

## La tribología aplicada en los puentes del pedraplén Cayo Coco

### *Tribology applied on the bridges of the causeway to Cayo Coco*

**Autores:** José Alberto Escobar Carreño<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-5512-8421>

Rigoberto Antonio Pérez Reyes<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-9265-5535>

Aymet Machado Jácome<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-9639-3018>

**Institución:** <sup>1</sup>Corporación de Importación y Exportación (CIMEX), Sucursal Ciego de Ávila, Cuba

<sup>2</sup>Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

**Correo electrónico:** [carrenojose956@gmail.com](mailto:carrenojose956@gmail.com)

[rigobertopr@unica.cu](mailto:rigobertopr@unica.cu)

[aymetmachado@gmail.com](mailto:aymetmachado@gmail.com)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8091817>

## RESUMEN

Los puentes constituyen una parte importante de la red vial porque pueden producir la paralización del tránsito cuando no son capaces de mantener la continuidad de la vía. En la Tribología, lo más común es el estudio de elementos mecánicos como rodamientos y engranajes, esta ciencia abarca situaciones en las que está presente una interacción entre dos o más elementos, los que pueden ser de diferentes materiales y encontrarse en diferentes estados. El sistema tribológico seleccionado está formado por los aproches de los puentes y las corrientes marinas que ocurren en las bahías de la costa norte cubana y, fundamentalmente al sur del Archipiélago Sabana-Camagüey. El agua genera una lubricación mínima que tiende a disminuir la fricción hasta un límite referenciado a la velocidad de las corrientes marinas. La comprensión del sistema tribológico permitirá atenuar las consecuencias de la erosión de los aproches debido al desgaste producido por las corrientes. Se realizó una revisión bibliográfica sobre el efecto de las corrientes marinas en los aproches de los puentes y se describe la relación tribológica existente entre ellos. El objetivo del presente artículo es demostrar la necesidad de comprensión del sistema tribológico para atenuar las consecuencias de la erosión en los aproches debido al desgaste producido por la acción de las corrientes marinas. El conocimiento de dicha relación,

contribuirá a que se puedan tomar medidas oportunas para atenuar la erosión de las corrientes marinas sobre los enfoques.

**Palabras clave:** Enfoques, Erosión, Lubricación, Pedraplén, Tribología.

## **ABSTRACT**

Bridges are an important part of a road network because they can cause the stoppage of traffic if they cannot keep the continuity of the road. Traditionally, the most common within the field of Tribology is the study of mechanical elements such as bearings and gears. This science covers those situations in which an interaction between two or more elements is present. The elements can be of different materials and found in different states. The selected tribological system is formed by the approaches of the bridges and the sea streams that occur due to a very specific phenomenon of the region. Water, due to its liquid state, generates a minimal lubrication that helps to reduce friction until the referenced limit of the speed of sea streams. The proper understanding of the system becomes necessary to mitigate the consequences of the erosion to the approaches due to the wear produced by such streams. A bibliographic search was conducted on the effects of sea streams on bridge approaches and their tribological relation. The objective of this article is to demonstrate the need of understanding the tribological system in order to mitigate the consequences of the erosion of the approaches due to the effect of sea streams. Knowing such relation will allow us to take preventive measures to mitigate the erosion on bridge approaches.

**Keywords:** Enfoques, Causeway, Erosion, Lubrication, Tribology.

## **INTRODUCCIÓN**

En una red vial, los puentes constituyen una parte importante debido a que pueden llegar a producir la paralización del tránsito cuando no son capaces de mantener la continuidad de la vía, además de tener una importancia social innegable, pues su esencia es la de unir lo que está separado (Escobar, 2018).

Debido a que el puente forma parte de una carretera o de un ferrocarril tiene que diseñarse para que cumpla sus objetivos viales. Cuando éste cruza un río o el mar, es necesario considerarlo, además, como una estructura hidráulica. Entre el mar y el puente existe una profunda interacción en la que cada uno trata de influir sobre el otro. Por ello es importante que la inversión, no solo se enfoque en construcción de carreteras, sino también en la conservación de la infraestructura creada.

El estudio entre dos superficies que se encuentran en contacto y movimiento relativo es un asunto de análisis y discusión, especialmente cuando son utilizadas capas resistentes al desgaste en la superficie de los materiales (Pérez, et al., 2014)

En Julio de 1989, con el fin de explotar el potencial turístico de la cayería norte de la provincia de Ciego de Ávila, se concluyó una etapa para la construcción de un viaducto marino de aproximadamente 17 km de longitud, que atraviesa y divide físicamente la Bahía de Los Perros.

