

# El singular caso del Fuerte de San Fernando de Bocachica, Cartagena de Indias Colombia.

Estudio estático en bóvedas distribuidas según una línea curva.

# The weird case of the Fort of San Fernando Bocachica, Cartagena de Indias, Colombia

Study of the thrusts propagation in vaults distributed according a curved line.

## Paradiso Michele

Profesor at la Università degli Studi di Firenze

Dipartimento di Architettura, , Italia,

e-mail: [michele.paradiso@unifi.it](mailto:michele.paradiso@unifi.it), web: <http://www.arch.unifi.it>

## Benedetti Simona

Architect

e-mail: [simic85@gmail.com](mailto:simic85@gmail.com)

## Resumen

En este artículo los autores describen la historia, la geometría y el estado de conservación del fuerte de San Fernando de Bochica en Cartagena de Indias, Colombia.

La obra es un excepcional ejemplo de patrimonio histórico fortificado de la época colonial y testimonia una experiencia constructiva acumulada en más de 200 años.

El fuerte, construido a mediados del siglo XVIII en defensa de la ciudad, se destaca por su particular línea curva frente al mar, la cual determina soluciones espaciales singulares y bellas tanto en planta como en alzado.

No obstante que el monumento haya sido incluido en la lista de UNESCO de los Patrimonios de la Humanidad, su estado estructural evidencia la necesidad de una pronta restauración.

Debido al análisis estructural efectuado, basado en un exhaustivo levantamiento, se presenta una propuesta de consolidación según el principio de la mínima intervención que preserve la integridad histórica del artefacto.

Los autores esperan poder difundir el conocimiento de esta construcción, en la esperanza de una pronta restauración que pueda ser motor de un general desarrollo de toda el área.

## **Abstract**

This paper describes the history, geometry and condition of Fort San Fernando de Bocachica, located in Cartagena de Indias, Colombia.

The construction is an outstanding example of the fortified historic heritage of the colonial era and testifies a building experience of over 200 years.

The fort, built in mid-eighteenth century to defend the city, stands out for its particular curve-shaped oceanfront. This configuration leads to unique and beautiful interior space solutions in plan and elevation.

Although the monument is included in the UNESCO list of World Heritage sites, its structural condition urges a prompt restoration.

In order to preserve the historical integrity of the artifact we present a consolidation proposal following the principle of minimal intervention. Our suggestion is based on a structural analysis carried out after a comprehensive survey.

The authors' desire is to spread the awareness of this construction in the hope of a quick restoration. We think that the restoration of San Fernando could initiate a general development process of the whole surrounding area.

***Palabras clave:** fortificaciones españolas, bóvedas ojivales, muros relleno, inestabilidad estructural de la albañilería, consolidación sostenible, “Necesarias”;*

***Key words:** Spanish Fortifications; Lancet Vaults; rubble masonry; masonry's structural instability, sustainable consolidation, “Necesarias”;*

## **1. Introducción**

El casco histórico de Cartagena de Indias y sus fortalezas están reconocidos por UNESCO como Patrimonio Histórico y Cultural de La Humanidad.

En este contexto San Fernando de Bocachica es seguramente uno de los testigos históricos más importantes de la ciudad. No obstante, al quedar fuera de los recorridos turísticos más conocidos, el fuerte se encuentra aislado y en mal estado de mantenimiento. Sus condiciones físicas evidencian la necesidad de una pronta restauración; son fácilmente visible muchas lesiones.

La construcción se ubica a sola media hora de los barrios más elegantes y del centro, en una típica y bella isla caribeña; sin embargo, los alrededores están habitados por pobladores de muy bajos recursos y en general se percibe una sensación de abandono y descuido.

Por estas razones estudiar y valorizar este fuerte resulta importante no sólo para proteger un monumento antiguo, sino también para dar impulso al desarrollo del área circunstante.

## **2. Sitio e historia**

El Fuerte de San Fernando de Bocachica está ubicado a la orilla del estrecho de Bocachica, en la isla Tierrabomba, cerca del pueblo de Bocachica (Fig. 1). El estrecho mencionado es actualmente el único acceso navegable a la ciudad y al puerto, pues el estrecho de Bocagrande es más ancho pero su profundidad no permite la navegación. Además, en el fondo de este brazo de mar se encuentran antiguos restos de una muralla del siglo XVII, construida por el ingeniero D. Antonio De Arévalo para bloquear el acceso a los barcos (Zapatero,1969) (Segovia, 1982).



