

Diseño del muro del malecón habanero armado con polímeros reforzados con fibras de vidrio

Ing. Jorge Julio Martínez González e-mail: jmartinezg@civil.cujae.edu.cu
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae)

Dr. Ing. Hugo Rafael Wainshtok Rivas e-mail: hugow@tesla.cujae.edu.cu
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae)

Dr. Ing. Luis F. Córdova López e-mail: cordovalopez1962@gmail.com
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae)

RESUMEN

El Malecón Habanero es constantemente azotado por las inclemencias del clima y de su integridad dependen las construcciones aledañas de la capital cubana. El hormigón que conforma el muro tiene diferentes estados de deterioro, por lo que se hace inminente la reparación del mismo utilizando un material de refuerzo que elimine por completo el problema de la corrosión. En este trabajo se llevará a cabo el diseño estructural de una nueva variante del muro armado con polímeros reforzados con fibras de vidrio (PRFV) como alternativa de solución ante el armado con acero. Con los resultados de este trabajo se espera obtener un mayor conocimiento sobre las ventajas de la aplicación de los PRFV en la construcción de estructuras expuestas a ambientes agresivos.

Palabras clave: hormigón, malecón, muro, refuerzo PRFV.

Design of the wall of Havana seafront armed with polymers reinforced with fiberglass

ABSTRACT

The Havana Seafront wall is constantly beaten by the inclemency of the weather. The safety of the Cuban capital patrimonial bordering constructions depends on the seafront integrity. The concrete that shapes the wall has different states of deterioration, which is why its repair and conservation is mandatory using a reinforcement material that completely eliminates the problem of corrosion. In this work the design of a new variant of the wall of the Havana Seafront reinforcement with polymers reinforced with fiberglass (GFRP) as an alternative solution to classic steel structural reinforcement. With the results of this work it is expected to get a better knowledge of the advantages of the application of the GFRP in the construction of structures exposed to aggressive environments.

Keywords: concrete, seafront, wall, reinforced GFRP.

INTRODUCCIÓN

Las obras de protección costeras juegan un papel fundamental en el desarrollo y amparo de la especie humana. Las mismas gobiernan en esencia, el desarrollo de las actividades portuarias y marítimas. Entre las más difundidas se encuentran los espigones, rompeolas y malecones (rompeolas transitable).

Los malecones son estructuras costeras que tienen la finalidad de proteger la costa o un puerto de la acción de las olas del mar o del clima. Cuba, al ser un país totalmente rodeado por agua y azotado frecuentemente por las inclemencias del tiempo, necesita de este tipo de estructuras y su implementación recorre todo lo ancho y largo de la isla.

La penetración del mar en zonas costeras puede significar la pérdida de vidas humanas, así como de bienes materiales, por lo que se hace indispensable que las estructuras destinadas a contrarrestar este tipo de situaciones sean lo suficientemente resistentes. El hormigón y el acero son los materiales de construcción más empleados a nivel mundial en este tipo de estructuras, pero las desventajas de su uso en ambientes tan agresivos incrementan aún más cuando el problema de la corrosión del acero sigue siendo una incógnita a resolver.

Por las razones expuestas, se hace evidente que el uso de nuevos materiales que cubran las debilidades del acero en este tipo de ambientes significaría una mayor durabilidad de las estructuras lo que se revertiría en una disminución de los costos de mantenimientos de las mismas.

Desde la década de 1960 han surgido materiales compuestos que suplen estos inconvenientes del acero. Dentro de esta gama se pueden encontrar los Polímeros Reforzados con Fibra (PRF), que desde su implementación en la construcción a nivel mundial han brindado sus frutos, aún más en aquellas estructuras donde la agresividad del medio es muy alta y afecta los materiales componentes. Almerich et al. (2016), ACI 440R (2007).

Hoy, estos productos de PRF se pueden encontrar en forma de barras, cables, bandas, mallas, placas, etc. Los mismos pueden igualar o mejorar las funciones de los elementos de acero comúnmente utilizados como barras, tendones pretensados y placas de unión. ACI 440.1 (2015) Estos sistemas se vienen aplicando de manera creciente en diversos países, entre ellos Suiza, Alemania, Japón, EE.UU., Rusia, Italia, Canadá y otros más, gracias al empleo de medios auxiliares más ligeros, unido a la reducción de los tiempos de ejecución, llegan a garantizar ahorros de hasta un 25% en el proceso total de reforzamiento de la estructura existente, compensando el mayor costo económico que aun presenta el material compuesto, en comparación con el costo del acero.

En Japón se reporta su empleo como tendones elaborados a base de polímeros reforzados con fibras de carbono (PRFC) en estructuras flotantes marinas, y también como cables de PRF reforzados con aramida (PRFA) dispuestos en elementos de pre y postesado como parte de la estructura de puentes flotantes. Su empleo fue incluyéndose progresivamente y, de manera creciente, como refuerzo de elementos de hormigón en los sistemas estructurales de edificaciones, tableros de puentes, revestimiento de túneles, sistemas de anclaje/contención de tierras, etc., Caneiro y Wainshtok (2015).

Dentro de los PRF más difundidos se encuentran los reforzados con fibra de vidrio (PRFV), con grandes prestaciones en cuanto a resistencia y economía de precios, lo cual justifica la idoneidad de este material en ambientes hostiles.

El Malecón Habanero es el más renombrado del país y uno de los más importantes. Es constantemente azotado por ciclones, huracanes, frentes fríos, tormentas tropicales, entre otros y de su integridad dependen las construcciones aledañas de la capital cubana, así como el bienestar

de sus habitantes. Su construcción comenzó el 6 de mayo de 1901 y se dilató durante más de 5 décadas hasta el 3 de junio de 1959.

Este colosal muro al que irónicamente alguien nombrara “el banco más largo del mundo” abarca la línea de costa definida por el Castillo de la Punta en el municipio Habana Vieja hasta el Castillo de la Chorrera en las postrimerías del río Almendares.

