

SOLUCIONES PARA LA PROTECCIÓN DE LOS APROCHES DE LOS PUENTES DEL PEDRAPLÉN CAYO COCO

SOLUTIONS FOR THE PROTECTION OF THE APPROACHES OF THE BRIDGES OF PEDRAPLÉN CAYO COCO

Autores: Nestor Mendez Jurjo
Pablo Antonio Junco Davis
Iosvany Palmero Venegas

Institución: Universidad de Ciego de Ávila, Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: nestorm@unica.cu

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de proponer diferentes soluciones para la protección de los aproches en los puentes del Pedraplén Cayo Coco. Se determinaron los fallos ocurridos en los aproches tras el paso del Huracán Irma, demostrándose que la protección actual resulta ineficaz ante la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos.

En consecuencia, se analizaron diferentes propuestas de intervención para protegerlos teniendo en cuenta su factibilidad técnica y económica. El trabajo contiene información sobre las técnicas propuestas y un análisis de técnico-económico de cada una. Se propone usar los bloques de hormigón Xbloc® para proteger los aproches de los puentes por ser una técnica fácil de usar, se ejecuta en menor tiempo, requiere de menos maquinaria y fuerza laboral, resultando ser la propuesta de intervención más factible.

Palabras clave: Análisis, Aproches, Bloques de hormigón Xbloc, Eventos hidrometeorológicos.

ABSTRACT

This research was conducted in order to propose different solutions that will help protect the approaches from the bridges on the causeway to Cayo Coco. The approach failures after Hurricane Irma are exposed herein, demonstrating thus, that the current protection is inefficient against such events. Consequently, different proposals of intervention were analyzed taking into account their technical and economic feasibility. This work also

provides useful information on the techniques proposed, showing the results of a technical-economic analysis carried out on each proposal. Finally, the Xbloc® is the proposed technique that fulfilled the previous premises because it is easy to handle, it requires less time to be executed and less machinery and workers intervene, resulting thus, a feasible technique.

Keywords: Analysis, Approaches, Hydrometeorological events, Xbloc concrete blocks.

INTRODUCCIÓN

En una red vial, los puentes forman una parte importante de la misma ya que pueden llegar a producir la paralización del tránsito en una carretera 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.

La búsqueda de trayectorias alternativas, en estos casos, no siempre resulta económico y en ocasiones hasta difíciles de encontrar.

La creación de las necesarias infraestructuras viales y, sobre todo, la conservación de las existentes, es una necesidad insoslayable ante el ritmo de crecimiento potencial de la economía cubana, evitando el freno del desarrollo previsto.

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.

En el presente trabajo se realiza el estudio de las consecuencias de los eventos hidrometeorológicos sobre los aproches de los puentes del Pedraplén Cayo Coco por ser este viaducto de vital importancia económica no solo para la provincia sino también para el país, motivo por el cual se hace necesario garantizar el mantenimiento y conservación de los puentes para disminuir futuras afectaciones por este motivo.

A partir de lo anteriormente expuesto, surge la necesidad de realizar propuestas de soluciones para la protección de los enfoques de los puentes en pedraplenes ante eventos hidrometeorológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes históricos. Estado actual de las investigaciones. Consideraciones para la construcción.

Cuando se va a seleccionar el lugar donde se pretende ubicar un puente, se debe tener en cuenta el resultado del análisis de diferentes alternativas que incluyen aspectos económicos, ingenieriles, sociales y ambientales.

El análisis de los probables costos de mantenimiento e inspección durante la vida útil sería otro aspecto a tener en cuenta. De forma general, la ubicación de los puentes está regida por la topografía del terreno donde se encuentra la carretera y la configuración estructural, así como su implantación, con respecto a los cursos de agua, surgen de la interacción entre los profesionales en estructuras e hidráulica y de estudios de factibilidad económico-constructiva.

Por eso, cuando aumenta el caudal que circula por el río y se encuentre su cauce natural restringido en la zona de ubicación de la obra de fábrica, se produzca un aumento de la velocidad media (V_m) del agua del río para permitir que el caudal originado pueda atravesar el umbral representado por la construcción del puente. Al resultado de la acción erosiva del flujo de las aguas de los ríos que arranca y acarrea el material del fondo del lecho y de las bancadas laterales de erosión del cauce es lo que se llama socavación.

