

**FACTORES DE DETERIORO EN ROCAS CALCÁREAS CONFORMANTES DE
MONUMENTOS PATRIMONIALES DE IMPORTANCIA HISTÓRICA Y CULTURAL
(CASO DE ESTUDIO: EDIFICACIÓN MILITAR DEL BALUARTE SANTA BÁRBARA)**



WALTER ROSEMBERG ARIAS HERRERA

ALEXY MARTÍNEZ VÁSQUEZ

Estudiantes

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA D.T. y C.**

2017



**FACTORES DE DETERIORO EN ROCAS CALCÁREAS CONFORMANTES DE
MONUMENTOS PATRIMONIALES DE IMPORTANCIA HISTÓRICA Y CULTURAL
(CASO DE ESTUDIO: EDIFICACIÓN MILITAR DEL BALUARTE SANTA BÁRBARA)**

Grupo de investigación: ESCONPAT

Línea de investigación: Gestión y conservación del patrimonio

WALTER ROSEMBERG ARIAS HERRERA

ALEXY MARTÍNEZ VÁSQUEZ

Estudiantes

MSC. ALFONSO CABRERA

Director

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA D.T. y C.**

2017



DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradecemos a Dios, por darnos la vocación para estudiar ingeniería civil y guiarnos hasta culminar de forma exitosa esta carrera. A nuestras familias, por ser nuestro ejemplo de vida a seguir y por creer en nosotros. De igual forma, agradecemos a nuestra asesora de redacción, Dra. Carolina Vela Arango, por su Apoyo incondicional, También al profesor Alfonso Cabrera Cruz por confiar en nuestro trabajo, y al profesor Walberto Rivera Martínez por su ayuda en el desarrollo de todos nuestros proyectos de investigación. Gracias al apoyo y cooperación brindados por el grupo de investigación ESCONPAT. Y sin lugar a dudas gracias totales a nuestra Alma Máter, por acogernos y formarnos para ser excelentes profesionales. A todos ustedes les dedicamos todo nuestro esfuerzo, trabajo y dedicación puesto en el desarrollo de esta tesis.



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1 MARCO REFERENCIAL	12
1.1 Antecedentes Y Estado Del Arte.....	13
1.1.1 A Nivel Local.....	13
1.1.2 Internacional	23
1.2 MARCO TEÓRICO	27
1.2.1 Estudio Patológico.	27
1.2.2 Patologías Que Aparecen Por Defectos	28
1.2.3 Patologías Causadas Por Daño.....	28
1.2.4 Patología Producto Del Deterioro De La Estructura.....	28
1.2.5 Diagnóstico	29
1.2.6 Definición Y Caracterización De La Caliza	32
1.2.7 Clasificación Tipológica De Los Baluartes Y Cortinas Del Recinto Fortificado De Cartagena De Indias.....	35
1.2.8 Categorías Constructivas	38
1.2.9 Restauración Arquitectónica De Patrimonios.....	37
1.2.10 Método De Esclerómetro O Martillo De Schmidt	41
1.2.11 Sistema De Posicionamiento Global.....	42
1.2.12 Murallas De Cartagena De Indias.	44
1.2.13 Propiedades Físico-Mecánicas De Las Rocas.....	47
1.2.14 Patrones De Deterioro Según Icomos – Iscs (Glosario Ilustrado De Patrones De Deterioro De La Piedra En Edificaciones Y Monumentos)	49
1.2.20 Humedad Y Tipología De La Humedad	62
2 OBJETIVOS	63
2.1 Objetivo General	64
2.2 Objetivos Específicos.....	64
3 ALCANCE	64
3.1 Delimitación Espacial	64
3.2 Delimitación Temporal	65
3.3 Alcance Del Proyecto.....	67



3.4	Alcance De Resultados.....	66
3.5	Alcance Productos Complementarios	68
3.6	Limitaciones	67
4	METODOLOGÍA	68
4.1	Diseño De La Investigación	68
4.2	Recolección De Información Secundaria	68
4.3	Georreferenciación De Las Patologías Encontradas	69
4.4	Toma De Lectura Con El Esclerómetro	70
4.5	Diagnóstico.....	71
5	RESULTADOS Y DISCUSION	75
6	CONCLUSIONES.....	97
7	RECOMENDACIONES.....	99
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
9	ANEXOS.....	103



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Presiones de hidratación (atm) para algunas sales solubles a distintas temperaturas y humedades relativas	19
Tabla 2. Humedades relativas de precipitación para las	21
Tabla 3. Evaluación y diagnóstico de las estructuras en concreto	31
Tabla 4. Tipo de material según su resistencia	71
Tabla 5. Climatológica De Los Principales Puertos Del Caribe Colombiano	76
Tabla 6. Análisis Químico a la solución de los testigos.....	78
Tabla 7. Confirmación de análisis Químico.....	79
Tabla 8. Cálculo de la tasa de deposición de cloruros	79
Tabla 9. Cálculo de la tasa de deposición de salinidad.....	80
Tabla 10. Cálculo de la tasa de deposición de sulfatos.....	81
Tabla 11. Plan de Intervención y Monitoreo de las patologías registradas.....	96



LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Clasificación de las rocas según Dunham.....	32
Imagen 2. Baluarte de Esquina Regular.....	35
Imagen 3. Baluarte Intermedio Regular.....	35
Imagen 4. Cortina Tipo C1	36
Imagen 5. Cortina tipo C2.....	37
Imagen 6. Esclerómetro	42
Imagen 7. GPS I finder Expedition C	43
Imagen 8. Murallas de Cartagena	45
Imagen 9. Fractura	49
Imagen 10. Ampollamiento.....	50
Imagen 11. Desmoronamiento	50
Imagen 12. Desintegración Granular	51
Imagen 13. Pulverizacion.....	52
Imagen 14. Fragmentacion.....	52
Imagen 15. Escamamiento	53
Imagen 16. Alveolización	54
Imagen 17. Erosión	54
Imagen 18. Microkrast	55
Imagen 19. Corteza	56
Imagen 20. Depósito	56
Imagen 21. Decoloración	57
Imagen 22. Efluorescencia.....	58
Imagen 23. Incrustación.....	58
Imagen 24. Pátina.....	59
Imagen 25. Manchar	60
Imagen 26. Subfluorescencia	60



Imagen 27. Colonización biológica	61
Imagen 28. Humedad y tipología de la humedad.....	62
Imagen 29. Ubicación del municipio de Cartagena.....	64
Imagen 30. Ubicación del municipio de Cartagena.....	65
Imagen 31. Baluarte de Santa Bárbara.....	65
Imagen 32. Ejemplo del formato de inspección visual	69
Imagen 33. GPS utilizado para la georreferenciación.....	70
Imagen 34. Ubicación de los testigos.....	72
Imagen 35. Testigo Utilizado.....	73
Imagen 36. Patología N°1 Alveolizacion.....	82
Imagen 37. Patología N°2 Grieta	83
Imagen 38. Patología N°3 Erosión antrópica.....	84
Imagen 39. Patología N°4 Manchar	85
Imagen 40. Patología N°5 Colonización biológica.....	86
Imagen 41. Patología N°6 Pérdida de juntas	87
Imagen 42. Patología N°7 Fractura.....	88
Imagen 43. Patología N°8 Caries superficiales	89
Imagen 44. Patología N°9 Pérdida de pañete.....	90
Imagen 45. Patología N°10 Erosión antrópica.....	91
Imagen 46. Patología N°11 Erosión.....	92
Imagen 47. Patología N°12 Erosión y costras negras	93
Imagen 48. Patología N°13 Pérdida de pañete.....	94
Imagen 49. Patología N°14 Desprendimiento	95



RESUMEN

La ciudad de Cartagena de Indias es una de las ciudades amuralladas más hermosas del mundo y desde 1984 sus murallas son consideradas por la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) como patrimonio cultural de la humanidad.

La vida y preservación de estas obras está en riesgo debido a la contaminación atmosférica generada por el crecimiento del parque automotor y el ambiente húmedo y salino característico de esta ciudad costera. Es por esta situación que en la presente investigación se realizó un análisis a los depósitos atmosféricos, en este procedimiento se instalaron testigos en los lienzos de las murallas, para obtener los depósitos, La muestra en los testigos se recolectó mediante el lavado de los mismos con agua destilada, obteniéndose una solución en la que se determinó la concentración de sustancias como: cloruros, sulfatos y sales, a través de un análisis químico en los laboratorios de la Universidad de Cartagena,

Además se elaboró un plan de intervención y monitoreo, que consta de una inspección visual, un registro patológico, georreferenciación y ensayos físico-mecánicos a las patologías que afectan significativamente a las murallas. Donde el ensayo de esclerómetro arrojó resistencias bajas en la roca, las cuales están categorizadas entre “débil” y “muy débil” de acuerdo a la tabla *tipo de material según su resistencia*.

Con dicho estudio se concluyó que la estructura presenta daños que requieren ser intervenidos lo más pronto posible, ya que representan un riesgo para la estabilidad y conservación de este bien patrimonial. Por lo que se recomienda hacer énfasis en el, manteniendo la vigilancia y el control, para seguir prolongando la vida de la estructura.



ABSTRACT

The city of Cartagena de Indias is one of the most beautiful walled cities in the world and since 1984 its walls are considered by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) as a cultural patrimony of humanity.

The life and preservation of these works is at risk due to the atmospheric pollution generated by the growth of the automotive park and the humid and saline environment characteristic of this coastal city. It is by this situation that in the present investigation an analysis was carried out to the atmospheric deposits, in this procedure were installed witnesses in the canvases of the walls, to obtain the deposits, the sample in the witnesses was collected by the washing Of the same with distilled water, obtaining a solution in which the concentration of substances such as chlorides, sulphates and salts was determined, through a chemical analysis in the laboratories of the University of Cartagena,

In addition, a plan of intervention and monitoring was elaborated, which consists of a visual inspection, a pathological register, georeferencing and physical-mechanical tests to the pathologies that affect significantly to the walls. Where the trial of Sclerometer threw low resistances in the rock, which are categorized between "weak" and "very weak" according to the table type of material according to its resistance.

With this study it was concluded that the structure presents damages that require to be intervened as soon as possible, since they represent a risk for the stability and conservation of this patrimonial property. So it is recommended to emphasize the, maintaining vigilance and control, to continue prolonging the life of the structure.



INTRODUCCIÓN

Desde el año 1991 Cartagena de Indias es considerada el Distrito Turístico y Cultural de mayor importancia de la nación. “Debido a su herencia arquitectónica y su localización geográfica es calificada entre las cinco ciudades amuralladas más hermosas del mundo” Galloway (2015). La ciudad tiene entre sus principales atracciones turísticas, sitios históricos como El Castillo de San Felipe de Barajas, el Palacio de la Inquisición, La Torre del Reloj, El Cordón Amurallado, Las Calles Coloniales y también cuenta con bellezas naturales como sus hermosas playas en Boca grande, el Laguito, Castillo Grande, la Boquilla, las Islas del Rosario, Tierra bomba y Barú.

Los diferentes tipos de arquitectura que caracterizan al centro histórico interactúan con exponentes de periodos posteriores, los que han sobrevivido a mecanismos naturales y antropogénicos como fuertes vientos, ambientes húmedos y salinos propios de la costa y acciones degradantes del hombre, y esto es gracias a los materiales y técnicas con las cuales se construyeron. Muchos de estos edificios en la actualidad presentan un alto grado de deterioro de carácter progresivo lo que puede conducir a que se pierdan valiosos ejemplares de la arquitectura local, que requieren de una preservación y conservación.