Hoy en día el hormigón que conforma el muro tiene diferentes estados de deterioro, por lo que se hace inminente la reparación y conservación del mismo utilizando un material de refuerzo que no solo disminuya el problema de la corrosión, sino que la elimine por completo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Breve descripción de los PRF: ventajas y desventajas

Los compuestos PRF se definen como una matriz polimérica, reforzada con una fibra u otro material de refuerzo con una relación largo/espesor que provea una clara función de refuerzo en una o más direcciones.

Las fibras pueden ser de vidrio, carbón, aramida y basalto. Estos compuestos son diferentes a otros materiales tradicionalmente empleados en la construcción, como el acero o el aluminio, ya que los primeros son anisotrópicos (sus propiedades varían con la dirección de análisis) y los segundos son isotrópicos (poseen iguales propiedades en todas las direcciones, con independencia de la carga aplicada), Caneiro y Wainshtok (2015).

Consecuentemente, las propiedades de los compuestos de PRF son direccionales y, por lo general, las propiedades se manifiestan en la dirección de las fibras, Caneiro y Wainshtok (2015). A continuación, se describen ventajas y desventajas según esta misma referencia.

Ventajas de los PRF

- Alta resistencia a tracción, ver tabla 1.

Tabla 1. Comparación de tensiones: acero y PRF

Tensión (MPa)	ACERO	PRFV	PRFC	PRFA
Tensión de fluencia (f_y)	276÷517	-	-	-
Tensión última o de rotura (f_{su})	483÷690	483÷1600	600÷3690	1720÷2540
(÷) entre (-) no existe [Fuente: ACI 440.1 (2015)]				
PRFV: Polímeros reforzados con fibras de vidrio				
PRFC: Polímeros reforzados con fibras de carbono				
PRFA: Polímeros reforzados con fibras de aramida				

- Resistente a la corrosión y sustancias químicas.
- Transparencia magnética.
- Alta resistencia a la fatiga.
- Poco peso con relación al peso del acero (de 7 a 10 veces inferior), ver tabla 2.
- Baja conductividad térmica y eléctrica.
- Competitividad en precios.
- Elevada durabilidad.

Tabla 2. Densidades: acero y PRF

DENSIDAD (ton/m ³)			
ACERO	PRFV	PRFC	PRFA
7,9	1,25 ÷ 2,10	1,50 ÷ 1,60	1,25 ÷ 1,40
	3,7 ÷ 6,2 menor	4,9 ÷ 5,3 menor	5,6 ÷ 6,2 menor
(÷) entre		[Fuente: ACI 440.1 (2015)]	

Desventajas de los PRF

- No alcanzan a fluir antes de la rotura (colapso frágil). Esta desventaja se puede observar en los diagramas de esfuerzo-deformación expuestos en la figura 1. La disposición unidireccional de las fibras da como resultado la máxima resistencia y módulo en la dirección del eje de la fibra. La disposición de las fibras en un plano es bidireccional y tienen diferentes resistencias en cada ángulo de orientación de las mismas (ortotrópico). Las propiedades mecánicas en cualquier dirección son proporcionales a la cantidad de fibras por volumen orientada en esa dirección.

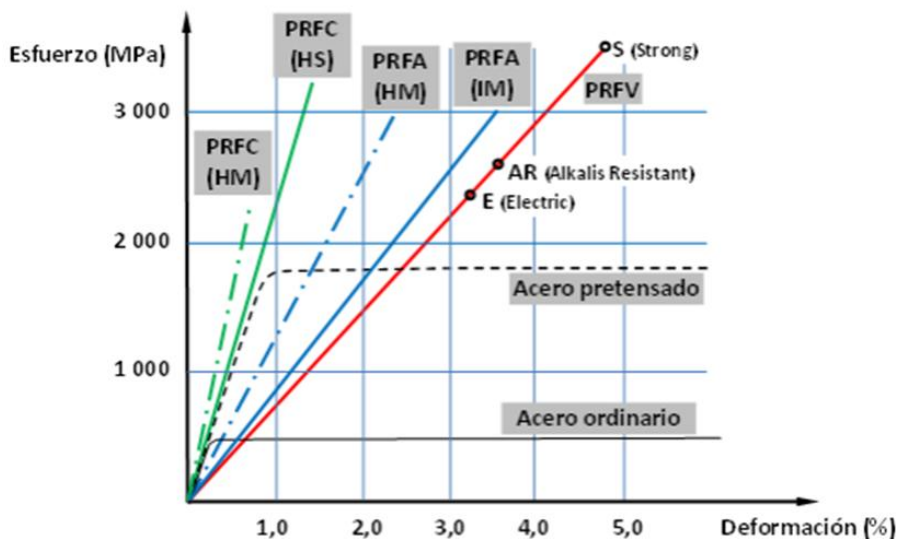


Figura 1. Leyes esfuerzo-deformación de algunos materiales compuestos de PRF
[fuente: Caneiro y Wainshtok (2015)]

- Bajo módulo de elasticidad (en el caso de que el refuerzo sea mediante fibras de vidrio, llega a ser cuatro veces menor que el del acero).
- Anisotropía: en realidad las fibras se disponen de manera bidireccional, lo que provoca que la respuesta del material en cada ángulo de orientación de la fibra sea diferente, incluso, las propiedades mecánicas son proporcionales a la cantidad de fibras por volumen que se orienta en cada dirección. De ahí que el material presente:

- ✓ Mucha menor resistencia a compresión que a tracción. Módulo de elasticidad a compresión menor que el de tracción (en el orden del 20% acorde con algunas investigaciones según Caneiro y Wainshtok (2015).
- ✓ Baja resistencia a cortante. No puede doblarse en obra. Puede dañarse ante la exposición directa y continuada a la radiación ultravioleta (debe evitarse el prolongado almacenaje del material al aire libre).

MODELACIÓN ESTRUCTURAL DE LA NUEVA VARIANTE DEL MURO DEL MALECÓN HABANERO

Para la modelación del muro se tuvieron en cuenta tres principios fundamentales: predimensionamiento, cargas y condiciones de fronteras; basados en un estudio bibliográfico de Córdova et al. (2016) donde se recogen los resultados de toda una campaña experimental en la que se analizan un conjunto de tipologías de obras de defensa costera para la zona del malecón tradicional.