Figura 1. Ubicación del fuerte de San Fernando en la bahía de Cartagena y visión general de la construcción, enero 2013.

Frente a San Fernando, al otro lado del estrecho, se encuentra la batería de San José. Ambas construcciones están afectadas por el fuerte oleaje debido al pasaje de grandes barcos y a los dragados efectuados en el canal.

San Fernando es construido bajo la dirección del ingeniero D. Antonio De Arévalo, entre el 1753 y el 1760, para remplazar el de San Luis, destruido por las armadas inglesas de Vernon a mediados se siglo XVIII.

San Fernando nunca es atacado; con el pasar de los años queda abandonado y cae en el olvido hasta quedar en un muy mal estado de conservación.

En el 1958 es incluido por UNESCO en la lista de los Patrimonios Históricos de la Humanidad. Con este reconocimiento empieza la renovación de San Fernando. A finales de los años sesenta Juan Manuel Zapatero realiza una importante investigación sobre todo el sistema defensivo de Cartagena, incluyendo a San Fernando; por primera vez se plantea la restauración y renovación de las mismas. Surge también la idea de un museo en el fuerte y de un recorrido histórico cultural por toda la isla. Estas propuestas fueron planteadas en sucesivas investigaciones pero nunca se cumplieron por falta de recursos (Zapatero,1969) (Zapatero, 1978).

En los años ochenta Augusto Martínez Segretra trabaja en la consolidación de los cimientos bajo el agua, mientras que entre 1995 y 1998 Alberto Samudio dirige la

restauración y la reconstrucción de las dos baterías del Fuerte (batería de Santiago y de San Francisco Regis) ( Samudio, 2007).

Hoy en día es el proyecto de restauración continua por la oficina del arquitecto Alberto Herrera Díaz.



Figura 2. Fuerte San Fernnabdo de Bocachica, vista aerea, Fabian Ricardo Alvarez, 2011, gracias a la cortesía de Alberto Herrera Díaz.

### 3. Geometría-elipse

San Fernando está formado por un cuerpo central en forma de herradura con la parte curva hacia el mar. En la parte hacia la tierra firme (norte), éste termina con dos baluartes, el Baluarte del Rey y el Baluarte de la Reina. El fuerte cubre una superficie de cerca 5700 metros cuadrados; los muros perimetrales tienen un altura de entre 8 y 10 metros. La construcción está rodeada por un foso húmedo (hoy en gran parte seco). Detrás de éste, hacia la tierra firme, encontramos un glacis, una pendiente artificial suave y despejada fácil de controlar en caso de ataque.

San Fernando tiene también dos baterías de defensa, la batería de Santiago a noreste y la batería da San Juan Francisco Regis a suroeste (Zapatero, 1969).

Antiguamente el fuerte tenía dos entradas, una a través de un puente desde la tierra firme, otra a través del mar, donde aún hoy en día se ve el antiguo muelle. Sin embargo, los barcos se amarran hoy a un muelle más moderno a poca distancia.

El edificio está organizado alrededor de una gran plaza central (unos 40 por 40 metros) en forma de U de donde se accede a los cuartos. Todos los locales del castillo están cubiertos con bóvedas de todas clases y tamaños; son visibles arcos a medio punto, arcos ojivales, arcos góticos-otomanos y más.

Desde la plaza central subiendo por una rampa de unos 6.50 metros de altura se llega a la cubierta de la construcción, una terraza plana rodeada de Merlones.

En caso de enfrentamiento militar el acceso al agua es fundamental. Por eso en casi todas las construcciones fortificadas de Cartagena es presente un aljibe, un tanque de agua de origen árabe muy común también en las construcciones de viviendas (Lemaitre- Torres 1992) (Benedetti,2013) (Cartografía y Relaciones histórica de Ultramar, 1980) En San Fernando hay dos aljibes, uno en cada baluarte. El acceso a los aljibes es desde la cubierta del fuerte.

