

APORTACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS Y CONSTRUCTIVAS DEL FUERTE DE SAN DIEGO EN ACAPULCO, MÉXICO

Contributions on architectural and constructive characteristics
of San Diego fort at Acapulco, México

Dr. Marcos Mejía López
Facultad de Arquitectura y Diseño
Universidad Autónoma del Estado de México, México
marcmejilop@hotmail.com

Dr. Horacio Ramírez de Alba
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma del Estado de México, México
hra@uaemex.mx

Dr. René Lauro Sánchez Vértiz Ruiz
Facultad de Arquitectura y Diseño
Universidad Autónoma del Estado de México, México
rlsvr@yahoo.com.mx

Fecha de recibido: 2 mayo 2012
Fecha de aceptado: 15 junio 2012

pp: 125-142



FAD | UAEMéx | Año 8, No 13
Enero - Junio 2013

RESUMEN

Mediante la inspección directa de la fábrica del Fuerte de San Diego, así como el análisis de información relacionada, se establecen aspectos formales de su trazo, geometría, composición y diseño; adicionalmente se presentan datos sobre las características físicas y mecánicas de los materiales de construcción y se hace una propuesta sobre el posible proceso constructivo. Se establecen analogías de acuerdo a Christoval de Rojas (1598), en “Teoría y práctica de la fortificación” y se concluye que el diseño y construcción del Fuerte se basó en los criterios establecidos en dicho tratado. Finalmente, se argumenta que no se cuenta en el sitio con información impresa para los visitantes, por lo que el presente escrito puede ser útil para ese propósito.

Palabras clave: Fortificación, construcción, estructura.

ABSTRACT

Through direct inspection of the San Diego Fort building, as well as the analysis of related information, the formal aspects on its outline, geometry, composition and design, are established. Additionally, data of the physical and mechanical characteristics of the building materials are presented, and a proposal on the possible structural process is made. Analogies with the work “Teoría y práctica de la fortificación” by Christoval de Rojas (1598) are remarked, and it is concluded that the design and construction of this fort were based on the criteria established in that treaty. Finally, due to the lack of written information offered to the visitors of the fort, this study seems to have the potential to become a useful tool for that purpose.

Key words: Fortification, building procedure, structural performance.

Introducción

La tecnología y el diseño de las fortificaciones españolas, trascendió de forma definitiva en la construcción de fuertes y construcciones militares en Nueva España. Los trabajos de esta tipología fueron más que necesarios para la salvaguarda de las actividades políticas, comerciales y sociales de la nueva extensión del imperio español. Se tienen ejemplos en las costas del Pacífico, el Caribe y el Golfo de México. En este sentido, uno de los ejemplos más evidentes y trascendentes lo constituye el Fuerte de San Diego en Acapulco en su última edificación. Se considera que este inmueble presenta aportaciones definitivas para conocer la tecnología y los materiales base para el diseño y composición de las fortalezas militares. El Puerto de Acapulco perteneció durante el virreinato a la Intendencia de México, que comprendía una parte extensa de la zona central del país incluyendo el actual estado de Guerrero. Al establecerse la República Federal, en principio el Estado de México comprendió el territorio de la antigua Intendencia, que posteriormente fue perdiendo territorios para formar otros estados, por este motivo, se considera que al tratar los monumentos inmuebles del Estado de México es necesario incluir al Fuerte de San Diego como importante ejemplo de la ingeniería y arquitectura militar. En la figura 1, se muestra una vista parcial del Fuerte, motivo de este trabajo. Por su importancia estratégica, el Fuerte de San Diego en su tiempo, trascendió no sólo en Nueva España, sino también en Europa, al embarcar de este lugar la Nao de China, que permitía el comercio entre América y Europa, con Oriente.



Figura 1. Vista parcial del Fuerte de San Diego en Acapulco (fotografía de los autores)

El objetivo de este trabajo, es analizar las principales características técnicas relacionadas con los aspectos arquitectónicos y constructivos de este monumento y comparar con lo establecido en el tratado sobre fortificaciones de Christoval de Rojas (1598). El desarrollo del trabajo se basa principalmente en los estudios llevados a cabo directamente en el sitio por los autores, así como el examen de fuentes de información relacionadas.

Este trabajo es parte de un proyecto de investigación, sin embargo su alcance es de divulgación y en parte, pretende ser una propuesta para que los datos más importantes sirvan para la elaboración de folletos explicativos que puedan ser utilizados por los visitantes que acuden al museo que funciona actualmente en el Fuerte.

El método seguido para el desarrollo de este trabajo comprendió:

1. Obtención de información directamente en el inmueble, en particular sobre: a) aspectos formales de la composición y el diseño, b) las características geométricas mediante levantamientos arquitectónicos y topográficos, y c) la caracterización de los materiales mediante pruebas no destructivas.
2. Contrastar los datos obtenidos con otras fuentes de información, principalmente el *Tratado de Fortificaciones* (Rojas, 1598) para conocer en qué medida se siguieron los criterios formales.
3. Proponer la posible secuencia constructiva, así como analizar el posible comportamiento estructural esperado.
4. Destacar los principales hallazgos y proponer un formato general para un posible folleto informativo.

Antecedentes

En 1565 desembarcó en el Puerto de Acapulco, Fray Andrés de Urdeneta, quien volvía de las Islas Filipinas dejando establecida la ruta de regreso de Asia por el Pacífico. Gracias a esa circunstancia, ese año empezó a navegar *El Galeón* que por más de 200 años mantuvo, con interrupciones frecuentes y a veces prolongadas, el comercio español con Oriente. Esta fue la razón principal de una fortificación en el lugar, proteger al *Galeón*, de Filipinas.