Las murallas de Cartagena de Indias hacen parte del centro histórico de la ciudad, constituyen un bien de interés cultural del ámbito nacional y hacen parte del conjunto que está inscrito en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO. Dada su localización y características físicas, la muralla se ha convertido en uno de los espacios más atractivos para la realización de eventos culturales, recreacionales, sociales, institucionales y comerciales (Sociedad de mejoras públicas de Cartagena, 2014).

Lastimosamente las condiciones físicas en las que se encuentran las murallas no son las mejores, debido a la insuficiencia y deficiencia de los planes de restauración y conservación, además de su emplazamiento dentro de un entorno ambientalmente agresivo (Cunin y Rianudo, 2007).

Teniendo en cuenta la importancia de esta estructura patrimonial se hizo necesaria la obtención de los resultados que planteamos en el presente estudio, que, dentro de este contexto, se consideró como un impulso de preservación y control de la estructura colonial, y además de aprendizaje sobre la importancia de construir edificaciones que perduren a través del tiempo.



Por medio de esta investigación se determinó el estado actual del cordón amurallado de la ciudad de Cartagena de Indias en el sector ubicado en el Baluarte de Santa Bárbara, a fin de proponer soluciones que pudieran evitar el deterioro y mejorar el estado actual del mismo, permitiendo realizar labores de seguimientos preventivos y de mantenimientos, para contrarrestar el aumento del deterioro de la estructura.

Se realizaron análisis de depósitos atmosféricos, análisis de humedades y salinidades en relación con la meteorología y emplazamiento de la estructura, evaluaciones al sistema constructivo y sus materiales, un diagnóstico de los patrones de deterioro basado en inspecciones de campo y correlación de los análisis anteriores. Además, se realizó una comparación de los resultados que obtuvimos con los de otros estudios realizados sobre al cordón amurallado y se presentaron recomendaciones para la preservación y restitución de la estructura.

Los resultados obtenidos, servirán para el desarrollo de futuras investigaciones de instituciones regionales y nacionales, debido a que se cuenta con un material confiable de registro de las patologías y sus ubicaciones exactas en el tramo que se tomó como caso de estudio, la cual sirve para su posterior monitoreo y control.

Esta investigación está vinculada al grupo Estructuras, Construcción y Patrimonio ESCONPAT, y se enmarca en la línea de investigación, gestión y conservación del patrimonio, ya que el tema de estudio se centró en el diagnóstico, evaluación, identificación, organización y georreferenciación de los factores de deterioro que genera el ambiente húmedo y salino presentes en el cordón amurallado de la ciudad de Cartagena, cuya preservación es importante para la ciudad, y necesaria para mantener el título otorgado por la UNESCO de patrimonio histórico de la humanidad.



1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes y estado del arte

La ciudad de Cartagena es reconocida por la UNESCO como patrimonio histórico de la humanidad gracias a su arquitectura colonial y a su centro histórico, que está lleno de historia y de grandes atractivos turísticos, entre los cuales se encuentran las murallas de Cartagena, la cual es la fortificación más completa del continente americano y una de las más hermosas entre todas las ciudades amuralladas del mundo. Son estas razones las que motivan a realizar un estudio ambiental para determinar el estado actual de la fortificación y proponer soluciones para la posterior restauración, haciendo énfasis en las características de la roca, los patrones de deterioro y las diferentes tipologías de humedades. Algunas investigaciones relacionadas con esta investigación son:

1.1.1 A nivel local

1.1.1.1 “VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA MURALLA SECTOR BÓVEDAS - HOTEL SANTA CLARA” (Cueto Ferreira & Granger Serrano, 2010) En el año 2010, en la Universidad de Cartagena, se llevó a cabo este estudio que hace referencia a la determinación de las patologías en dicho sector mediante visitas de campo entre las cuales se destacaron: caries superficiales, canales de drenaje, caries profundas, pérdida de piedras calizas, pérdida de juntas, deterioro y pérdida de pañete, porosidad superficial. Estas anomalías causan debilidad estructural en la muralla que se manifiesta a través de grietas profundas. Cabe resaltar que este estudio patológico fue realizado de manera descriptiva, ya que solo se realizó una fase de inspección en la cual no se evaluaron y diagnosticaron dichas patologías, además tampoco se realizaron estudios físico-mecánicos para determinar el estado de las piedras de las murallas.

Una vez identificadas las patologías, realizaron un estudio sísmico para determinar qué tan vulnerable era este sector utilizando el programa SAP 2000 en el cual incluyeron datos de entrada tales como resistencia del material presente en la muralla, cargas muertas, cargas vivas, sismo de diseño etc. Todas estas acciones fueron encaminadas a lograr la máxima aproximación



de la edificación al modelo computarizado, al colocar algunos parámetros adicionales el programa mostro desplazamientos y derivas, teniendo en cuenta la posibilidad de analizar si el modelo resistía el sismo asignado.

Al analizar la estructura una vez realizado el análisis sísmico y comparado con la Norma Sismo Resistente 2010 (NSR-10) encontraron que los requisitos de deriva y desplazamiento, no debían excederla y se determinaron posibles soluciones tales como el mejoramiento de las uniones entre las rocas y el cambio de manera definitiva de algunos bloques que se encontraban demasiado deteriorados por las patologías y además con grietas importantes debido a las condiciones ambientales. (Cueto Ferreira & Granger Serrano, 2010)

1.1.1.2 “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA Y VIBRACIONAL DE LAS MURALLAS DEL SECTOR QUE COMPRENDE EL HOTEL SANTA CLARA HASTA EL CLAUSTRO DE LA MERCED DE LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS” (Oliveros Jimenez, 2011)

En el año 2011, en la Universidad de Cartagena, se llevó a cabo este proyecto dirigido a evaluar los parámetros que intervienen en la estabilidad y calidad estructural de las murallas de Cartagena en el sector el hotel Santa Clara hasta el Claustro de La Merced, determinando la vulnerabilidad estructural ante efectos sísmicos y vibratorios producidos por el transporte público que circula en el sector, con el objetivo final de presentar recomendaciones que contribuyeran a mantenerlas en buen estado.

En dicho proyecto se realizó un estudio patológico que permitió conocer el estado de las murallas, determinando los coeficientes de reducción de resistencia por su estado y por la calidad del diseño y construcción de las mismas. Con base en estos coeficientes y a las sollicitaciones consideradas (presión del relleno, efecto del sismo sobre el relleno, y efectos producidos por los buses de transporte público), se creó un modelo computacional en el software estructural SAP 2000 V14. Como resultado general se obtuvo que este tramo de muralla era poco afectado por la combinación de esfuerzos existentes con ondas emitidas por los buses del sistema de transporte



público y ante un eventual sismo, ya que los valores no sobrepasaban los máximos admisibles de comprensión, siendo este comportamiento una característica sobresaliente de la piedra coralina. (Oliveros Jimenez, 2011).

Cabe resaltar que el estudio patológico que realizaron en esta investigación fue de manera descriptiva, ya que solo se realizó una fase de inspección en la cual no se evaluaron y diagnosticaron dichas patologías, además tampoco se realizaron estudios físico-mecánicos para determinar el estado de las piedras de las murallas

1.1.1.3 “EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL FUERTE-BATERÍA DE SAN JOSÉ DE BOCACHICA”(Lozano & Gonzalez, 2012).

En el año 2012, se realiza el anterior estudio cuya investigación tuvo como objetivo determinar el estado del Fuerte-batería de San José de Bocachica mediante una valoración patológica y un estudio de vulnerabilidad sísmica de su estructura, con el fin de identificar la estrategia de intervención más adecuada. Inicialmente los autores hicieron una breve recolección de información primaria: datos históricos, planos arquitectónicos, y propiedades de los materiales y del suelo. Posteriormente realizaron diversas visitas de campo, para registrar las lesiones que afectan la estructura, identificando su naturaleza y gravedad.

Finalmente se construyó un modelo del fuerte en el software de análisis estructural SAP2000, cuyo algoritmo se basa en el Método de los Elementos Finitos. Se ejecutaron diversos análisis para diferentes hipótesis de carga (peso propio, empuje lateral del suelo y del oleaje, y movimientos sísmicos) y de condiciones de apoyo (empotramiento e interacción suelo-estructura).

Por medio de la investigación se observó que la edificación está afectada por varias lesiones que se extienden por la mayor parte de la estructura, y que abarcan desde degradación y pérdida del pañete hasta grietas de varios metros de longitud, la mayoría de los deterioros de los materiales fueron causados por agentes de daños externos tales como exposición al ambiente agresivo,



ciclos de mojado y secado, y erosión por acción del oleaje y el viento. Cabe resaltar que dicho estudio patológico se realizó de manera descriptiva ya que no se realizó la evaluación, diagnóstico y ensayos-físico mecánicos con el objetivo de darle soluciones a estos daños.

Los resultados hallados dieron lugar al planteamiento de las siguientes intervenciones:

- Los merlones de la batería baja y la bóveda de la polvorera no requieren reforzamiento alguno.
- Será necesario reparar las grietas en la rampa y en el muro externo y reforzar algunos sectores en las bóvedas cañoneras y la escarpa.
- El reforzamiento recomendado debe ser a base de tejido de fibra de carbono y resina epoxi. En particular, se sugiere utilizar SIKAWRAP-103C. (Lozano & Gonzalez, 2012)

1.1.1.4 Estudios de efecto de la salinidad sobre materiales pétreos:

según los estudios del Grossp & Esbert (1994) las sales solubles más frecuentes en monumentos son los sulfatos y los cloruros seguidos de los carbonatos, nitratos y, más raramente, nitritos. Los cationes más frecuentes son, por lo general, calcio, sodio, magnesio y potasio (en orden decreciente de frecuencia) (Lazzarini y Laurenzi-Tabasso, 1986). Pueden ser también frecuentes entre los aniones los oxalatos y, entre los cationes, el amonio (Arnold y Zehnder, 1989). Así mismo según Grossp & Esbert las sales solubles en los edificios, en general, y en los monumentos en particular proceden generalmente de:

a) Iones lixiviados de la alteración de rocas, morteros, ladrillos y otros materiales de construcción: las piedras de construcción (tanto natural como artificial), así como los morteros de unión, generalmente contienen sales solubles que actúan como agentes alterantes. Algunos materiales usados en la preparación de morteros pueden contener pequeñas cantidades de sulfatos que pueden disolverse en el agua y migrar hacia la superficie formando eflorescencias. El uso de yeso en restauraciones también puede dar lugar a la aparición de sulfatos. Se ha descubierto que la calcita (CaCO_3) también puede reaccionar con el SO_2 atmosférico en ambientes contaminados y dar lugar a la formación de yeso que cristaliza con dos moléculas de agua ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La disolución de la calcita (CaCO_3) de las calizas es una fuente importante



de iones Ca^{+2} y CO_3^{2-} El carbonato de calcio es prácticamente insoluble en agua, sin embargo, puede disolverse como bicarbonato cuando el agua, en contacto con la piedra, contiene una cantidad determinada de CO_2 , procedente de la atmósfera, principalmente en zonas industriales. Este CO_2 se disuelve en el agua y forma ácido carbónico (H_2CO_3) que reacciona con el carbonato formando un bicarbonato, más soluble. Cuando un muro comienza a secarse, las sales de bicarbonato migran hacia la superficie y cuando tiene lugar la evaporación, se produce la formación de carbonato cálcico, prácticamente insoluble, que se deposita rápidamente sobre la misma (Press y Siever, 1985; Teutónico, 1988). Los cloruros, también pueden ser el resultado de impurezas en los materiales utilizados para preparar morteros y estucos.

