

UNA CONTRIBUCIÓN PARA CONOCER EL FUERTE SAN FERNANDO DE BOCACHICA, CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA*

Michele Paradiso**

Universidad de Florencia, Italia

Stefano Galassi***

Universidad de Florencia, Italia

Simona Benedetti****

Universidad de Florencia, Italia

Recibido: 5 agosto 2013

Aprobado: 23 septiembre 2013



Fuerte San Fernando en Cartagena de Indias.
Fuente: Fotografía de los autores.

* Profesor de Resistencia de Materiales y de Recuperación Estructural de Monumentos Históricos en la Universidad de los Estudios de Florencia, Italia (Departamento de Arquitectura – DiDA). Lleva 40 años investigando sobre el comportamiento estructural de arcos y bóvedas de mampostería y además en técnicas sustentables de consolidación de monumentos históricos. Autor de software para el cálculo de arcos y bóvedas (SAV2000, SVM, www.aedes.com). Mención Especial al Premio Nacional de Restauración, Primer Premio de Arquitectura Vernácula, por el Ministerio de Cultura de Cuba (2008). Conferencista y autor de libros, cuenta con más de 110 publicaciones científicas entre congresos nacionales e internacionales, y artículos en revistas nacionales e internacionales. Miembro del ICOFORT-ICOMOS-UNESCO.

E-mail: michele.paradiso@unifi.it

** Arquitecto graduado a la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Los Estudios de Florencia, Italia, es Ph.D en el doctorado en “Materiales y Estructuras para la Arquitectura de la misma Universidad. Experto en cálculo numérico de arcos y bóvedas en mampostería, es autor de varios códigos de cálculo para estructuras históricas (SAV2000, SVM, BRICKWORK). Profesor asistente en la Escuela de Arquitectura de Florencia, en la línea de consolidación estructural

RESUMEN

El Forte San Fernando de Bocachica es una de las construcciones históricas más importantes de Cartagena de Indias, el puerto estratégico de Colombia durante el periodo de colonización española. Es un monumento de gran interés, no sólo por los diversos tipos de grietas que se aprecian y las soluciones de construcciones observadas, sino también por la gran variedad ejemplar de arcos y bóvedas con que cuenta. Este artículo habla del estado general de la edificación. Una encuesta geométrica y material que se llevó a cabo desde octubre del 2012 hasta enero del 2013, así como un cuidadoso análisis de la degradación del material, de las fallas estructurales y los patrones de las grietas. Los análisis estructurales llevados a cabo en porciones significativas de la construcción, resaltaron la necesidad de intervenciones de consolidación y restauración urgentes.

Concretamente, este artículo describe los primeros resultados substanciales del análisis de la habitación cuyo patrón de agrietamiento provocó una gran preocupación en los autores de la inspección: las “necesarias” (baños), una amplia sala abovedada con un plano en forma de T, cuyos problemas estructurales parecen ser el resultado de elecciones de construcción muy “pretenciosas”. A pesar de haber sido declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, hoy el fuerte es poco visitado. Por esta razón, se propone una mejora con el fin de hacer que el fuerte se convierta en destino turístico.

PALABRAS CLAVE

Fortificaciones españolas, Bóvedas Lanceteadas, “Muratura a Sacco”, “Necesarias”, Dislocaciones estructurales, Análisis numéricos.

A CONTRIBUTION TO KNOWING FORT SAN FERNANDO DE BOCACHICA, CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA



Portada de acceso al fuerte.
Fuente: Fotografía de los autores.

ABSTRACT

Fort “San Fernando” de Bocachica is one of the most important historical construction in Cartagena de Indias, the Columbian strategic port town during the Spanish colonial period. It is a monument of great interest not only for both the various kinds of cracks surveyed and the constructive solutions observed but also for its variety of unique arches and vaults. This article presents the overall status of the building. A geometric and materic survey was performed from October 2012 to January 2013 as well as a careful analysis of the material degradation, structural failures and crack pattern. The structural analyses carried out on significant portions of the construction highlighted the need for urgent consolidation and restoration interventions.

Specifically, this paper describes the first substantial results on the analysis of the room whose cracking pattern caused major concerns for the authors during the inspections: the *necesarias* (bathroom), a wide vaulted room with a T-shaped plan, whose structural problems seem to be the result of very “pretentious” constructive choices. Despite being a UNESCO World Heritage, today the fort is poorly attended by visitors. For this reason a functional upgrading is proposed, so as to turn it into a tourist attraction.

KEYWORDS

Spanish Fortifications, Lancet Vaults, “Muratura a Sacco”, “Necesarias”, Structural Dislocations, Numeric Analyses.

de monumentos históricos. Autor de varios artículos científicos en revistas internacionales y nacionales y en actas de congresos nacionales e internacionales.

E-mail: stefano.galassi@unifi.it

*** Joven arquitecta recién graduada en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Los Estudios de Florencia; su proyecto de grado, realizado en la modalidad de investigación sobre el Fuerte de San Fernando en Cartagena de Indias, fue resultado de una pasantía académica entre la Universidad de Cartagena y la UniFI. En la actualidad se encuentra trabajando como arquitecta en un proyecto de ampliación del conjunto campesino de la Mesa de Los Santos en, Santander, Colombia. E-mail: simic85@gmail.com

INTRODUCCIÓN

San Fernando se encuentra en la isla de Tierrabomba, Colombia, en el estrecho de Bocachica, el único acceso navegable de la bahía en la que la ciudad de Cartagena de Indias y su puerto se perciben.

El estrecho, que se encuentra entre el Fuerte de San Fernando y el Fuerte San José (que data de la misma época), se dragó varias veces para permitir el paso de buques de gran tamaño. La parte navegable del canal de Bocachica está situada entre los dos fuertes y tiene una anchura de unos 80 metros en la base y una profundidad de unos 30 metros. Se cree que las excavaciones y las olas provocadas por los barcos son las principales causas del actual deterioro de la estructura (Campos, 2003).

El Fuerte de San Fernando data de la segunda mitad del siglo XVIII; la primera piedra fue colocada en 1753. El diseño fue desarrollado por los ingenieros militares más importantes de la época, como Don Ignacio de Sala, Juan Bautista Mac Evan-y Antonio de Arévalo (Lemaitre, y Covo, 1992; Paolini y Gutierrez, 1994; Samudio, 2007; Zapatero, 1969; Zapatero, 1978).

Su construcción es de crucial importancia en el complejo sistema defensivo de la ciudad, porque les permitiría defender el estrecho de Bocachica, la ubicación más estratégica, puesto que era el único acceso navegable a la ciudad (ver Figura 1).

Dado que Cartagena sufrió varios ataques de los piratas, casi desde su fundación, en 1533, esta fortaleza se creó para asegurar finalmente la seguridad de la ciudad. La eficacia de San Fernando, sin embargo, nunca fue probada, ya que no sufrió ningún ataque serio; excepto durante la guerra civil de 1885. Más tarde fue olvidado y abandonado hasta mediados del siglo XX.

Los primeros estudios precisos de todo el sistema de fortificaciones de Cartagena se atribuyen a Juan Manuel Zapatero, quien comenzó un redescubrimiento real del sistema defensivo de la ciudad alrededor de 1970 (Zapatero, 1969; Zapatero, 1978).

Más tarde, en la década de 1990, se realizó la primera campaña de restauración importante. En ese momento, las pequeñas actividades turísticas alrededor de la fortaleza también comenzaron a desarrollarse.

En el pasado, San Fernando y sus playas cercanas fueron lugares de interés turístico que permitieron que los habitantes desarrollaran una micro-economía. No obstante, esta zona se sumió en un nuevo estado de semi-abandono, puesto que el interés de las agencias de turismo se volvió hacia otras islas (como Isla del Rosario).

En la actualidad, existe un nuevo proyecto para la restauración y mejora de los alrededores (Hidroconsultores Ltda., s.f.; Benedetti, 2013; Taller, 2010). A pesar de la proximidad geográfica a la ciudad, las condiciones generales de vida en la isla de Tierrabomba, en la que se encuentra el fuerte, son pobres. Se carece de sistemas de agua potable y alcantarillado. Además, la basura se queda en la calle, al aire libre, durante largos períodos de tiempo. En la isla no hay empleo, por lo que los habitantes viven principalmente de la pesca o viajan a la ciudad para trabajar.

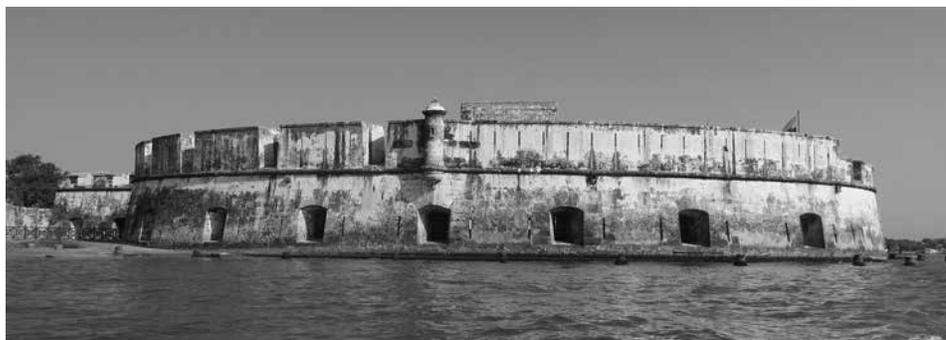


Figura 1. Ciudad y bahía de Cartagena de Indias e Isla de Tierrabomba que se encuentra rodeada al norte por el estrecho de Bocagrande y al sur por el estrecho de Bocachica, la única vía fluvial navegable
Fuente: Elaboración de los autores.