Las investigaciones que han hecho los encargados del museo que funciona en este Fuerte, y un resumen de fuentes básicas de información, indican que existió un primer emplazamiento por el año 1608, consistente de algunas defensas con muros de piedra y un edificio de madera, posiblemente con techo de teja, lo que puede explicar la presencia de pedacería de arcilla cocida en la masa del mortero, usa-

do en etapas constructivas posteriores. En 1615 una flota holandesa invadió la bahía, aunque sólo intercambió prisioneros españoles por víveres; este hecho y otros amagos semejantes, movieron a La Corona a sustituir el primitivo baluarte por la fortaleza de San Diego. La obra se construyó de 1615 a 1617 por el ingeniero Adrián Boot, a quien también se le atribuye haber participado en el diseño de las fortificaciones de Veracruz. De este personaje se sabe que era holandés o francés, pero se ignora el lugar y fecha de su nacimiento y muerte. Más tarde se le mandó a Acapulco con el propósito de encargarse de la reestructuración del Fuerte de San Diego, al cual le añadió cinco reductos; de ese tiempo procede su *Mapa del Puerto de Acapulco*, considerado un valioso documento gráfico.

De esa fortificación, se sabe que en 1617 ya estaban terminados los cinco *caballeros* con sus parapetos, cortinas, murallas y terraplenes. Los nombres de los reductos defensivos llamados *caballeros* eran: Rey, Príncipe, Duque, Marqués y Guadalcazar. La portada también se había terminado. “Tenía en el frontispicio en lo superior de la puerta un globo, y debajo de él las armas reales en una piedra grande y muy potente, y debajo un letrero del tenor siguiente: *Reynando en las Españas, Yndias Orientales y Occidentales la Magd. del Imbictissimo y Católico Rey Don Felipe nuestro Señor, Tercero de ese nombre, siendo su Virrey Lugar Teniente y Capitán General en los Reynos de la nueva España Don Diego Fernandez de Córdoba, Marqués de Guadalcazar, se hizo esta fortificación. Año de 1616, Yngeniero Adrian Boot.*” (Belén, 2008).

Unos cuarenta años más tarde se hicieron reparaciones en las cortinas, parapetos, explanadas, foso, puente levadizo, estacada, puertas, sala de armas y cuartelería. En la Enciclopedia de México se menciona que “...destruida por un terremoto en 1776, la nueva construcción no tuvo la magnificencia de la anterior. El castillo primitivo fue enteramente irregular, levantado sobre grandes desniveles, jalonado por *caballeros* en lugar de baluartes, y estribado en cinco bonetes, o sean obras exteriores a manera de cola de golondrina” (Enciclopedia de México, 1978). Sin embargo se tienen otras opiniones contrarias, por ejemplo, “...un eminente y estrecho castillo, que se dice tiene cuarenta cañones en su mayor altura” (Ortiz, 1993) y otra de 1776, “...situado a 422 varas (370 m) de la ciudad, sobre una loma. Su figura pentagonal, irregular, se considera inadecuada para la defensa, por no guardar las reglas de la fortificación en ninguna de sus partes” (Cabeza, 1991). Lo que queda claro es que ya se perfilaba un pentágono muy irregular, uno de sus *caballeros* viendo al sur con bastante proximidad a la costa, lo anterior tomando en cuenta el plano del antiguo y nuevo fuerte de 1777 de don Ramón Panón. Después de que esa fortaleza fuera destruida parcialmente por el terremoto de 1776, fue reconstruida de 1778 a 1783 según proyecto que formuló el ingeniero Miguel Constanzó, nacido en Barcelona, España, quien murió en la ciudad de México en 1814 y fue autor del *Diario histórico de los viajes de mar y tierra hechos en el norte de California* (1771). Sobre este documento se menciona: “La narración del diario es la de un científico, observador y formal, con valiosos datos —los prime-

ros— de la orografía y la flora del litoral alta californiano” (Enciclopedia de México, 1978). En otra parte se describe que: “La fortificación posterior fue de menor tamaño y con planta de estrella de cinco puntas, rodeada por su foso. Llevó glacis (explanadas) en algunos lados y en otros quedó protegida por el acantilado. Construida sobre bóvedas de cantería, tuvo cinco baluartes (San Antonio, San Luís, La Concepción, San Juan y Santa Bárbara) hechos de sillar grande y ladrillo” (Enciclopedia de México, 1978). Por lo tanto, el nuevo diseño también se basó en el polígono de cinco lados pero en este caso, su trazo corresponde a un pentágono regular. Se puede agregar que Moncada (1985), menciona la participación y otorga el crédito al ingeniero Ramón Panón, de modificar el proyecto original de Constanzó, el cual era un pentágono de forma irregular, en cambio el proyecto final de Panón se basó en un pentágono regular. Como se abundará más adelante, se logró buena aproximación respecto a dicha figura geométrica tanto en el trazo como en la construcción. Este edificio se concluyó en 1809 y es el que se conserva en la actualidad, aunque posteriormente se hicieron modificaciones, así como reparaciones por daños de diferente naturaleza.