b) El suelo: las aguas procedentes del suelo y que ascienden por las paredes de los edificios por capilaridad son, por lo general, soluciones salinas más o menos diluidas y contienen iones carbonato, sulfato, cloruro, nitrato, magnesio, calcio, sodio, potasio, y amonio.

c) Depósitos de productos atmosféricos: aspersión Marina y Ambientes Contaminados En la atmósfera, contaminada o no, pueden existir sales en suspensión o pueden estar presentes iones capaces de formar sales solubles. Las sales marinas, mediante movimientos atmosféricos, pueden aparecer lejos de su origen y la cantidad de estas sales disminuye con la distancia al océano. La concentración de estas sales puede disminuir debido al agua de lluvia, dado que puede haber una eliminación parcial o total de las sales marinas de acuerdo con la solubilidad de las mismas. Los estudios realizados por Keys y Williams (1981) demostraron que el ion Cl^- tiende a disminuir con la distancia al mar; y es esencialmente de origen marino debido que es el más abundante en el mar y poco abundante en las rocas. Los nitratos también los consideran de procedencia principalmente marina, vía aerosoles. El aumento de iones NO_3^- con la lejanía del mar, lo explican en base al aumento en la relación entre óxidos de nitrógeno y amoníaco debido, en parte, a la oxidación de este último, que es principalmente de origen marino. Los contaminantes ambientales que pueden encontrarse en los depósitos, pueden proceder de gases tales como CO_2 , SO_2 , N_2O_3 , NO_2 , NH_3 , CH_4 ..., líquidos (ácidos, soluciones salinas, etc.) o ser contaminantes sólidos, como óxidos de minerales metálicos, sulfuros, hollín, etc. Estos depósitos son la fuente principal de los sulfatos. El efecto mejor conocido es la formación de costras negras de yeso en



los edificios a partir del dióxido de azufre, ácido sulfúrico y sulfatos (Arnold y Zehnder, 1989). El yeso se puede formar en el aire y llegar como aerosol o sal a la superficie de los monumentos, o directamente sobre las piedras calcáreas por reacción del carbonato cálcico y el ácido sulfúrico. Del mismo modo la presencia de sulfatos en el ambiente se relaciona con la presencia de H_2SO_4 , el cual también es formado en el aire por la contaminación ambiental y que, por su tendencia a neutralizarse con el material calcáreo de las murallas, puede llegar a causar meteorización química.

d) Acción de los microorganismos: la acción de los seres vivos puede ser una fuente importante de iones. Así, por ejemplo, las zonas habitadas por humanos pueden ser ricas en cloruros y nitratos; hay cloruros en la comida y excrementos de hombres y animales. Los microorganismos producen nitratos a partir de excrementos y residuos. De todos modos, así como los nitratos tienen una clara fuente biológica, ésta no es tan segura para los cloruros (Arnold y Zehnder, 1989).

Los sulfatos también pueden tener un origen microbiológico. Hay algunos micro-organismos capaces de metabolizar formas reducidas del azufre y oxidarlas a sulfatos, así como otros capaces de producir sulfuros. Estos organismos están a menudo presentes en piedras, principalmente calcáreas y en morteros a base de carbonato de calcio (Teutónico, 1988).

1.1.1.5 Deterioro en los monumentos debido a las sales solubles:

se ha establecido que la cristalización de sales solubles en los poros de los materiales es a menudo una causa importante de su deterioro. El efecto de la cristalización de sales solubles es debido a una combinación de factores entre los que cabe citar, por una parte, el tipo y propiedades de sal (cambios de solubilidad con la temperatura, coeficiente de expansión térmica.), su concentración y el grado de sobresaturación alcanzado; y por otra parte, las propiedades del material rocoso como el tamaño y distribución de los espacios vacíos u otras discontinuidades, la capacidad de absorción de agua, la resistencia mecánica, etc. (GOUDI, COOKE, & EVANS, 1970).



La mayoría de los autores consideran la existencia de una serie de mecanismos de distinta naturaleza, tales como:

a) La cristalización: Las sales cristalizan a partir de una solución sobresaturada. Esta cristalización puede continuar incluso frente a presiones considerables de confinamiento.

El empuje del cristal al crecer en un poro o fisura produce tensiones locales que tienden a agrandar dichos espacios vacíos. El deterioro se produce cuando las tensiones superan la resistencia a la tracción de la roca. La cristalización continúa hasta que el esfuerzo alcanza una magnitud determinada relacionada directamente con el grado de sobresaturación e inversamente con la solubilidad de la sal (EVANS, 1970).

El exceso de presión ΔP , fue calculado por Wellman y Willson (1968) correlacionando las dimensiones de los poros, bajo la ecuación:

$$\Delta P = 2\sigma \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde σ es la tensión de interface entre la solución en y el crecimiento del cristal (en Mpa); r es el radio de los poros pequeños y R es el radio de los poros grandes, siendo ambas medidas tomadas en metros (m). Esta ecuación sugiere que la presión desarrollada por el crecimiento del cristal es más alta en los poros pequeños que la desarrollada por los poros grandes. Para simplificar la ecuación el valor de $1/R$ se eliminó introduciendo un pequeño error, y se tomó la tensión de interface del NaCl calculada por Rodríguez-Navarro y Dohene como $\sigma = 8.35\text{Pa}$.

Para calcular la presión de cristalización efectiva que puede alcanzar la sal en la roca, fue necesario considerar el porcentaje de poros de cada clase V_r en relación con el porcentaje de poros gruesos. V_r/V_R para la máxima presión de cristalización de cada clase. La presión total (tensión) que soportara la roca cuando el NaCl se cristalice es la suma de la presión efectiva en cada clase de poro. Una vez calculado este valor se debe comparar con la tensión soportada por cada roca.



b) La hidratación. Existen sales que pueden presentar diferentes estados de hidratación (ej.: $MgSO_4 \cdot H_2O$; $MgSO_4 \cdot 6H_2O$; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Estas sales, una vez cristalizadas al variar las condiciones de humedad y temperatura, pueden tomar o liberar agua de hidratación. Cuando se hidratan pueden desarrollar presiones en las paredes de los poros que pueden conducir al deterioro de la piedra que las contiene.

Tabla 1. Presiones de hidratación (atm) para algunas sales solubles a distintas temperaturas y humedades relativas

HR (%)	TEMPERATURA (°C)			
Basanita($CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$) A Yeso($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)				
	0	20	40	60
100	2190	1775	1350	926
90	2000	1571	1158	724
80	1820	1372	941	511
70	1600	1145	702	254
60	1375	884	422	
50	1072	575	88	

Fuente: Arnold y Zehnder, 1990.

Otra causa de deterioro, relacionada, en parte, con la hidratación-deshidratación es la citada por Pühringer (1983): son *cambios estructurales en la sal*. Las sales depositadas no son cristales ideales, son formaciones salinas de textura porosa fina. En estas formaciones salinas pueden producirse cambios estructurales (que pueden ser debidos a hidratación y deshidratación parcial) debidos a cambios en las condiciones de humedad y temperatura, que pueden conducir a la ruptura del material del substrato. El deterioro de las piedras por sales, aparte de poder ser una combinación de estos mecanismos, suele ser un proceso cíclico. Se necesitan, por lo general, varios ciclos de cristalización-disolución o hidratación-deshidratación para que la roca se deteriore (AMOROSO & FASSINA, 1983).

Los daños ocasionados por los distintos tipos de sales y su distribución en las obras:



c) **Sulfatos:** Los más frecuentes son el $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y el Na_2SO_4 con diferentes estados de hidratación (AMOROSO & FASSINA, 1983); menos frecuentes son el MgSO_4 y K_2SO_4 , el daño producido por los sulfatos no es debido a su solubilidad en agua, sino a su propiedad de cristalizar en diferentes estados de hidratación ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$: mirabilita- Na_2SO_4 : thenardita; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: epsomita – $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$: kieserita; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: yeso – CaSO_4 : anhidrita). Estas sales pueden presentarse en estado anhidro o hidratado dependiendo de las condiciones de temperatura y de humedad relativa. Cada estado de hidratación está caracterizado por un volumen específico, por tanto, cada vez que se produce una transformación, tiene lugar un cambio de volumen. Los sulfatos son en general menos solubles y móviles que otras sales, solamente pueden moverse cuando aún están en disolución. Precipitan en forma hidratada y posteriormente pueden transformarse en sales anhidras.

Si una vez anhidras, la humedad no es muy alta, las sales no se disuelven, sino que se hidratan, ejerciendo una presión en las paredes de los poros.

(Winkler & Wilhelm 1970), la hidratación del sulfato de magnesio monohidrato (kieserita) a heptahidrato (epsomita) puede producirse en un solo día; y la hidratación y deshidratación del sulfato de sodio puede producirse varias veces al día causando que bajas presiones de hidratación afecten a la roca de manera importante. La deshidratación de la mirabilita a 39°C no dura más de 20 minutos; sin embargo, la hidratación es un proceso más lento (ARNOLD, 1976).

d) **Carbonatos:** El más importante es el carbonato de sodio. Forma dos hidratos diferentes: $\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10\text{H}_2\text{O}$ (natritra) y $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (termonatritra). A temperaturas por debajo de 32°C precipita como decahidrato. El comportamiento de esta sal es similar a la del sulfato de sodio y el deterioro producido también puede ser similar (Arnold, 1976; Amoroso & Fassina, 1983).

e) **Cloruros:** Los más comunes son el NaCl (halita), KCl (silvita) y $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (antarcticita) (AMOROSO & FASSINA, 1983). Según estos autores son extremadamente peligrosos, ya que son muy solubles e higroscópicos. En solución son muy móviles y pueden penetrar



profundamente. Su acción agresiva es debida principalmente a la cristalización y la forma de alteración predominante es la pulverización.

Es necesario aclarar, que los procesos de hidratación y cristalización van acompañados por procesos implícitos de precipitación de las sales. En la tabla 2, se muestran las humedades relativas de precipitación de las sales más comunes en los monumentos.

Tabla 2. Humedades relativas de precipitación para las sales

SAL		0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
Antarcticita	CaCl ₂ .6H ₂ O	41,0	37,7	33,7		30,8	28,6	22,4
Bischofita	MgCl ₂ .6H ₂ O	33,7	33,6	33,5	33,3	33,1	32,8	32,4
Nitrocalcita	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	59	59,6	56,5	54,0	53,6	50,5	46,8
Nitro magnesita	Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	60,4	58,9	57,4	55,9	54,4	52,9	51,4
Nitro amónico	NH ₄ NO ₃						61,8	
Nitratita	NaNO ₃		78,6	77,5	76,5	75,4	74,3	73,1
Halita	NaCl	75,5	75,7	75,7	75,6	75,5	75,3	75,1
Thenardita	Na ₂ SO ₄					82	82,2	84,3
Silvita	KCl	88,6	87,7	86,8	85,9	85,1	84,3	83,6
Epsomita	MgSO ₄ .7H ₂ O			86,9		90,1	88,3	88
Natrón	Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O				96,5	97,9	88,2	83,2
Miralbita	Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O				95,2	93,6	91,4	87,9
Nitro (salitre)	KNO ₃	96,3	96,3	96	95,4	94,6	93,6	92,3

Fuente: Arnold y Zehnder, 1990.