El mayor daño por socavación se produce durante las avenidas, períodos en los que la velocidad de la corriente del agua es máxima, produciendo los mayores daños sobre las cimentaciones de pilas y estribos. Esto muestra que los aspectos hidráulicos son fundamentales en los puentes y que tener un buen conocimiento de estos aspectos hará que el puente resulte más seguro y económico. (Matute y Pulido, 2012)

Muchos de estos daños y patologías no se encuentran únicamente en puentes antiguos, sino que muchos de ellos se encuentran en puentes modernos, de menos de 10-15 años.

Son estructuras cuya envergadura suele ser un importante condicionante en la solución y reparación de los daños, sin considerar la propia gravedad de los mismos; tanto desde un punto de vista funcional, por estar situados normalmente en vías de alta intensidad de tráfico; como estructural, debido a las mayores dimensiones y tecnologías utilizadas en la actualidad.

Reparaciones de puentes

El diseño y la construcción de puentes puede considerarse un arte y un compromiso dentro de la ingeniería civil. Es la manifestación de la capacidad creativa de los diseñadores y pone a prueba su imaginación e inventiva. Sin lugar a dudas, los aspectos relacionados con la seguridad, los materiales, la economía y el medio ambiente son aspectos que influyen directamente en el futuro diseño.

Debido a que las estructuras, en el caso de los puentes en general, pueden encontrarse en zonas muy húmedas; su depreciación y deterioro se van produciendo durante su vida útil. Es por ello que es importante llevar a cabo una correcta y adecuada inspección y mantenimiento preventivo para solucionar los problemas y posibles fallos en la superestructura y subestructura.

Las buenas prácticas para la ejecución de una reparación deben recoger cinco aspectos fundamentales:

1. Identificar el deterioro del puente.
2. Determinar las causas.
3. Evaluar la resistencia del puente y sus elementos en el estado actual.
4. Evaluar en detalle las reparaciones o actividades de mantenimientos a realizar.
5. Elegir un método de reparación.

Reparación de estribos y aproches en puentes

A lo largo del mundo, se han aplicado diferentes formulaciones y técnicas con el objetivo de proteger no solo la superestructura de los puentes, sino también los estribos y aproches de éstos. Muchas de las técnicas desarrolladas para la protección de playas y costas son también aplicables para la protección de 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.

Muros de Bloques Prefabricados Gigantes

Desde hace pocos años se han popularizado en España los muros prefabricados de bloques gigantes. Son muros, pero en escala mayor, deben ser puestos en obra mediante maquinaria. Su peso oscila entre los 200 kg y hasta 1500 kg. (Rodríguez, M.P., 2014)

Existen muchos modelos, pero en general, casi todos los bloques son de hormigón en masa o ligeramente armados, con un sistema de anclaje basado en un machihembrado para la unión vertical entre bloques.

Los sistemas más desarrollados también tienen resueltas varias tipologías de anclaje para el uso eventual de geomallas de refuerzo, a veces como un simple resalto. Están diseñados para trabajar, principalmente por gravedad al usar su gran peso propio para contrarrestar los empujes laterales de las tierras y las sobrecargas previstas.

Reparación de taludes y aletas

En el año de 1996 el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) implementó Sistema de Administración de Puentes de Colombia (SIPUCOL) con la asesoría del Directorado de Carreteras de Dinamarca.

En Cuba, muchos de los puentes presentan problemas de erosión en los taludes, por falta del control de las aguas de escurrimiento, que provienen principalmente de las vías.

Debido a la inestabilidad de los taludes, ocasionada por la erosión, se han detectado asentamientos en las aletas y en los accesos del puente. Acumulación de basura en los taludes aledaños que afectan su estado y conservación. En las aletas se han encontrado grietas a flexión y a cortante por insuficiente capacidad de carga y por el efecto que producen los asentamientos, movimientos y desplomes por problemas de socavación del cauce o erosión producida por la inestabilidad de los taludes aledaños.