Para tener idea de cómo se realizaba la construcción de las fortificaciones, se recurre al autor Cabeza (1991) que en la introducción de su libro, *Esclavitud, piratería y fortificaciones en Nueva España*, establece: “Por una parte, en la descripción que se hace de la forma en que se llevaron a cabo las obras podemos apreciar que el burocratismo y la corrupción son males viejos en nuestra nación, y los graves daños que el centralismo ocasionaba, pues a pesar de que los ataques piráticos eran más desastrosos cada día, las obras de defensa se llevaban a cabo con extremada lentitud y negligencia, y cada nuevo responsable de ellas encontraba forma de desechar los planes de su predecesor, llegando con frecuencia a exigir recursos a los habitantes de los lugares donde se deberían efectuar las obras para llevarlas a cabo, como si no se tratara de proteger enormes tesoros que sólo eran del beneficio del rey de la metrópoli. Así fue como una misma obra se iniciaba docenas de veces, se modificaba, se abandonaba, y generalmente tardaba diez veces más de lo que debía tardar” (Cabeza, 1991). Esto hace ver lo difícil que es ahora tratar de establecer una secuencia constructiva, pues se manifiestan cambios y alteraciones difíciles de explicar; es posible que la supuesta destrucción por un terremoto en 1776 haya sido solamente causante de daños que dieron ocasión a un proyecto nuevo que, tomando en cuenta las descripciones mencionadas, tenía magnificencia, aunque el autor Cabeza menciona que el terremoto tuvo su comienzo el día 21 de abril de 1776, y a raíz de ello fue enviado allí el ingeniero don Miguel Constanzó, quien procedió inmediatamente al reconocimiento del castillo, población, puerto y montes inmediatos, derrumbados en gran parte por la violencia de los terremotos de aquella fecha (pero sin precisar los daños en la fortaleza), y que habían continuado en menor escala hasta el día anterior a su informe.

Lo anterior explica en parte, las muchas reparaciones que muestra el inmueble, algunas bastante recientes que seguramente obedecen

a otras razones. Las reparaciones, como corresponden a diferentes épocas, se hicieron con diversas técnicas como mortero con rajuelas, sustitución de materiales, inyecciones de mortero y las más recientes con inyección de resinas epóxicas con morteros con aditivos endurecedores. También se observan en algunas partes placas metálicas que parece que corresponden a los anclajes de tensores metálicos, así como restos de viguetas metálicas que posiblemente soportaron losas de concreto armado; además de las lajas de granito con el fin de dar una apariencia uniforme como ya se comentó. Se puede agregar que hasta la fecha no ha existido un proyecto global de reacondicionamiento del inmueble. Una futura rehabilitación del Fuerte tendría que basarse en consideraciones formales, por ejemplo de la referencia del texto de Chanfón (1996), "Fundamentos teóricos de la restauración".

Arquitectura, trazo, diseño y composición

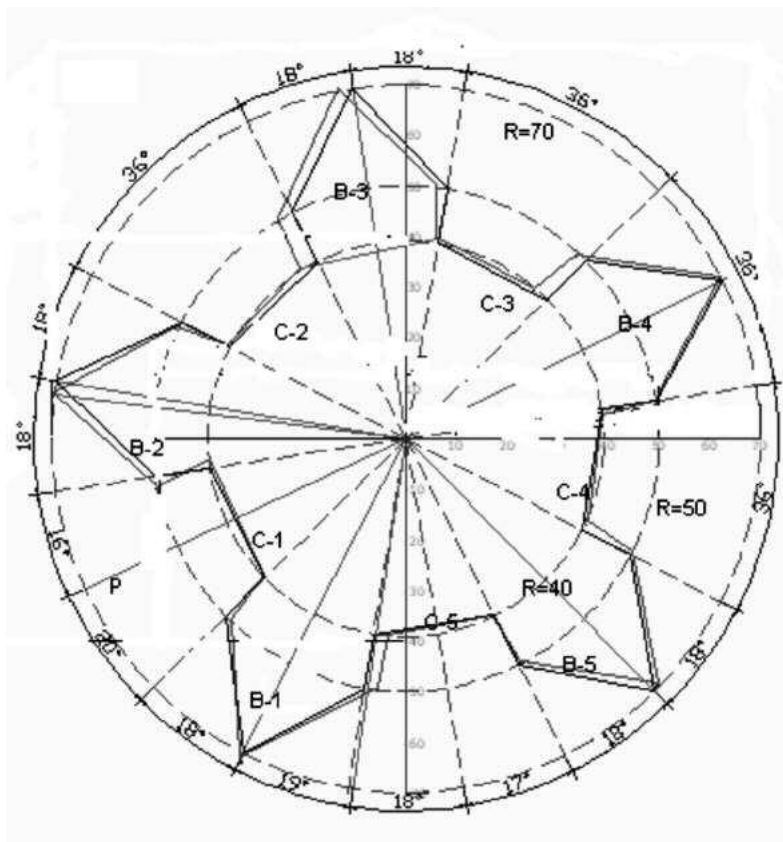


Figura 2. Características del trazo del Fuerte de San Diego (adaptación de los autores de la referencia Morales, 2009)

El trazo del Fuerte actual, tiene forma de pentágono regular y se encuentra inscrito en un círculo exterior con diámetro de 140 varas (116.9 m.), un círculo concéntrico con diámetro de 100 varas (83.5 m.) define los quiebres laterales de los cinco baluartes y otro círculo interior con diámetro de 80 varas (66.8 m.) define los puntos donde terminan los flancos de los baluartes y principian las cortinas. Se asume que en el trazo se utilizó la *vara castellana* equivalente a 835 mm. El ángulo de trazo para la punta de cada uno de los baluartes es de 72° con pequeñas variaciones. El eje de simetría más próximo al Norte Astronómico forma un ángulo de $10^\circ 48'$, es probable que esta característica se haya debido a la observación y estrategia de defensa y ataque respecto a la bahía, ya que no era usual en este tipo de edificios seguir un criterio general respecto a la orientación astronómica. Las principales características del trazo se presentan en la figura 2. Como se estableció en los antecedentes, es Ramón Panón quien proyecta y construye la actual forma de pentágono regular retomando los cánones establecidos por Christoval de Rojas, pero también influenciado por tratados clásicos como Vitrubio y Le Pestre.

