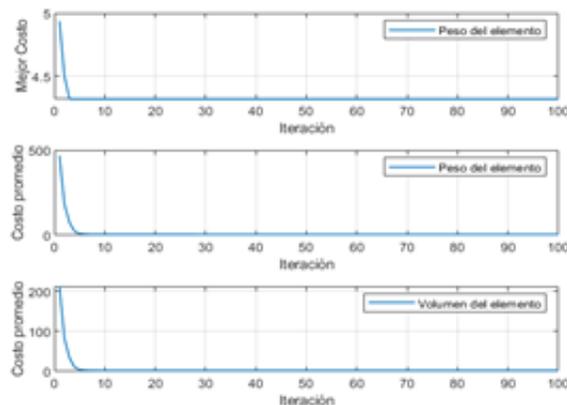
Fig. 1: Geometría del cubo ranurado obtenido por medio del Algoritmo de Optimización de Agujero Negro modificado, considerando restricciones. $ICC=0.00$ m; $H_d=3.52$ m.



Fuente: elaboración propia.

En la figura. 2 se observa que las soluciones tienen un comportamiento adecuado, pues los promedios durante cada iteración son descendientes, lo que implica que cada población tiene individuos con valores cada vez más pequeños.

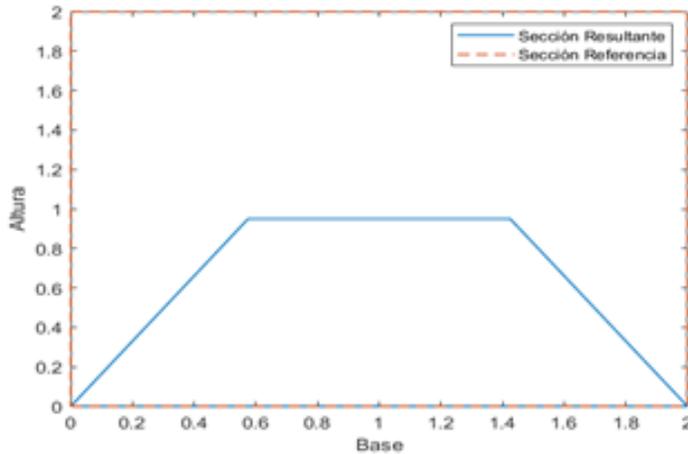
Fig. 2: Comportamiento de los resultados obtenidos para peso y volumen del elemento de coraza por medio del Algoritmo de Optimización de Agujero Negro modificado, considerando restricciones. $ICC=0.00m$; $H_d=3.52$.



Fuente: elaboración propia.

En la figura. 3 se muestran los resultados para un cubo sin restricciones en sus dimensiones, para este caso los valores obtenidos son $L_B = 2.00$ m, $L_b = 0.85$ m y $H = 0.95$ m, representando un peso de 4.20 t y un volumen de 1.91 m³. El inconveniente de esta solución es que la forma no se considera propicia para su implementación en un rompeolas, ya que no tendría una buena estabilidad. La diferencia entre el peso con y sin restricción es de 2.88%.

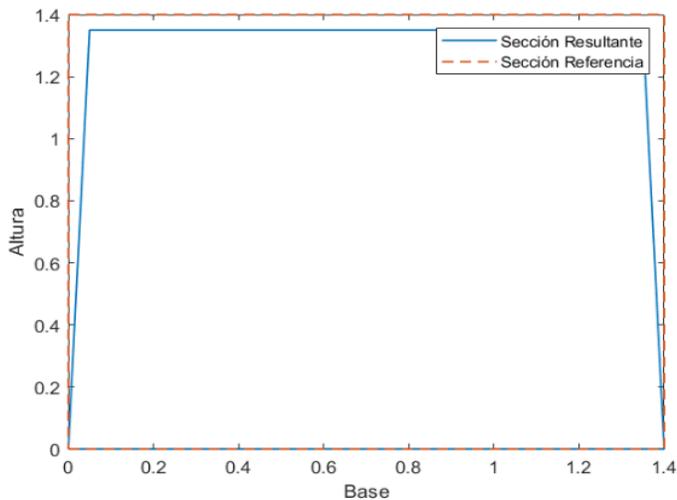
Fig. 3: Geometría del cubo ranurado obtenido por medio del Algoritmo de Optimización de Agujero Negro modificado, sin considerar restricciones. ICC=0.00 m; Hd=3.52 m.