Un pedraplén es un vial que se asienta en el fondo del acuatorio mediante una base pétreo, y generalmente soporta en la parte emergida una carretera o una vía férrea, cualquiera sea su finalidad (Quirós, 2013). La construcción de puentes en los pedraplenes ayuda a mitigar los impactos sobre la biodiversidad marina y costera. El Pedraplén Cayo Coco cuenta actualmente con 13 puentes de hormigón armado. Uno de los elementos que conforman los puentes, en específico su subestructura, son los aproches que tienen por función la de unir un medio flexible como es los terraplenes de las vías, con uno rígido: la estructura de los puentes. En estas zonas convergen múltiples variables, pero una de las que incide fundamentalmente son las corrientes marinas que se producen debido al intercambio de las aguas en la zona del pedraplén. Siendo estos los componentes del sistema tribológico objeto de estudio en el presente trabajo.

El objetivo del presente artículo es demostrar la necesidad de comprensión del sistema tribológico para atenuar las consecuencias de la erosión en los aproches debido al desgaste producido por la acción de las corrientes marinas.

Se realizó una revisión bibliográfica sobre el efecto de las corrientes marinas en los aproches de los puentes y se describe la relación tribológica existente entre estos elementos, así como sus características fundamentales. Un acertado conocimiento de dicha relación, debe contribuir a que se puedan tomar medidas oportunas para atenuar la actividad erosiva de las corrientes marinas sobre los aproches.

Con la construcción de otro vial que une a Cayo Romano y Cayo Coco, esta zona de intercambio con el océano vio reducida en un 20 % su área natural de las aguas. Se estableció un nuevo régimen de corrientes cuya principal consecuencia consiste en la no existencia de mareas, sustituidas por corrientes de compensación que alcanzan velocidades máximas. Todas estas condiciones antrópicas han propiciado que el aporte de aguas continentales hacia el área de estudio se haya reducido hasta valores

no calculados. Por los puentes pasan a alrededor de 1.43 m/s a 2.00 m/s, triplicando las velocidades que existían. El comportamiento caótico y aleatorio de estas corrientes no permite definir en las condiciones actuales de intercambio los periodos de tiempo en que fluyen a un lado u otro. (Menéndez, et al., 2011)

Así han resistido el impacto de huracanes que van desde el Ike, en septiembre del 2008, hasta el más reciente en el propio mes de septiembre del año 2017. En ambas ocasiones el efecto fue devastador, trayendo consigo la interrupción del tránsito de los cayos con la isla de Cuba. Entre las principales secuelas dejadas por el huracán Irma a su paso por el norte de la provincia de Ciego de Ávila en el Pedraplén Cayo Coco, se encontraron los daños ocasionados en los aproches de 11 puentes, paseos, las escolleras a lo largo de 23 kilómetros a ambos lados de la vía, y la socavación en aproches y estribos en 11 de los 13 puentes que conforman esta obra.

## **DESARROLLO**

La Tribología es la ciencia que estudia el rozamiento, desgaste y lubricación de superficies de contacto con movimiento relativo entre sí (Hutchings y Shipway, 2017). Aunque tradicionalmente, lo más común dentro del campo de la Tribología ha sido el estudio de elementos mecánicos como rodamientos y engranajes, esta ciencia abarca todas aquellas situaciones en las que está presente una interacción entre dos o más elementos, los que pueden ser de diferentes materiales y encontrarse en diferentes estados.

La Tribología es la ciencia que estudia fenómenos de superficie tales como fricción, desgaste y lubricación. Es un campo multidisciplinario que incluye áreas como la ciencia y tecnología de materiales, ciencia y tecnologías químicas, biología y biomedicina y una variedad de áreas temáticas tales como diseño, mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, termodinámica, lubricación, metalurgia, entre otros. (Santa Marin y Toro Betancour, 2015)

Desde un punto de vista más amplio, la Tribología llega a comprender cada simple movimiento que se produce en el universo, desde procesos biológicos tan sencillos como pestañar hasta el funcionamiento más complejo de una nave espacial.