BREVE HISTORIA DEL EDIFICIO

San Fernando fue construido entre 1753 y 1760, bajo la dirección de Don Antonio de Arévalo, con el fin de reemplazar el Fuerte de San Luis, situado a unos 300 metros en el interior del país. El Fuerte de San Fernando fue utilizado para defender Bocachica hasta que los británicos atacaron Vernon a mediados del siglo XVIII, cuando fue destruido casi por completo (Zapatero, 1969; Zapatero, 1978; Sartor, 2004; Segovia Salas, 1982; Segovia, 2006; Servicio Histórico Militar-Servicio Geográfico del Ejército, 1980).

Figura 2. Vista desde el mar del Fuerte de San Fernando.
Fuente: Fotografía de los autores.



Las decisiones sobre la construcción y la ubicación del Fuerte de San Fernando son el resultado de más de 200 años de experiencia en fortificaciones defensivas que Cartagena construyó para protegerla de los ataques de los piratas, desde su fundación en el siglo XVI (1533) hasta el siglo XVIII. La magnificencia y las soluciones de construcción adoptadas por sus diseñadores destacan su maestría en el tema de las fortificaciones y estructuras abovedadas. En concreto, las dos grandes batallas de De Pointis en 1697 y Edward Vernon en 1741, fueron lecciones valiosas en el tema de las fortificaciones, por las que se derivó que la Corona Española hay decidido que en la reconstrucción de la fortaleza San Luis no fuera apropiado mantener la misma posición anterior.

Se evaluaron dos propuestas de construcción:

- La primera, la de Juan Bautista Mac Evan, ingeniero en jefe designado de la ciudad en 1742, quien pidió que la nueva construcción de la fortaleza fuera en la orilla opuesta de la batería de San José; de esta manera un “hipotético” buque enemigo se vería obligado a pasar a través del estrecho de Bocachica entre las dos fortificaciones y, por lo tanto, podría ser atacado fácilmente;
- La segunda propuesta por Ignacio de Sala, nombrado gobernador de Cartagena en 1749, quien sugirió que la fortaleza se ubicara en la colina detrás del pueblo de Bocachica con el fin de tener una visión más completa de la orilla del mar, por lo tanto, evitando el riesgo de ataques desde el interior de la isla.

En 1752, se aprobó el proyecto de Mac Evan y el fuerte fue llamado San Fernando, probablemente en honor a Fernando VI, el soberano español de ese momento. Después de la muerte del diseñador, en 1751, su sucesor, Lorenzo Solís, cambió el diseño original aumentando la altura de las paredes y murallas. La construcción, bajo la dirección de las fuerzas armadas y del matemático Antonio de Arévalo, se completó en 1759 con algunos cambios importantes, como la adición de las dos baterías de Santiago y San Francisco Regis.

Después, Arévalo construyó la batería Ángel San Rafael en la cima de la colina, detrás del pueblo de Bocachica, para evitar la posibilidad de un ataque sorpresa desde el interior de Tierrabomba. También planeó largos túneles (más de 700 metros de longitud) para vincular la batería Ángel San Rafael con la playa en caso de una retirada estratégica.

Entre las diversas obras de Arévalo, se destaca la Escollera, una pared subterránea construida en el fondo del mar en el estrecho de Bocagrande para impedir la navegación al mar. De este modo, la eficacia de la estrategia de defensa fue asegurada, ya que cualquier buque enemigo no tenía otra alternativa que pasar por el estrecho de Bocachica (Zapatero, 1969; Zapatero, 1978).

San Fernando nunca fue atacado y, por lo tanto, a lo largo de los años, su importancia quedó en el olvido y fue abandonado. Por esta razón, durante años, la fortaleza ha sufrido un estado avanzado de deterioro debido a su falta de uso y de mantenimiento. Por fortuna, en 1958 fue reconocido por la UNESCO como Patrimonio Histórico y Cultural de la Humanidad y así han aparecido nuevas posibilidades para recuperar este monumento (Campos, 2003).

En 1967, Juan Manuel Zapatero, estudió en detalle las principales fortificaciones y las vías militares en la isla de Tierrabomba. Personalmente, supervisó la limpieza de la fosa y la restauración de las puertas en el Fuerte de San Fernando. Fue entonces cuando, por primera vez, se propuso la idea de transformar la fortaleza en un museo; pero la falta de dinero impidió que esta idea se hiciera realidad (Zapatero, 1969; Zapatero, 1978).

Entre 1982 y 1985, Augusto Martínez Segrera siguió la intervención de Zapatero. Consolidó el muelle y sus bases, se limpiaron los dos aljibes (depósitos de agua grandes que surgen de tradiciones de construcción árabes) y colocó un nuevo piso. Entre 1995 y 1998 fueron restauradas y reconstruidas las baterías laterales de Santiago y San Francisco Regis. La idea del museo fue propuesta de nuevo, pero una vez más su realización no fue posible.

En los últimos años, el estrecho de Bocachica, que sigue siendo el único acceso a la bahía de la ciudad, fue dragado en varias ocasiones. Estas intervenciones, que tenían un sentido invasivo con respecto al monumento, así como el paso de grandes buques, han desplazado el fondo del mar y han generado fuertes olas que maltratan los poderosos muros de la fortaleza; empeorando aún más la situación de San Fernando y San José.

Recientemente, San Fernando fue incluido en el PEMP - Plan Especial de Manejo y Protección: una herramienta para la gestión del patrimonio cultural colombiano, que establece las acciones necesarias para asegurar la protección, conservación y sostenibilidad de los bienes de interés cultural promovidos por el Ayuntamiento de Cartagena, el Ministerio de Cultura y otras autoridades locales (Benedetti, 2013; Taller, 2010).

En 2011 las intervenciones generales de limpieza y de restauración se llevaron a cabo, así como la sustitución de las rejillas de madera de las ventanas, mientras que en enero de 2012, la limpieza de todo el terreno que rodea la fortaleza comenzó (*glacis*), junto con la demolición de los antiguos *bungalows* de concreto reforzado utilizados en los años setenta y ochenta como carcasas de turismo y la construcción de la calzada pavimentada que conduce al fuerte.

En la actualidad, el Arquitecto Alberto Herrera Díaz, por encargo del Ministerio de Cultura Dirección de Patrimonio, ha sido el encargado de realizar el estudio de la restauración de la fortaleza. Su propuesta se refiere a una recuperación funcional del monumento. Pide que la cara original sea restaurada, así como que haya dispositivos para proteger el monumento de la acción erosiva de la marea y las olas causadas por el paso de los barcos. El plan de restauración incluye la transformación de la zona de los alrededores en una playa de baño (Benedetti, 2013).

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

Panorama general

Repartido en una superficie de unos 5.700 metros cuadrados, el Fuerte San Fernando de Bocachica se caracteriza por tener un cuerpo principal en forma de herradura: la parte

curva hacia el mar. Este cuerpo termina con dos baluartes poligonales que se enfrentan al continente: el baluarte del Rey y el baluarte de la Reina (Ver Figura 3). El muro perimetral y los baluartes son altos, entre 8 y 10 metros.

Figura 3. Planta del fuerte San Fernando
Fuente: Fotografía de los autores.



La construcción está rodeada por un foso llamado “foso húmedo”, hace mucho tiempo estaba lleno de agua pero ahora está parcialmente enterrado en los sedimentos o tierra pantanosa. El edificio también cuenta con un *glacis*, una pendiente de arcilla artificial, que rodea el foso húmedo, y dos baterías laterales: la batería de Santiago y la de San Juan Francisco Regis. La primera se localiza en el noreste y la última hacia el suroeste del cuerpo central (Zapatero, 1969; Benedetti, 2013; Segovia Salas, 1982; Servicio Histórico Militar-Servicio Geográfico del Ejército, 1980).

En la explanada hay una serie de túneles subterráneos con varias ramas que datan del siglo XVIII (construidos por el Ingeniero Arévalo). Hay dos entradas históricas a la fortaleza: la primera es desde el mar, a través del antiguo muelle, lo que conduce a la puerta de entrada con un puente levadizo; la segunda es desde la parte continental, por una pasarela (hasta hace unos años un puente) que pasa sobre el foso húmedo. Esta última entrada plantea un considerable problema de mantenimiento: la arena, que se acumula allí de forma continua, se debe enjuagar todos los días.

Este edificio se organiza en torno a un gran espacio central de forma curvilínea en U (*Plaza das Armas*) de aproximadamente 40 por 40 metros. Esta plaza central proporciona acceso a todas las habitaciones. Éstas están abovedadas. Hay muchos tipos de bóvedas que están presentes: circulares, lanceta, deprimidas e incluso góticas otomanas. Por esta razón, este fuerte contiene una verdadera cornucopia de bóvedas que destacan la habilidad de sus constructores. Desde la *Plaza das Armas*, una rampa monumental se eleva 6,50 metros y conduce a una terraza cubierta rodeada de almenas.