Fuente: elaboración propia.

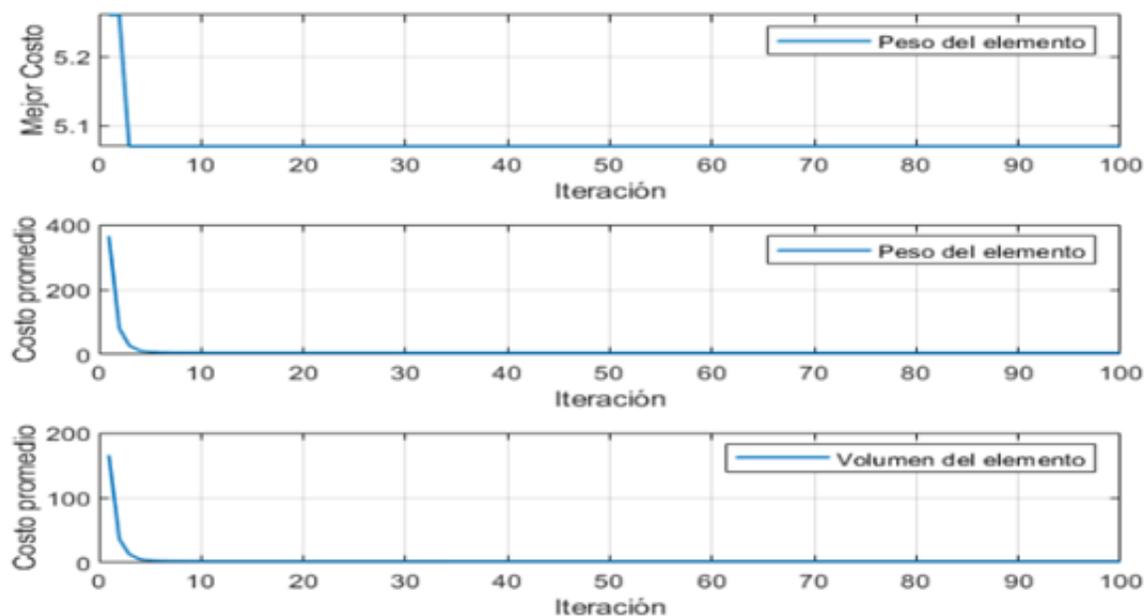
La figura 4 muestra los resultados para el diseño con ICC=0.50 m y $H_d = 3.71$ m con restricciones de proporción en las dimensiones del cubo. El peso del elemento es de 5.07 t con $L_B = 1.40$ m, $L_b = 1.30$ m y $H = 1.35$ m. El volumen del elemento es 2.30 m³. Comparando con la literatura, existe una disminución del 17.02% en el peso de cada elemento, al utilizar el algoritmo de optimización. De igual manera que en el caso anterior, en la figura 5 se puede observar un comportamiento adecuado en las soluciones de cada iteración.

Fig. 4: Geometría del cubo ranurado obtenido por medio del Algoritmo de Optimización de Agujero Negro modificado, considerando restricciones. ICC=0.50m; Hd=3.71 m.



Fuente: elaboración propia.