Figura 1. Grietas por falta de capacidad de carga de las aletas. Puente Venecia.

Dependiendo del problema y la dimensión de los taludes, se requieren estudios de Geotecnia y estabilidad de taludes con el objetivo de definir el alcance de las obras de reparación. La mayor obra de rehabilitación es la construcción de cunetas. Para la aleta, además del estudio de Geotecnia, es necesaria la revisión estructural de la misma y de su cimentación.

En los estribos se han detectado grietas a flexión y a cortante por falta de capacidad de carga y por asentamientos. Socavación de la cimentación y posterior daño estructural del estribo. Detallado estructural inadecuado para resistir las cargas sísmicas y el deslizamiento. Descorchado y descomposición del hormigón cerca de los apoyos debido al uso de dispositivos inadecuados. Fisuras en los pedestales y fractura de los topes sísmicos.

En el caso de daños graves se requieren estudios de Geotecnia, patología de materiales y de revisión estructural. Aquí se presenta un ejemplo de reforzamiento de un estribo del puente Río Negro, mediante una pantalla en concreto reforzado. Por problemas de socavación lateral se le construyeron micropilotes.

Revestimientos con enrocados

Los enrocados son protecciones en piedra o fragmentos de roca que se colocan en los canales en tierra y cauces naturales. Están compuestos de una capa de material bien gradado, durable, redondeado o angular, suelto o con mortero de pega, sin o sobre filtros de gravilla y arena o geotextiles (HIMAT, 1985).

La forma más simple de proteger una pila o estribo es por medio de enrocado.

El enrocado a usarse es de tamaño mayor que el que se requiere para proteger cauces con flujo sin obstrucciones. Debe tener un mínimo de tres capas de roca en contacto con la estructura. Menos capas pueden inducir a que la arena entre la roca sea removida por los vórtices y la turbulencia.

Para no reducir el área hidráulica de la corriente, es conveniente descubrir el enrocado hasta la elevación que alcanza la socavación a largo plazo y por contracción. Como esto no siempre es posible, conviene al menos, rellenar con enrocado el hueco dejado por la socavación. Entre otros, los objetivos de los enrocados son:

- Proteger el canal de la erosión.
- Conservar la forma de la sección transversal del canal, en especial la de los taludes.
- Proteger estructuras hidráulicas de la acción erosiva de las aguas.

Entre las obras especiales más utilizadas en este medio se encuentran: estabilización del suelo de fundación con micropilotes, pantallas de acero y concreto, recalces con concreto ciclópeo y reforzamiento con pilotes hincados.

Soluciones para la protección de puentes en Cuba

El país no ha quedado a la saga respecto a la reparación de puentes y se ha aprovechado tanto el conocimiento acumulado en diversas latitudes del mundo como, en especial, el de ingenieros y proyectistas.

Se plantea emplear compresor y martillo y fracturar las grandes piedras colocadas en los taludes, retirar los volúmenes en exceso de estos que prolongan los daños hacia la zona central de las vigas o en su defecto propician la socavación de los taludes hasta alcanzar la zona posterior de los cabezales (aproxos), Las piedras no deben superar los 0.50 m de diámetro y colocadas de forma manual, realizando un enrajonado uniforme por todo el perímetro, una vez logrado este trabajo esas piedras deben sellarse con hormigón, formándose así un hormigón ciclópeo que selle las posibles oquedades y salida de los materiales finos componentes de los taludes. Para la zona posterior del cabezal si existe socavación se rellenará con piedras y hormigón bombeado que cubra todas las oquedades que se han producido por la socavación que ocasionan las olas, este hormigón se puede colocar por la

parte inferior del cabezal o por la parte superior de la vía cuando se extraigan las vigas como en la primera luz.