Al igual que en otros fuertes de la época, hay tanques de agua grandes, uno en cada baluarte. Son construcciones de origen árabe, comúnmente llamadas *aljibes*. Estas construcciones típicas de Cartagena de Indias (Covo Torres, 1988; Marco Dorta, 1951) todavía están presentes en muchos patios interiores de los edificios coloniales.

Características y técnicas constructivas



Figura 4. Portada de acceso y cordón magistral en el fuerte
Fuente: Fotografía de los autores.

Los muros de carga del edificio, que parecen ser masivos, están formados por la técnica llamada “*muratura a sacco*”, con los tabiques interiores y exteriores hechos de grandes bloques de piedra caliza (una piedra de la zona), a veces mezclada con ladrillos y piedras más pequeñas. Los tabiques exteriores de las paredes junto al mar y el foso están maltratados y marcados por un *cordón magistral* a nivel del suelo de la terraza de la azotea. Se cree que este cordón (un elemento decorativo con función de trabajo en piedra), y el portal de estilo neoclásico situado en el muelle de acceso (ver Figura 4), fueron tomados de la antigua fortaleza San Luis, la fortificación preexistente que fue destruida y situada no muy lejos de San Fernando.

Los tabiques exteriores están hechos de piedras labradas, mientras que el tabique en mampostería que rodea la plaza de armas está hecho de escombros mezclados con ladrillos. En cambio, las bóvedas siempre se hacen de cuatro ladrillos de brezo. Todos los bloques de mampostería, tanto en las paredes como en las bóvedas, se presentan con juntas de mortero de gran espesor, a veces son tan gruesas como el ladrillo en sí (generalmente de 2-3 centímetros).

Durante el estudio, los autores observaron el estado avanzado de deterioro del mortero. A las articulaciones a menudo les hace falta (por ejemplo, tal como en los pilares presentes en la entrada antigua); mientras que en los casos en los que el mortero está todavía presente, su textura es fina y se desmorona simplemente aplastándolo con las manos. Es una degradación típica de los morteros de ajuste de aire históricos, sometidos a fenómenos de hidratación y a la pérdida de consistencia y cohesión por el tiempo. En un tiempo, también externamente, hubo un mortero de cemento que servía como capa protectora; sin

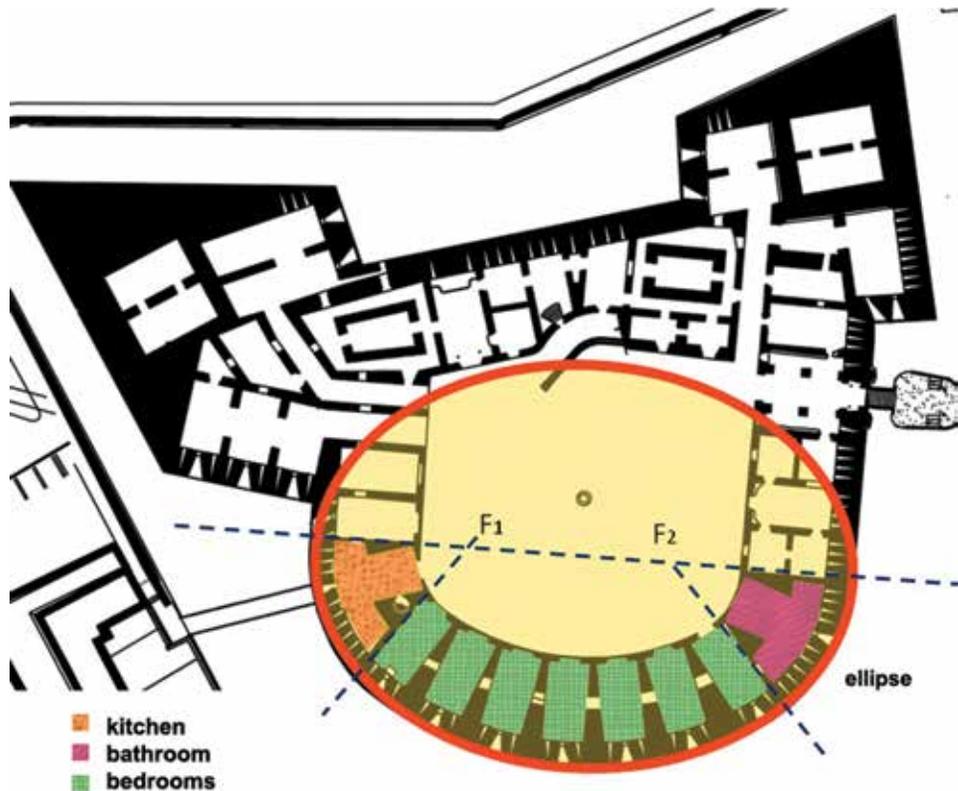
embargo, hoy en día, es visible sólo en algunas partes, ya que la acción química y mecánica de los agentes atmosféricos lo han ido deteriorando gradualmente. Una capa de mortero hidráulico compuesto de puzolana, ceniza, cal, ladrillos y gutagamba (una resina vegetal típica del entorno de Cartagena de Indias, extraída de un árbol y que se utiliza para obtener los tintes de color amarillo claro o pegamentos naturales), situada en la pared de albañilería de la bóveda también está presente en los aljibes.

La peculiar forma geométrica del plano

Hay una amplia gama de literatura sobre el Fuerte San Fernando que fue examinada (Campos, 2003; Lemaitre & Covo Torres, 1992; Paolini, & Gutiérrez, 1994; Samudio, 2007; Zapatero, 1969; Zapatero, 1978; Sartor, 2004; Segovia Salas, 1982; Segovia, 2006; Servicio Histórico Militar-Servicio Geográfico del Ejército, 1980; Marco Dorta, 1951; Gutiérrez, & Paolini, 1994; Gutiérrez y Esteras, 1991; Gutiérrez & Esteras, 1993) y está de acuerdo con la definición de su plano como una herradura.

Con el fin de reproducir el plano de construcción con precisión, los autores llevaron a cabo una investigación que busca identificar la construcción geométrica precisa que podría utilizarse y hallar un modelo estructural adecuado para la obtención de análisis estáticos fiables. Como consecuencia de varias pruebas e intentos, la forma de la fortaleza parece ser perfectamente coherente con una elipse. A continuación, se trata de explicar la génesis de la construcción.

Figura 5. Construcción geométrica del plano del fuerte
Fuente: Elaboración de los autores.



La Figura 5 muestra claramente que el plano de herradura se compone de una sección curva predominante que contiene nueve habitaciones: siete de ellas, una forma rectangular, son los dormitorios de los oficiales y soldados; las dos habitaciones adicionales, situadas a la izquierda y a la derecha de aquellas, tienen formas de T. Estas dos habitaciones que, albergaban la cocina y el baño, denominadas “necesarias”, enlazan la parte curva de la fortaleza

con la rectilínea. La construcción geométrica del plano sigue esta regla: la extensión de las dos paredes largas que subdividen las dos habitaciones en forma de T en la parte curva de las dos primeras salas rectangulares colocadas en la parte recta, identifica el diámetro mayor de la elipse. En ella, se detectó la posición de los focos mediante la ampliación de las murallas que subdividen las habitaciones en forma de T de los espacios rectangulares vecinos situados en la parte curvada.

La degradación de los materiales

El Fuerte San Fernando de Bocachica se encuentra en un entorno típico tropical, caracterizado por altas temperaturas, alta humedad relativa, sol intenso y fuertes lluvias. Además de estas condiciones climáticas extremas, su ubicación cerca del mar lo expone a nuevas agresiones por parte del aire salino y los embates de las olas.

En casi todos los ambientes se detectaron trazas muy significativas de humedad y, en algunos casos, filtraciones de agua en las paredes. La descamación es frecuente, así como eflorescencias salinas, costras negras, moho, pátinas biológicas y bultos (ver Figura 6). En algunos casos, el yeso está totalmente separado del sustrato y, al tacto, se despedaza. Asimismo, proliferan colonias de plantas y animales (murciélagos, aves, cangrejos, conchas).



Figura 6. Señales de degradación en el fuerte
Fuente: Fotografía de los autores.

Todos los materiales, piedra, ladrillos y yeso, han sido consumidos por el tiempo. En particular, se detecta una pulverización de morteros y aglutinantes, así como de las capas superficiales de yeso, que en algunos casos deja los ladrillos subyacentes visiblemente expuestos.

Patrón de agrietamiento

El monumento se encuentra en un estado general de buena conservación. Sin embargo, son visibles numerosas lesiones de importancia. Las dos baterías muestran lesiones significativas (reparadas con motivo de la restauración de los años noventa): en particular, las dos partes extremas y del lado mar de la batería Santiago se señalan.

El interior y el exterior de la fortaleza se ven afectados por las lesiones. La mayoría se concentran en la parte mira al frente del estrecho de Bocachica.