### **Estructura y funcionamiento del Sistema Tribológico**

El sistema tribológico es un sistema natural o artificial de elementos materiales; por lo menos dos donde se presenta la fricción y en casos extremos el desgaste. (Daquinta, 2019)

El sistema tribológico seleccionado es el que está formado por los aproches de los puentes y las corrientes marinas que ocurren debido a un fenómeno poco conocido y muy específico de la región, producto del cierre casi total del intercambio interno de las bahías con la costa norte de la isla de Cuba y, fundamentalmente al sur del Archipiélago Sabana-Camagüey.

Dicho fenómeno físico, de origen antrópico, está presente cuando se establecen corrientes de compensación en sentido este-oeste y viceversa entre ambas partes de la bahía, y es conocido como set-up de oleaje o rebase. Cuando las olas rompen en una playa producen el denominado set-up del oleaje, un incremento del nivel medio del mar que se produce en la zona de rompientes y consiste en una pendiente ascendente del agua en la dirección hacia tierra (Calafat, 2013). Esta pendiente es inferior a la de la playa, con lo que el agua se interseca con la línea costera en un punto de ésta. Estas corrientes no son periódicas en tiempo y presentan velocidades que oscilan entre 1.43 m/s y 2.00 m/s.

El comportamiento caótico y aleatorio de estas corrientes no permite definir en las condiciones actuales de intercambio los periodos de tiempo en que fluyen a un lado u otro y están sujetas a la sobreelevación que, por el efecto de amontonamiento del agua, ocurre a ambos lados del pedraplén. (AEMA, 2008)

El comportamiento de las corrientes marinas es similar en las obras del pedraplén. Las pilas, estribos y aproches son elementos extraños dentro de la corriente, y el choque del flujo contra ellos produce corrientes de remolino que pueden comprometer la estabilidad de las pilas al producir remolinos que causan erosión local socavándolos. Debido a que los aproches de los puentes pueden ser considerados como parte integral de la estructura de éstos, las fallas en los aproches pueden resultar tan serias como las fallas de la superestructura.

### **Características geológicas del Pedraplén Cayo Coco**

A partir del nivel de la rasante del vial Pedraplén Cayo Coco en los sectores examinados, se presentan los elementos constituyentes del pedraplén y los estratos ingeniero-geológicos.

#### **Elemento Constituyente A del pedraplén:**

Capa de hormigón asfáltico de color gris negruzco. Posee un espesor de 0,10 m y se halla cubriendo, en la franja central de las secciones viales tratadas, al elemento constituyente B del pedraplén.

### **Elemento Constituyente B del pedraplén** (material de relleno técnico del pedraplén):

De forma general está compuesto por una masa de bloques de roca, a modo de cantos, guijarros y gravas de composición polimíctica (principalmente fragmentos de rocas carbonatadas e ígneas) que se encuentran rodeados de una matriz areno limosa de composición carbonatada. Este material se dispone a modo de diferentes capas, en las cuales predominan indistintamente algunas de las fracciones granulométricas citadas. La porción superior de este elemento (aproximadamente los primeros 3,0 m de su espesor) está compuesta mayormente por un material que se comporta como una grava limosa con arena y cantos (GM). Esta capa cubre a otra que está formada por una masa de bloques de roca, cantos y guijarros envueltos en una matriz gravo areno limosa, que constituyen en sí la base del pedraplén, extendiéndose por lo tanto hasta el borde inferior de este. Este material se encuentra saturado a partir de la cota 0.00 m y el mismo posee un bajo nivel de recuperación. Se encuentra cubriendo a los materiales que constituyen el estrato 1 del perfil litológico.

El perfil litológico del área de estudio se encuentra conformado como se muestra a continuación:

**Estrato 1:** Arena limosa (SM) de color gris cremoso. Posee estructura homogénea, compacidad muy floja y se halla en estado saturado. Posee olor fétido ligero y contiene varios restos fósiles de moluscos, principalmente bivalvos. Su presencia se registra en todas las calas efectuadas en la parcela de trabajo, ocupando la superficie natural del fondo marino del sector de estudio, hasta una profundidad estimada de 1,0 m. Las partículas de arena que la constituyen son de composición calcárea y de granulometría diversa, aunque predomina la fracción media. Contiene algunos granos de grava de granulometría diversa y composición calcárea, con forma sub-redondeada, aspecto de liso a rugoso y dureza de media a alta. De modo general se encuentra yaciendo bajo los materiales pertenecientes al elemento constituyente B del pedraplén. Desde el punto de vista geológico, se considera que se corresponde con las secuencias de sedimentos pertenecientes a los depósitos marinos (Q4 m) del Holoceno.