En este informe se concluyó que la combinación de tres alternativas, dígame muro de simple curvatura a la cota +4,46 m, berma al pie con cota +3,28 m, y ancho de cresta de 5,00 m más rompeolas emergido a la cota +3,28 m y ancho de la corona 12 m reducirá los valores del rebase para las condiciones más desfavorables correspondientes a dos niveles del mar (huracán Wilma y fenómeno atmosférico con un período de retorno de 50 años), Córdova et al. (2016).

Predimensionamiento

Para el análisis transversal del muro se tomó un diagrama rectangular como se muestra en la figura 2 donde el cuerpo de hormigón ubicado en la zona posterior del muro representa la calle y la acera del lugar.

Se estudiaron dos niveles críticos del mar, el huracán Wilma y una tormenta aleatoria con período de retorno cada 50 años, concluyendo en la segunda variante como la condición crítica para el muro, ya que la primera tiene un período de recurrencia de una vez cada 387 años, Córdova et al. (2016).

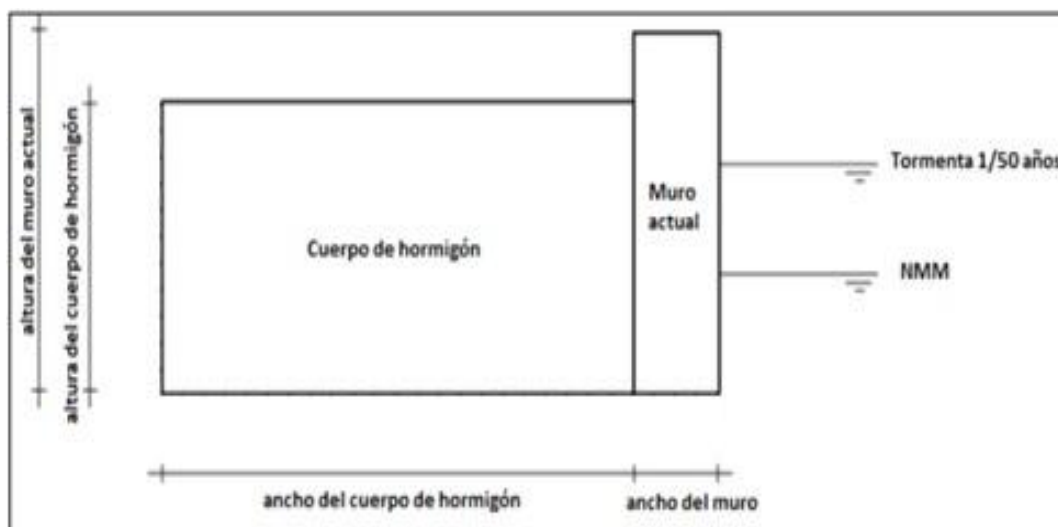


Figura 2. Predimensionamiento del muro [fuente Córdova et al. (2016)]

El muro, en toda su prolongación, quedó subdividido en cinco secciones las cuales se llevaron a cabo según la cota de coronación y la evaluación visual estructural del mismo (Córdova et al. 2016). La tabla 3 muestra un resumen con la relación de las dimensiones del muro. Para la modelación estructural con el programa SAP se tomó el promedio de las dimensiones expuestas.

Determinación de las cargas

Para la determinación de las cargas el muro fue instrumentado con sensores de presión tipo JUMO OEN 4ZP 19 los cuales registraron la presión en cuatro puntos característicos del mismo para el caso de estudio adoptado (tormenta con período de retorno de 50 años), para 16 pruebas realizadas durante la campaña experimental. Buccino et al. (2015), ver figura 3.

En adición, se calcularon presiones en tres puntos característicos del muro mediante el método del profesor Goda (utilizado para la estimación de cargas de diseño en muros costeros verticales).

Tabla 3. Dimensiones del muro y el cuerpo de hormigón [fuente Córdova et al. (2016)]

	Sección 1	Sección 2	Sección 3	Sección 4	Sección 5
Altura del muro (m)	6,18	6,52	6,19	6,16	6,14
Altura del cuerpo de hormigón (m)	4,78	4,85	4,93	4,96	4,9
Ancho del cuerpo de hormigón (m)	10	10	10	10	10
Ancho del muro (m)	variable	variable	variable	variable	variable

Finalmente se adopta como condición de carga la envolvente de las presiones de la modelación física y la modelación matemática (método de Goda), tomando para ello los resultados de las mediciones de las presiones para la prueba número 11, ya que presentaba mayor similitud en correspondencia con la tormenta de estudio, Córdova et al. (2016), ver figura 4.

La combinación de carga adoptada fue:

$$1,2D+CD+CH \quad (1)$$

donde:

D: carga muerta. *CD*: carga dinámica producida por el impacto del oleaje.

CH: carga hidrostática

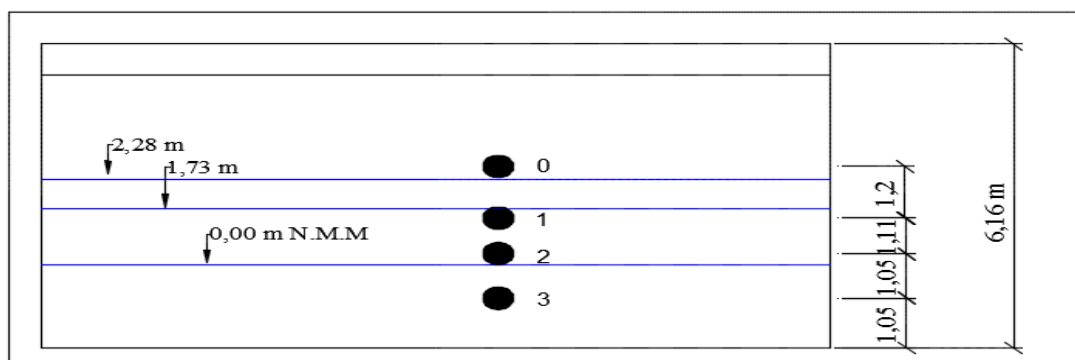


Figura 3. Instrumentación del muro [fuente Córdova et al. (2016)]

Condiciones de fronteras

El muro junto con el cuerpo de hormigón se consideró empotrado en toda su longitud como ilustra la figura 5, Córdova et al. (2016).