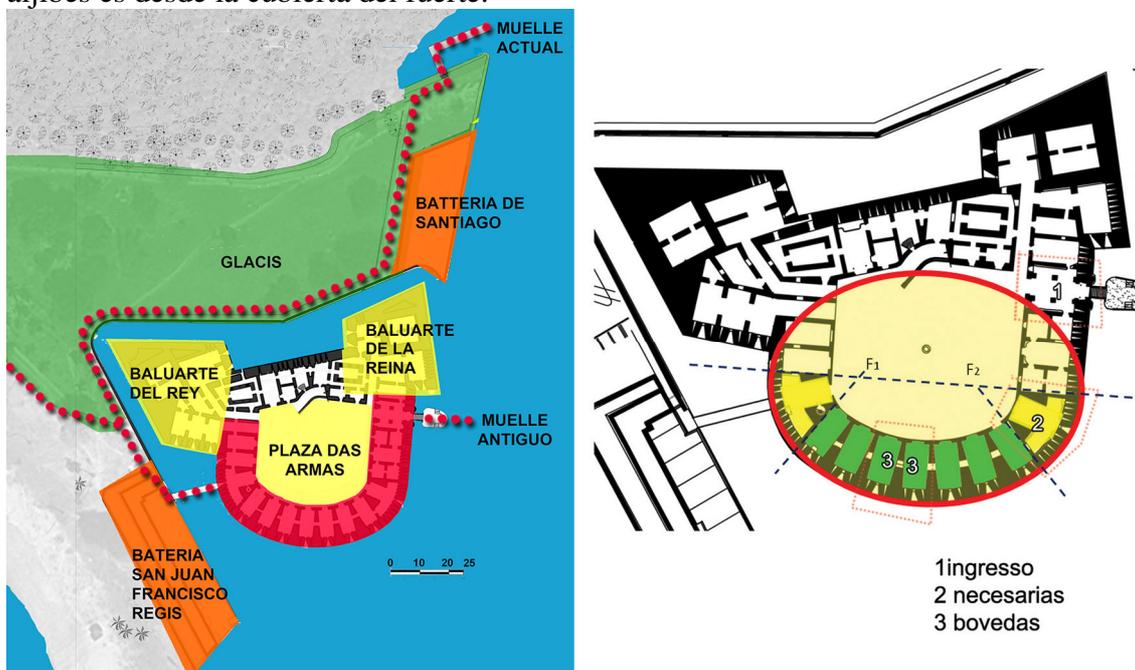


Figura 3 Plano general del Fuerte de San Fernando de Bocachica y explicación de la forma a elipse.

Con respecto a la particular geometría curva del fuerte, en toda la bibliografía analizada los autores se expresa con la palabra “a forma de herradura”. Sin embargo, después de haber analizado atentamente la planta de la fortaleza, hemos descubierto que la plaza no tiene una genérica forma a “herradura” sino una forma muy precisa de elipse (Fig. 3).

#### 4. Análisis estructural y causas de inestabilidad

El estudio del Fuerte de San Fernando muestra que la situación de la construcción no es de peligro inmediato, sin embargo es necesario actuar en poco tiempo para fortalecer las partes en peor estado (cerca del mar).

En este estudio hemos analizados los tres locales donde se encuentran las lesiones más marcadas. Estos locales son: las *necesarias* (los baños), dos de los cuarteles de oficiales y soldados (que llamaremos simplemente bóvedas) y la entrada desde el antiguo muelle. En particular hemos analizado las necesarias, que resultó ser el cuarto más afectado

En las bóvedas y en las necesarias las lesiones están en el piso y van perpendicular a la línea de clave o sea paralela a la cortina circular que se enfrenta al mar.

En el área de la entrada al contrario podemos ver una lesión en la línea de clave. Esta lesión corre desde el exterior hacia cerca la mitad de la sala.



Figura 4. Lesiones en las necesarias y esquema de corte hacía al mar de las mismas.

Para poder estudiar el comportamiento estructural de las tres partes mencionadas hemos realizado un preciso levantamiento de estas mismas en loco (Benedetti, 2013). Juntamos los datos de nuestro levantamiento con los datos otorgados por las oficinas de arquitectura de A. Samudio e A. Herrera hemos armado un modelo estructural con el cual poder calcular la estabilidad de la construcción.

Es un modelo simplificado basado en bóvedas de ladrillo lleno “a quattro teste” con un espesor total de 64 cm.