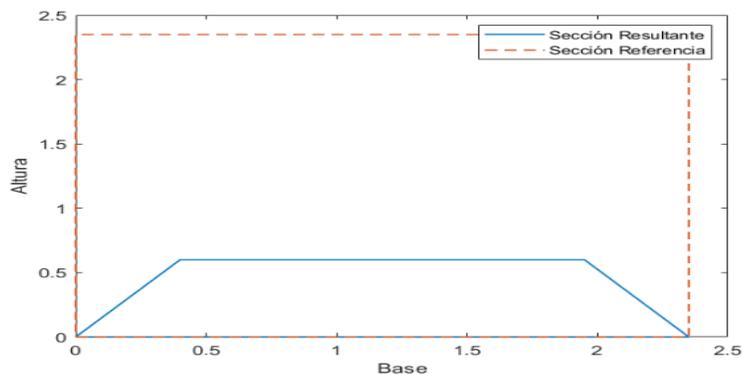
Fig. 5: Comportamiento de los resultados obtenidos para peso y volumen del elemento de coraza por medio del Algoritmo de Optimización de Agujero Negro modificado, considerando restricciones. ICC=0.50 m; Hd=3.71 m.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 6 se muestran los resultados para un cubo sin restricciones, para este caso los valores obtenidos son $L_B=2.35$ m, $L_b=1.55$ m y $H=0.60$ m, representando un peso de 4.93 t y un volumen de 2.24 m³. Al igual que en el caso anterior, la geometría no es apta para utilizar en un rompeolas. La diferencia entre el peso con y sin restricción es de 2.76%.

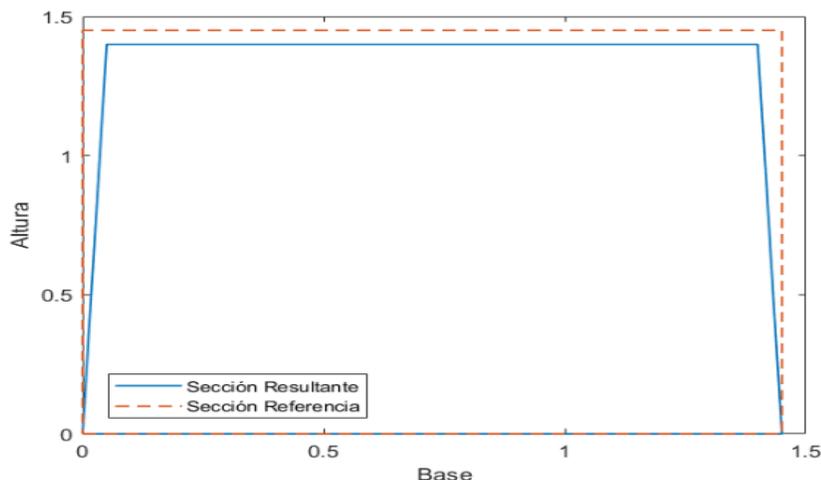
Fig. 6: Geometría del cubo ranurado obtenido por medio del Algoritmo de Optimización de Agujero Negro modificado, sin considerar restricciones. ICC=0.50m; Hd=3.71 m.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para valores ICC=1.00 m y $H_d=3.89$ m con restricción, en la figura 7 se observa que las dimensiones del cubo son $L_B=1.45$ m, $L_b=1.35$ m y $H=1.40$ m lo que equivale a un peso de 5.68 t y volumen de 2.58 m³. La diferencia con un procedimiento tradicional es de 22.08%, dado que el peso del elemento es de 7.29 t.