Modelación con el programa SAP

El esquema a modelar en el programa SAP quedó con formado como ilustra la figura 6. Se incluye en este la distribución de presión hidrostática, ya que no es considerada en el modelo físico y matemático (Córdova et al. 2016).

En la figura 7 se exponen los resultados de la modelación, se concluye en un momento actuante último (M_u) de 515,34 kNm y un cortante último (V_u) de 877,41 kN.

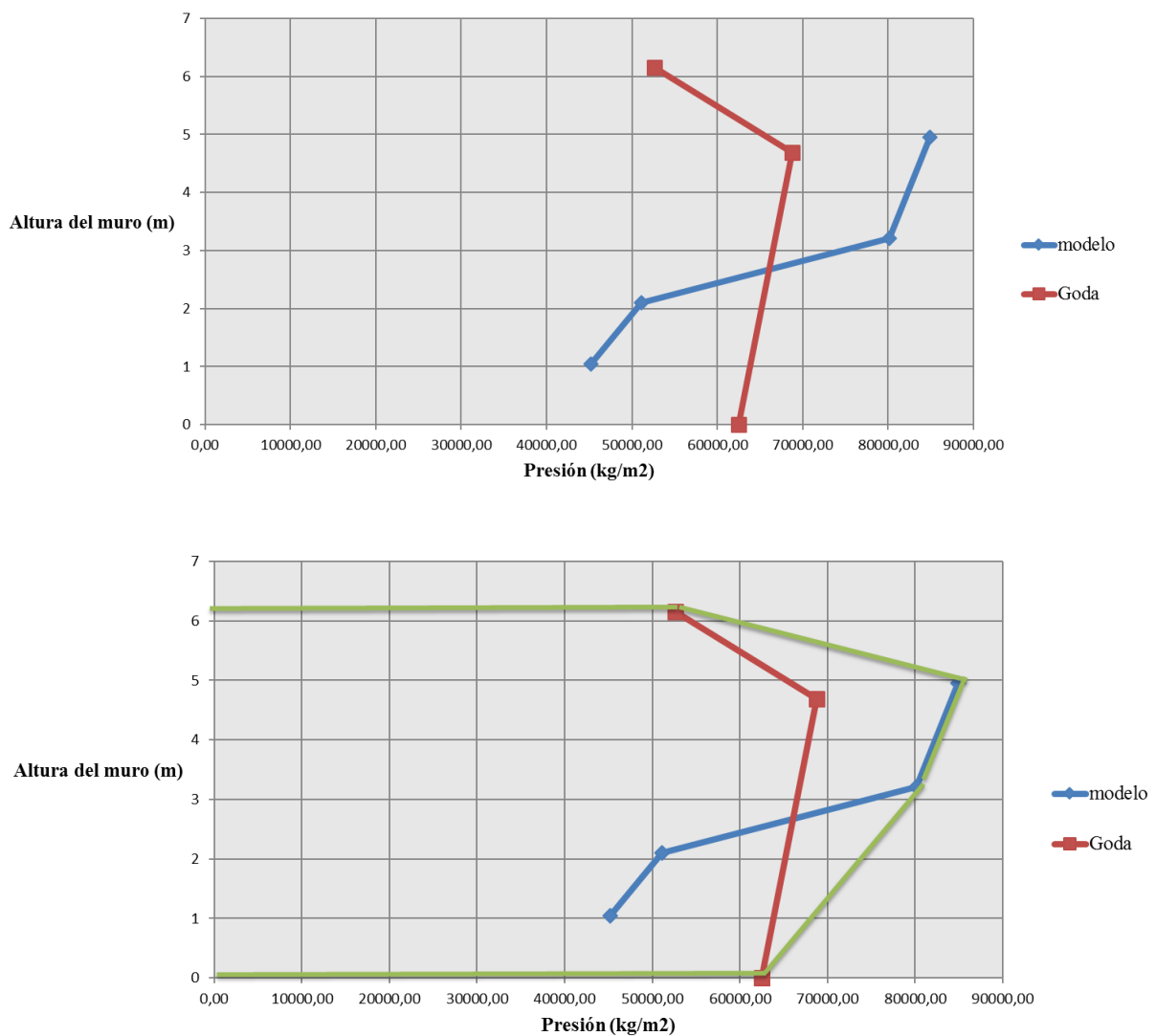


Figura 4. Relación de presiones del modelo físico y modelo matemático: envolvente

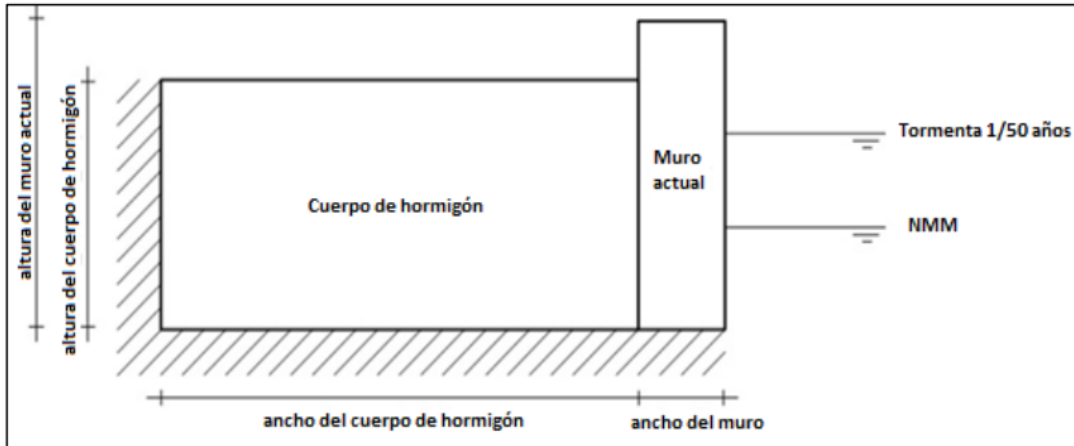


Figura 5. Condiciones de frontera del muro y el cuerpo de hormigón [fuente Córdova et al. (2016)]