En cuanto al grado de alteración inducido por las distintas sales, Lewin (1989) señala que para un deterioro por sales se necesita una tendencia a la sobresaturación, es decir, un soluto depositado bajo condiciones de equilibrio no libera ninguna energía y no ejerce trabajo mecánico. Como la mayoría de los estudios de laboratorio con sales solubles son con sulfato de sodio y magnesio y cloruro de sodio, la mayoría de los autores encuentran que la sal más dañina es el sulfato de sodio; seguida en importancia por el sulfato de magnesio y el cloruro de sodio respectivamente, aunque debe tenerse en cuenta que el cloruro de sodio es importante en el deterioro de monumentos en zonas desérticas y ambientes marinos.



1.1.2 Internacional

Muchas son las investigaciones, estudios y artículos realizados en torno a los monumentos históricos a nivel Internacional. Sin embargo, vale la pena subrayar que cada monumento tiene unas características propias, métodos constructivos y materiales con Características diferentes, que se obtienen dependiendo de la zona donde esté ubicada la fortificación, por lo que la mayoría de estas investigaciones solo se tomaran como referente para reconocer las metodologías existentes y adecuarlas, de ser necesario, a las condiciones reales de esta investigación. Dentro de los estudios y resultados que se han obtenido se encuentran los siguientes:

1.1.2.1 ANÁLISIS PATOLÓGICO DE LOS PARAMENTOS DE LA MURALLA ALMOHADE DE SEVILLA TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA PUERTA DE LA MACARENA Y EL JARDÍN DEL VALLE (Calama y Canivell, 2006).

En este estudio se sintetiza un trabajo de investigación que se realiza en el seno del Grupo de Investigación: Construcción Patrimonial, adscrito al Departamento de Construcciones Arquitectónicas 2 de la Universidad de Sevilla, y en el que se analiza la patología causal de lesiones presentes en el tramo de la muralla Almorávide-Almohade de Sevilla, construida en tapial, y que se extiende desde la Puerta de la Macarena hasta el Jardín del Valle. Esta estructura se trata de una parte de la cerca mandada construir por el sultán almorávide Alí Ibn.Yusuf, que gobernara e Sevilla desde 1109 a 1143. Y aunque fueron precisamente los almorávides los que generalizaron en Al Ándalus el uso del tapial para la construcción de las fortificaciones, este sistema constructivo ya venía siendo utilizado en muchos tipos de edificaciones desde la época romana, e incluso tenemos excelentes construcciones de la época Califal mandadas a levantar por Abd al-Rahman III o al-Hakam II, como la fortaleza de El Vacar, en Córdoba, o la de Baños de la Encina en Jaén.

En este estudio se realizó un análisis patológico completo de la estructura, exponiendo que la estructura estaba siendo atacada por factores químicos y biológicos que la estaban deteriorando lentamente. En este estudio la limitante es que no exponen la ubicación exacta donde se



presentan las patologías para un posible tratamiento posterior, así como tampoco proveen posibles soluciones a las patologías presentadas.

1.1.2.2 “ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA DISOLUCIÓN KÁRSTICA Y LA EROSIÓN, EN LAS OBRAS PATRIMONIALES DE LA “VILLA DE SAN CRISTÓBAL DE LA HABANA”. INTRODUCCIÓN A UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS CONSTRUCCIONES REALIZADAS CON ROCAS CARBONATADAS”. (Balado Piedra & Flores Valdes, 2004).

En este trabajo se realizó un análisis “in situ” preliminar de las formas de alteración que más inciden en los muros, paredes y techos de una serie de construcciones consideradas como patrimoniales de la ciudad de La Habana, se evaluó el grado de afectación de dichas construcciones a partir de la distancia de la línea costera (influencia de los aerosoles marinos y en algunos casos de las salpicaduras y acción directa del oleaje marino). También se ejecutó un análisis del grado de afectación de cada roca en dependencia de la formación geológica a la que pertenecen (Vedado, Jaimanitas, Morro u otras). Mediante este trabajo se elaboró una metodología para la evaluación del estado constructivo en que se encuentran los muros construidos con bloques de roca caliza o recubrimientos de estas rocas aplicadas a sus muros. Esta investigación solo se dedicó a estudiar las afectaciones que presentaban dichas estructuras causadas por la poca distancia a la línea costera de La Habana y a analizar el estado de las rocas de las estructuras.

1.1.2.3 “CURRENT METHODS AND FUTURE TRENDS IN TESTING, DURABILITY ANALYSES AND PROVENANCE STUDIES OF NATURAL STONES USED IN HISTORICAL MONUMENTS”.(Torok & Prikryl, 2010)

Esta investigación resumió las técnicas disponibles para desarrollar ensayos, en el sitio y en el laboratorio, de las piedras naturales utilizadas en monumentos históricos mediante la combinación de los resultados de estudios previos. Utilizaron estudios de diagnóstico no destructivos a bajo-destructivos en el sitio de prueba para comprender el comportamiento de las



pedras en condiciones ambientales. Enfatizaron el uso adecuado de las fuentes de datos y los resultados de las pruebas en la evaluación del comportamiento a largo plazo de las piedras.

La correcta combinación de los análisis tanto de campo como de laboratorio permitió la identificación de los litotipos y las debilidades asociadas a la mineralogía y estructura de las piedras. Aseguraron que las propiedades físicas que influyen la durabilidad de las piedras están gobernadas por las piedras mismas, pero también están influenciadas por factores externos como la exposición a diversas condiciones ambientales. Tales condiciones, podrían invocar nuevos enfoques en la conservación de las rocas y en los cuidados que se deben tener en los análisis y experimentos tanto en el laboratorio como en el sitio los cuales estimulan procesos de meteorización y mecanismos de deterioro. La necesidad para realizar este estudio fue debido a los requerimientos de la restauración sostenible y la determinación de la intervención necesaria a los monumentos de piedra naturales. En otras palabras, fue necesario generar información clara para quienes toman las decisiones, para juzgar la velocidad y el tipo de intervenciones. Desde el concepto de la restauración lo mejor sería la salvaguardar las piedras históricas, pero hay casos, cuando la preservación de la construcción requiere el uso de nuevos materiales y piedras de repuesto. Con el principio de la conservación de la piedra original en muchos casos las intervenciones tal como la limpieza y la consolidación es necesaria. Estos métodos pueden prolongar la vida útil de una estructura, pero su uso es a menudo ambiguo. Cabe resaltar que esta investigación se centró en el estudio general de las rocas naturales utilizadas en monumentos históricos, pero no se centró en un monumento en particular. Esta investigación servirá como referente a la hora de analizar la piedra utilizada para la construcción de las murallas de Cartagena en el sector baluarte de santa bárbara.

1.1.2.4 “PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS IN MONUMENT CONSERVATION: THREE APPLICATION EXAMPLES”. (Moropoulou & Polokreti, 2009)

El objetivo de este trabajo fue demostrar la efectividad del análisis de componentes principales (PCA) en la investigación de la caracterización, tecnología y desgaste de los materiales de construcción de monumentos históricos. Para esto se presentaron tres ejemplos.



La primera fue una investigación del origen y la tecnología de los ladrillos del Aghia Sophia (Stambul, Turquía), algunos de los cuales tuvieron que ser sustituidos debido al desgaste, durante recientes trabajos de restauración. Se comprobó por medio de la PCA que la arcilla original, utilizada para la construcción de los ladrillos no era similar a la de otras construcciones contemporáneas en Estambul, pero presentaba una gran similitud a la materia prima de los ladrillos de una iglesia contemporánea en la isla de Rodas (Dodecaneso, Grecia). Adicionalmente la tecnología de los ladrillos se estudió mediante porosimetría de intrusión de mercurio, las pruebas de resistencia y escaneo electrónico microscópico. El uso de PCA les brindó una manera muy comprensiva de presentar la diferencia de la tecnología de los ladrillos del monumento.

El segundo trabajo presentó una clasificación de los morteros de monasterios en la edad media (Bizantina), con base en su característica microestructural (Porosidad, Relación Hidráulica inversa) y las medidas de fuerza. La agrupación PCA dio un esquema ilustrativo en el que se mostró la relación entre el mortero y las características resultantes.

En el tercer caso se mostró un ejemplo de la correlación entre los datos de contaminación por el medio ambiente y los datos de desgaste de las superficies de mármol (composición de la pátina, la orientación de la superficie del monumento). El uso del PCA demostró ser una herramienta muy poderosa en el estudio de las propiedades de los materiales de construcción y su condición de desgaste. Sugirieron utilizar el PCA en investigaciones sobre la procedencia de la materia prima, con la finalidad de reemplazar los materiales originales de las estructuras con elementos similares a los originales. También se puede utilizar para mostrar los diferentes tipos de muestras, basados en la tecnología de las propiedades de las muestras, la capacidad de la PCA para proporcionar diagramas simples, ilustrativos y completos.

Esta investigación se centró en el estudio, clasificación y análisis de los materiales de construcción de los monumentos históricos. Esta investigación servirá como referente a la hora de analizar el material constructivo de las murallas de Cartagena en el sector que delimitamos para nuestra investigación.



1.2 MARCO TEÓRICO

Durante esta sección se definió las principales teorías y conceptos que serán utilizados durante el desarrollo de este proyecto, haciendo hincapié de manera especial las características de la roca, los patrones de deterioro y las diferentes tipologías de humedades.

1.2.1 Estudio patológico

La patología de las obras arquitectónicas y de ingeniería civil ha comenzado a tener en nuestro país la relevancia que corresponde ya que cada vez existe mayor conciencia sobre la importancia de entender y tratar las “enfermedades” que atacan a las estructuras. (Rene Niño, 2009) Patología procede del griego “pathos” enfermedad y “logos” estudio. La Patología Constructiva se define como la rama de la ciencia y técnica de la construcción que estudia los problemas en edificios y obras públicas o alguna de sus unidades después de la ejecución. Aparentemente definir la Patología Estructural representa una intromisión en otras áreas del conocimiento, pero para una mejor comprensión conceptual de ella más adelante haremos un símil con las ciencias médicas. No es a partir de las personas sanas que se hace la docencia y práctica médica sino frente a quien padece una dolencia, por lo que evaluando su cuadro clínico se hace el diagnóstico, se formulan estrategias y se dan pautas para su solución. Algo similar ocurre con las edificaciones cuando a partir de los daños que manifiesten, se formulan procesos de intervención y se crean metodologías para evitar que tales hechos se repitan en las nuevas obras. La Patología de Estructuras puede considerarse como parte de la patología constructiva dedicada al estudio sistemático y ordenado de los daños y fallas que se presentan en las edificaciones, analizando el origen o las causas y consecuencias de ellos para que, mediante la formulación de procesos, se generen las medidas correctivas para lograr recuperar las condiciones de desempeño de la estructura. Entonces la Patología puede ser definida como parte de la Ingeniería que estudia los síntomas, los mecanismos, las causas y los orígenes de los defectos de las obras civiles, o sea, es el estudio de las partes que componen el diagnóstico del problema. (Puentes Cardenas , 2007)



1.2.2 Patologías que aparecen por defectos

Son aquellas relacionadas con las características intrínsecas de la estructura, son los efectos que surgen en la edificación producto de un mal diseño, una errada configuración estructural, una construcción mal elaborada, o un empleo de materiales deficientes o inapropiados para la obra. (Rivva L, 2006)

1.2.3 Patologías causadas por daño

Son las que se manifiestan durante y/o luego de la incidencia de una fuerza o agente externo a la edificación. Los daños pueden ser producto de la ocurrencia de un evento natural, como un sismo, una inundación, un derrumbe, entre otros. Pero también pueden aparecer daños en las estructuras causados por el uso inadecuado de las mismas, por ejemplo, el caso en el que la edificación es obligada a soportar un peso superior al que fue concebido inicialmente (sobrecarga). (Rivva L, 2006)