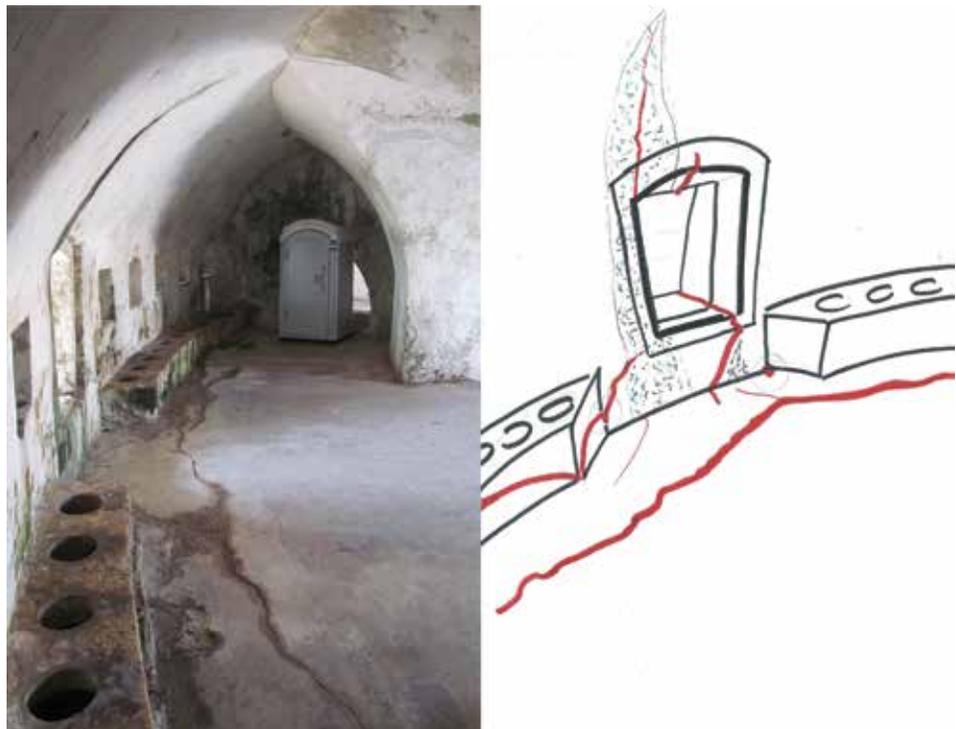
En el exterior, en el lado norte y noroeste del Baluarte de la Reina, en la pared masiva entre los dos baluartes y en la pared circular, hay grietas verticales visibles. Muchas están cerca de las ventanas en arco; algunas penetran las paredes que corresponden a las habitaciones interiores. La mayoría de las grietas fueron detectadas en las paredes de las “necesarias”.

Además, las lesiones se encuentran en casi todas las habitaciones con vistas al mar y corren por el suelo, rara vez afectan a las bóvedas que las cubren. Sólo hay tres bóvedas agrietadas: las de las “necesarias”, las de la entrada y las del pasillo que conduce al Baluarte de la Reina. La Plaza de Armas y la terraza en el techo muestran numerosas grietas de poca importancia. Estas grietas probablemente fueron causadas por la contracción; debido a que la terraza del techo es una gran superficie de concreto que siempre está expuesta al sol.

Análisis de las “Necesarias”. Breve introducción

Este documento realizado sobre la base de estudios llevados a cabo para una tesis de grado (Benedetti, 2013), presenta los primeros resultados significativos de la condición física de las “necesarias”; consideradas como los cuartos más interesantes debido a su peculiar forma plana, así como del patrón de grietas detectado.

Figura 7a-7b. Patrones de grietas en los baños
Fuente: Fotografía y boceto de los autores.



Se puede acceder a las “necesarias”, localizadas en la parte curvilínea de la fortaleza, desde la plaza de armas. Se componen de dos espacios ortogonales en forma de T; sin embargo, el espacio periférico hacia el mar es curvo. Los retretes se encuentran en esta parte curvada y se componen de una serie de aberturas redondas en un asiento de piedra larga, apoyados contra la pared curva exterior (ver Figura 7a). El techo está formado por dos bóvedas ojivales que se entrecruzan para formar tres lunetas.

En detalle, el espacio rectangular dispuesto en dirección radial en el plano, ocupa un área de aproximadamente 5,17 x 5,92 metros, mientras que el curvo, dispuesto en una dirección circular, ocupa aproximadamente 12,50 x 4,00 metros. Esta habitación se encuentra en un estado de degradación y decadencia muy avanzado, sobre todo debido a la humedad. Esta situación se agrava por el agua de mar que, durante las tormentas muy fuertes, penetra en el ambiente. Pasando a través de la ventana central y las lagunas en la pared. Aquí el yeso tiene muchas protuberancias y puede desprenderse. Debajo, el mortero, en las juntas, parece ser desmenuzable y arenoso. En algunas de las aberturas también hay depósitos de sal (como estalactitas y estalagmitas) (Benedetti, 2013).

En la habitación, con vista al mar, se ven claramente varias grietas. Aquí, una abertura grande y profunda atraviesa toda la longitud del piso. La grieta continúa hasta la pared exterior y, buscando las zonas más débiles de mampostería, rompe el borde derecho de la repisa de la ventana. A partir de la piedra angular del arco de la ventana, la grieta se reanuda, rompiendo la piedra angular y provocando así una restricción articular interior, y continúa hasta que alcanza el techo abovedado. No fue posible determinar exactamente donde termina esta grieta debido al moho y la pátina biológica presentes en el techo. La grieta penetra en todo el espesor de la pared y, por lo tanto, corresponde a una fisura visible en el exterior de la pared. Este muro también está erosionado y cubierto de algas en su parte inferior. En ciertas zonas, porciones enteras de piedra también faltan.

La parte del piso, entre la grieta y la pared debajo de la ventana, está muy inclinada hacia fuera. Aunque una inclinación general del piso se detectó cerca de la parte inferior de la pared (probablemente diseñado de esta manera para dirigir el flujo de agua hacia los desagües) inmediatamente después de esta grieta la decantación es mucho más pronunciada. Una grieta también estaba presente en la estructura que contiene agujeros que fueron utilizados como “baños”. Esta fisura los corta longitudinalmente y continúa en curva hacia abajo ligeramente y también en el borde izquierdo de la repisa de la ventana. En el piso bajo, los asientos inodoros, la falta de material (es decir, tal vez los huecos creados como resultado de la degradación del material o quizás remanentes de drenajes viejos) es tan visible, que se puede ver la fuga de aguas residuales subyacente.

En la sala rectangular el único problema presente, en particular, es la abundante falta de yeso; tanto a la derecha como a la izquierda de la línea clave de bóveda, por lo que es posible observar el aparato de ladrillo.

Análisis estructural y verificación

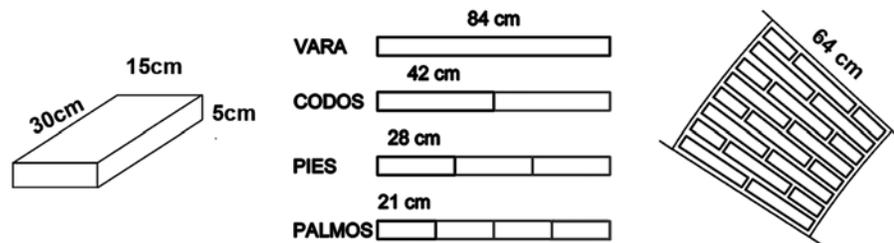
Con el fin de representar el cuarto de baño con tanta precisión como en un modelo estructural, los autores llevaron a cabo estudios métricos y matéricos muy detallados. Se prestó especial atención al estudio geométrico de las dos bóvedas de cañón que forman el techo, para lo cual se necesitaron estudios precisos (ya que el suelo no es una superficie horizontal). Utilizando el método de investigación directa de “coltellazioni” (una serie de medidas tomadas en distancias regulares) fue posible medir las elevaciones de los puntos importantes en los dos *intradós* de las bóvedas; al unir los puntos fue también posible re-

producir su geometría curva real. Por lo tanto, por medio de una cuerda de extremo-fijo en las dos paredes, se esbozó un plano horizontal y los puntos, cuya altura se iba a medir, y se individualizaron por lazos. Posteriormente se realizaron las siguientes medidas: la distancia horizontal entre los lazos, las distancias verticales entre los lazos y la bóveda y las distancias entre los lazos y el suelo. Usando las medidas resultantes, la pendiente real del suelo se calculó numéricamente y se determinó aproximadamente en 7%. Nuestros dibujos del plano, elevaciones de paredes y secciones transversales, se enriquecieron directamente con las líneas de fisura medidas, y luego comparados con los dibujos existentes creados por el ya mencionado Alberto Herrera.

Dado que no era posible llevar a cabo los ensayos sobre el terreno, el espesor de las bóvedas fue derivado por deducción con la siguiente metodología: De las superficies del intradós, de las cuales el yeso se ha separado con el tiempo, fue posible medir un gran número de ladrillos expuestos. Usando el promedio de las mediciones realizadas, el “tipo ladrillo” parece tener la siguiente medida: 30 x 15 x 5 cm. Si estos números se convierten a las unidades de medida utilizadas cuando la fortaleza fue construida (1 varas = 2 Codos = 3 = 4 empanadas palmos = 84 cm aproximadamente), las dimensiones del ladrillo son exactamente un pie por medio pie por una sexta parte de un pie. Para determinar el espesor de las bóvedas, así como el aparato de mampostería, se consideraron las bóvedas de las siete habitaciones adyacentes situadas entre las dos habitaciones en forma de T. Aquí, los tabiques longitudinales internos entre las habitaciones miden aproximadamente 70 cm. Esta medición representa un espesor límite superior del par de bóvedas establecido en las mismas.