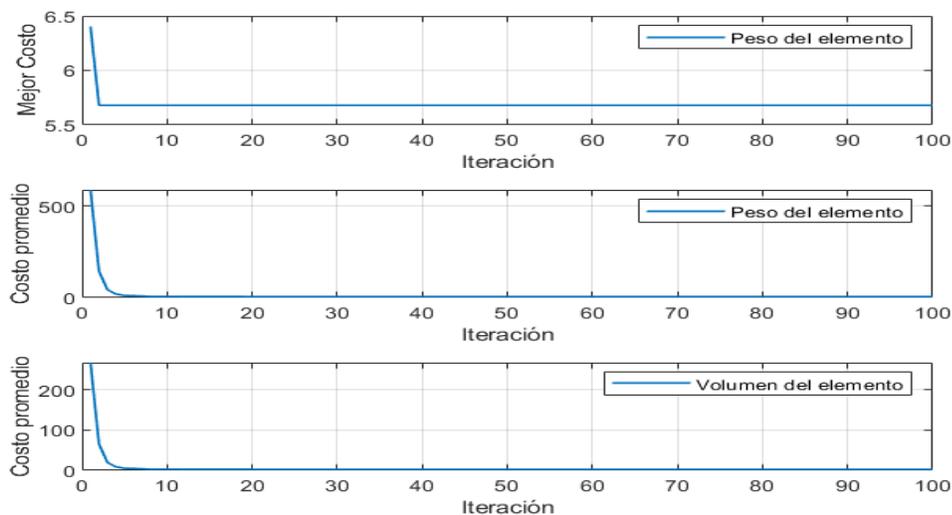
Fig. 7: Geometría del cubo ranurado obtenido por medio del Algoritmo de Optimización de Agujero Negro modificado, considerando restricciones. ICC=1.00 m; Hd=3.89 m.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 8 se presenta el comportamiento para el caso del peso y volumen del elemento de coraza por medio del algoritmo de optimización de agujero negro, para ello fueron consideradas restricciones como ICC=1,0 m y Hd=3,89 m.

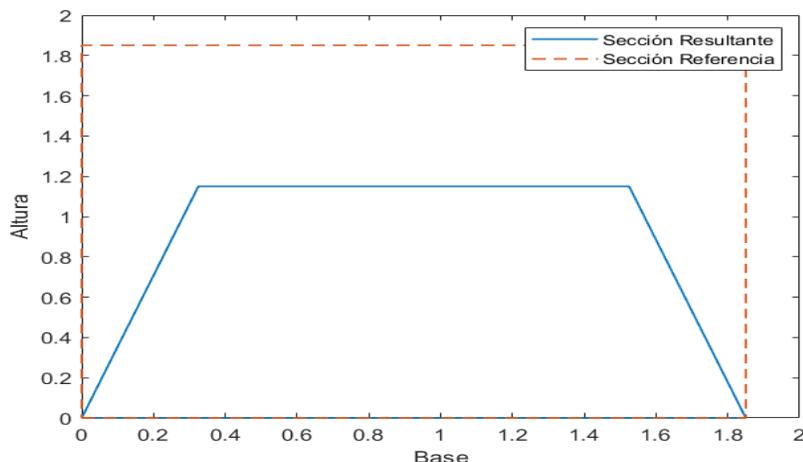
Fig. 8: Comportamiento de los resultados obtenidos para peso y volumen del elemento de coraza por medio del Algoritmo de Optimización de Agujero Negro modificado, considerando restricciones. ICC=1.00 m; Hd=3.89 m.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 9 se muestran los resultados para un cubo sin restricciones en sus dimensiones, para este caso los valores obtenidos son LB= 1.85 m, Lb= 1.20 m y H=1.15 m, representando un peso de 5.67 t y un volumen de 2.58 m³. Nuevamente, la solución no se considera propicia para su implementación en un rompeolas, ya que no tendría una buena estabilidad. La diferencia entre el peso con y sin restricción es de 0.17%.

Fig. 9: Geometría del cubo ranurado obtenido por medio del Algoritmo de Optimización de Agujero Negro modificado, sin considerar restricciones. ICC=1.00 m; Hd=3.89 m.



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que, aunque el incremento en el nivel del mar debido al cambio climático implica un aumento en las dimensiones y pesos de los elementos necesarios para la construcción de rompeolas, es posible reducir los costos asociados mediante el uso de algoritmos de optimización.