Para el cálculo asumimos un peso estándar de 1800 kgf/mc y un ladrillo tipo de 30 x 15 x 5cm. Estas medidas encuentran correspondencia con las medidas de ese tiempo (1 vara=84cm): según las medidas del tiempo cada ladrillo es de un pie por medio pie. Estudiamos las bóvedas por una profundidad de un metro.

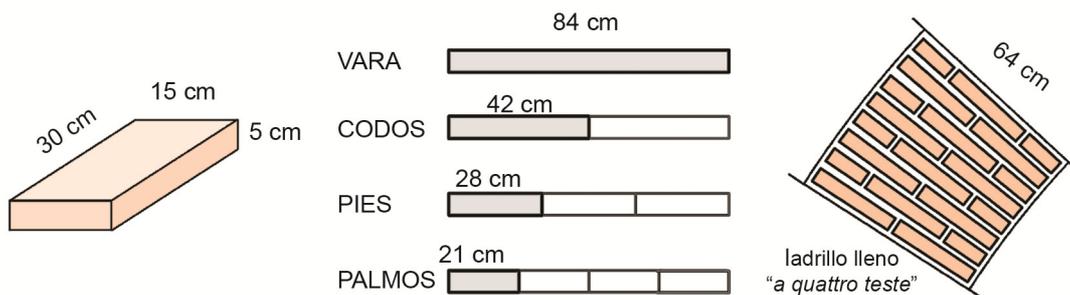


Figura 5. Comparación de antiguas medidas con los datos del levantamiento.

El modelo discreto fue calculado con códigos de cálculo, resultados de las investigaciones de los autores, COMO ArchiVAULT e SAV-SVM (Paradiso-Tempesta-Galassi, 2007).

Ellos están construidos a partir de la teoría de la inestabilidad de arcos y bóvedas de Jacques Heyman (Heyman,1995), actualizadas con las investigaciones de los autores,

para pasar de un modelo rígido a un modelo elástico-fisurante, que permita establecer la profundidad de las grietas en el espesor del arco.

En ese caso fue suficiente aplicar el modelo rígido, sea porque las bóvedas no aparecían agrietadas, sea porque el único reto era confirmar la sabiduría constructiva antigua, en la opinión de que el daño estructural al fuerte dependiera de algo ajeno a la idea constructiva original.

Las bóvedas, como muestra la Figura 6 salieron todas en condición de perfecta estabilidad. Podemos observar que la líneas de presión es en todas partes contenida al interior del perfil de las estructuras.

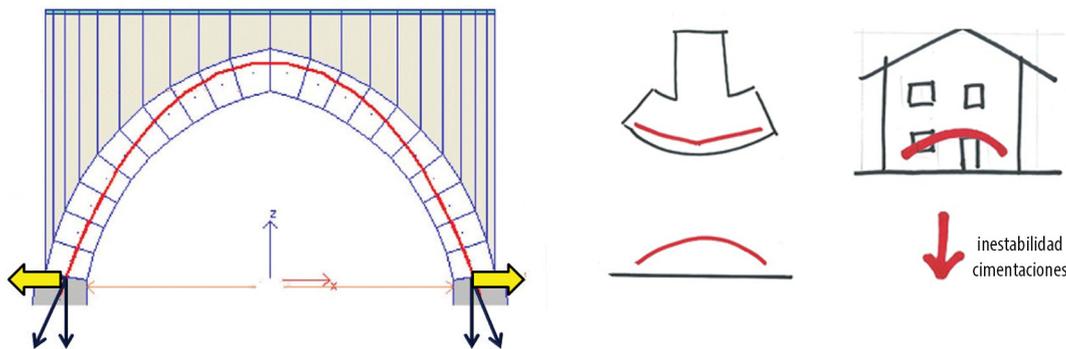


Figura 6. Las bóvedas resultan perfectamente estable, pero las lesiones en el piso sugieren un hundimiento en las cimentaciones.

Por lo tanto los resultados matemáticos aparecen en contradictorio con la situación que se presenta, donde emergen grietas en diferentes partes. Siendo las grietas en el piso y no en las bóvedas (a excepción de la entrada) y resultando éstas estables, asumimos que las causas de las lesiones dependieran de algo ajeno a la idea constructiva original.

Examinando la planta de la construcción observamos que las bóvedas hacia al mar son dispuesta según una línea curva.