Por otra parte, el espesor de yeso fue determinado en aproximadamente 3 centímetros; restando este resultado, el límite de 70 cm se reduce a aproximadamente 64-65 cm. Estas deducciones están perfectamente de acuerdo con los diseños de medida de Alberto Samudio y Alberto Herrera, que representan el espesor de las bóvedas en un poco más de 60 cm. Se asegura que las bóvedas se construyeron utilizando cuatro ladrillos de cabecera y, por lo tanto, la medición de 64 cm y la unidad de peso estándar de 18,00 kN/m³ fueron utilizados para realizar el análisis estructural (ver Figura 8).

Figura 8. Boceto del proceso deductivo utilizado para determinar el ancho de las bóvedas
Fuente: Elaboración de los autores.



Teniendo en cuenta su regularidad estructural y la presencia de una carga superpuesta uniforme, cada una de las dos bóvedas de cañón fue analizada utilizando una parte de un metro de profundidad. El modelo estructural fue elaborado y computado por medio de programas informáticos derivados de los resultados de la investigación científica de los autores, ArchiVAULT (Galassi & ArchiVAULT, 2008) y SAV-SVM (Paradiso, Tempesta, Galassi, Pugi, & AEDES Software, 2000). Estos programas permiten modelar una estructura de mampostería por una discretización adecuada en bloques rígidos, conectados entre sí; y el suelo, con uniones de contacto incapaces de transmitir fuerzas de tracción. Este tipo de modelo permite llevar a cabo un análisis estático no lineal de acuerdo con los teoremas

de análisis límite¹. La Figura 9 muestra la condición de estabilidad de las dos bóvedas a través de la línea de dibujo de empuje que está contenida completamente en el interior del perfil de la estructura.

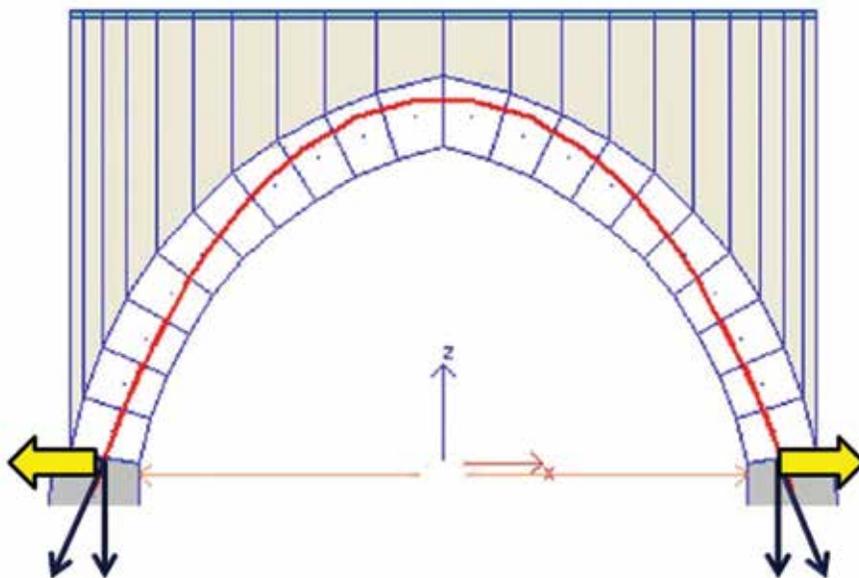


Figura 9. Condición de estabilidad de una de las bóvedas de cañón de las "necesarias" expresada en la existencia de una línea de confianza al interior del perfil de la estructura. Fuente: Elaboración de los autores.

La intersección de las dos bóvedas de cañón forma tres lunetas. Se realizó un análisis de las lunetas descomponiéndolas en una serie de arcos ficticios con una profundidad constante, pero con diferentes tramos y ángulos de cobertura. La Figura 10 muestra la descomposición adoptada en cinco arcos y claramente pone de relieve que, si bien los arcos ficticios pertenecientes a la luneta de la bóveda en el espacio rectangular son simétricos, los pertenecientes a las lunetas de la bóveda en el espacio curvo tienen un ángulo variable de imposta izquierda y un ángulo fijo de imposta derecha.

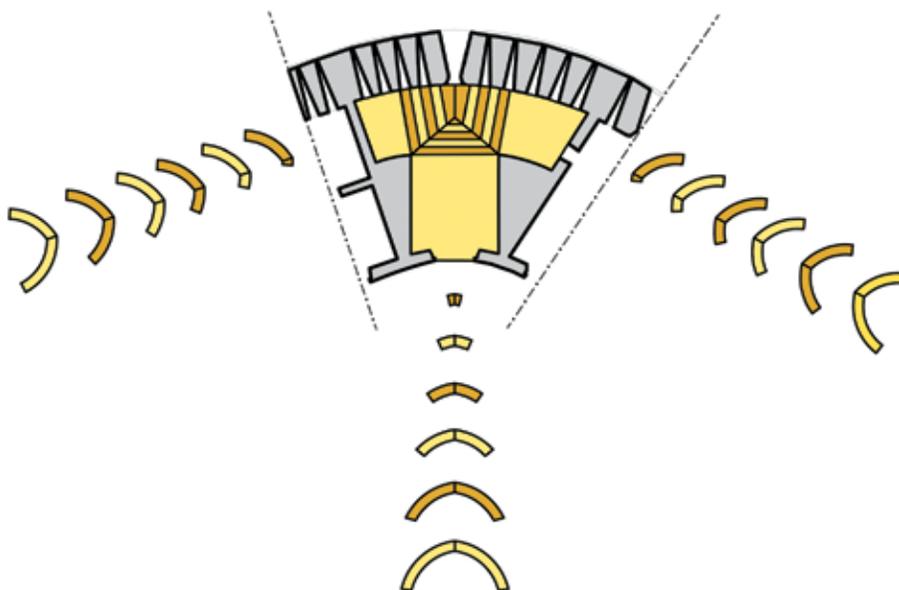


Figura 10. Análisis de bóvedas en las "necesarias" Fuente: Elaboración de los autores.

¹ Para una exposición detallada de los procedimientos de cálculo, así como el algoritmo propuesto, se recomienda leer los artículos: Paradiso, M., Tempesta, G. and Galassi, S. (2004); Galassi, S., Paradiso, M., Pieroni, E. and Tempesta, G. (2011); Galassi, S., Paradiso, M. Pieroni, E. and Tempesta, G. (2011) y Galassi, S., Paradiso, M. and Tempesta, G. (2013), mientras que, en cambio, los estudios de caso en los que se utilizó un procedimiento de este tipo se pueden encontrar en los artículos de Paradiso, M., Tempesta, G., Galassi, S. & Zerboni, D. (2012) y Galassi, S., Paradiso, M., Tempesta, G. & Zerboni, D. (2013)

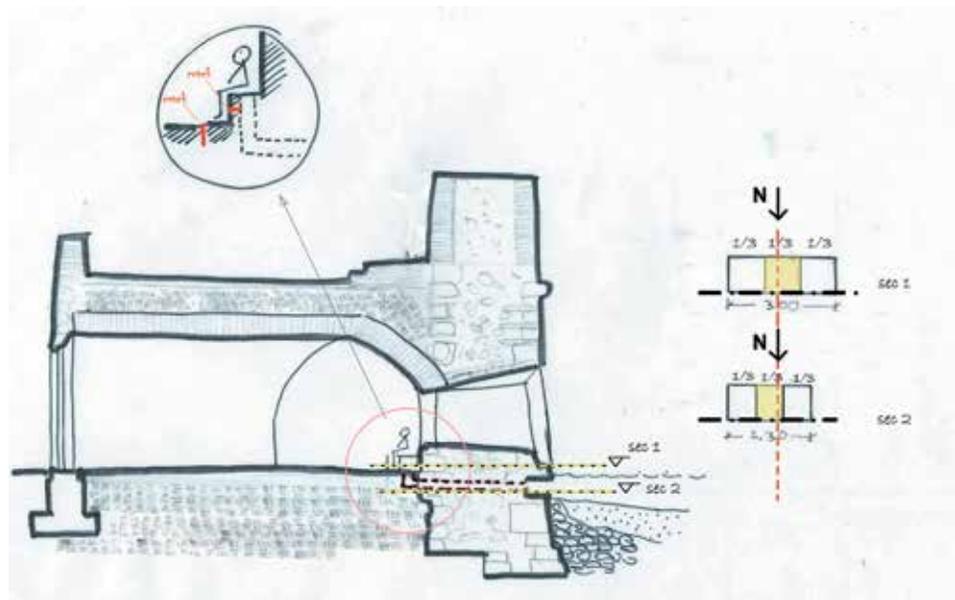
Cada uno de los arcos anteriores fue modelado estructuralmente y computado por un ordenador, utilizando los procedimientos y software mencionados anteriormente. Una vez que se comprobó que también en este caso, cada arco y por lo tanto, todas las tres lunetas resultaron ser capaces de soportar las cargas para las que fueron diseñados, se concluyó la verificación mediante el examen de la condición de estabilidad de dos arcos diagonales que parten de la intersección de las dos bóvedas. Tales arcos, con una profundidad de cero, son dos arcos adicionales llamados a transferir los empujes de los arcos de lunetas en las paredes periféricas. También en este caso, el cálculo demostró su condición de estabilidad. Para el procedimiento de discretización geométrica estructural, así como el algoritmo de cálculo, se recomienda el artículo de Galassi, S., Paradiso, M. and Tempesta, G. (2012).