1.2.4 Patología producto del deterioro de la estructura

Las obras generalmente se diseñan para que funcionen durante una vida útil, pero con el transcurrir del tiempo, la estructura va presentando manifestaciones que deben ser atendidas con prontitud. La exposición al medio ambiente, los ciclos continuos de lluvia y sol, el contacto con sustancias químicas presentes en el agua, en el aire, en el entorno; hacen que la estructura se debilite continuamente. Por esta razón es de vital importancia para las edificaciones, un adecuado y permanente mantenimiento, que ayuda a prevenir el deterioro normal e inevitable causado por el tiempo (Rivva L, 2006)



1.2.5 Diagnóstico

Según Broto, el diagnóstico de lesiones (patrones de deterioro) se define como el conjunto de investigaciones in situ (en el lugar) y de laboratorio que permiten determinar el estado del material y los causales del deterioro. Los estudios in situ están relacionados con la construcción y su entorno. Los análisis de laboratorio tienen que ver con la caracterización y diagnóstico de las piedras propiamente dichas. Los dos elementos son necesarios y complementarios para poder determinar cuáles son las causales de las lesiones y obtener un buen resultado a la hora de enfrentarse a una restauración (o conservación) de construcciones que involucren a los materiales pétreos. El análisis in situ está compuesto mayormente por análisis del clima, de los factores geológicos, de la contaminación ambiental, de los factores sociológicos, políticos y culturales, análisis históricos y caracterizaciones de la construcción. De los procesos de rehabilitación de una estructura, la evaluación y el diagnóstico constituye el paso quizá más importante puesto que de acuerdo con su definición vendrá la decisión de la intervención. Acertar en el diagnóstico representa el éxito de la inversión y por supuesto en la solución de las patologías causantes del problema. (Muñoz M., 2001)

1.2.5.1 Inspección detallada

La Inspección Detallada cubre un conjunto de acciones que deben seguirse de forma secuencial y programada y cubre entre otras, las siguientes labores: Investigación Documental, Inspección visual detallada, Levantamiento gráfico de daños, Recuento fotográfico, Planeamiento y definición de ensayos, Diagnóstico de Patologías, Informe de la Inspección. (Muñoz M., 2001)

1.2.5.2 Investigación documental

Es evidente que el primer paso de la evaluación de una edificación será la recopilación de toda la información escrita, dibujada o esquematizada relativa al proyecto o ejecución de la construcción. Se incluye dentro de los documentos, el diseño arquitectónico, el estudio geotécnico o de suelos, el proyecto estructural, memoria de los cálculos, libro de obra, registros



de interventoría, etc. sin descartar los antecedentes que puedan existir inclusive sobre comportamiento de las edificaciones aledañas.

1.2.5.3 Inspección visual detallada

El propósito de realizar un detallado inventario de los daños mediante un levantamiento, es el determinar el grado de compromiso de la estructura por tales efectos además de permitir la cuantificación de la rehabilitación. La realización de esta etapa implica las labores previas de la ejecución de planos de la estructura a escala y ahora preferiblemente en medio magnético para el posterior manejo de la información gráfica. Con los planos se realiza un detallado levantamiento de daños transcribiendo en ellos todas las afectaciones que presente la edificación. Se deben efectuar las anotaciones lo más precisas posibles indicando el área afectada, la longitud que cubre el daño, tamaño de las fisuras, características principales, zonas de humedades y manifestaciones externas de daño. Se debe elaborar a medida que se van requiriendo una clasificación o nomenclatura de los daños para lo cual es necesario establecer un glosario de términos como el siguiente, adoptado del ACI (American Concrete Institute).

1.2.5.4 Levantamiento grafico de daños

Para ejecutar este levantamiento no se requiere personal especializado, pero si personas con suficiente criterio y capacidad para distinguir el daño y poderlo reproducir apropiadamente en los dibujos del levantamiento. Se establece que las personas que ejecuten esta labor, utilicen casco y vestimenta apropiada con los recursos necesarios como comparador de grietas, cámara fotográfica, binóculos, lupas, lápices de colores, marcadores, papel engomado, linterna, cinta métrica, hojas y tabla de soporte, etc. Para realizar el levantamiento de daños y de acuerdo con la magnitud e importancia de ellos, se pueden elaborar, ojalá previamente, algunos esquemas axiométricos y otros desarrollados del elemento que se desea reproducir con el fin de soportar el diagnóstico del patrón de daño. Los dibujos deben realizarse a la escala apropiada. (Muñoz M., 2001)



1.2.5.5 Recuento fotográfico

Se debe realizar un recuento fotográfico detallado y concordante con el levantamiento de daños mediante fotografías que sustenten cada patología con una breve descripción de ella señalando como referencia el lugar que le corresponde dentro del área en consideración. Se recomienda que la fotografía incluya una referencia como por ejemplo la numeración continua mediante marcadores de manera inequívoca se defina el lugar de la toma fotográfica.

1.2.5.6 Planeamiento y definición de ensayo

Como punto de partida dentro de un estudio de Patología presentes en una edificación es necesario el pleno conocimiento del inmueble de manera que antes de realizar cualquier actividad, se debe recorrer repetidas veces la edificación con el fin de formarse una idea clara de su condición y de acuerdo con esto señalar las áreas de los trabajos de inspección. En esta etapa del estudio se definen los lugares y tipo de labores a realizar, tomando en consideración circunstancias tan variadas como por ejemplo si el edificio está habitado o si existe disponibilidad de fluido eléctrico. No es posible señalar un procedimiento rutinario, único y completo del tipo de ensayos que deben realizarse puesto que eso depende de los daños presentes y del criterio del profesional que realiza la inspección. En algunos casos las afectaciones pueden provenir de la respuesta de la edificación a las cargas verticales con lo cual los daños se asocian a la mecánica estructural, o de igual manera a los efectos sísmicos con lo cual prevalece en el estudio la investigación hacia las variables referidas al análisis y diseño estructural, donde, por ejemplo, la valoración de la resistencia de los materiales juega un papel muy importante. En otros casos las patologías pueden estar asociadas con circunstancias derivadas del intemperismo de la edificación y serán otras variables las que deben tomarse en cuenta. Así mismo existen casos en donde los daños no muestran su naturaleza de manera evidente, por lo cual será el criterio de profesional quien establecerá el tipo de evaluaciones más convenientes en procura de conocer las causas de los deterioros. De todas maneras, es importante aclarar que la planeación y realización de ensayos se hace a partir de las hipótesis preliminares de las patologías y el grado de compromiso que presenta la edificación.



1.2.5.7 Elaboración del informe de la inspección detallada

Al igual que lo dicho para señalar el proceso de Inspección, la ejecución de un Informe de Patología está supeditada a la condición del estudio y sus particularidades. El lenguaje debe ser sencillo, claro y específico con el debido soporte técnico y científicos que demuestren la naturaleza del daño y la propuesta de intervención. A manera de recomendación se propone la realización de un Informe que contenga cada uno de los aspectos analizados durante la Inspección que de manera general se recomienda la siguiente tabla 3 de contenido:

Tabla 3. Evaluación y diagnóstico de las estructuras en concreto

Temática	Contenido
Introducción	Alcance y motivación para la realización del estudio, breve descripción de la edificación y su entorno.
Investigación Documental	Resultados de la investigación documental: desarrollo histórico, lista de documentos recuperados.
Inspección visual	Descripción de la inspección visual y condiciones de servicio.
Levantamiento de daños	
Recuento fotográfico	Referencias a normas o a la literatura o investigaciones.
Diagnóstico de patologías	
Diseño y/o propuesta de intervención	
Conclusiones	
Recomendaciones constructivas	
Especificación de materiales	
Cantidad y programa de obra	
Presupuesto	
Anexos anunciados	

Fuente: ASOCRETO.

Dada la trascendencia que un Informe de Patología puede tener, no se recomienda transcribir de manera parcial apartes de él o resúmenes que no tomen en cuenta la condición de interrelación que pueda existir por la naturaleza de algunas patologías. Algunos de los puntos recomendados



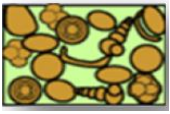
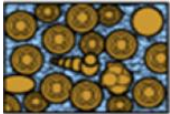
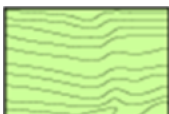


se tratan en este capítulo y los faltantes en otros dada la forma como está dispuesto el contenido de la presente publicación. (Muñoz M., 2001)

1.2.6 Definición y caracterización de la caliza

En la actualidad, se define la caliza como una roca compuesta por lo menos del 50% de carbonato de calcio (CaCO_3), con porcentajes variables de impurezas, en su interpretación más amplia, el término incluye cualquier material calcáreo que contenga carbonato de calcio como mármol, creta, travertino, coral y marga (Diccionario Enciclopédico Dominicano de Medio Ambiente, 2011). En aras de simplificar la comprensión de los tipos de piedras estudiadas en el presente trabajo utilizaremos la clasificación de calizas propuestos por Dunham (Imagen 1), el cual la agrupa en: Wackestone, Packstone, Grainstone y Boundstone.

Imagen 1. Clasificación de las rocas según Dunham

Componentes originales no unidos entre sí en la deposición				Los componentes originales se unen en el material esquelético de deposición. El material esquelético, la laminación es contraria a la gravedad, o las cavidades están cubiertas por material orgánico, pero demasiado grandes para ser los intersticios
Contiene barro (Partículas de arcilla y limo fino)		Carece de barro		
Barro-soportado		Con grano		
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos			
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone
				

Fuente: C.G. St.C.Kendall, 2005, AAPC.

Esta clasificación tiene en cuenta una serie de características de las piedras carbonatadas tales como el grado de empaquetamiento y el tipo de matriz en la que se encuentran los fragmentos aloquímicos.



Se distinguen dos tipos de matrices en la roca, el primero que corresponde a lodo calcáreo o micrita (contracción del inglés para microcrystalline calcite) la cual es una calcita de cristales muy finos que se comporta como un material amorfo y el segundo tipo de matriz corresponde a la esparita o calcita cristalina que presenta cristales de un tamaño superior a las 10 micras y que funciona como un cementante de los fragmentos, por lo que también se denomina cemento calcáreo. Es importante anotar, que en las diferentes piedras el proceso de cristalización del lodo calcáreo, o su transformación en esparita, es un fenómeno progresivo por lo que es normal encontrar especímenes heterogéneos cuya matriz contiene zonas de micrita y esparita al mismo tiempo. Los cuatro grupos principales de piedras calcáreas se describen a continuación:

1.2.6.1 Wackstone y Packstone

Son rocas compuestas por fragmentos calcáreos que se encuentran aglutinados por una matriz amorfa de lodo calcáreo. La característica que diferencia estos dos grupos de piedras radica en el contacto entre los fragmentos. Para el caso de las piedras Wackstone, los fragmentos se presentan flotando en la matriz mientras que, para las Packstone, los contactos son principalmente puntuales.

1.2.6.2 Grainstone

Están compuestas por fragmentos calcáreos (como fósiles, intraclastos, pellets, etc.) ubicados dentro de una matriz de calcita cristalina (esparita). Estas piedras proceden de ambientes de sedimentación tales como playas de naturaleza calcárea. A nivel textural, la porosidad de este tipo de piedras puede variar de un ejemplar a otro.