**Estrato 2:** Grava Arcillo Limosa con Arena (GC-GM) de color gris claro que presenta de modo general estructura homogénea, compacidad alta y se halla en estado saturado. En este sedimento la plasticidad de los finos es baja. Posee olor fétido que oscila de ligero a moderado y contiene varios restos fósiles de moluscos,

principalmente bivalvos. Los granos de grava que la componen son de granulometría diversa, duros, de composición polimíctica (principalmente de composición carbonatada e ígnea) y tienen forma de subangulosa a redondeada. Las partículas de arena que posee son de igual composición que las gravas y también de granulometría diversa, aunque mayormente medias. Es necesario señalar que este material contiene en su interior a distintos niveles, aglomeraciones de cantos o fragmentos gruesos de roca caliza masiva de dureza media, a modo de lentes o pequeños estratos, con espesores variables.

Esta Grava Arcillo Limosa con Arena (GC-GM) posee un  $N_{spt}$  medio de 26 golpes por cada 30 cm de penetración de la Cuchara Cubana (SS), aunque en ocasiones se produjo el rechazo de este aditamento debido al alto contenido de gravas presente. De igual manera se determinó que a este sedimento tiene un Ángulo de Fricción Interna ( $\Phi$ ) de  $38^\circ$ , una Cohesión (C) de 10 kPa y un Módulo de Deformación ( $E_o$ ) de 25 000 kPa. En el sector de estudio correspondiente se le observa con un espesor explorado total (aunque no continuo por las intercalaciones con los lentes y estratos de cantos de caliza) que osciló entre los 14,55 m y los 21,30 m, para una media de 17,61 m.

**Estrato 3:** Aglomerado de cantos o fragmentos gruesos de roca caliza que presenta color blanco crema con tonalidades grisáceas. Se halla en estado saturado. Está formado por la acumulación de numerosos fragmentos de roca caliza masiva a modo de cantos y guijarros (desde el punto de vista granulométrico), los cuales no se encuentran cementados entre sí, pero sí se hallan rodeados de una matriz gravo-arena limosa, de características semejantes a los sedimentos descritos en el Estrato 2.

En ocasiones entre un bloque y otro de esta caliza, se pueden detectar hasta espesores de 0,20 m del sedimento que hace función de matriz, haciéndose evidente su existencia por las penetraciones rápidas del porta-testigo y el tren de barrillas de la perforación. Los fragmentos de roca caliza que la constituyen tienen de modo general estructura masiva y textura mayoritariamente micro cristalina, aunque hacia algunos sectores adquiere textura detrítica.

Tales fragmentos de roca poseen aspecto compacto, dureza media a alta y contienen varios restos fósiles, principalmente de bivalvos y otros moluscos, algunos de los cuales se hallan bien conservados. Otras oquedades tienen forma alargada, llegando

a alcanzar los 25 mm de largo y 20 mm de ancho. Presenta abundantes vetas de color gris en todo su espesor, las cuales pueden alcanzar los 4 cm de grosor. Estos cantos y bloques de caliza se recuperan en forma de discos, fragmentos y testigos, estos últimos con una longitud que varió entre los 10 cm y los 18 cm, presentando así un índice de calidad de esta roca RQD (Rock Quality Designation), que varió entre el 35 % y el 50 %, teniendo un valor medio del 40 %, lo cual la categoriza como una roca de mala calidad.

Los parámetros físicos y mecánicos que caracterizan a estos cantos y bloques de caliza evidencian que su comportamiento es característico de una roca moderadamente fuerte. Estos bloques y cantos de caliza no presentan vestigios de que hayan sido sujetos a procesos de meteorización intensos, debido a lo cual poseen grado de alteración II.

Desde el punto de vista geológico se considera que este aglomerado de roca a diferentes niveles, constituye el resultado de los intensos procesos de erosión y ulterior transporte que sufrieron durante el proceso de constitución de la Formación Camacho (Q3 cmc), varios de los conjuntos litológicos mayormente carbonatados que constituían la cobertura de la estructura cupular formada alrededor del domo salino de Turiguanó, según la acción de un régimen tectónico imperante en ese tiempo geológico que favoreció la ocurrencia de tales procesos. (Duarte, 2016)

### **Principales defectos y causas que lo provocan**

Los autores de la investigación refieren que en la capa superficial del elemento existe un desgaste por fricción dinámica, donde aparece la erosión clasificada como un proceso irreversible de envejecimiento, que ocurre por la fricción entre el agua de mar y el material que conforma el aproche. El agua, por su estado líquido, genera una lubricación mínima que tiende a disminuir la fricción hasta un límite referenciado a la velocidad de las corrientes marinas.