Las bóvedas, de planta rectangular, para construir una planta curva, tienen los muros de apoyo entre ellas de planta trapezoidal; por lo tanto los empujes de dos bóvedas cercanas, no perteneciendo al mismo plan vertical, se suman en la dirección hacia el mar así que a la cortina circular externa llega una fuerza que es la suma de esas componentes que no se anulan. La fuerza total que se genera provoca un empuje total que determina la inestabilidad rotacional de la cortina externa (Fig. 7).

Por estas razones hemos calculado el equilibrio a la rotación con respecto a un corte a nivel del piso teniendo en cuenta todos los impulsos que las bóvedas producen en la cortina circular.

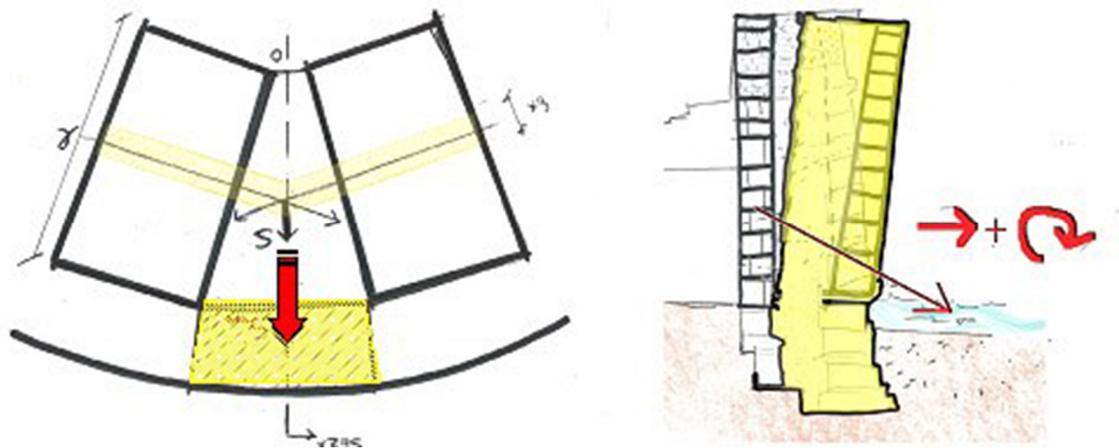


Figura 7 Debido a la forma circular del fuerte, los impulsos de las bóvedas no se eliminan mutuamente, se suman generando una presión contra la cortina circular hacia el mar.

Los cálculos sugieren que la cortina circular es estable pero las lesiones en el piso indican una situación opuesta, como si la cortina circular estuviera deslizándose hacia al mar.

Nos encontramos entonces en una situación donde los cálculos nos dicen que las bóvedas y la cortina circular son estable pero las lesiones muestran una situación opuesta en la cual la cortina circular se esta separando del cuerpo principal del fuerte.

Estudiamos entonces cuáles otras causas pudieran estar afectando la estabilidad de la construcción y encontramos dos principales: el posible deslizamiento del suelo de cimentación y una sección resistente reducida en la cimentación.

Con respecto al primer punto es fundamental evidenciar que por el angosto Estrecho de Bocachica pasan barcos de carga de gran tamaño que provocan olas muy fuertes contra la cortina circular (Fig. 8). Además, para permitir el paso a los barcos, el fondo del estrecho ha sido objeto de frecuentes excavaciones. Es muy probable que esto haya generado un movimiento del suelo que arrastra la cimentación del fuerte.