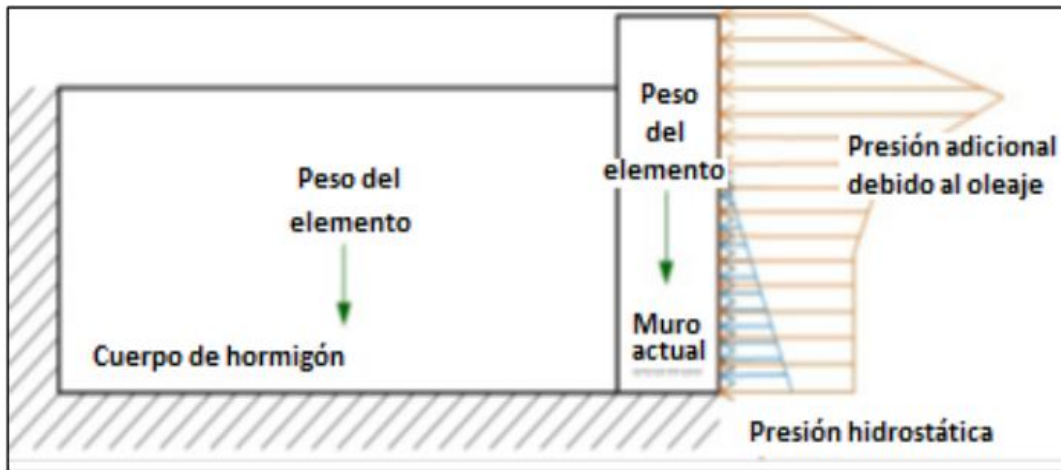
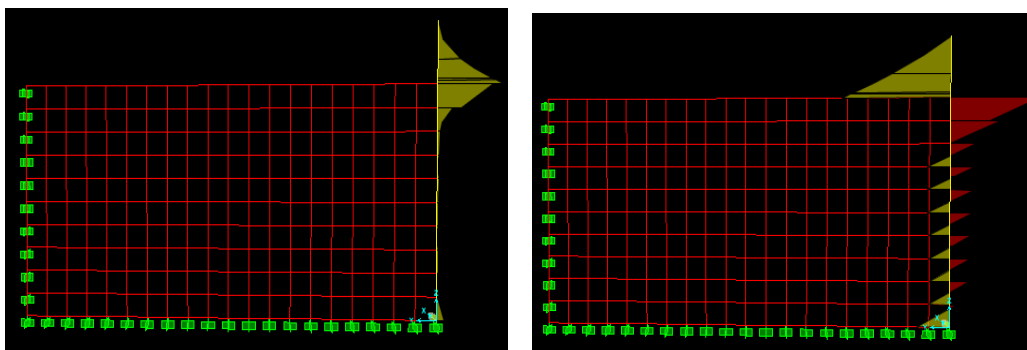


Figura 6. Esquema de análisis de la nueva variante del muro [fuente Córdova et al. (2016)]



a) Solicitación de momento flector

b) Solicitación de cortante

Figura 7. Solicitaciones actuantes sobre el muro

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA NUEVA VARIANTE DE MURO

Dado el comportamiento elástico del material en todo su rango deformacional se permite el diseño en Tensiones Admisibles (WSD), aunque se recomienda el Método de Estados Límites (MEL) partiendo de diseñar para los estados límites de resistencia (últimos) y revisar los estados límites de servicio fisuración, deformación, fatiga, etc.

El diseño de elementos de hormigón armado reforzado con barras de acero conduce generalmente a secciones hiporreforzadas, con tal de asegurar que el acero alcance la fluencia antes de producirse el fallo por aplastamiento del hormigón, pues con la entrada en fluencia del acero se asegura una adecuada ductilidad y, en consecuencia, la posibilidad de avizorar la inminencia de un probable fallo. Sin embargo, el comportamiento elástico del refuerzo en base a PRF exige una reconsideración. Si el fallo se originara por el refuerzo (PRF), el colapso sería repentino y generalmente fatal, al estar acompañado de una mayor fragilidad. Cuando se refuerza con barras de PRF, las razones anteriores conducen a preferir que el fallo por compresión del hormigón se adelante al del refuerzo, por lo que se diseña para secciones hiperreforzadas. Este fallo no es dúctil, pero es menos frágil que el del PRFV. No obstante, esto no es relevante en este tipo de estructuras, ya que se diseñan para eventos atmosféricos extremo en los que la ductilidad no es una variable significativa, ya que no se hace necesario avizorar el fallo.

En este caso no dominan los estados límites de servicio, pues las cargas permanentes son de compresión. Se diseña para resistir las mayores solicitaciones que son las producidas por el impacto del mar para un fenómeno atmosférico con período de ocurrencia cada 50 años, estas solicitaciones son periódicas y su valor no se mantiene constante, es decir que el refuerzo solo trabajaría a su capacidad de diseño durante la ocurrencia puntual de esta condición crítica adoptada. Sin embargo, se considera la sección no agrietada reducida en un 40 % por cuestiones de seguridad, dentro de las que se incluye la “posible” fisuración del elemento. La sección no se fisura teóricamente, no obstante, se colocará un reticulado compuesto por barras de 3 mm de diámetro espaciadas a 132 mm (ver en el plano), lo que atenuará cualquier valor de abertura de fisura en el elemento. Por otro lado, aumenta el área de refuerzo a colocar, lo que se revierte en un aumento de la resistencia nominal de la sección. En adición, las barras longitudinales que conforman el reticulado influyen también en gran medida en la reducción de la retracción del hormigón debido a los cambios de temperatura, sobre todo en la zona curva del muro, minimizando estos desplazamientos.

Para el diseño estructural se tuvieron en cuenta algunas consideraciones:

- El muro es analizado en dos planos de corte, uno transversal para el análisis de la retracción y la temperatura, y el otro longitudinal en el sentido perpendicular a la flexión, para el cálculo del refuerzo principal. El plano de corte longitudinal fue realizado a nivel de la acera, que dicho sea de paso es la sección donde se localizan las máximas solicitaciones de momento flector y fuerza cortante producto de la combinación de carga adoptada. La resistencia a compresión adoptada tanto para el hormigón viejo (15 Mpa) como el nuevo (35 Mpa) fue tomada del proyecto en ejecución de la EPOT 3.
- Se considera igualmente la ausencia de refuerzo estructural en el muro viejo.
- Se considera el peso del hormigón de 24 kN/m^3 y un tamaño máximo de árido de 19 mm.
- El refuerzo de PRFV a utilizar en el diseño presenta una tensión última de rotura (f_{fu}^*) de 800 MPa y un Módulo de Elasticidad (E_{fu}^*) correspondiente a su tensión de rotura de 50 000 MPa.