1.2.6.3 Boundstone

Este tipo de calizas están constituidas por diferentes componentes orgánicos originales que se han depositado construyendo la piedra de acuerdo con su morfología originaria; estos fósiles que pueden ser de distinto tipo, generan una gran diversidad de estructuras en la roca.



1.2.7 Clasificación tipológica de los baluartes y cortinas del recinto fortificado de Cartagena de Indias

De acuerdo con la clasificación que realizó el Arquitecto Alberto Herrera (2009) dentro de su estudio detallado de los elementos actuales que componen las unidades de intervención que nos interesan en este trabajo, podemos apreciar dos formas constructivas básicas dentro del sistema abaluartado de la ciudad de Cartagena, las cuales se presentan de manera repetitivas e independientes de otras formas constructivas de defensa que hacían parte de este recinto, estas formas son: *Cortina o lienzo de muralla* y *Baluarte o Bastión*.

1.2.7.1 Cortina o lienzo de muralla de recinto

Es un muro escarpado y recto que une dos baluartes, estos forman un frente defensivo o abaluartado muy dinámico, pues es donde se establecen los fuegos directos y cruzados. La cortina tiene una magnitud establecida que cambia en diferentes épocas, de acuerdo al desarrollo de la tecnología armamentista.

1.2.7.2 Baluarte o bastión

El bastión o baluarte es un reducto fortificado que se proyecta hacia el exterior del cuerpo principal de una fortaleza, situado generalmente en las esquinas de los 'muros de cortina', como punto fuerte de la defensa contra el asalto de tropas enemigas. Puede tener la forma pentagonal y en este caso, se compone de dos caras, dos flancos y la línea de gola por la cual se entra a la obra. El diseño del Baluarte y el hecho de que sobresalga del cuerpo de la fortaleza permiten cubrir los otros baluartes y los muros de cortina con fuego cruzado.

1.2.8 Categorías constructivas

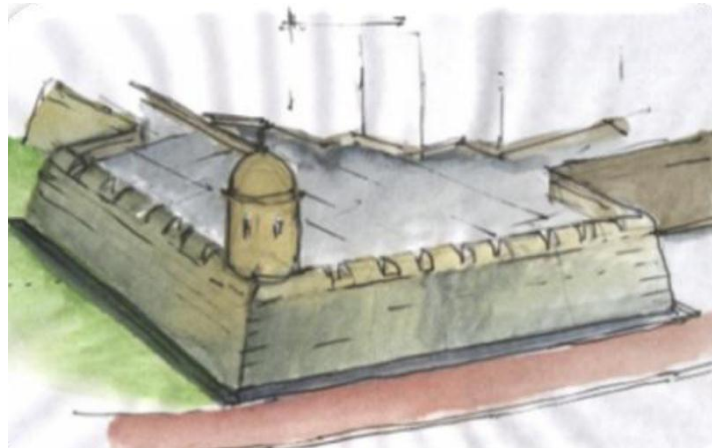
Se clasificaron las cortinas teniendo en cuenta sus variaciones dentro del sistema fortificado de la ciudad y unidad objeto de estudio:



1.2.8.1 Baluarte De Esquina Regular

Este tipo de baluarte está ubicado en la esquina de un recinto fortificado, además, presenta flancos regulares o simétricos, independiente de la forma de la gola.

Imagen 2. Baluarte de Esquina Regular



Fuente: Herrera Diaz, A. (2009).

1.2.8.2 Baluarte intermedio regular

Pertenece al tipo de baluarte que se encuentra en una zona intermedia del recinto fortificado y sus cortinas a ambos lados de esta, están construidas de forma perpendicular a este

Imagen 3. Baluarte Intermedio Regular



Fuente: Herrera Díaz, A. (2009).

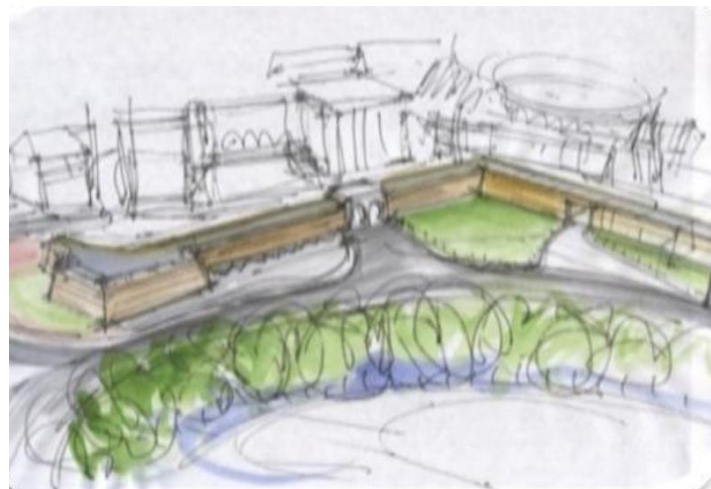


De igual forma se clasificaron las cortinas teniendo en cuenta sus variaciones dentro del sistema fortificado de la ciudad y unidad objeto de estudio:

1.2.8.3 Cortina atenazada con calle de ronda:

Consiste en una cortina, compuesta por dos tramos, las cuales por su ubicación en Angulo abierto con respecto a los baluartes que unen, forman una tenaza, a su vez presentan una calle de Ronda paralela a esta.

Imagen 4. Cortina Tipo C1



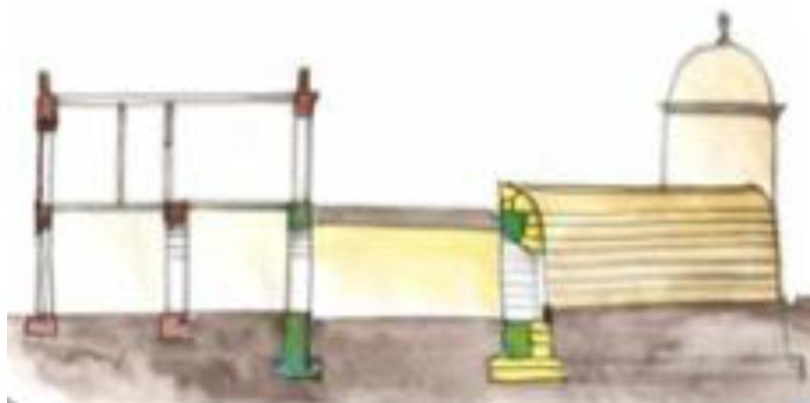
Fuente: Herrera Diaz, A. (2009).

1.2.8.4 Cortina con edificio adosado

Esta cortina presenta un edificio adosado a todo lo largo de esta y se integra a este con una función específica.



Imagen 5. Cortina tipo C2



Fuente: Herrera Diaz, A. (2009).

1.2.9 Restauración arquitectónica de patrimonios.

1.2.9.1 Grados de intervención

En la disciplina de la Restauración existen cuatro grados de intervención: la Preservación, la Conservación, la Restauración y el Mantenimiento. (Terán Bonilla, 2004)

La **preservación** constituye el conjunto de medidas cuyo objetivo es prevenir del deterioro a los inmuebles. Es una acción que antecede a las intervenciones de Conservación y/o Restauración, procurando que, con estas actividades, las alteraciones se retarden lo más posible, e implica el realizar operaciones continuas que buscan mantener al monumento en buenas condiciones.

La **conservación** consiste en la aplicación de los procedimientos técnicos cuya finalidad es la de detener los mecanismos de alteración o impedir que surjan nuevos deterioros en un edificio histórico. Su objetivo es garantizar la permanencia de dicho patrimonio arquitectónico.

La **restauración**, como grado de intervención, está constituida por todos aquellos procedimientos técnicos que buscan restablecer la unidad formal y la lectura del bien cultural en su totalidad, respetando su historicidad, sin falsearlo.

El **mantenimiento** está constituido por acciones cuyo fin es evitar que un inmueble intervenido vuelva a deteriorarse, por lo que se realizan después de que se han concluido los trabajos de



conservación o restauración (según sea el grado de intervención) efectuados en el monumento arquitectónico.

1.2.9.2 Tipos de intervención:

La Liberación, Consolidación, Reestructuración, Reintegración, Integración y Reconstrucción, son los Tipos de Intervención más frecuentes en la Restauración. Su profundidad y alcance varían dependiendo del grado de intervención que se efectúe en cada edificio histórico. (Terán Bonilla, 2004)

Liberación: Es la intervención que tiene por objeto eliminar (materiales y elementos) adiciones, agregados y material que no corresponde al bien inmueble original, así como la “...supresión de elementos agregados sin valor cultural o natural que afecten la conservación o impidan el conocimiento del objeto”.

Los materiales y técnicas empleados en la liberación tienen como fin eliminar aquellos agregados, materiales y/o elementos que se encuentran alterando al inmueble. Dichos agregados no son originales ni tienen un valor correspondiente a la historicidad del conjunto.

Consolidación: “Es la intervención más respetuosa dentro de la restauración y tiene por objeto detener las alteraciones en proceso. Como el término mismo lo indica, “da solidez” a un elemento que la ha perdido o la está perdiendo”. En este sentido la consolidación implica cualquier acción que se realice para dar solidez a los elementos de un edificio; en algunos casos un apuntalamiento o la colocación de un resane en un muro pueden ser considerados como procesos de consolidación, pues su finalidad es detener el deterioro de sus elementos o materiales.

La consolidación implica también la aplicación de materiales adhesivos, cementantes o de soporte en el bien inmueble con el fin de asegurar su integridad estructural y su permanencia en el tiempo. Cabe mencionar que, entre los restauradores de bienes muebles, especialistas que en un proyecto de restauración arquitectónica estarán encargados de las intervenciones que se realicen en pintura mural, argamasas, yeserías, esculturas de piedra y azulejos y otros elementos



decorativos, la consolidación siempre implica el proceso técnico por el que a través de un adhesivo, se proporciona mayor consistencia material a una obra, protegiéndola del medio ambiente y de la acción mecánica. El proceso siempre implicará la introducción de un consolidante (trátase de alguna resina, adhesivo, solución o producto determinado) en la estructura del material a intervenir con el objeto de darle mayor solidez.

Reestructuración: “Es la intervención que devuelve las condiciones de estabilidad pérdidas o deterioradas, garantizando, sin límite previsible, la vida de una estructura arquitectónica.”

Dentro del Proyecto Ejecutivo de Restauración el estudio y solución de los daños estructurales deberá ser realizada necesariamente por un especialista en estructuras históricas, quien además deberá asesorar la ejecución de dicha intervención en la obra.

Reintegración: Este término en la Restauración tiene diferentes acepciones, sin embargo, en la restauración arquitectónica es: la intervención que tiene por objeto devolver unidad a elementos arquitectónicos deteriorados, mutilados o desubicados. La forma teórica ideal de reintegración es la llamada ANASTILOSIS, o reubicación de un elemento desplazado de su posición.” La “anastylosis” o reconstrucción mediante ensamblaje “se aplica al proceso de reconstruir un edificio que se ha demolido como resultado de causas accidentales o por un colapso debido a negligencia y abandono”.

Integración: Esta intervención se ha definido como la “aportación de elementos claramente nuevos y visibles para asegurar la conservación del objeto es decir del monumento” y consiste en “completar o rehacer las partes faltantes de un bien cultural con materiales nuevos o similares a los originales, con el propósito de darle estabilidad y/o unidad visual a la obra”, claro está que sin pretender engañar, por lo que se diferenciará de alguna forma del original.