Al examinar la figura 2, se constata que no puede haber una geometría más sencilla que satisfaga los criterios defensivos del Fuerte. Los aparatos de medición disponibles en la época de construcción eran la brújula, las cintas de medición arcaicas, el teodolito incipiente (más adelante se describe), la plomada, el nivel de canaleta y las escuadras de madera. Considerando estas limitaciones y el emplazamiento sobre un terreno muy accidentado, sorprende la exactitud lograda, pues el error en los ángulos que definen los picos de los baluartes no resultó mayor de 2° , es decir, el trazo de la construcción siguió de forma fiel el diseño geométrico del pentágono, lo cual se puede valorar en la figura que nos ocupa y que muestra la geometría teórica como antes se describió y el trazo real según medidas en el lugar en abril de 2007.

Con los levantamientos realizados se pudieron conocer las dimensiones y distribución de los elementos funcionales del Fuerte, por lo que pudieron definir los principales espacios interiores como se presenta en la figura 3.

El capitán Christoval de Rojas en su tratado, menciona como forma alternativa de trazo ideal, el diseño de fuertes en el “Recinto del Pentágono” (Rojas, 1598:42), este aspecto fue tomado de forma canónica por el ingeniero militar español, Panón, para proyectar, trazar y construir el fuerte actual. En el mismo tratado mencionado se desarrolla una planta pentagonal imaginaria (Rojas, 1598:43) similar a la que se tiene en Acapulco, esto valora más su arquitectura desde el punto de vista técnico, al dar estilo al monumento y desde el punto de vista académico, ya que está basado en los trazos técnicos y científicos de la época colonial, como se puede observar en la figura 4.

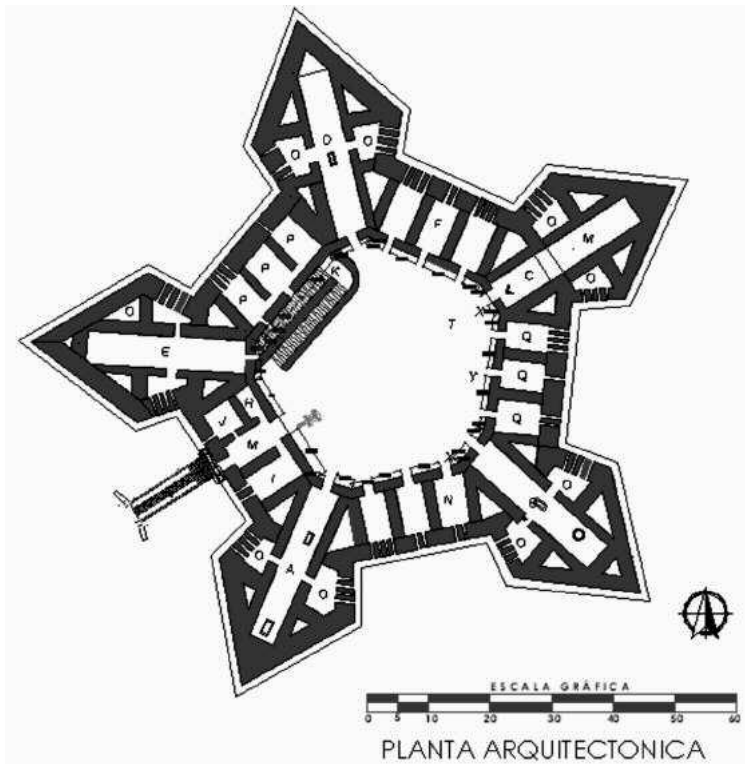


Figura 3. Distribución de los espacios interiores del Fuerte (adaptación de los autores de la referencia Morales, 2009)

DE LA FORTIFICACION. 43
 gila, y calimata, y quedaron yto de coarinas franca, y por este orden se yro haciendo lo demás que le figue guardando todas las medidas del abecedario, que queda atrás.

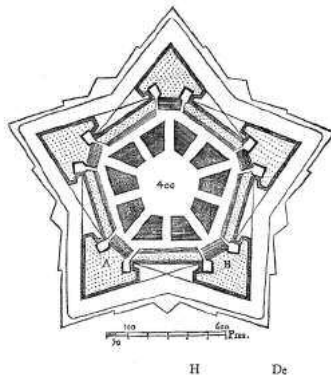


Figura 4. Trazo ideal de un Fuerte en forma de pentágono (Rojas, 1598)

El trazo del Fuerte pentagonal resulta muy útil para lugares que tienen una *cara* dirigida al mar y otra a tierra, ya que son muy versátiles para los movimientos estratégicos de ataque, contra-ataque, vigilancia y resguardo interno. Antes de construir un Fuerte, se recomendaba a los constructores realizar su trazo en papel sobre una tabla, para verificar dimensiones, ángulos y formas geométricas con escuadra y compás, antes de hacer el trazo en el sitio a escala real con cuerdas y colocar las estacas para iniciar los cimientos (Rojas, 1598:66); ya que con esto, se tendría una planeación correcta de la edificación. También en el mismo tratado, se menciona que se pueden realizar fuertes de trazos y diseño de formas irregulares y trapezias (sic), lo cual corresponde al anterior Fuerte, que, como ya se ha mencionado, sufrió los estragos de un fuerte sismo y se tuvo que reemplazar por el existente.

En su generalidad el nuevo programa arquitectónico utilizado en la composición del Fuerte incluyó: cinco baluartes que finalmente llevarían los nombres de La Concepción, Santa Bárbara, San Luis, San Antonio y San José; capilla, calabozo, rampas, cocina, aljibe, letrinas, puente, plaza, habitaciones, almacenes, foso y acceso cubierto, entre otros.

La arquitectura y sus influencias académicas de la época se observan en los detalles de la puerta de acceso donde aparecen pilastras de orden clásico con un remate triangular y varios pináculos o acroteras de forma circular, a la manera de los edificios de la última fase de la Nueva España.