- Los esfuerzos del material que deben considerarse en las ecuaciones de diseño se obtienen a partir de una reducción de aquellas que ofrece el fabricante, considerando el factor reductor CE que toma en cuenta el tipo de fibra empleada como refuerzo, y el nivel de exposición ambiental del elemento que se diseña. Para el caso de la fibra de vidrio en hormigones expuestos al clima CE=0,7, Caneiro y Wainshtok (2015).
- El problema de la humedad ha sido investigado por varios autores, ACI 440R (2007), y en la mayoría de los casos han sido investigados los materiales compuestos PRFV expuestos directamente al ambiente húmedo o agresivos, reportándose pérdidas de resistencia de hasta un 20 %, de ahí el factor de reducción de la resistencia (C_E) establecido para estos materiales. Sin embargo cuando los PRFV están protegidos dentro del hormigón, las pérdidas de resistencia son mucho menores, no lográndose en algunos casos determinar pérdida alguna, lo que ha motivado su uso también aunque todavía de forma experimental en los estribos y cimentaciones de puentes (Nanni et al. 2014) y Nanni (2017).
- El recubrimiento libre (neto) del refuerzo (c_c) es de 40 mm.
- Los refuerzos principales a utilizar serán barras No. 18 con un diámetro de 18 mm y un área de la barra ($A_{b,i}$) de 254 mm². Seleccionándose dicha barra por facilidad constructiva, ya que el área total necesaria puede lograrse con un mayor número de barras de diámetro más pequeño.
- La flecha permisible (Δ_{max}) para el diseño, en función del tipo de elemento que se analiza, es de 0,002 la longitud del elemento.
- La abertura de fisura permisible (w_{lim}) se debe encontrar entre 0,50 mm – 0,70 mm. ACI 440.1 (2015)
- Cuantía mínima de refuerzo: 0,0014. (Nanni et al. 2014)
- Cuantía mínima máxima de refuerzo: 0,0036. (Nanni et al. 2014)

Metodología de trabajo

Para el desarrollo de esta metodología, Caneiro y Wainshtok (2015), se parte de conocer el pre-dimensionamiento del muro, es decir las dimensiones de la sección (b, h) y se fundamenta en los criterios siguientes:

- El peralte fijado y las condiciones de proyecto adoptadas, permiten diseñar el elemento sin requerir refuerzo estructural en compresión.
- El área de refuerzo requerida en tracción se determina a partir de la condición de diseño inicial, fijando un valor de cuantía para este refuerzo, y verificando luego si se satisface la base de cálculo del estado límite de resistencia a flexión.

Siendo así, la metodología propuesta presupone el cumplimiento de los siguientes criterios:

- Criterio de diseño:

$$\rho_f = \lambda_p \cdot \rho_{fb} \quad (1)$$

donde: ρ_f : cuantía de refuerzo de diseño.

λ_p : fracción de cuantía balanceada que se adopta como criterio de diseño.

ρ_{fb} : cuantía de refuerzo balanceada.

- Criterio de aceptación:

$$M_u \leq \phi M_n \quad (3)$$

donde: M_u : Momento actuante último.
 ϕ : Factor de minoración de las cargas.
 M_n : Momento nominal de la sección.

Según Caneiro y Wainshtok (2015), en la actualidad los documentos normativos continúan sugiriendo diseñar para cuantías de refuerzo en tracción superiores a la balanceada, o sea para valores de $\lambda_p > 1$, con la intención de asegurar un fallo por aplastamiento del hormigón, antes de que sobrevenga la ruptura frágil de las barras de refuerzo.

La figura 8 muestra un flujograma general para el diseño de la sección del muro reforzada longitudinal y transversalmente con barras de PRFV, considerando nula la presencia de refuerzo en la zona comprimida de la misma.