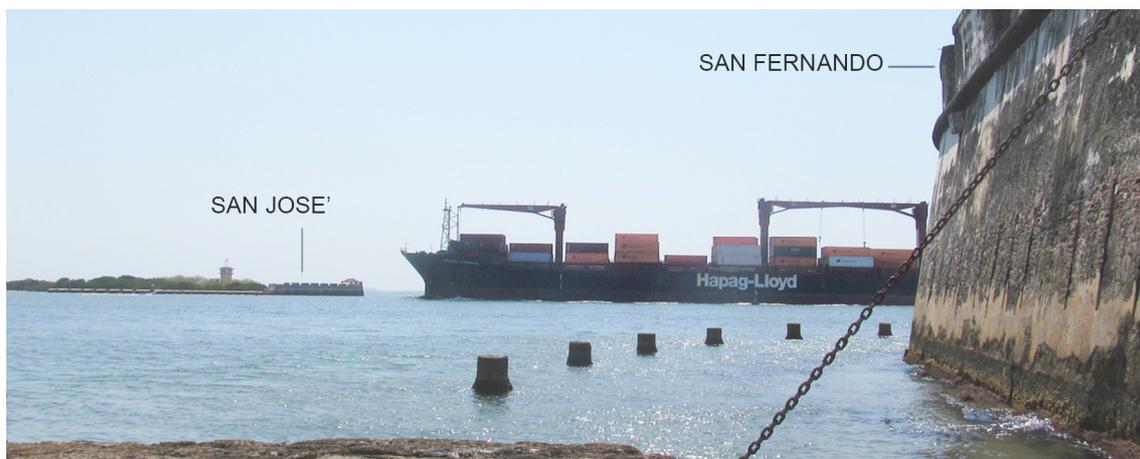


Figura 8 Grandes nave atraviesan el Estrecho de Bocachica, generando fuertes olas y movimiento del subsuelo donde apoyan la cimentaciones del fuerte.

Además en la zona de las necesarias, en la base del muro (bajo el nivel de agua) están ubicado unos canales que disminuyen la sección resistente en la base de la construcción. Estos canales servían para la limpieza de las necesarias. Permiten al agua de mar de entrar hasta la base de los baños y evacuar los descombros hacia afuera

Por estas razones tendremos que buscar las causas del mal estado del fuerte no en su construcción si no en factores externos.

Es probable que la estructura haya padecido lesiones por diversas causas que se fueron sumando una con la otra como por ejemplo: la vejez de los materiales, los movimientos del subsuelo de los cimientos debido a las excavaciones del canal, el continuo impacto de las olas generadas por el pasaje de grandes barcos, y una sección resistente reducida por los canales de las necesarias.

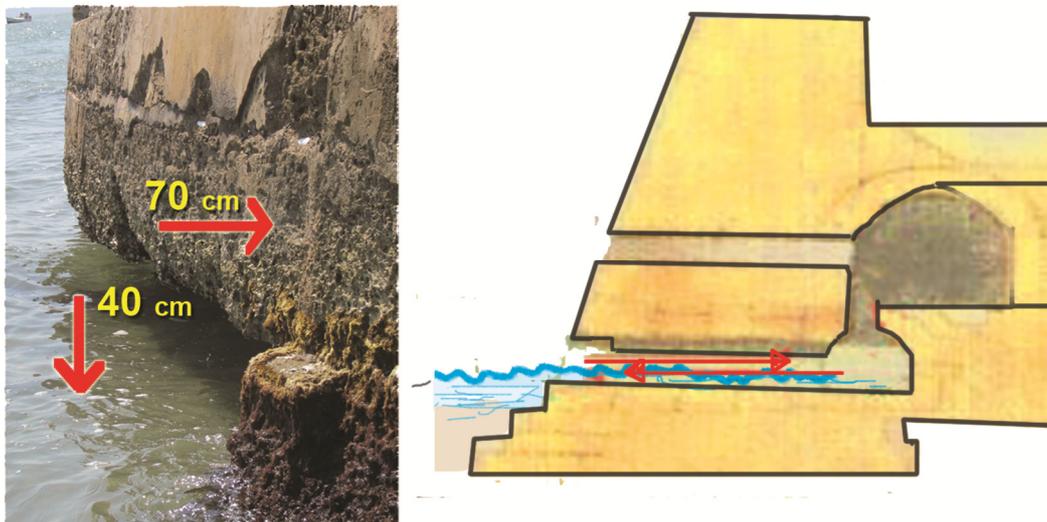


Figura 9. Las necesarias presentan unas canalizaciones de agua que disminuye la sección resistente.

Podemos resumir así las hipótesis de la inestabilidad de San Fernando:

1. El general deterioro del fuerte debido a factores externos (olas, lluvia, humedad), a la vejez de los materiales y sobre todo al envejecimiento del mortero (que se encuentra seco, no cumpliendo con su fundamental función de pegante) determina la pérdida de la naturaleza monolítica de los muros rellenos. En consecuencia el paramento exterior del muro se destaca del interior. Por lo tanto, la sección de la mampostería que resiste a los impulsos de las bóvedas es muy reducida (cerca una tercera parte del total), mucho más estrecha de la que podemos observar desde un modelo geométrico (que considera como resistente la totalidad del muro relleno). Esto puede justificar la presencia de lesiones en el piso.
2. Debilidades geométricas de construcción, como los vacíos de los canales de agua de las necesarias, disminuyen la sección resistente.