El foso es también impresionante y detallado con un puente de unión formado por arcos de medio punto que recuerdan los realizados en las ciudades italianas pero en menor escala. Los baluartes y cortinas de muralla o escarpa de forma inclinada han sido en su totalidad restaurados y destacan por su limpieza de formas y destreza de composición ya que las uniones son del todo congruentes con la estereotomía de la fábrica rústica. Los *garitones* o pequeñas torres de observación y defensa de la fortaleza tienen formas circulares y molduras toscas (figura 1), que, más que de una arquitectura neoclásica, su concepción estética es barroca. Otro elemento indispensable son las almenas o cañoneras que destacan en la parte alta del conjunto arquitectónico y desde lejos dan unidad y carácter a este monumento militar. Son una volumetría que identifica su presencia pasiva, pero de actividad de contra-ataque. Las características básicas de las fachadas y secciones del fuerte, es muy probable que hayan sido extraídas del tratado antes mencionado, pues los fosos, escarpas y baluartes tienen similitud con las imágenes de ese documento (Rojas, 1598:69), donde también se menciona la capacidad ideal de un Fuerte para 2000 hombres, que fue el caso del Fuerte de San Diego. Sobre esta cifra se ha discutido mucho y no debe entenderse como el número de personas que se alojaban normalmente en el recinto, sino los que podrían ser protegidos en caso de ataque. Datos adicionales de la arquitectura y geometría del Fuerte se pueden consultar en el trabajo de Morales (2009). Se tienen en el conjunto en fachada una serie de aspilleras, que seguramente fueron de uso de arcabuces, con forma de rectángulo alargado, este elemento

arquitectónico se utilizó para el ataque de cercanías, ya que las cañoneras eran por lo regular de alto alcance y en este caso, están en la parte alta del Fuerte.

Finalmente, en la composición, trazo y diseño de los fuertes se utilizó un aparato que en la parte de en medio contaba con una brújula básica formada por un imán y un elemento circular, el cual tenía a su vez una especie de compás y una serie de brazos para conseguir trazos ideales; los círculos estaban graduados a diferentes ángulos de trazo. Este aparato se usaba para lograr trazar plantas, secciones y fachadas. El autor lo denomina “aparato que utilizaba mucho el Comendador Tiburcio” (Rojas, 1598:81), ver figura 5.

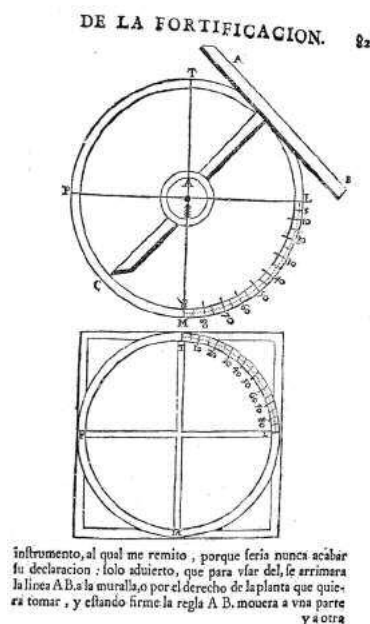


Figura 5. Aparato para trazar fuertes (Rojas, 1591)

Materiales

La inspección detallada del inmueble permitió reconocer los principales materiales utilizados en su construcción, los cuales se describen a continuación de forma general.

Piedra de granito en diferentes modalidades: a) Lajas irregulares en posición horizontal unidas con mortero que se encuentran como componente principal de los elementos verticales más importantes, como son los muros interiores y los exteriores con escarpa, a manera de

mampostería de segunda, b) Bloques con una cara plana para formar la escharpa (cara exterior de los muros perimetrales), se trata de granito de color café claro extraído del sitio, c) Lajas delgadas aparentemente colocadas como elemento de reparación en zonas dañadas con una cara plana y con la misma función del caso anterior. Aparentemente se trata de material de otro *banco* pues su color es más claro y el grano más grueso que lo correspondiente al granito del sitio.

Piedra caliza. Piedra caliza del tipo denominado piedra muca de origen coralino pues se observan conchas fósiles en sus caras. Este material se colocó en las aristas de los salientes de los cinco baluartes aprovechando que esta piedra, por ser más ligera y de consistencia suave, se presta más a ser tallada que el granito.

Piedra de Cantería. Piedra tallada denominada comúnmente “cantaera” de color rosa, sin saber su procedencia. Se utilizó en las partes arquitectónicas del acceso, en particular en los arcos y jambas, tanto en su cara exterior como interior, así como en detalles arquitectónicos. Material que permite su talla y además es de color y textura más agradable que la piedra muca.

Ladrillo. Piezas de barro (actualmente, mal llamado, tabique rojo) grandes cuyas dimensiones son de 80, 200 y 400 mm., se trata de un material muy uniforme tanto en su forma como en dureza y color, posiblemente de manufactura europea. Material que frecuentemente se traía de Europa como lastre en los barcos; este material se utilizó principalmente en las bóvedas en los espacios cubiertos, en las bóvedas y tímpanos del puente de acceso, el aljibe y en detalles de los garitones o medialinas, así como material de aporte en los muros en aquellas zonas que no pudieron ser resueltas de forma práctica con el granito.

Mortero. Material de gran dureza e integridad que ha resistido bien los efectos del ambiente salino. Es producto de la mezcla de cal y arena de mar, posiblemente lavada. En diferentes fuentes se menciona que se agregaba algún material para lograr dureza; por ejemplo concha molida, arcilla, resinas naturales o incluso, yema de huevo. No es posible comprobar la existencia de alguna de estos agregados, pero en algunas partes donde ha quedado el mortero visible, se identifican partículas de arcilla quemada, posiblemente pedazos molidos de ladrillo o tejas, lo que se conocía en esa época como picadiz.