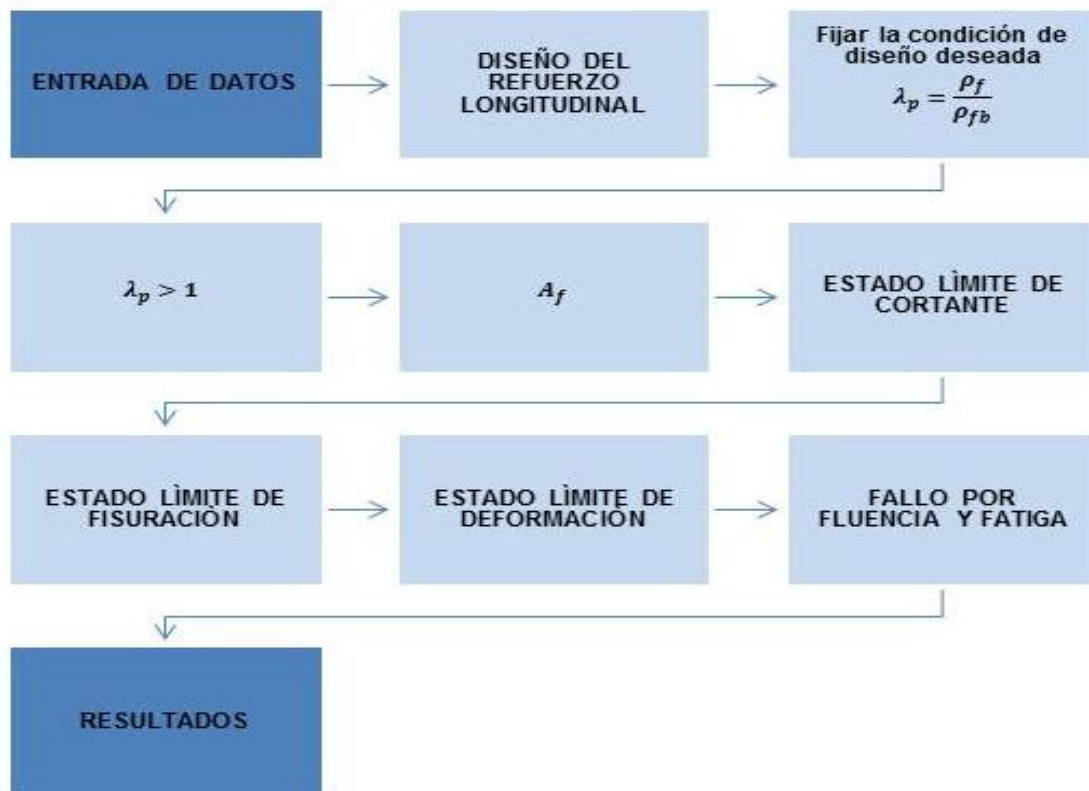


Figura 8. Flujograma general para el diseño

RESULTADOS

Resultados de diseño estructural

La literatura reconoce que la capacidad resistente a cortante del hormigón, se debe en lo fundamental a la contribución del hormigón de la zona comprimida, aun no agrietada y el aporte del refuerzo longitudinal por flexión, es decir, el efecto de dovela o dowel action.

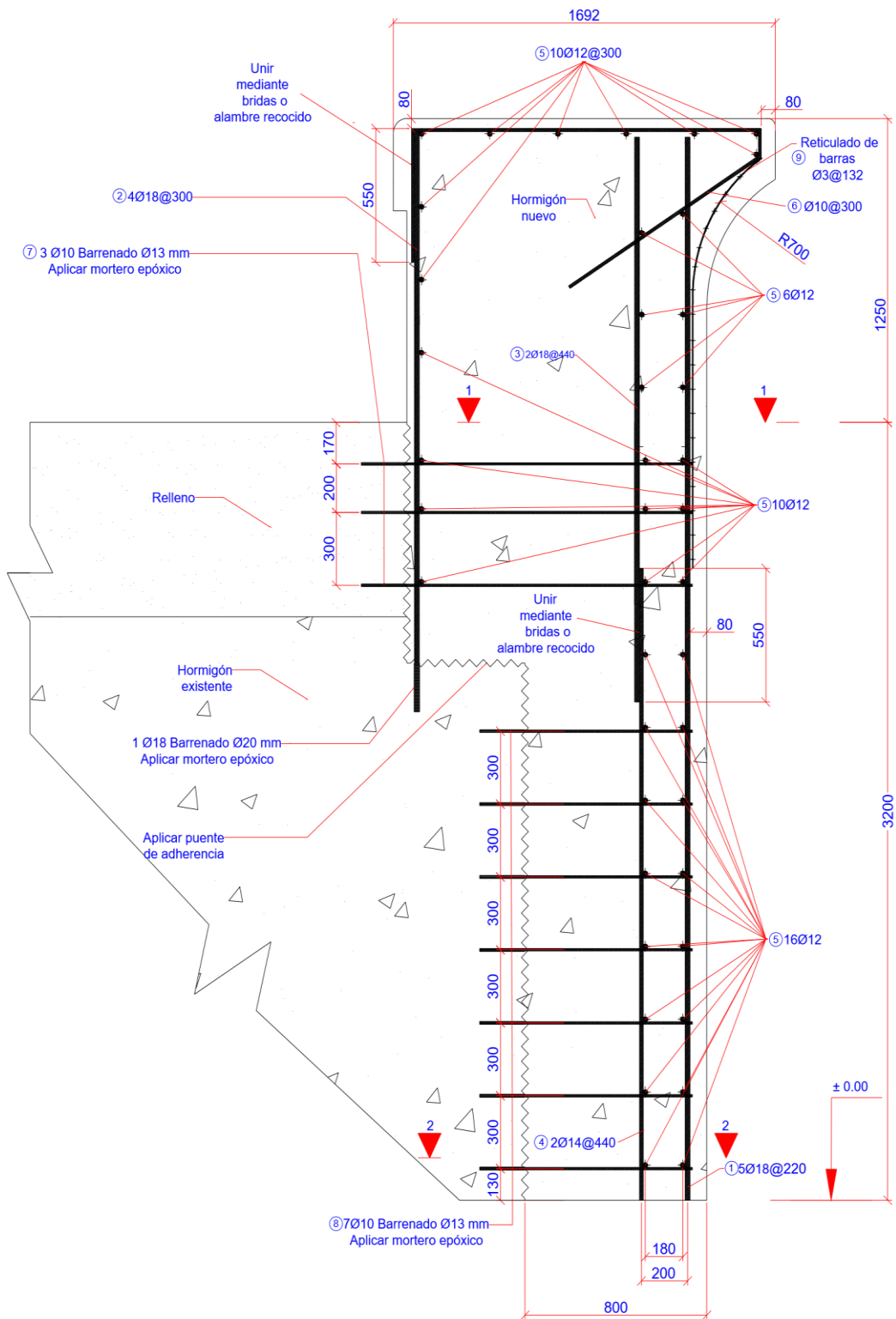
En el presente caso el aporte del hormigón en la zona comprimida de la sección es bastante grande debido a las dimensiones de la misma, lo que suple la baja resistencia a cortante del refuerzo de PRFV. La sección fue diseñada para el ELU de Momento siguiendo el procedimiento antes mencionado.

Se concluyó en una disposición de cinco barras de 18 mm de diámetro espaciadas a 220 mm para resistir el estado límite de flexión, pero al chequear el ELU de cortante las barras dispuestas no aportaban la resistencia necesaria y hubo que rediseñar la sección adicionando dos barras más. Con esta nueva disposición se asegura el comportamiento adecuado de la sección ante esta sollicitación. (ver figura 9 y figura 10).

En adición se incluye un reticulado de barras de tres milímetros de diámetro espaciadas a 132 mm, que se colocará en la zona curva del muro a partir del empotramiento del voladizo del mismo para un mejor control de la fisuración en esta zona donde fluctúa la marea.