De forma general los peligros geológicos del sector valorado presentan una elevada complejidad, ya que en la zona del pedraplén existe una intensa erosión de tipo hídrica provocada por el choque hidráulico de las aguas de mar, sobre todo del lado este del mismo, coincidente con el frente de erosión.

Consideran además que las rocas inicialmente empleadas para la construcción de esta obra provenientes de la cantera El Cerrillo tienen una composición fundamentalmente carbonatada, presentando también determinadas concentraciones

de yeso, lo que facilita los procesos de disolución que inducen los asentamientos por cargas puntuales, ya sean externas o de las propias obras de fábrica. Asimismo, predomina la acumulación de sedimentos en la red de drenaje de las obras.

En los pedraplenes se desarrolla una corriente longitudinal al pie de los taludes del vial que unida a la perpendicular que circula por el puente, desencadena una turbulencia en los extremos del puente con alto poder erosivo, afectando la zona de los aproches, donde solo era protegida por la coraza, que en el caso del este pedraplén no fue construida con todo el rigor técnico. A este fenómeno se le suma el efecto de las grandes olas y la surgencia que generan eventos climatológicos como los huracanes. (Reguera y Paz, 2019)

El deterioro de los componentes de la infraestructura del pedraplén fue aumentando debido a la explotación a que fue expuesta y la falta de un mantenimiento preventivo sistemático. Esto provocó que aumentaran las vulnerabilidades bajo la influencia de fuertes fenómenos de la naturaleza que, sumadas a la permanente agresividad medioambiental, han provocado un violento y acelerado deterioro.

Autores como (Sun, Chow y Madanat, 2022) sugieren que los escenarios para lograr una óptima protección contra el aumento del nivel del mar en zonas vulnerables deben ser evaluados muy cuidadosamente. Proyectos a menor escala pueden ser más factibles para mitigar el impacto negativo de eventos hidrometeorológicos extremos.

### **Magnitud, carácter y mecanismos del desgaste en los aproches por las corrientes marinas**

Después de realizar la inspección visual de los daños provocados por el más reciente evento hidrometeorológico extremo, se considera que los desgastes claramente visibles del elemento se manifiestan principalmente en la superficie y zona de los aproches de los puentes, debido a la pérdida de la escollera de protección de los aproches con la consiguiente socavación de los mismos. También en el hundimiento de algunas zonas del pedraplén y la pérdida de la estructura del cuerpo con asentamientos de la base de mejoramiento que se reflejan en las deformaciones del pavimento y en la reducción de la sección transversal de los paseos, todo lo cual hace que la trascendental obra de ingeniería perdiera su confort vial. (Ver figuras 1 y 2)



Fig. 1. Hundimiento del aprоче del puente



Fig. 2. Reducción de la sección del paseo

Estos eventos han incidido en el aumento del desgaste de los elementos y las principales afectaciones que han estado presentes a lo largo del pedraplén se muestran como:

- En seis de los trece puentes el nivel de socavación ha sido tal que la afectación al pavimento ha causado la pérdida de este junto con la base y sub-base al producir separaciones de dos y tres metros con la consiguiente pérdida del material de relleno.
- Las escolleras que protegían el talud del pedraplén se han dañado a ambos lados de la vía, desprendiendo las rocas y moviéndolas sobre el pavimento. (ver figura 3)



Fig. 3. Rocas de las escolleras sobre el pavimento

- Los paseos sufrieron la acción directa de las aguas y erosionadas causando desprendimientos y hundimientos.
- Los enfoques de los puentes número 3, 5, 8 y 10 fueron socavados en ambos lados hasta la mitad del pavimento.
- En el puente 3 se llegó a perder el material de enfoque debido a la socavación por ambos lados del talud ocurriendo además el derrumbe de los postes de defensa.
- Los estribos han sufrido los embates del mar y también socavados perdiendo el material de relleno que los protegía.