Propiedades de los materiales. Por las características del inmueble fue posible practicar calas o pruebas no destructivas, para contar con elementos para estimar las propiedades mecánicas de los materiales, con el debido permiso de los encargados. En particular, se midió la dureza con el esclerómetro de las piedras, el mortero y los ladrillos. Por otra parte, se midió la velocidad de pulso en los morteros en zonas especiales donde resultaron propicias las condiciones con la operación del aparato de prueba.

Se practicaron pruebas de dureza en zonas al azar: 20 para cada uno de los tipos de piedra identificados, 25 zonas para mortero y 20 en ladrillos. En cada zona se tomaron 12 lecturas, descartando los valores extremos. Para el granito estructural en el interior de los muros, se encontró un promedio de dureza de 61.9 con rango de 18.1, lo que indica que existe gran variación de una zona a otra. De forma conservadora y para comparar con un material actual muy conocido, la dureza esperada es comparable a la de un concreto de alta resistencia, con resistencia a compresión de 50 MPa (500 kg/cm²). El granito de color café claro de fachadas, es ligeramente menos duro, con un promedio de 55.3 pero menor variación con un rango de 12.3; para este caso, la dureza esperada es comparable a la de un concreto de mediana resistencia, aproximadamente 40 MPa (400 kg/cm²). Para la piedra caliza se encontró un promedio de 30.8 con rango de 14.0, por lo que en este caso, la variación resulta comparativamente mayor y se relaciona con la dureza de un concreto de mediana a baja resistencia, aproximadamente 20 MPa (200 kg/cm²), o sea, aproximadamente la mitad de la resistencia del granito del lugar. En los ladrillos el promedio de dureza resultó de 28.5 con rango de 5.2, lo que implica una menor variación y una dureza comparable a la de un concreto de mediana resistencia de 25 MPa (250 kg/cm²), es decir, cuenta con resistencia similar a la piedra caliza antes mencionada, la cual resulta sorprendentemente alta para este tipo de material. En cuanto al mortero, el promedio en la dureza fue de 26.7 y el rango de 16.8 lo que indica que la variación es muy grande, lo que se puede explicar al haber zonas ya resanadas con diferente dureza a la original. Con estos datos se estima que la resistencia promedio del mortero sea aproximadamente 5 MPa (50 kg/cm²).

Se pudo medir la velocidad de pulso en seis zonas representativas del mortero. El promedio en la dirección horizontal fue de 4.1 cm/s por 10⁵ y en la dirección vertical de 3.2 cm/s por 10⁵; esta diferencia se atribuye a la formación de microgrietas en la dirección vertical debido al efecto de la intemperie durante el tiempo transcurrido de varios siglos. La resistencia estimada con estos datos es aproximadamente 4.0 MPa (40 Kg/cm²) que resulta comparable, por lo menos en orden de magnitud, con la estimada para el mortero con los datos de dureza.

Para el conjunto de la mampostería, tomando en cuenta los resultados antes mencionados y los criterios propuestos por Meli (1998), se proponen las siguientes propiedades: a) para muros, resistencia a compresión 2.0 MPa (20 kg/cm²), resistencia a cortante 0.06 MPa (0.6 kg/cm²), peso volumétrico 2150 kg/m³; b) para las bóvedas, resistencia a compresión 1.5 MPa (15 kg/cm²), resistencia a cortante 0.04 MPa (0.4 kg/cm²), peso volumétrico 1800 kg/m³. Estos datos se utilizaron para estudiar el comportamiento estructural esperado, como se explica más adelante.

Procedimiento constructivo

La construcción del Fuerte actual está cimentada sobre los restos del anterior, se puede establecer que el proceso constructivo en general,

siguió criterios similares del nuevo respecto al anterior, con base en bóvedas que transmiten las cargas a los muros. Pero en el nuevo edificio, se lograron componentes más depurados así como un conjunto sólido y estable al recurrir como ya se dijo, a consideraciones formales desarrolladas en esa época para este tipo de estructuras. En el trabajo de tesis de Sáenz (2009), se hace un análisis riguroso del sistema constructivo y los materiales empleados en la edificación; en el caso del presente escrito, se propone una secuencia constructiva probable basada en las evidencias físicas ya mencionadas en otras partes, por lo que el probable proceso constructivo del actual Fuerte se puede resumir de la siguiente manera:

1. Perfilado del foso y de la plataforma de arranque: para ello se demolieron algunos muros de la construcción anterior y otros, los que estaban sanos y de alguna manera coincidían con el nuevo trazo, se incorporaron total o parcialmente a la nueva construcción. Lo anterior se puede apreciar en las zonas que atinadamente, han dejado los encargados del museo a la vista, utilizando pisos de acrílico transparente para que el visitante observe esos vestigios.
2. Consolidación de la plataforma: lo que posiblemente requirió rebajar la roca en unas zonas y rellenar en otras, en estas últimas se utilizó mortero con lajas de granito y pedazos de otros materiales como ladrillos y tejas. En los muros perimetrales de baluartes y cortinas se construyó primero una cepa hasta encontrar estrato sano en los lugares en que fue posible, en seguida, se colocó una plantilla de mortero sobre la cual se construyó una zapata, que en la mayoría de los muros se conserva pero en algunos no es visible o se encuentra dañada.
3. Se levantaron los muros exteriores con escarpa, en cuyo núcleo se utilizaron lajas de granito con juntas de mortero muy gruesas como de 100 mm. Lo anterior se puede constatar en la zona de baños del actual museo en donde un muro quedó expuesto, así como en lugares del museo dejados a propósito para que los visitantes vean las diferentes etapas constructivas. Los muros se levantan aproximadamente 9.60 m desde el nivel del foso hasta la parte baja de las almenas. Pero al parecer, esto se realizó en varias etapas, por lo menos dos, pues se observa una discontinuidad horizontal, prácticamente en todo el perímetro. La inclinación de la escarpa en promedio es de 9° respecto a la vertical.
4. Se construyó el recubrimiento exterior con losas de granito con la cara plana expuesta: el labrado de estas losas se facilitó de forma natural como pudo comprobarse al observar el estado de las rocas graníticas de la loma donde se encuentra el Fuerte, que al sufrir los efectos de la intemperie, forma planos de falla bastante definidos. Es probable que la construcción de los muros se haya hecho en etapas, levantando hasta cierta altura el núcleo, para luego proceder al recubrimiento y así, sucesivamente. El recubri-