El proyecto también contempla el empleo de un elemento de hormigón masivo in situ (rompeolas) ubicado al nivel inferior del cabezal, el cual se prolonga hacia conos hasta la parte posterior de las defensas, para evitar las salpicaduras del mar sobre los elementos de hormigón. Dicho elemento se ha ubicado muy próximo a los cabezales de estribos para evitar que las salpicaduras de las olas afecten las zonas más próximas al centro de las vigas donde se concentran la totalidad de los cables en la parte inferior de este elemento. (Reguera Arboláez, y Espinosa, 2013)

Estudios y reparaciones en el Pedraplén Cayo Coco

Después del año 2000 se llevaron a cabo varias investigaciones importantes, el análisis de las patologías presentes en la estructura de seis puentes del Pedraplén Cayo Coco. Se concluyó que estas patologías presentes en los puentes analizados eran similares por encontrarse expuestos a los mismos factores ambientales.

Como en Cuba y especialmente en la provincia, la experiencia en la construcción de pedraplenes era escasa, en un principio no se tuvieron en cuenta una serie de factores influyentes en el diseño, y los mismos fueron contruidos con elementos no idóneos para este tipo de obra emplazada en un ambiente altamente agresivo.

Esto trajo como consecuencia que al pasar del tiempo y con la creciente explotación del vial comenzaran a producirse problemas de asentamiento y fallos estructurales en los puentes del pedraplén.

Desde hace algunos años se venía trabajando en acciones para minimizar las afectaciones producidas, muestra de ello es la reparación de puentes en mal estado constructivo que ya no cumplían los requisitos necesarios para los que fueron diseñados.

Por este motivo, se lleva a cabo la realización del diseño geotécnico de la solución de cimentación para el puente No 8 del pedraplén. (Duarte Mayedo; 2016)

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Se tuvo en cuenta como distancias aproximadas desde la ciudad de Morón hasta el Pedraplén, 43.0 km para el traslado del hormigón premezclado, Bloques prefabricados, otros materiales y el personal; y desde la Cantera XX Aniversario del municipio Chambas hasta el Pedraplén, 87.0 km para el traslado de los áridos. Se escogió esta cantera porque el material necesario cumple con la NC 856:2011. Además, la cantera El Cerrillo ubicada en Turiguanó está agotada y técnicamente no se debe seguir explotando porque las rocas son carbonatadas con alto contenido de yeso. Escolleras de Xbloc®.

Estas unidades son estables hidráulica y estructuralmente y presentan bajos niveles de las tensiones a flexión, torsión y Plexo-torsión si se comparan con otras estructuras similares como los Acrópodos, Dolos o Core-loc®.

Se propone que el hormigón tenga una resistencia de 35 MPa para garantizar una mejor durabilidad.

De acuerdo con los especialistas de Delta Marine Consultants, el Xbloc® puede ser aplicado en un rango donde:

1 La altura de la unidad (D) oscile entre 1,3 m y 3,9 m

1 El volumen de la unidad (V) oscile entre 0,75 m³ y 20,0 m³ 1 La altura de diseño de la ola (Hs) no exceda los 10 m.

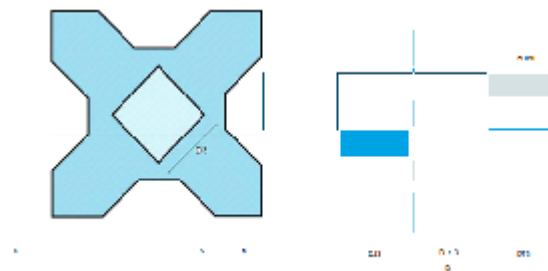


Figura 2. dimensionamiento de las estructuras Xbloc®

Para poder aplicar una capa de armadura de Xbloc® es recomendable tener presente las siguientes consideraciones:

1 La piedra a utilizar no debe ser la que se encuentre en la zona por no cumplir con los parámetros de resistencia y durabilidad necesarias.

2. La producción de las canteras pudiera ser insuficiente para abastecer la demanda de materiales en dependencia del volumen total del trabajo a realizar.

3. Las unidades pueden ser fabricadas en puntos cercanos a la zona de c Propuesta de uso en el pedraplén. Se propone la utilización de la unidad del Xbloc® para la protección en el pedraplén debido a que:

- Es estable hidráulicamente debido a su peso propio y al mecanismo de acoplamiento que se crea con los elementos circundantes.
- Permitirá que la energía de las olas sea absorbida directamente por esta estructura logrando la protección del núcleo del pedraplén.
- Se mejorarán los tiempos de su colocación.
- Estas unidades pueden ser producidas relativamente cerca, en la Planta de prefabricados ubicada en Morón.