3. Las olas marinas aceleran el fenómeno de degradado de la mampostería, halan y mueve los subsuelos y provocan el deslizamiento de la cortina circular hacia al mar. Las excavaciones del fondo del el estrecho aceleran el fenómeno de deslizamiento (Fig. 10).

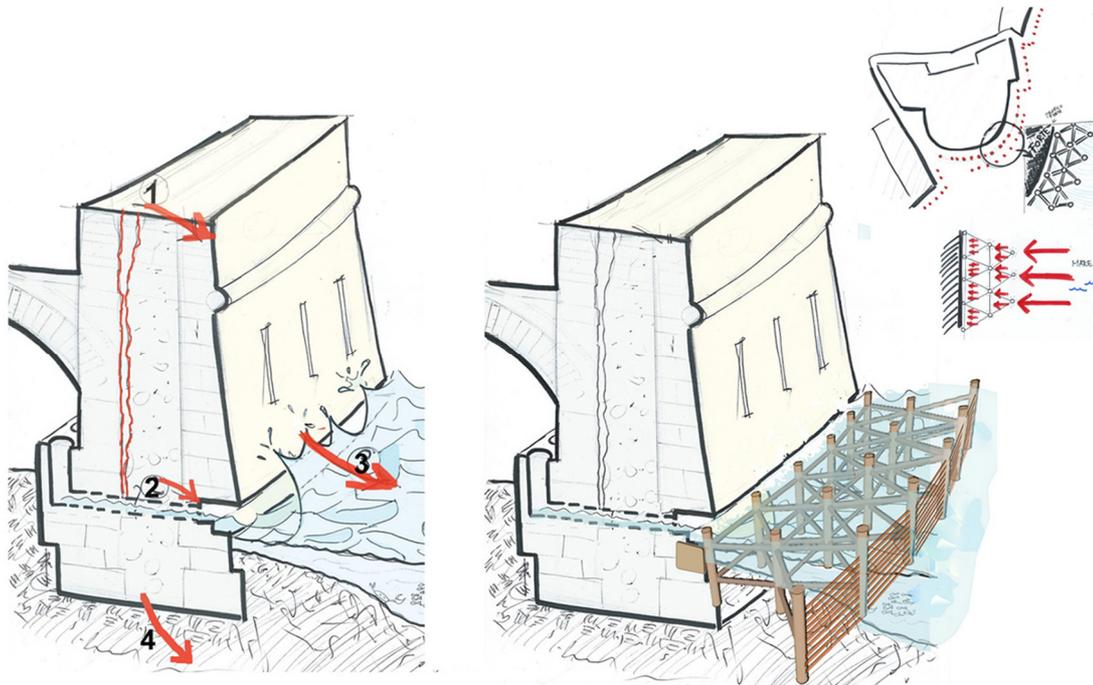


Figura 10. Causas de las lesiones y propuesta de intervención

## 1. Proyecto rompeolas

La parte más dañada de la fortaleza es hacia el mar. Las olas y la excavación del canal generan movimientos de la arena del fondo del terreno y de los cimientos. La ya mencionada cortina circular tiende a deslizarse hacia el mar, separándose del resto de fuertes (de ahí las lesiones en el suelo).

Para bloquear este mecanismo proponemos el diseño conceptual de una intervención para consolidar la parte del basamento de la construcción.

El objetivo es crear de un rompeolas para atenuar la fuerza de éstas en el fuerte y al mismo tiempo para fortalecer la base de suelo arenoso (Fig.10). El rompeolas fragmenta las olas que así disminuyen su fuerza de impacto a la pared. De acuerdo con la teoría de la intervención mínima, no se recomienda el uso del hormigón armado. De hecho, este material sería absolutamente fuera del contexto e invasivo contra la antigua fortificación.