miento exterior con las losas de granito dan apariencia de solidez y además, la inclinación o escarpa le imprime cierta elegancia de conjunto; se puede mencionar también que esa inclinación obedecía a un criterio prevaleciente en la época en cuanto a tener el menor daño posible de las balas de cañón disparadas desde embarcaciones de guerra. El acabado exterior de las esquinas se hizo con piedra caliza, piedra muca, que es menos dura que el granito pero más fácil de labrar. Se supone que prevaleció el criterio geométrico y no el resistente; es posible que los diseñadores del Fuerte tomaran en cuenta que estas partes difícilmente serían el blanco de la artillería por lo grueso del muro, además, los daños probables serían relativamente fáciles de reparar.

5. Construcción de la parte inferior de los muros interiores con lajas de granito unidas con mortero: Según los criterios de la época, estos elementos forman una retícula interior a manera de cimentación donde se apoya el muro propiamente dicho, este sistema proporciona confinamiento y rigidez al perímetro, "...como si estuviera actuando una presión exterior equivalente a la fuerza de los proyectiles" (Ortiz, 1993). Se pudo observar que la unión entre el perímetro y la retícula interior se logró solamente por trabazón entre las piedras.
6. Se emparejaron los huecos de la retícula con rellenos de tierra y cascajo, excepto en la zona de cisterna que se cubrió con bóvedas de ladrillo apoyadas sobre muros y en algunos casos, sobre machones del mismo material. Es posible que en alguna etapa se haya dejado el Fuerte hasta el nivel de la plaza, aproximadamente 5.30 m. sobre el nivel del foso y con un parapeto perimetral, puesto que se observa una discontinuidad en todo el perímetro exterior, lo que hace pensar que temporalmente, el Fuerte funcionó como una meseta fortificada con posibles construcciones provisionales en la parte superior.
7. Se completó el perímetro y los espacios interiores con los mismos procedimientos antes descritos hasta el nivel de la explanada (parte más elevada de la muralla), con un nivel aproximado de 9.0 m. Se construyeron también las bóvedas de cañón que forman los espacios radiales y transversales; el material utilizado fue ladrillo, que es un material muy homogéneo y duro además de tener una buena apariencia. Es posible que en la construcción de las bóvedas se haya utilizado una cercha móvil que permitía una construcción secuencial.
8. Se terminaron los detalles como son, el acabado interior de las bóvedas con mortero de cal-arena y un material endurecedor. Por la parte superior se colocó un terrado a base de mortero ligero para lograr una superficie plana. Finalmente, se colocó una capa impermeable posiblemente formada por mortero, alumbre y jabón, como era usual en esa época.

Comportamiento estructural

Se puede establecer que el criterio estructural original se basó primordialmente en aspectos defensivos militares con el resultado de una estructura masiva, muy rígida. Se ignora el procedimiento de diseño, así como las cargas o solicitaciones consideradas, pero se consiguió una estructura poco vulnerable a efectos de cargas vivas de personas, armamentos y otros implementos usados en la época, así como a los efectos sísmicos y eólicos. Se opina, con base en cálculos que más adelante se detallan, que un movimiento sísmico de la mayor intensidad probable en la zona (aceleración del terreno de 450 m/s^2) será resistido por la estructura, aunque probablemente con daños.

Su estado actual se puede considerar satisfactorio pero se identifican daños por tres causas principales: a) el deterioro por la edad de la construcción en un ambiente húmedo y salino, lo cual provoca debilitamiento de los materiales por humedades y formación de salitre; b) las características geológicas de la región con una clara tendencia del subsuelo a sufrir deformaciones que han causado grietas importantes en los componentes estructurales, y c) la actividad humana que requiere hacer adecuaciones y modificaciones para las funciones que se la han dado al inmueble, así como el tránsito de personas que trabajan o visitan el edificio, lo que se traduce en desgaste y deterioro de algunas partes. Estos problemas se han presentado a lo largo del tiempo y como respuesta, se han aplicado diferentes criterios y técnicas de reparación no siempre adecuadas y sin que se hayan erradicado totalmente los problemas.

Los trabajos de observación en campo permitieron registrar las principales afectaciones que muestran los componentes estructurales del Fuerte. Con los datos obtenidos se aplicó la metodología propuesta por Lagomarsino (1998) para estimar el índice de daños y el índice de vulnerabilidad en edificios históricos. Para ello se definieron macroelementos con comportamiento estructural definido, compuestos a su vez por muros, bóvedas, arcos y pilastras. De esta manera se identificaron once macroelementos correspondientes a los cinco baluartes, los cinco cuerpos rectangulares intermedios (cortinas) y la estructura del puente de acceso, como se representa gráficamente en la figura 2. El índice de daños (I_d) permite evaluar el grado de daño en una escala de cero a uno, donde cero corresponde a la ausencia de daños y uno al límite superior de daños totales. Por otra parte el índice de vulnerabilidad (I_v) es una estimación de la probabilidad de que ocurran daños durante un sismo intenso en función de la propensión de cada componente a sufrir desperfectos. En el reporte de investigación se establecen los criterios para el cálculo detallado de estos índices, así como la presentación de los resultados completos desagregados, por razones de espacio y simplicidad sólo se consigna lo referente a la estructura general. El valor medio del índice de daños considerando todos los macroelementos es de 0.29 con un rango de 0.31, lo que indica que los daños son de consideración pero no comprometen la estabilidad del inmueble salvo en partes