El análisis de las “necesarias” se concluyó sucesivamente mediante el estudio de la estabilidad de la pared circular externa. Esto pone de relieve un patrón de grieta bastante evidente que se explicará desde un punto de vista estructural.

La pared en estudio es de 3,00 metros de profundidad y 1,40 metros de altura desde el suelo hasta la imposta de la bóveda apuntada. Este muro circular está en contacto directo, en su parte más baja y en la base con el agua. Obviamente, debido a su masivo espesor, no es un muro de una sola capa: se trata de un “muro a saco” compuesto de tres partes, dos tabiques exteriores de bloques de piedra de aproximadamente 60 cm de espesor y un tabique interno relleno de escombros y piedras más pequeñas de aproximadamente 180 cm de espesor.

Con el fin de determinar su condición física, se realizaron dos verificaciones en dos secciones significativas de la pared (ver Figura 11). La primera (sección 1) fue individualizada a nivel del piso interior; La sección 2, un poco hacia abajo. En ambos casos, el procedimiento de verificación consistió en el cálculo de la fuerza resultante, obtenida mediante la suma vectorial de la idea central de la bóveda y el peso propio del muro. Al escribir la ecuación de equilibrio de momentos, el punto de aplicación de la compresión se calculó entonces, con respecto al centro de gravedad y el núcleo central de inercia.

Figura 11. Análisis de estabilidad y verificación de condiciones de compresión-flexión en la pared circular externa
Fuente: Elaboración de los autores.



Inicialmente, sólo la sección 1 fue considerada. En esta sección, de 3,00 metros de profundidad, el punto de aplicación de compresión estuvo dentro del tercio medio y, por esta

razón, su verificación fue satisfecha. Por lo tanto, la razón para un patrón de grietas tan pronunciado continuó siendo un misterio. Por encima de todo, la profunda fisura elíptica en el suelo, así como las otras en la pared, que lo cruzaban, no eran fácilmente explicables. Se llevaron a cabo nuevas investigaciones de pared, esta vez desde el exterior, en el agua de mar. Con la marea baja, el estudiante coautor de este trabajo, se dio cuenta de que en la parte inferior de la pared, a un nivel más bajo que el de la planta, había una larga y continua hendidura (ver Figura 12), que con la marea alta permanecía oculta. Las siguientes mediciones demostraron que la pared tenía un desfase de aproximadamente 70 cm por 10,00 metros de largo por debajo del nivel del suelo; por lo tanto, el espesor de sección resistente no mide 3,00 metros, sino 2,30 metros. Por ello, la sección I fue renombrada sección 2. Se realizó un nuevo análisis refiriéndose a esa sección, y el punto de aplicación de la compresión resultó estar cerca del borde externo del núcleo central de inercia. Sin embargo, este resultado tampoco justifica la presencia de las grietas detectadas, incluso si es un indicador de la tendencia de la pared para volcarse hacia el mar.

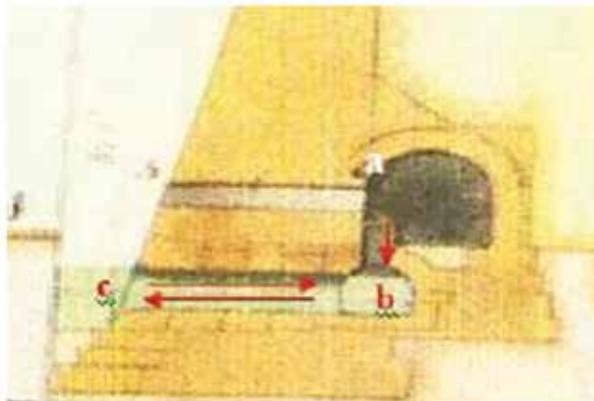


Figura 12a – 12b. Pared externa de los baños y Esquema típico de aparatos sanitarios en un fuerte contemporáneo análogo a San Fernando
Fuente: Elaboración de los autores.

Entonces, ¿cuál es la razón de la presencia de un desplazamiento como este? La sección de pared es cónica en su exterior para toda la longitud de la zona circular del cuarto de baño. En el interior, los retretes están contra la pared circular. Este desplazamiento es la salida de sistema de drenaje sanitario del cuarto de baño. Dado que no era posible encontrar los planos originales de las instalaciones sanitarias, ni realizar inspecciones directas, la Figura 12b muestra la sección transversal del esquema de instalaciones sanitarias de un fuerte contemporáneo análogo al de San Fernando. Por consiguiente, la razón de los daños estructurales en las “necesarias” se debe necesariamente a una combinación de causas que se describen, de forma rápida, en el esquema de la Figura 13a.

Ya que las verificaciones de presión y flexión de la pared circular fueron satisfechas, está claro que el muro en sí no habría sufrido un daño tan extenso si hubiera sido capaz de trabajar como una sección compacta y unitaria (la condición que se supone debe llevar a cabo los análisis de las dos secciones actualmente en estudio). Por lo tanto, la única explicación plausible se basa en el supuesto de que la separación de los tres tabiques del “muro a saco” se ha producido a lo largo de las líneas de fisura dispuestas verticalmente. Este fenómeno ha ocurrido como resultado de una combinación de eventos, tales como:

- Las operaciones de dragado para profundizar el lecho marino llevadas a cabo en diferentes momentos, el maltrato y la acción erosiva de las olas en la pared circular han removido lentamente el suelo del monumento bajo sus pies, ocasionando el deslizamiento de la base de la propia pared;

- La presencia del desfase de pared debido al sistema de drenaje de baño, que, en cierto sentido, produjo una pared saliente, junto con el envejecimiento y la degradación del mortero que debió mantener el tabique interior pinzado y firmemente conectado a los tabiques exteriores e interiores, facilitó el fenómeno de desprendimiento de los tres tabiques de la pared, lo que provocó tensiones de flexión en el tabique externo y la consiguiente tendencia de su vuelco hacia el mar;
- El tabique interior, por ahora separado de dos tabiques laterales y carentes de la capacidad de cohesión de mortero, actuó como un cuerpo impotente y sin forma que durante el kinematismo siguió el tabique externo sobre el cual se inclinó, separando cada vez más el interno.

De esta manera, sólo el tabique externo, con 60 cm de espesor, es la sección resistente de toda la pared que mide geoméricamente 2,30 metros en su sección más estrecha; él está obligado a apoyar todo el empuje de la bóveda del baño además de su propio peso.

En conclusión, como Salvatore Di Pasquale² diría, en un edificio de mampostería siempre existe una distinción entre la “estructura aparente” y “estructura de reacción” y lo desconocido del problema es sólo el descubrimiento de la estructura de reacción real, a partir de la estructura geométrica asignada. En el caso concreto de la pared circular del fuerte de San Fernando, el análisis se llevó a cabo de acuerdo con este razonamiento.

La verificación de la compresión y flexión se ejecutó de nuevo, esta vez en la sección de reacción individualizado de reacción real, y el punto de aplicación de compresión resultó estar muy por fuera del tabique núcleo de inercia; esta condición demuestra la razón del patrón de grieta detectado (ver Figura 13b).

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Ahora bien, debido a que en la pared externa curvada de las “necesarias” se detectó el patrón de grieta más significativo y que los daños estructurales creados por la erosión de base (debido a las intervenciones mecánicas humanas, el impacto y las acciones de la corrosión de las olas, así como la descomposición del mortero), son mayores, los autores están convencidos de que la intervención más importante debe consistir en la aplicación de un sistema de postes de madera, que debe estar siempre cubierto por el agua de mar, mutuamente conectado por barras transversales planiméricamente dispuestas en forma de X y situado en filas paralelas unidas a la base de la pared. Esta intervención consolidaría el fondo marino y los cimientos de los muros, pero, al mismo tiempo, formaría una especie de “barrera rompeolas” capaz de reducir el impacto de las olas en los muros cortina.

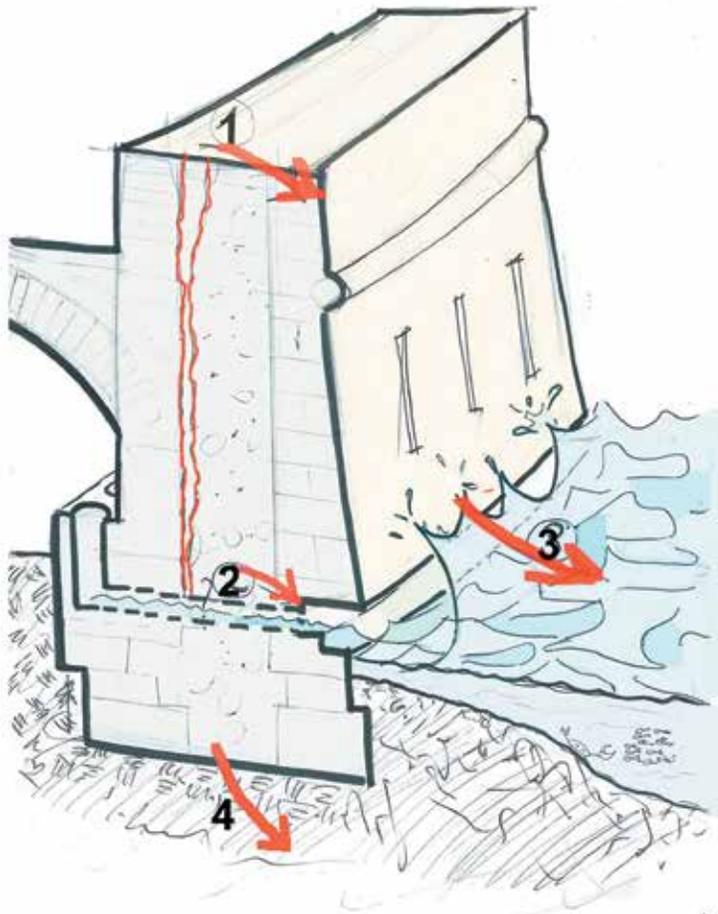
Asimismo, también sería aconsejable realizar inyecciones de mortero e introducir elementos diatónicos. La Figura 14 muestra esquemáticamente la idea de la intervención que los autores propondrán a las autoridades competentes a fin de evitar la pérdida completa de este monumento.