### **Medidas para atenuar la erosión en la zona de los enfoques de los puentes**

En distintas latitudes, se han aplicado diferentes formulaciones y técnicas con el objetivo de mantener y proteger no solo la superestructura de los puentes, sino también sus estribos y enfoques. Muchas de las técnicas desarrolladas para el mantenimiento, protección y restauración de playas y costas pueden ser también aplicables a los puentes, especialmente aquellos que se encuentran ubicados en construcciones marítimas. Estas pueden variar en dependencia de las características de los puentes y, sobre todo, del entorno donde se encuentran ubicados.

Las unidades de hormigón armado son generalmente usadas como elementos rompeolas y para la protección de las costas. La capa de armadura que forman estas estructuras tiene una doble función. Primero, proteger de la acción de las olas y las corrientes marinas los materiales más finos ubicados debajo de la armadura y segundo, disipar la energía de la ola para impedir que continúe hacia la cima del elemento protegido. Estas dos funciones requieren de armaduras pesadas, pero que a la vez tengan la capacidad de ser porosas.

Además del bloque cúbico tradicional, se han inventado decenas de piezas especiales de hormigón para construir las capas protectoras de los diques rompeolas. Cada forma geométrica tiene características diferenciadas que les proporcionan propiedades particulares y les confieren ventajas o desventajas con respecto a otras piezas alternativas. El objetivo final de estas piezas especiales es reducir los costos de construcción, sobre todo, los costos de mantenimiento. El consumo de hormigón, asociado al espesor y la porosidad de la capa elegida, será el principal factor a considerar. Además del consumo de hormigón, es muy relevante su calidad (resistencia a tracción) ya que las piezas esbeltas de gran tamaño pueden romperse con relativa facilidad por resultar más frágiles. Otros factores a considerar son el calor de hidratación, la fabricación y el almacenamiento (costo de encofrados y superficie del parque de bloques), la manipulación y colocación en el talud (eslingas o pinzas de presión), el posible armado de piezas esbeltas, la forma de colocación (aleatorio, trabado, etc.) y otros factores.

Con el objetivo de proteger las costas de la erosión, se han utilizado algunos “obstáculos” para disipar o absorber la energía de las olas. Las unidades formadas por estructuras de hormigón son utilizadas mundialmente como revestimientos costeros contra la acción de las olas. No solo se han usado en las zonas costeras, también en las márgenes de los ríos y aguas debajo de las presas.

Las estructuras de hormigón conocidas como Xblocs<sup>®</sup> son unidades más estables tanto hidráulica como estructuralmente y presentan bajos niveles de las tensiones a flexión, torsión y flexo-torsión si se comparan con otras estructuras similares.

Según (Bakker et al., 2019) estas estructuras se desarrollaron para rehabilitar un proyecto de rompeolas en las Islas Seychelles, donde la estructura anterior estaba formada por unidades de Acrópodos que habían colapsado. Las experiencias en este proyecto llevaron a la idea de desarrollar un sistema de armadura mejorado que estuviera basado en una sola capa. La nueva unidad carece de los puntos débiles de sus predecesoras mientras que mantiene lo mejor de sus fortalezas.

El uso de estas estructuras de hormigón permitirá disipar la energía de las olas y las corrientes marinas, reduciendo además su efecto erosivo sobre los aproches de los puentes.

Hoy se conoce y aprueba el concepto de construcciones sostenibles donde se aparece una dualidad entre la calidad y sus costos. Se trata de encontrar un punto de

equilibrio que permita obtener dentro de unos costos razonables, un nivel aceptable de calidad constructiva. Sin duda alguna, este punto de equilibrio está dado por el empleo de la prefabricación como parte de la industrialización, principalmente la de hormigón que presenta muchas ventajas en relación a otras técnicas.

Las unidades de hormigón Xbloc<sup>®</sup>, además de ser estables hidráulica y estructuralmente, presentan bajos niveles de las tensiones a flexión, torsión y flexo-torsión si se comparan con otras estructuras similares como los Acrópodos, Dolos o Core-Loc<sup>®</sup>. Se propone que el hormigón tenga una resistencia de 35 MPa para garantizar una mejor durabilidad.

El uso de unidades de hormigón, como medida de protección de los enfoques de los puentes contra las olas y corrientes marinas, traería como consecuencia la disminución de los efectos de la erosión en las áreas objeto de estudio. El desgaste sería menor, aunque no se haya logrado aumentando la lubricación del sistema tribológico seleccionado, sino aumentando la protección del elemento erosionado.