Reconstrucción: “Es la intervención que tiene por objeto volver a construir partes desaparecidas o perdidas de un monumento. En la reintegración hablamos de elementos deteriorados o mutilados, en la reconstrucción, de partes perdidas. La reconstrucción supone el empleo de materiales nuevos y no la reutilización de elementos pertenecientes a la construcción original ya perdida”. Esta intervención se refiere a las labores que se realizan en el monumento a nivel



estructural; debe fundamentarse en el respeto al inmueble y será efectuada de tal manera que sea reconocible.

1.2.9.3 Los principios teóricos:

En cuanto a los principios teóricos de la restauración debe decirse que son aquellos que norman las intervenciones que se realizarán en un monumento histórico. Básicamente son: el respeto a la historicidad del inmueble, la no falsificación, el respeto a la pátina, la conservación in situ y la reversibilidad. (Terán Bonilla, 2004)

El respeto a la historicidad del inmueble se refiere a que se deben respetar las distintas etapas históricas constructivas del edificio, sus espacios originales así como las ampliaciones, remodelaciones de importancia, mismas que no impliquen una afectación que vaya en detrimento del bien inmueble. (Para la eliminación de alguna etapa histórica se requiere de una investigación que fundamente los motivos y la decisión de ello deberá realizarse por un consenso de especialistas e instituciones de diferentes disciplinas).

El principio de No Falsificación se aplica cuando en una intervención se requiera integrar (completar algún elemento arquitectónico o reproducir ciertas formas perdidas). El teórico de la restauración Paul Philippot menciona al respecto que cada monumento es un documento histórico único y no puede ser repetido sin falsificarlo. Si por alguna razón la conservación del edificio requiere la sustitución o integración de una parte, forma o elemento arquitectónico determinado, así como el uso de materiales tradicionales similares a los que constituyen al inmueble, esta intervención debe ser reconocible, pero a la vez lograr una integración visual con el edificio, es decir, no debe resaltar o llamar la atención. Esto se ha logrado de diferentes maneras, como por ejemplo: fechando los nuevos elementos, usando materiales diferentes pero compatibles con los originales o utilizando los mismos materiales pero dándoles un acabado o tratamiento distinto al original.

Otro principio es el respeto a la pátina. Piero Sanpaolesi expresa que “La pátina adquirida por un edificio a través del tiempo tiene un valor propio y constituye un elemento esencial de su historia.” En muchas ocasiones se ha confundido a la mugre con la pátina, pero ésta representa



parte de la historicidad del bien arquitectónico al estar proporcionada por el envejecimiento natural de los materiales que constituyen a un monumento. Es decir, la pátina es una protección natural del material, por lo que no lo deteriora.

El principio de Conservación in situ se refiere al hecho de no desvincular al edificio ni a sus elementos de su lugar de origen. La Carta de Venecia en su artículo 8º expresa: “Los elementos de escultura, pintura o decoración que forman parte integrante de un monumento, no podrán ser separados del mismo”. Cuando por alguna causa, como por ejemplo, en el caso de un movimiento telúrico, algún elemento se ha desprendido de su lugar original, éste debe ser reintegrado en su sitio.

Principio de reversibilidad se refiere a la selección de “... aquellas técnicas, instrumentos y materiales que permitan la fácil anulación de sus efectos, para recuperar el estado del monumento previo a la intervención, si con una nueva aportación de datos, enfoques o criterios, ésta se juzga inútil, inadecuada o nociva al monumento.”

1.2.10 Método de Esclerómetro o Martillo de Schmidt

El martillo para ensayos de hormigón fue inventado por Ernst O. Schmidt e introducido por Proceq a principios de los años 1950. Sin duda es el instrumento de ensayos no destructivos más frecuentemente usado para la evaluación rápida de la condición de estructuras de hormigón. A través de los años, su aplicación ha sido extendida a ensayos de roca y ensayos de dureza de bobinas de papel. (Proceq SA, 2015)

La prueba está basada en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie sobre la que golpea la masa. En la prueba del martillo de rebote, una masa impulsada por un resorte tiene una cantidad fija de energía que se le imprime al extender el resorte hasta una posición determinada; esto se logra presionando el émbolo contra la superficie del concreto que se quiere probar. Al liberarlo, la masa rebota del émbolo que aún está en contacto con el concreto y la distancia recorrida por la masa, expresada como porcentaje de la extensión inicial del resorte, es lo que se llama número de rebote y es señalado por un indicador



que corre sobre una escala graduada. El número de rebote es una medida arbitraria, ya que depende de la energía almacenada en el resorte y del volumen de la masa.

Imagen 6. Esclerómetro o Martillo de Schmidt



Fuente: PCE Inst

1.2.11 Sistema de posicionamiento global

Para llevar a cabo levantamientos de alta precisión geodésico-topográficos es necesario utilizar equipos de medición de la tecnología más avanzada, tales como el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), con él es posible determinar las coordenadas que permiten ubicar puntos sobre la superficie de la Tierra. El GPS es un sistema de posicionamiento por satélites desarrollado por el Departamento de la Defensa de los E.U., diseñado para apoyar los requerimientos de navegación y posicionamiento precisos con fines militares. En la actualidad es una herramienta importante para aplicaciones de navegación, posicionamientos de puntos en tierra, mar y aire. (INEGI, 2014).



Imagen 7. GPS I finder Expedition C



Fuente: Manual del Usuario Lawrence, 2009.

1.2.12 Murallas de Cartagena de Indias

El cordón de murallas de Cartagena de Indias forma parte del sistema defensivo de la ciudad y está conformado por cortinas y baluartes construidos entre principios del siglo XVII y principios del XIX. El cordón amurallado se erigió alrededor de la ciudad en función de sus particularidades urbanas y aprovechando al máximo las características estratégicas que la geomorfología de su entorno ofrecía para su protección y defensa, sobre la base de un proyecto realizado por el ingeniero militar Bautista Antonelli. Los elementos que conforman la muralla son producto de una larga tradición constructiva basada en los conceptos defensivos del Renacimiento italiano, y en la construcción se utilizó la materia prima que se encontraba disponible en el entorno inmediato de la ciudad (Sociedad de mejoras publicas de Cartagena., 2014).

Clasificación según los frentes defensivos y las características de los periodos constructivos: La geomorfología del territorio determinó las condiciones de diseño para la defensa de la ciudad. Por ello se generaron distintos frentes de defensa que fueron evolucionando a lo largo de 300 años. Cada uno de estos frentes defensivos determinó el concepto de las unidades de intervención (UI), definidas inicialmente por Juan Manuel Zapatero. La UI es el área mínima a la que debe estar referida cualquier intervención que se realice en este bien cultural, y se constituye en uno de los criterios reglamentarios de la arquitectura militar, específicamente en el cordón de murallas.

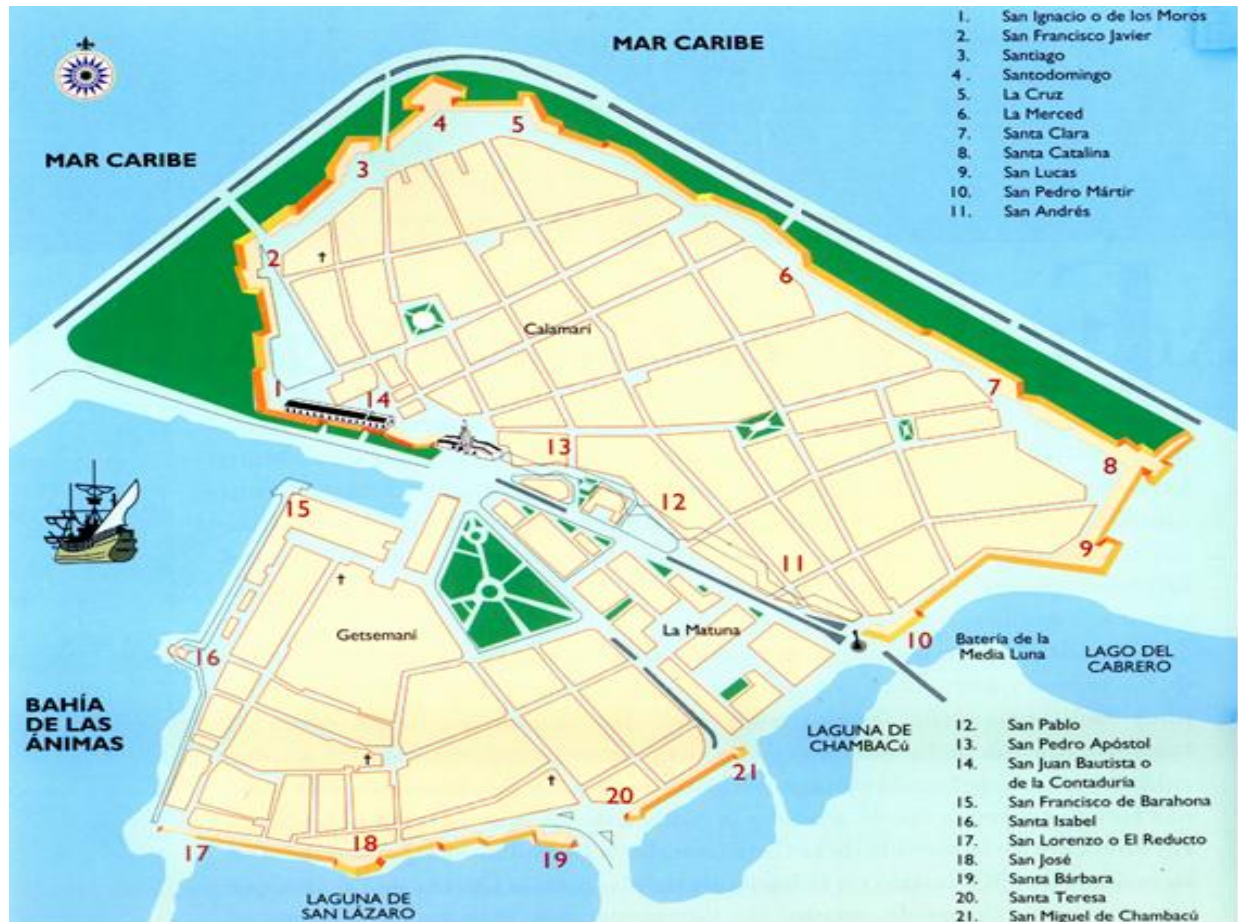
Las UI establecidas fueron las siguientes:



- UI 1: Conformada por el Baluarte de San Juan Evangelista, su cortina y la Cortina de la Boca del Puente.
- UI 2: Conformada por el Baluarte de San Ignacio de Loyola, Cortina y Baluarte San Francisco Javier.
- UI 3: Conformada por los Baluartes de Santiago Apóstol, Santo Domingo y La Cruz, incluidas sus cortinas.
- UI 4: Conformada por la Plataforma de Ballestas, Baluartes de la Merced y Santa Clara, y sus cortinas.
- UI 5: Conformada por el Edificio Militar de las Bóvedas y el Espigón de la Tenaza.
- UI 6: Conformada por los Baluartes de Santa Catalina, San Lucas y la cortina entre éstos.
- UI 7: Conformada por el Baluarte de San Pedro Mártir y la cortina atenazada.
- UI 8: Baluarte de San Miguel de Chambacú.
- UI 9: Cortina y Baluarte de Santa Teresa.
- UI 10: Baluarte de Santa Bárbara.
- UI 11: Baluarte de San José y su cortina
- UI 12: Baluarte del Reducto.



Imagen 8. Murallas de Cartagena



Fuente: Informe técnico de bienes culturales, Arq. Alfonso Cabrera.