La solución que proponemos es basada en una escollera submarina formada por una empalizada de madera y organizada según una malla triangular que sigue la forma de la fortaleza y de la costa. La malla debe tener una distancia de unos 1,5 metros por 3 metros y se distribuye en dos filas que van a crear una banda de protección de unos 5 metros alrededor de la fortaleza y de la costa. El apilamiento estaría conectado por elementos horizontales en madera conectados correctamente entre ellos a fin de garantizar el funcionamiento de la estructura global.

La forma reticular de base triangular ofrece una gran resistencia a las olas y disminuye el poder de impacto sobre la fortaleza. Un escudo de celosías horizontal de madera, finalmente, ayuda a regular el nivel del agua del mar.

Sugerimos una intervención sostenible en el ámbito de la consolidación estructural respetando la estructura original sin dañar el material ni su contexto o el período histórico en el que el edificio fue construido.

#### **4. Conclusiones**

El Fuerte de San Fernando de Bocachica representa la cima del conocimiento en el campo de la construcción de fortificaciones en Cartagena de Indias. Contiene más de dos siglos de historia en el que la ciudad tuvo que hacer frente a los ataques piratas. Es un monumento fundamental para la historia y la cultura de Cartagena donde trabajaron los mejores ingenieros en fortificaciones de los siglos XVI-XVIII. Tiene una antología muy interesante de formas y soluciones de diseño únicas.

El proyecto de consolidación propuesto por los autores es sólo una primera idea de una intervención sostenible que necesita ser profundizada y desarrollada en detalle cuando las suposiciones sobre las causas de la inestabilidad sean confirmada por ulteriores investigaciones (que creemos sería necesario hacer con cierta urgencia).

Este tipo de refuerzo es una solución terapéutica adecuada también en la elección del material (madera), adecuado con la mampostería y respetuoso con el ecosistema marino. La validez de intervenciones de este tipo, realizada con palos de madera, han sido en el pasado afirmado muchas veces; no menos importante, considerar el caso de la ciudad de Venecia (Italia).

Al momento el proyecto del Ministerio de cultura está parado. El gobierno colombiano renunció a otra entrada a la bahía así que la de bocachica quedará la más importante para el comercio marítimo de toda Cartagena. Una vez mas es importante la protección del monumento y junto a ella la esperanza de una vida digna a los pobladores de la isla.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Arq. Alberto Samudio Trallero y toda su oficina por la plena cooperación y al Arq. Alberto Herrera Díaz por el material de estudio otorgado. También agradecemos al Prof. Ing. Edgar Quiñones de la Universidad Nacional de Cartagena, y al Arq. Alfonso Cabrera.

## Bibliografía:

Benedetti, S., 2013: *Analisi della Consistenza Statica e del Degrado del Forte di San Fernando de Bocachica, Cartagenas de Indias, Colombia*, Degree Thesis, University of Florence, School of Architecture, Department of Architecture, DIDA, supervisor Prof. M. Paradiso, Coexaminers Ph.D. S. Galassi and Prof. M. De Vita. Florence.

1980: *Cartografía y Relaciones Historica de Ultramar, tomo V: Colombia, Panama, Venezuela*, Madrid, Servicio Historico Militar-Servicio Geografico del Ejercito.

Heyman, J., 1995: *The Stone skeleton*, Cambridge, Cambridge University Press.

Lemaitre, E. and Covo Torres, J. 1992: *Historia de Cartagena. Cartagena de Indias*, Tempo Editores.

Paradiso, M., Tempesta, G., Galassi, S., Pugi, F., 2007: *Sistemi voltati in muratura. Teoria e applicazioni*, Roma, Edizioni Dei Tipografia del Genio Civile, . p. 1-168.

Samudio, A., 2007: *“La arquitectura en Cartagena de Indias”, Cartagena de Indias, un párpado de piedra bien cerrado*, Bogotá. letrArte Editores.

Segovia Salas, R., 1982: *The Fortifications of Cartagena de Indias. Strategy and history*, TercerMundoEditores, Bogotá.

Zapatero, J., M. 1978: *Las Fortificaciones Abaluartada en America*, Instituto de Cultura Puertorriqueña, San Juan de Puerto Rico, Barcelona.

Zapatero, J., M. 1969: *Las Fortificaciones de Cartagena de Indias, Estudio asesor para su restauración*, Madrid, Banco Cafetero de Colombia.