Asimismo, este enfoque permite agilizar el proceso de diseño de los elementos de coraza, eliminando la necesidad de procedimientos repetitivos en la selección de dimensiones, como ocurre en los métodos tradicionales. Sin embargo, es importante considerar que, al no imponer restricciones adecuadas en las dimensiones del cubo, se corre el riesgo de generar secciones que no sean óptimas para su implementación en rompeolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abualigah, L., et al. (2022). Black hole algorithm: A comprehensive survey. *Applied Intelligence*, 52(10), 11892–11915. <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02980-5>
- Cecilia, C. (2003). *Cambio y variabilidad climáticos: dos estudios de caso en México* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/62619>
- Cecilia, C., & Palma, B. (2005). Escenarios de riesgo para el territorio veracruzano ante un posible cambio climático. Universidad Veracruzana.
- Chakraborty, P., Das, S., Abraham, A., Snaes, V., & Roy, G. G. (2010). On convergence of multi-objective particle swarm optimizers. En *IEEE Congress on Evolutionary Computation* (pp. 1–8). <https://doi.org/10.1109/CEC.2010.5586318>
- Deeb, H., Sarangi, A., Mishra, D., & Sarangi, S. K. (2022). Improved Black Hole optimization algorithm for data clustering. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34(8), 5020–5029. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.12.013>
- Esteban, M., Takagi, H., & Shibayama, T. (2013). Sea level rise and the increase in rubble mound breakwater damage. En *Coastal Structures 2011* (pp. 130–140). World Scientific. https://doi.org/10.1142/9789814412216_0012
- Gao, W., Wang, X., Dai, S., & Chen, D. (2016). Study on stability of high embankment slope based on black hole algorithm. *Environmental Earth Sciences*, 75(20), 1381. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6208-y>
- Hatamlou, A. (2013). Black hole: A new heuristic optimization approach for data clustering. *Information Sciences*, 222, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2012.08.023>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. WMO.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2007). *Climate change and its impacts in the near and long term under different scenarios [Synthesis report]*. WMO.
- Instituto Nacional de Ecología [INE]. (2012). *Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático*. INE/PNUD.

- Jeet, K., & Dhir, R. (2015). Software architecture recovery using genetic black hole algorithm. *SIGSOFT Software Engineering Notes*, 40(1), 1–5. <https://doi.org/10.1145/2693208.2693230>
- Karen, ., Yildiz, A. R., Kaya, N., Öztürk, N., & Öztürk, F. (2006). Hybrid approach for genetic algorithm and Taguchi's method-based design optimization in the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 44(22), 4897–4914. <https://doi.org/10.1080/00207540600619932>
- Sun, C., Zeng, J., & Pan, J. (2011). An improved vector particle swarm optimization for constrained optimization problems. *Information Sciences*, 181(6), 1153–1163. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.11.033>
- Kumar, S., Datta, D., & Singh, S. K. (2015). Black hole algorithm and its applications. En A. T. Azar & S. Vaidyanathan (Eds.), *Computational Intelligence Applications in Modeling and Control* (Vol. 575, pp. 147–170). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11017-2_7
- Ocaña E. de los M., K. G. (2022). *Impacto del incremento del nivel del mar por cambio climático en el diseño de rompeolas*. Instituto Mexicano del Transporte.
- Passino, K. M. (2002). Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control. *IEEE Control Systems*, 22(3), 52–67. <https://doi.org/10.1109/MCS.2002.1004010>
- Soto, R., et al. (2018). Adaptive Black Hole Algorithm for solving the set covering problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1–23. <https://doi.org/10.1155/2018/2183214>
- Soto, R., et al. (2018). Adaptive Black Hole Algorithm for solving the set covering problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1–23. <https://doi.org/10.1155/2018/2183214>
- Sun, Q., Wan, J., & Liu, S. (2020). Estimation of sea level variability in the China Sea and its vicinity using the SARIMA and LSTM models. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 3317–3326. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2997817>
- Yin, J., Yin, Z., Wang, J., & Xu, S. (2012). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the Chinese coast. *Journal of Coastal Conservation*, 16(1), 123–133. <https://doi.org/10.1007/s11852-012-0180-9>
- Yildiz, A. R. (2009). A new design optimization framework based on immune algorithm and Taguchi's method. *Computers in Industry*, 60(8), 613–620. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2009.05.016>
- Zuwairie, I., et al. (2018). A review on fundamental advancements of black hole algorithm. *International Conference on Artificial Life and Robotics*, 241–244. https://alife-robotics.co.jp/members2018/icarob/data/html/data/GS_pdf/GS10/GS10-1.pdf