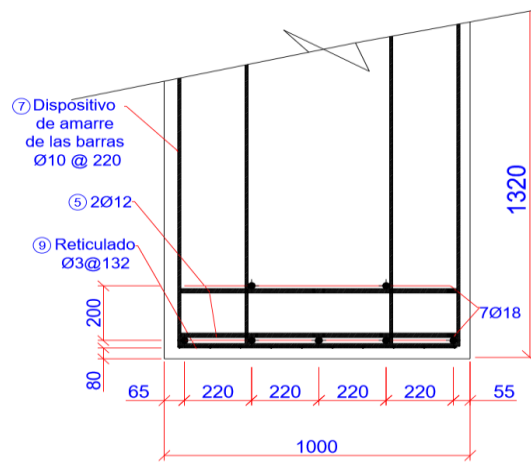
DISCUSIÓN

- La disminución del recubrimiento de 10 cm establecido de ser acero el refuerzo a cuatro centímetros con PRFV garantiza un ahorro considerable de hormigón. Por ejemplo, para un kilómetro de malecón, el empleo de PRFV significaría un ahorro aproximado de 370 m³ de hormigón, contando solamente el recubrimiento en la zona de acción de las cargas producidas por el mar.
- El empleo de PRFV como refuerzo estructural presupone una disminución de los costos por traslado del material, reducción de los tiempos de ejecución y mano de obra, mayor durabilidad de la estructura y disminución de los trabajos de mantenimiento.
- La reconstrucción del Malecón Habanero reforzado con PRFV reportaría beneficios de carácter social, ya que al ser más durable y resistente la obra aumenta su funcionalidad, que consiste en salvaguardar las estructuras aledañas de gran valor patrimonial, así como el bienestar de los habitantes de las mismas.

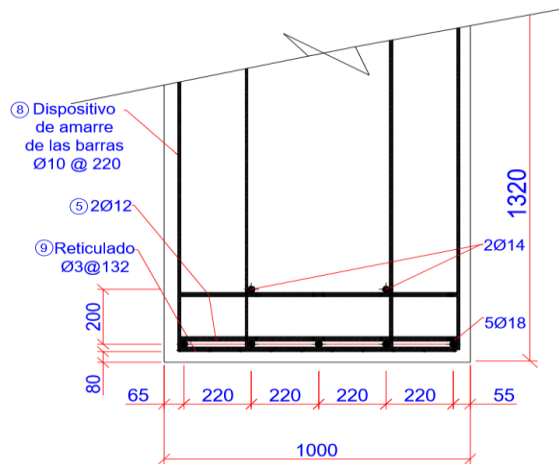


PLANO ESTRUCTURAL. SECCIÓN TRANSVERSAL
(Marina-Campanario)

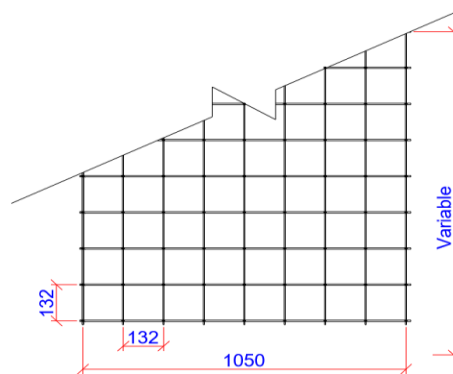
Figura 9. Disposición del refuerzo en el muro



Corte 1-1. Esc. 1:30



Corte 2-2. Esc. 1:30



Detalle de retícula de barras

Figura 10. Disposición del refuerzo en el muro. Secciones

CONCLUSIONES

- En la presente investigación se aplica una metodología de diseño para realizar el anteproyecto de la nueva variante del muro del Malecón Habanero reforzado PRFV. Esta metodología puede ser aplicada a estructuras similares construidas en otras zonas del país.
- La resistencia del muro, para las condiciones más desfavorables, es garantizada con la distribución de siete barras de 18 mm de diámetro dispuestas en dos camadas y espaciadas a 220 mm. Esta distribución garantiza un buen comportamiento del elemento durante su etapa de servicio.
- Comprobar en estudios posteriores la influencia del reticulado de barras colocado en la zona de fluctuación de la marea, en el control de la fisuración del elemento.
- Usar materiales compuestos como los PRF para el diseño de elementos emplazados en otras zonas del país, donde se requiera una mayor durabilidad de la obra, así como una disminución de los costos de la misma

REFERENCIAS

- ACI 440.1** (2015) . “Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars (ACI 440.1R-15)”, ISBN: 978-942727-10-1, American Concrete Institute (ACI), United States.
- ACI 440R** (2007). “Report on Fiber Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structure (ACI 440R-07)”, ISBN: 978-0-87031-259-5, American Concrete Institute(ACI), United States.
- Almerich A, Fenollosa E, and Martin P.** (2016), “Reinforced Lime Concrete with FRP: An Alternative in the Restoration of Architectural Heritage”, Applied Mechanics and Materials Conference, vol. 851, pp.751-56, ISSN: 1662-7482, Trans Tech Publ, Swiss.
- Buccino M., Salerno D. and Capobianco A.** (2015). “Intermediate Report No. 3: Wave Pressure Measurements”, University of Naples Federico II and University of Salerno, Italy.
- Caneiro J. A. y Wainshtok H. R.** (2015), "Empleo de barras y telas de malla de PRF como refuerzo del hormigón y el ferrocemento. Diseño estructural", Monografía, ISBN: 978-959-261-505-2, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), Habana, Cuba .
- Córdova L. F., Buccino M., Torres R., Salerno D., Pugliese E., Capobianco A y Ponce M.** (2016). “Análisis de los resultados de los estudios mediante modelación física del rebase del oleaje, presiones sobre los muros costeros y estabilidad de los elementos que componen las bermas y rompeolas. Propuesta de Solución”, Informe Técnico, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), Cuba .
- Nanni A., De Luca A. and Zadeh H. J.** (2014). "Reinforced concrete FRP bars: mechanics and design", CRC Press, ISBN: 9780415778824, Taylor and Francis Group, United States.
- Nanni A.** (2017) “Halls River Bridge”. International Workshop on Glass Fiber Reinforced Polymer Bar18, July 2017, Delta Hotel, Sherbrooke, Quebec, Canada.