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que la Tribología es la ciencia que estudia el rozamiento, desgaste y lubricación de superficies de contacto con movimiento relativo entre sí y que se analiza el sistema tribológico formado por los enfoques de los puentes y las corrientes marinas, se propone la utilización de armaduras de hormigón para atenuar las consecuencias de la erosión de los enfoques.

En la zona del pedraplén existe una intensa erosión de tipo hídrica provocada por el choque hidráulico de las aguas marinas, sobre todo del lado este del mismo, coincidente con el frente de erosión.

Cuando ocurre una desestabilización del sistema tribológico, y no se ejecutan mantenimientos preventivos sistemáticamente, aparecen fallas en la estructura de los puentes que se manifiestan en los enfoques, llegando a provocar la pérdida del confort y la seguridad vial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMA (2008). Estudio de riesgos para situaciones de desastres, Pedraplén-Cuatro Caminos. GEOCUBA. Ciego de Ávila.
- BAKKER, Pieter. ... [et al.] (2019). Hydraulic Stability and Practical Application of XblocPlus Breakwater Armouring. *Coastal Structures*, Ed. Karlsruhe. pp. 98-109

Disponible en: [https://doi.org/10.18451/978-3-939230-64-9\\_011](https://doi.org/10.18451/978-3-939230-64-9_011). Visitado 19 de diciembre de 2022.

CALAFAT GARCES, Bartomeu (2013). Un nuevo enfoque al cálculo de riesgo de rebase de estructuras marinas. Barcelona. Proyecto de Especialidad. Universidad Politécnica de Barcelona.

DAQUINTA GRADAILLE, Antonio (2019). Conferencias sobre Tribología. Ciclo de Conferencias Maestría de Ingeniería y Gerencia de Mantenimiento, Segunda Edición, Ciego de Ávila.

DUARTE MAYEDO, Annier Alberto (2016). Diseño Geotécnico de Cimentaciones en el Puente 8 del Pedraplén Turiguanó-Cayo Coco, Ciego de Ávila. Tesis de Grado: Ciego de Ávila: Universidad Máximo Gómez Báez.

ESCOBAR CARREÑO, José Alberto (2018). Propuesta de soluciones para la protección de los aproches de los puentes del Pedraplén Cayo Coco. Ciego de Ávila. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de Ciego de Ávila.

HUTCHINGS, I. y SHIPWAY, P (2017). Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials. 2da ed. Cambridge: Ed. Elsevier Ltd. 388 p.

MENÉNDEZ PÉREZ, H. ... [et al.] (2011). Caracterización hidroquímica del Gran Humedal del Norte, Ciego de Ávila, Cuba. *Minería y Geología*, Vol. 27, No. 2, pp. 15-41.

PÉREZ RUIZ, Eduardo A. ... [et al.] (2014). Simulación de un sistema tribológico formado por sustrato recubrimiento rugoso usando métodos numéricos. *Ingeniería Mecánica*, Vol. 17, No. 1, La Habana, [online] Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442014000100006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442014000100006). Visitado 19 de diciembre de 2022.

QUIRÓS ESPINOSA, Ángel (2013). Experiencias hidroecológicas en el diseño del pedraplén de Caibarién. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, Vol. XXXIV, No. 2, p. 10.

REGUERA ARBOLÁEZ, Yanexi y PAZ GARCÍA, Gloria Yanelly (2019). Sustitución de la losa de aproche en puentes del pedraplén Caibarién - Cayo Santa María. 2019. En: *II Convención Científica Internacional UCLV 2019*. [online] Santa Clara: Editorial Feijoo. Disponible en: <https://convencion.uclv.cu/es/event/xii-simposio-internacional-de-estructuras-y-geotecnia-2019-xii-coloquio-de-analisis-diseno-y-monitoreo-estructural-6/track/sustitucion-de-la-losa-de-aproche-en-puentes-del-pedraplen-caibarien-cayo-santa-maria-1108>. Visitado 12 de febrero de 2023.

SANTA MARIN, Juan Felipe, y TORO BETANCOUR, Alejandro (2015). Tribología: pasado, presente y futuro. *TecnoLógicas*. Medellín. Vol. 18, No. 35, pp. 9-10. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344243102001>. Visitado el 2 de febrero de 2023.

SUN, Jiayun; CHOW, Aaron C.H. y MADANAT, Samer Michel (2022). Tradeoffs between optimality and equity in transportation network protection against sea level rise. *Transportation Research Part A*. Vol. 163. Elsevier, pp. 195-209.