Se sugiere que la colocación del Xbloc® sea de la forma en que se representa en la figura para lograr un buen entrelazado de las estructuras y que los taludes y aproches queden protegidos. olocación lo que reduciría los costos de transportación.



Figura 3. Escolleras conformadas por Xbloc®

Se realizó el cálculo para ubicar las escolleras conformadas por Xbloc® a ambos lados de los aproches en los extremos de un puente. Para seleccionar el tamaño del bloque a utilizar, se toma en cuenta la altura de diseño de la ola. para la altura media del oleaje más desfavorable y la categoría más alta de un huracán teniendo como resultado que el diseño necesario resultó ser para una ola de 1,03 m de altura y una sobreelevación de 1.435 m en dirección noreste. La suma de estos valores se busca en la Tabla de diseño del Xbloc® (Anexo B) y se le asigna el

tamaño del bloque a utilizar. El resultado es un bloque de 0,75 m³ de 1,31 m, cada bloque tiene un peso unitario de 1,8 toneladas y será necesario utilizar 180 unidades de este tipo para lograr la protección propuesta para los aproches de un puente.

Tabla 1. Material Xbloce de 0.75 ma

Materiales	Área de estudio (m ²)	Volumen de material (m ³)	Distancia a recorrer (km)	Precio PRECONS II	Duración (días)
Xbloce de 0,75 ma	180.0	96.35	43.0	38 910.33	23

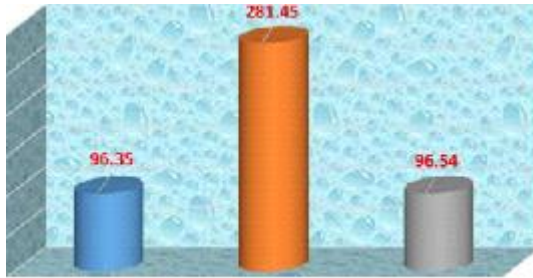


Figura 4. Volúmenes de material por tipos de intervenciones

En este caso de estudio, el volumen de materiales a utilizar es directamente proporcional a la cantidad de equipos a utilizar.

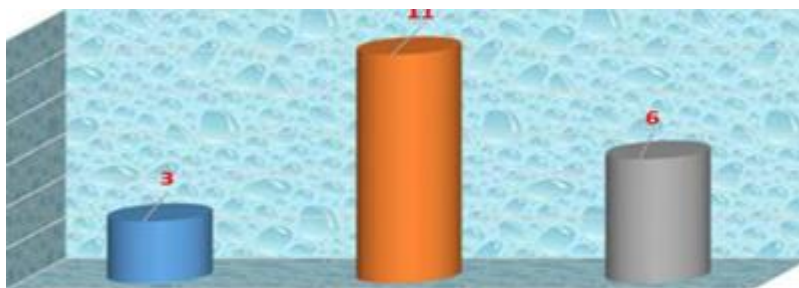


Figura 5. Uso de maquinarias

El uso de la mano de obra está dado en la cantidad de trabajadores de diferentes ocupaciones intervienen en la ejecución de cada propuesta de intervención.



Figura 6. Valores realizados por áreas

Si se hace un análisis del valor de cada intervención por el área que ocupa en la obra, se puede notar fácilmente que el enrocado ciclópeo es un das veces más caro que el uso del Xbloc® y el valor de los aletones del puente es casi dos veces y media mayor.

Propuesta de intervención a ejecutar

Una vez evaluados los factores anteriormente expuestos, se hace un análisis costo-efectividad de la propuesta de intervención a escoger para darle solución a los problemas de los enfoques de los puentes del Pedraplén Cayo Coco.

Teniendo en cuenta que con el uso de los bloques de hormigón Xbloc®:

Se requieren solamente 23 días de ejecución.

Es la propuesta más económica al ahorrar \$ 263.33 pesos/m².

- El volumen de materiales necesarios para su ejecución es menor que las otras propuestas.