aisladas, además de registrarse una gran variación entre los diferentes componentes. El valor medio del índice de vulnerabilidad resulta de 0.43 con rango de 0.30, lo que indica probabilidad de 43% de que se presenten daños importantes en un sismo intenso. En el supuesto de hacer reparaciones, el índice medio de daños se reduce a 0.15 con rango de 0.22, lo que significa que se puede llegar a niveles tolerables con una intervención cuidadosa (Binda, 2002). En este mismo supuesto, el índice medio de vulnerabilidad se reduce a 0.24 con rango de 0.18, lo que significa reducir la vulnerabilidad a la mitad aproximadamente, pero queda un nivel de vulnerabilidad intrínseca que no puede eliminarse con reparaciones, sino con refuerzos y posible reestructuración.

Conclusiones

Más que una hipótesis, existe una alta probabilidad de que el diseño, trazo y composición del Fuerte pudo ser extraído del tratado técnico-científico del Capitán Christoval de Rojas, que en sus elementos arquitectónicos, estrategias militares y criterios constructivos, prefiguró la experiencia española de las grandes batallas en tierra y en el mar.

A manera de diagnóstico estructural se concluye que: a) los daños que presenta el inmueble son de consideración pero no representan riesgo de colapso, pero sí la posibilidad de fallas locales; b) el nivel de vulnerabilidad en el caso de un sismo muy intenso es importante, lo que indica que se debe hacer una intervención a fondo para reparar los daños y así disminuir la vulnerabilidad; c) en el supuesto de que se hagan reparaciones a fondo y efectivas, el nivel de vulnerabilidad general se reduciría aproximadamente a la mitad y se lograría mayor uniformidad entre los diferentes componentes, sin embargo existe una porción importante de vulnerabilidad intrínseca que no puede eliminarse con reparaciones y en su caso, se debería recurrir a refuerzo estructural o reestructuración.

Se propone que parte de la información aquí presentada pueda ser de utilidad para preparar folletos informativos para los muchos visitantes que ven con asombro este gran edificio. A reserva de que en su oportunidad se pueda hacer un diseño atractivo para un folleto de este tipo, como criterio general sería incluir: a) antecedentes basados en el apartado correspondiente de este escrito; b) características arquitectónicas, un resumen de lo aquí establecido e incluir la figura 2 para que el interesado pueda observar de forma gráfica la calidad del trazo respecto a la figura geométrica perfecta, y c) un extracto de la secuencia constructiva, resaltando los aspectos más significativos.

Reconocimientos

Este trabajo reporta resultados parciales de estudios de campo y de gabinete del proyecto de investigación: Análisis arquitectónico, tecnológico-estructural, sensorial, sostenible y paisajístico del Fuerte de San Diego en Acapulco, registro 3017/2010SF de la Universidad Autó-

noma del Estado de México, desarrollado por un grupo de investigación interdisciplinario de arquitectura e ingeniería formado por: Marcos Mejía López, Horacio Ramírez de Alba, Susana Bianconi Bailéz, Luis Alejandro Escamilla Hernández, René Sánchez Vértiz Ruiz, Arturo Ocaña Ponce, Elda Gómez Rogel y Esther Morales Sandoval.

Los autores reconocen el valioso apoyo de la Universidad Autónoma del Estado de México a través de la Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados. Especial reconocimiento se hace a los encargados del Museo del Fuerte de San Diego que autorizaron la inspección del inmueble, proporcionaron información valiosa y permitieron los trabajos de campo requeridos. Sin estas facilidades el proyecto de investigación en general y este trabajo en particular no hubieran podido realizarse.

Fuentes de Consulta

1. Belén, Oscar (2008), *Historia del Fuerte de San Diego*, Museo Histórico de Acapulco, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
2. Binda, L. and Saisi, A. (2002), *State of the art of research on historic structures in Italy*, Department of Structural Engineering, Polytechnic of Milan, Italy .
3. Cabeza, Gregorio Z. (1991), *Esclavitud, piratería y fortificaciones en la Nueva España*, Confederación de agentes aduanales de la República Mexicana, México.
4. Chanfón, Carlos (1996), *Fundamentos teóricos de la restauración*, UNAM, México.
5. Enciclopedia de México (1978), *bajo Fuerte de San Diego*, Director de la Edición José Rogelio Álvarez. Impresora y editora Mexicana, México.
6. Lagormarsino, S. (1998), *A new methodology for the post-earthquake investigation of ancient churches*, Proceedings of the European Conference on Earthquake Engineering, Paris, France.
7. Meli, Roberto (1998), *Ingeniería estructural de los edificios históricos*, Fundación ICA, México.
8. Moncada, José (1985), *Ingenieros Militares en Nueva España, inventario de su labor científica y espacial-Siglos XVI a XVIII*, UNAM, México.
9. Morales, Esther (2009), *Estudio tecnológico y geométrico del Fuerte de San Diego en Acapulco*, Tesis- Facultad de Arquitectura y Diseño, UAEMéx., México.
10. Ortiz Lanz, José E. (1993), *Arquitectura militar de México*, Secretaría de la Defensa Nacional, México.
11. Rojas, Christoval de (1598), *Teoría y práctica de la fortificación conforme las medidas y defensas de estos tiempos, repartida en tres partes*, Editor Luis Sánchez, Madrid, España.
12. Sáenz, Sarah (2009), *Tres fortificaciones en Nueva España. Estudio arquitectónico-constructivo*, Tesis de doctorado-Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.