CONCLUSIONES

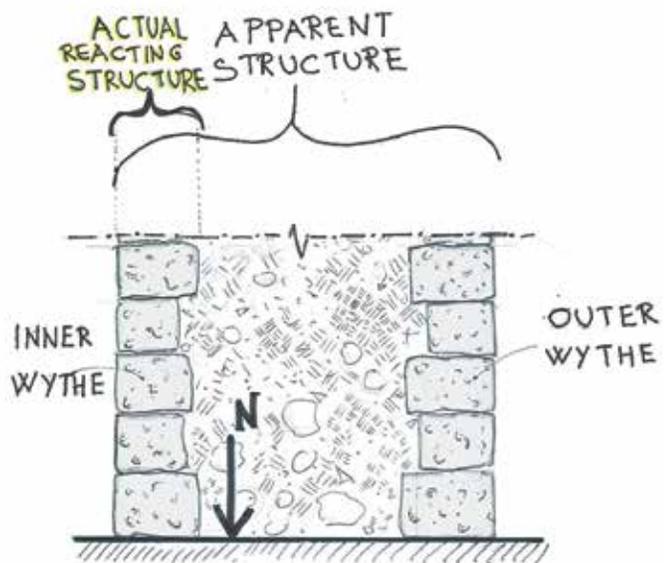
Este artículo presentó el estudio del fuerte de San Fernando de Bocachica, un maravilloso ejemplo de la arquitectura militar de Colombia, con la intención de contribuir, valiosa y

² Ex profesor en Ingeniería Estructural en la Universidad de Florencia.

Figura 13a - 13b. Esquema de hipótesis sobre las causas de los daños
Fuente: Elaboración de los autores.

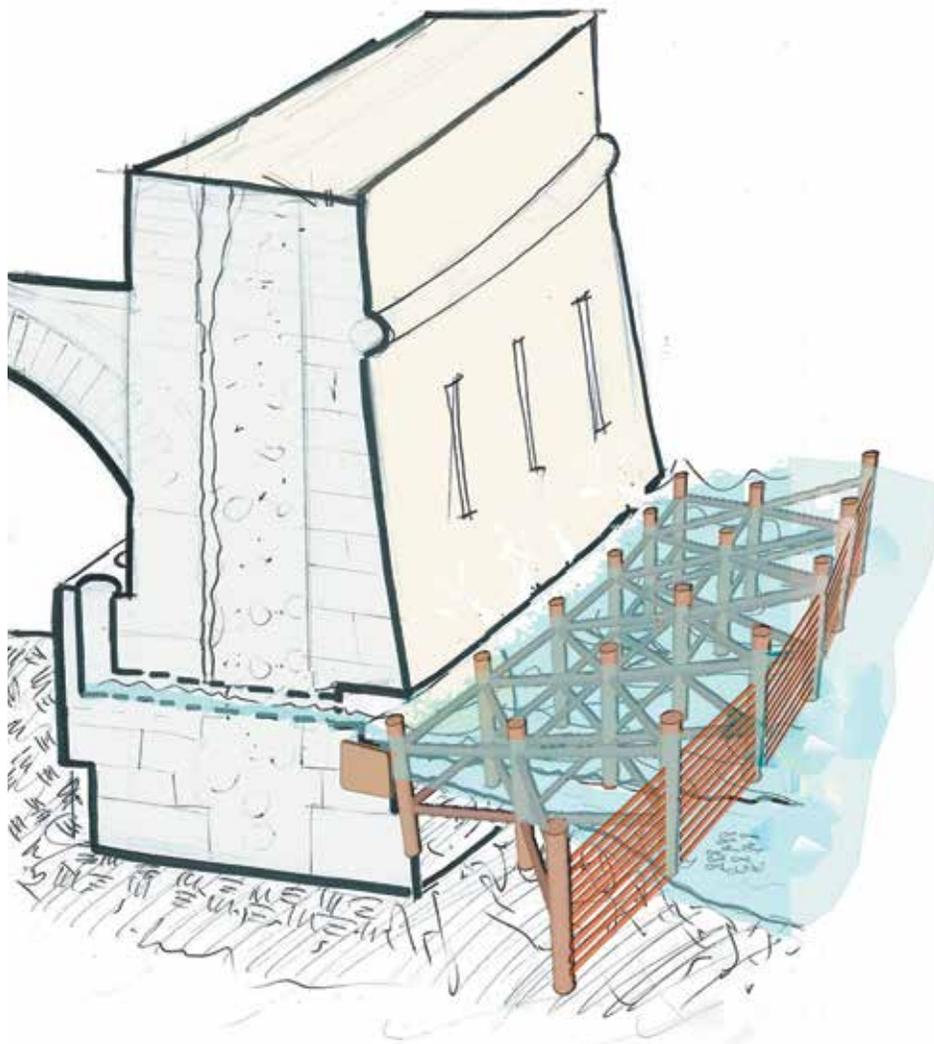


a)



b)

Figura 14. Esquema explicativo de la propuesta de intervención
Fuente: Elaboración de los autores.



significativa, en el conocimiento de esta importante estructura declarada por la UNESCO en 1958 como monumento arquitectónico.

Se discutieron consideraciones acerca del levantamiento arquitectónico y matérico; así como del estado decadente de la edificación. Se destacó en particular un patrón de fisuras anchas a lo largo de la totalidad del muro circular exterior, con el fin de suscitar algunos cuestionamientos.

Mediante la realización de investigaciones exhaustivas relativas al recinto de los baños, el artículo expuso resultados y explicaciones estructurales de la presencia de las fisuras encontradas. Este recinto sin duda fue el más significativo para los objetivos de esta investigación, no sólo por su forma planimétrica característica, sino también por su estado decadente y las profundas grietas en el suelo y en la pared.

Se llevó a cabo un análisis estático no lineal para las bóvedas, con el fin de evaluar la condición límite de equilibrio al dibujar los contornos de esfuerzos simultáneamente con las solicitaciones transferidas al muro circular. Se verificaron la seguridad y la estabilidad del muro mediante la aplicación de ecuaciones de equilibrio de cuerpo rígido. La verificación

de la sección al nivel del suelo no resaltó problemas particulares, debido a que el punto de aplicación de compresión cae dentro del tercio medio. La “primicia”, entonces, consiste en haber identificado una zona débil en el muro, justo debajo del suelo, donde se estrecha la sección de mampostería para proporcionarle una salida hacia el mar al sistema de drenaje sanitario.

De igual forma, se verificó la sección. Como resultado de estas evaluaciones, los autores plantearon hipótesis de las posibles causas del daño y las validaron numéricamente. La razón de este daño, agravada por el ataque de agua salina y violentas olas que sin duda han contribuido a una reducción adicional de la sección resistente, parece remontarse a las decisiones tal vez un poco arriesgadas, aunque equilibradas, por parte de los diseñadores del fuerte.

En la actualidad, el análisis global del edificio (se puede encontrar una descripción en Benedetti (2013)) está siendo terminado. Sin embargo, mientras tanto, es interesante señalar los problemas estructurales derivados de la geometría constructiva particular de las siete habitaciones comprendidas entre las dos habitaciones en forma de T, en la sección elíptica del fuerte. Incluso en este caso, los diseñadores del fuerte tomaron decisiones bastante sorprendentes, eligiendo construir habitaciones rectangulares con muros de espesor variable (forma trapezoidal) en lugar de habitaciones trapezoidales divididas por muros de espesor uniforme, que hubiera sido la decisión más lógica. Esta elección se debe probablemente al hecho de que, al querer construir una cubierta abovedada, el problema de construir bóvedas de cañón con riostras de ángulos variables sobre una luz/vano variable podría ser evitado (de lo contrario un esquema intradós de forma variable, de una sección transversal a otra, se debería haber diseñado o la bóveda debería haberse fijado en una superficie en pendiente).