Solamente son necesarias tres maquinarias para su ejecución.

- El valor en pesos por área de intervención es menor con respecto al resto de las propuestas.

A pesar de necesitar un operario más, esto redunda en la productividad pues se reduce el tiempo de ejecución.

La unidad Xbloc® forma una armadura robusta, sencilla y efectiva como rompeolas. La prefabricación de estos elementos trae como resultado que se ahorre un 15% de hormigón con respecto a otras estructuras similares. La diferencia está dada en el alto coeficiente de estabilidad y la baja densidad requerida, lo cual redunda en una menor demanda de hormigón.

Como no tiene requerimientos específicos en cuanto a la orientación de las unidades individuales para lograr un buen entrelazado, con la ubicación de los bloques se logra reducir el tiempo de ejecución y, por lo tanto, los costos totales. Esta propuesta, además tiene como ventaja sobre las otras, que se integra más fácilmente con el medio ambiente de la zona sin llegar a constituir un elemento tan agresivo como lo fue la construcción del pedraplén.

CONCLUSIONES

- La protección actual de los enfoques de los puentes del pedraplén es ineficaz ante eventos hidrometeorológicos extremos.
- La propuesta de intervención basada en el uso del Xbloc® como armadura de protección de los enfoques del Pedraplén Cayo Coco es más factible tanto técnica como económicamente.
- El uso del Xbloc® representa un ahorro de \$ 263.33 pesos por metro cuadrado de área a proteger con respecto a la segunda propuesta más barata

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Administración Portuaria Integral de Tabasco S.A. de C.V. Construcción de escolleras y del dragado del canal de accesos del Puerto de Frontera, Tabasco: s.n., 2009.
- AGENCIA DE ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES (AEMA): Estudio de riesgos para situaciones de desastres, Pedraplén-Cuatro Caminos, Ciego de Ávila, GEOCUBA, 2008.
- DUARTE MAYEDO, ANNIER ALBERTO: Diseño Geotécnico de Cimentaciones en el Puente 8 del Pedraplén Turiguanó-Cayo Coco, Tesis de Grado, Ciego de Ávila: Universidad Máximo Gómez Báez, 2016.
- Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera. Madrid: s.n., 2008.
- MATUTE RUBIO, LUIS Y PULIDO SÁNCHEZ, IGNACIO: *Medidas eficientes en la conservación de puentes*, IDEAM, Valencia, 2012.
- MINISTERIO DE FOMENTO: *Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas*. Madrid: Puertos del Estado, 2008.

- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES: *Manual de Diseño de Puentes*, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Lima, 2003.
- PÉREZ GARCÍA, EDUARDO JESÚS, SEIGLIE, IVETTE Y FERNÁNDEZ ECHEMENDÍA, ILYAK: «Evaluación de las obras del patrimonio construido y propuestas de normativas para nuevos diseños y rehabilitación. Caso: Puentes 4, 5 y 6 del Pedraplén Turiguanó-Cayo Coco», Tesis de Maestría, La Habana: ISPJAE, 2000.
- PÉREZ GARCÍA, JUAN ELOY: Propuesta de reparación en estribos y aproches. Puente No. 3000212-03CF Circuito Sur (Tramo Aguada-Amarilla), Trabajo de Diploma, Universidad Central de las Villas "Marta Abreu", (UCLV), Santa Clara, 2014.
- REGUERA ARBOLÁEZ, YANETSY Y ESPINOSA CASTILLO, ORESTES: Reparación y Conservación de los Puentes del Pedraplén Caíbarián-Cayo Santa María. 2013.
- ROCHA FELICES, ARTURO: Erosión en pilares y estribos de puentes. [aut. libro] ICG. Introducción a la Hidráulica de las Obras Viales. Lima: s.n., 2013.
- RODRÍGUEZ, M. P.: *Muros de contención: Muros de bloques gigantes*. Madrid: Alaudae, 2014.
- VEGA CRESPO, MARÍA ELENA DEL ROSARIO: Construcción de rompeolas, escolleras y rocas in situ por el sistema de cimbra flexible, México D.F., s.n., 2004.