En cualquier caso, es importante destacar que el muro elíptico, a lo largo de su desarrollo, ha sido sometido a fuerzas ortogonales a su plano de resistencia, aplicadas en la parte su-

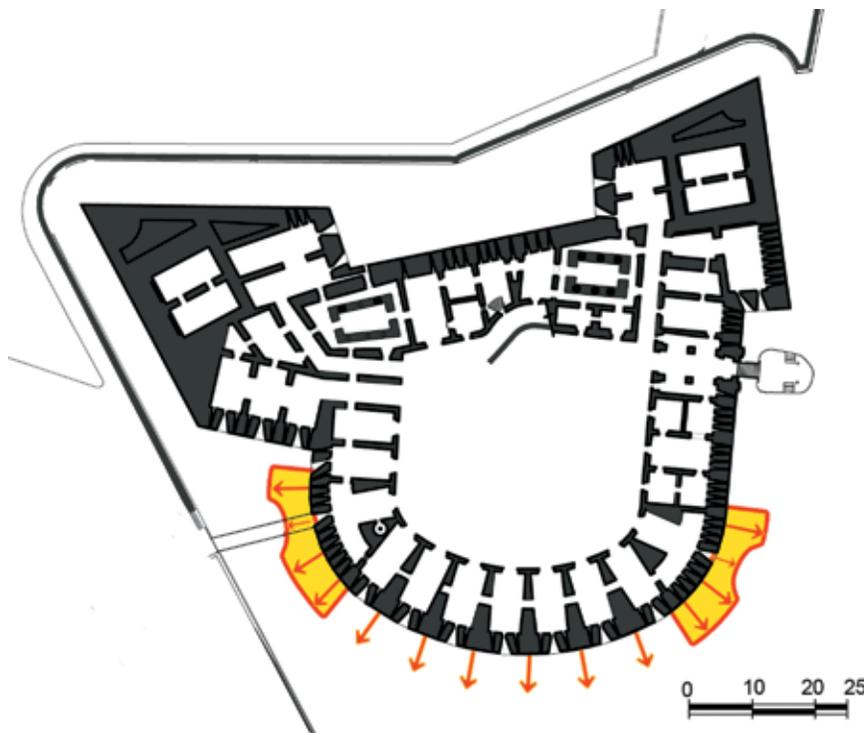


Figura 15. Acciones a lo largo del muro elíptico externo: distribución de empujes correspondientes a los cuartos en forma de T y empujes puntuales correspondientes a las siete habitaciones intermedias
Fuente: Elaboración de los autores.

perior, y, por lo tanto, a fuerzas radiales transmitidas por un complejo sistema de cubierta abovedado. Pero, mientras que en las dos habitaciones en forma de T, como se ha señalado anteriormente, estas fuerzas radiales son la consecuencia directa del empuje de la bóveda de cañón en la parte inferior y se extienden a lo largo de toda la longitud del muro, en las siete salas rectangulares intermedias las fuerzas radiales son el resultado del empuje de las bóvedas establecido en las particiones internas; esto se debe a la forma trapezoidal del muro que impide la anulación mutua del empuje de las bóvedas. Por lo tanto, mediante la aplicación de las leyes de análisis de vectores, utilizando la construcción gráfica de la regla del paralelogramo de fuerzas, se obtienen las fuerzas puntuales resultantes, ortogonales a la pared, aplicadas en correspondencia con las particiones radiales (ver Figura 15).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Arquitecto Alberto Samudio Trallero y a su oficina, por su importante colaboración, y al Arquitecto Alberto Herrera Díaz, por su ayuda en la investigación del material de estudio. Además, un agradecimiento especial al investigador Claudio Babuscio y al Profesor Edgar Quiñones. Gracias a Libby Lee y Daniela Zerboni, por su ayuda en la redacción de este artículo.

REFERENCIAS

Benedetti, S. (2013). *Analisi della Consistenza Statica e del Degrado del Forte di San Fernando de Bocachica, Cartagena de Indias, Colombia*, Degree Thesis, University of Florence, School of Architecture, Department of Architecture (DiDA), supervisor Prof. M. Paradiso, Co-examiners Ph.D. S. Galassi and Prof. M. De Vita. Florence.

Campos, D. P. (2003). *Investigación del Fuerte de San Fernando de Bocachica: una visión integral*. Valencia: Valencia Editorial de la UPV.

Covo Torres, J. (1988). *La casa colonial cartagenera*. Bogotá: El Ancora Editores.

Galassi, S., Paradiso, M., Tempesta, G. & Zerboni, D. (2013). The medieval bridge over the Rignalla brook near Florence: analysis and rehabilitation project, *EDA – Esempi di Architettura*. Disponible en: http://www.esempidiarchitettura.it/ebcms2_uploads/oggetti_articolo_190_ITA_P2Vve4MhWug9xtvZZv8BdgWY2WwfMyatrVMvQqCD.pdf.

Galassi, S., Paradiso, M. & Tempesta, G. (2012). X-Vaults: a Software for the Analysis of the Stability of Masonry Cross-Vaults. In: *Computer Science Issues*, 9(2): 133-142. Disponible en: <http://www.ijcsi.org/papers/IJCSI-9-2-2-133-142.pdf>.

Grupo De Trabajo Hidroconsultores Ltda. *Estudios oceanográficos y de la dinámica costera y diseños de las alternativas de protección costera a los fuertes de San Fernando y San José en el canal de acceso a la bahía de Cartagena*. Cartagena de Indias: Contratante A&A Bocachica.

Galassi, S. (2008). *ArchiVAULT: a software for the analysis of masonry arches composed of rigid blocks jointed with or without interposition of mortar; inside* [Thesis, supervisor Prof. M. Paradiso]. *Analisi numerica di sistemi voltati in muratura rinforzati con materiali compositi (FRP)*.

Galassi, S., Paradiso, M., Pieroni, E. & Tempesta, G. (2011). *Analisi di archi in muratura su imposte cedevoli*. In: *Proceedings of Workshop on Design for Rehabilitation of Masonry Structures – WONDERmasonry*, ed. P. Spinelli and A. De Luca, 48-58. Florence. Pressed Polistampa.

Galassi, S., Paradiso, M. Pieroni, E. & Tempesta, G. (2011). Análisis de estructuras en mampostería sometidas a restricciones de desplazamiento: un algoritmo de cálculo no lineal. In: *Actas del XX Congreso Asociación Italiana de Mecánica Teórica e Aplicada (AIMETA)*, ed. F. Ubertini, E. Viola, S. De Miranda and G. Castellazzi. Bologna: Pressed Publi&Stampa.

Galassi, S., Paradiso, M. & Tempesta, G. (2013). Non linear analysis of masonry structures subjected to external settlements. In: *Open J. Civil Eng.*, 3(2A): 18-26.

Gutierrez, R. y Paolini, R. (1994). *El Caribe Fortificado*. Bogotá: Escala Ediciones, Uniandes.

Gutierrez, R. y Esteras, C. (1991). *Territorio y Fortificación, Vauban, Fernández de Medrano, Ignacio Sala y Félix Prósperi, Influencia en España y América*. Madrid: Ediciones Tuero.

Gutierrez, R. y Esteras, C. (1993). *Arquitectura y Fortificación, de la Ilustración a la independencia Americana*. Madrid: Ediciones Tuero.

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

Marco Dorta, E. (1951). *Cartagena de Indias, la ciudad y sus monumentos*. Sevilla: El Ancora Editores.

Sartor, M. (2004). *Omaggio agli Antonelli*. Udine: Forum Editore. Taller de Participación para la Formulación del PEMP. Ministerio de Cultura 23 de octubre.

Paolini, R. y Gutierrez, R. (1994). *El Caribe Fortificado*. Ediciones Uniandes.

Paradiso, M., Tempesta, G., Galassi, S., Pugi, F. & AEDES Software. (2000). *SAV: Stabilità di Archi e Volte in muratura; "SVM: Sistemi Voltati in Muratura*, software for the structural analysis of masonry vaulted systems. Disponible en: <http://www.aedes.it/>.

Paradiso, M., Tempesta, G. & Galassi, S. (2004). A numerical method for no-tension analysis of masonry arches. In: *Arch Bridges IV – Advances in Assessment, Structural Design and Construction, Proceedings of IV International Conference on Arch Bridges (ARCH'04)* (pp., 312-321), P. Roca and C. Molins (Eds.). Barcelona: Pressed CIMNE.

Paradiso, M., Tempesta, G., Galassi, S. & Zerboni, D. (2012). The ancient bridge Romajolo in Bagno a Ripoli (FI): from the recent discovery to the rehabilitation project. In: *Structural Analysis of Historical Constructions – Cathedral in Wroclaw, Breslavia, Polonia, 2012, Proceedings of 8th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC 2012)*, ed. Jerzy Jasienko Breslavia, 2196-2204. Wroclaw, Poland.

Samudio, A. (2007). La arquitectura en Cartagena de Indias. In *Cartagena de Indias, un párpado de piedra bien cerrado*. Edited by: letrArte Editores. Bogotá.

Segovia Salas, R. (1982). *The Fortifications of Cartagena de Indias. Strategy and history*. Bogotá: Tercer Mundo Editores.

Segovia, R. (2006). *El lago de piedra, la geopolítica de las fortificaciones española en el Caribe (1586-1786)*. Bogotá: El Ancora editores.

Servicio Histórico Militar-Servicio Geográfico del Ejército. (1980). *Cartografía y Relaciones Históricas de Ultramar*, tomo V: Colombia, Panamá, Venezuela, Carpeta Cartográfica. Madrid.

Zapatero, J. M. (1969). *Las Fortificaciones de Cartagena de Indias, Estudio asesor para su restauración*, Madrid.

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