Análisis de los componentes:

Desde el punto de vista del análisis de los componentes, la estructura de las murallas se puede clasificar en dos grandes grupos: baluartes y cortinas.

Baluartes:

Son pequeños fuertes armados, generalmente antecedidos por una plaza baja en la que se localiza una rampa de acceso a su plataforma superior, poternas y almacenes de pertrechos. En su plataforma superior hay elementos como tendales y garitas.



Cortinas:

Son muros de cierre. En su parte superior, o adarve, se constituyen en elementos de enlace entre los baluartes. Se trata de muros escarpados y rectos que unen dos baluartes para formar un frente defensivo o abaluartado muy dinámico, pues allí se establecían los fuegos directos y cruzados. En las cortinas se encuentran unas puertas que comunican el recinto interior con el exterior de las murallas, así como bóvedas que servían como sitios de almacenamiento y para otras actividades (por ejemplo, eran los baños de la época).

Componentes del sistema constructivo:

Los elementos que conforman la muralla, en función del sistema constructivo utilizado, se pueden clasificar así:

Escarpa: Muro exterior inclinado.

Contramuralla o Contraescarpa: Muro interior recto.

Plataforma: Superficie superior del acabado de relleno que se dispone entre la escarpa y la contraescarpa.

Relleno: Material con que se llena el espacio que media entre la escarpa y la contraescarpa. (Sociedad de mejoras publicas de Cartagena., 2014)

Análisis de los materiales constructivos:

Los materiales utilizados en la construcción de las murallas de Cartagena son principalmente piedra caliza de origen coralino y sedimentario extraída de canteras y tallada hasta alcanzar un tamaño específico, ladrillo cerámico (en menor cantidad) y argamasa de cal y arena como aglutinante. Los materiales que conforman cada uno de los componentes de la muralla son los siguientes:

Muro en sillar. Generalmente es la cara exterior de la muralla o del baluarte, y comúnmente se le denomina escarpa. Está construido con piedra coralina a partir de un módulo base de 50 x 50 x 70 cm, tallado y pegado con argamasa de cal (hidróxido de calcio $[Ca(OH)_2]$) y arena.

Muro mixto. Generalmente localizado en el interior del recinto, es conocido como contramuralla y está conformado por piedra coralina, ladrillo militar de 15 x 30 cm.



Relleno de plataforma. Conformado con material arenoso mezclado con residuos. (Sociedad de mejoras publicas de Cartagena., 2014).

1.2.13 Propiedades físico-mecánicas de las rocas

1.2.13.1 Resistencia a la abrasión (Desgaste)

Es una propiedad que depende, principalmente, de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar duros.

Para determinar la resistencia a la abrasión se utiliza un método indirecto cuyo procedimiento se encuentra descrito en la Norma INV E-219 (INVIAS, 2007) para los agregados gruesos. Dicho método más conocido como el de la Máquina de los Ángeles, consiste básicamente en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente. Se añade una carga de bolas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones.

El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P1 - P2}{P1} * 100$$

Donde

P1 = masa de la muestra seca antes del ensayo (grs)

P2 = masa de la muestra seca después del ensayo, lavada sobre el tamiz 1.68 m

1.2.13.2 Densidad:

Es una propiedad elemental y fundamental de los materiales, relacionada con la naturaleza de sus constituyentes y la porosidad existente entre ellos. La densidad (ρ) se define como la masa (M) por unidad de volumen (V), y se expresa en Kg/m³.



$$\rho = \frac{M}{V}$$

En los materiales porosos tanto la masa como el volumen admiten ciertas matizaciones y, en consecuencia, se pueden establecer distintos tipos de densidad. Fundamentalmente se distingue dos: densidad de los granos minerales y densidad de la roca seca.

1.2.13.3 Porosidad:

La porosidad es una medida de la capacidad de almacenamiento de fluidos que posee una roca y se define como la fracción del volumen total de la roca que corresponde a espacios que pueden almacenar fluidos. Como el volumen de espacios disponibles para almacenar fluidos no puede ser mayor que el volumen total de la roca, la porosidad es una fracción y el máximo valor teórico que puede alcanzar es 1. Muchas veces la porosidad es expresada como un porcentaje.

1.2.13.4 Resistencia a la compresión:

Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión. (Rhenal & Santos, 2012)

1.2.14 Patrones de deterioro según ICOMOS – ISCS (glosario ilustrado de patrones de deterioro de la piedra en edificaciones y monumentos)

Dado que este estudio está referido principalmente a la determinación de los patrones de deterioro y su correlación con el ambiente salino, su determinación estará basada en glosario ICOMOS-ISCS. Es necesario aclarar que el glosario ISCS solo contiene términos relacionados al elemento de piedra como un elemento individual dentro de un objeto o escultura ya construida. En consecuencia, los términos no están relacionados a la descripción del deterioro de una estructura de mampostería en piedra como tal. A continuación, se realizará una breve descripción de los patrones de deterioro.



1.2.14.1 Grieta:

Fisura individual, claramente visible a simple vista, resultado de la separación entre una parte y la otra. Se puede clasificar en:

Fractura: grieta que cruza completamente la superficie de piedra.

Grieta estrella: grieta que tiene la forma de una estrella. El hierro oxidado o el impacto mecánico son causas posibles de este tipo de daño.

División: fracturación de la piedra a lo largo de debilidad tales como microgrietas o capas de sedimentos, en casos donde los elementos estructurales están estructurados verticalmente.

Imagen 9. Fractura



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.13.2 Ampollamiento: Elevaciones hemisféricas altas separadas y llenas de aire en la cara de una piedra, resultantes del desprendimiento de una capa exterior de piedra. Este desprendimiento no está relacionado con la estructura de piedra. En algunos casos es causado por sales solubles.



Imagen 10. Ampollamiento



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos

1.2.14.3 Desintegración: Desprendimiento de granos solos o agregados de granos y se subclasifica en:

a) Desmoronamiento: el desprendimiento de agregados de grano de sustrato. Estos agregados son generalmente limitados en tamaño (menos de 2 cm). El tamaño depende de la naturaleza de la piedra y sus alrededores.

Imagen 11. Desmoronamiento



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

b) Desintegración granular: ocurre en granulados sedimentarios (ej. arenisca) y granulados cristalinos (ej. granito). La desintegración granular produce desechos, comúnmente llamados como comida de roca y pueden ser vistos acumulándose al pie de la pared que es deteriorada activamente. Si la superficie de piedra forma una cavidad, el material desprendido puede ser



acumulado al fondo de la cavidad por la gravedad. El tamaño del grano de la piedra determina el resultado del material desprendido. Los siguientes términos específicos, todos relacionados con desintegración granular, se refieren o al tamaño, o al aspecto de los granos correspondientes:

Imagen 12. Desintegración Granular



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

c) **Pulverizando, atizando:** términos que son algunas veces utilizados para describir la desintegración granular de granos finos.

Las piedras pueden presentar patrones de deterioración intermedia entre desintegración granular y desmoronamiento, ampliamiento, o patrones de deformación. La desintegración granular parcial o severa usualmente lleva a características de la superficie tales como alveolización o redondeo.



Imagen 13. Pulverización



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.4 Fragmentación: La fractura completa o parcial de una piedra a porciones de dimensiones variables que son irregulares en forma, grosor, y volumen. La fragmentación puede ser encontrada cuando los bloques de piedra son sometidos a sobrepeso. Las partes superiores al igual que las partes inferiores de las columnas monolíticas son particularmente propensas al astillamiento (mucho peso soportado en un área muy pequeña).

Imagen 14. Fragmentación



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.



1.2.14.5 Escamamiento: Desprendimiento de la piedra como una escama o una torre de escamas que no siguen la estructura de la piedra y se desprenden como escamas de pez o paralelas a la superficie de la piedra. El grosor de una escama es generalmente milimétrico o centimétrica, y es ignorable comparada con la dimensión de la superficie. Se puede clasificar en:

Descamación: escamacion en delgadas y planas o curvas escalas de un grosor submilimétrico o milimétrico, organizadas como escamas de pez.

Escamamiento del contorno: escamamiento en el cual la interfaz es paralela a la piedra

Imagen 15. Escamamiento

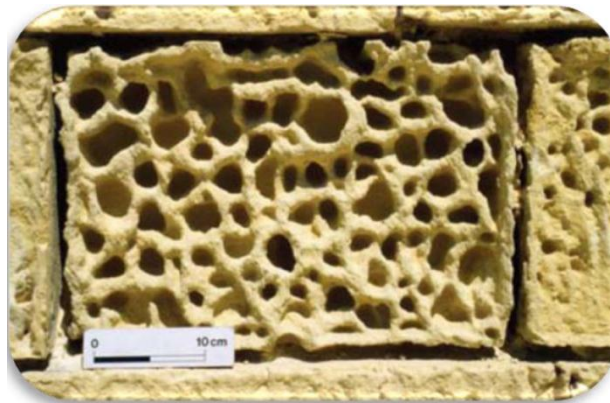


Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.6 Alveolización: Formación de cavidades (alveolas) en la superficie de la piedra que pueden estar interconectadas y pueden variar en formas y tamaños (generalmente miden centímetros, a veces metros).



Imagen 16. Alveolización



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.7 Erosión: Pérdida de la superficie original, que conlleva a formas alisadas, esta puede tener causas naturales o antropogénicas. Puede darse gracias a procesos químicos, físicos, y/o biológicos.

Imagen 17. Erosión



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.8 Microkarst: Red de pequeñas depresiones que miden milímetros o centímetros que están interconectadas y que en algunos casos parecen una red hidrográfica. Los patrones de microkarst se deben a una disolución parcial o selectiva de superficies calcáreas expuestas al agua. No hay trazos de desintegración granular o descamación sobre la superficie.



Imagen 18. Microkarst



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.9 Corteza: Es generalmente una acumulación de materiales coherentes en la superficie. Una corteza puede incluir una combinación de depósitos oxigenitos y materiales derivados de la piedra. Una corteza usualmente presenta un color oscuro (corteza negra), pero también hay cortezas en colores claros. Una corteza puede tener un grosor homogéneo y ser una réplica de la superficie de la piedra, o puede tener un grosor irregular y estorbar los detalles de la superficie de la piedra.

Subtipos:

a) Corteza negra: un tipo de corteza que se produce generalmente en áreas que están protegidas contra la lluvia directa en un ambiente urbano. La corteza negra se adhiere firmemente al sustrato. Están compuestas en su mayor parte de partículas de la atmosfera atrapadas en la matriz del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

b) Corteza salina: corteza compuesta de sales solubles, las cuales se desarrollan en la presencia de altos niveles de sal y círculos que se secan y se mojan.



Imagen 19. Corteza



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.10 Depósito: Una acumulación de material exógeno de grosor variable. Algunos ejemplos de depósitos son los aerosoles de agua salada, partículas atmosféricas como el polvo, restos de materiales conservativos como la celulosa, etc. Es de vital importancia saber que un depósito carece de adhesión con la superficie de la piedra.

Imagen 20. Depósito



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.11 Descoloración: Cambio del color de la piedra en uno de estos tres parámetros: tonalidad, valor, y croma.



- a) La tonalidad responde a las características más prominentes del color (azul, rojo, amarillo, naranja, etc....)
- b) El valor corresponde a la oscuridad (tonalidades oscuras) o a la claridad (tonalidades claras) del color.
- c) El croma, también llamado saturación, corresponde a la pureza del color, con una croma alta lucen ricos y llenos mientras que con una croma baja lucen grisáceos y aburridos.

La *descoloración* es producida frecuentemente por sales, la corrosión de metales (hierro, plomo, cobre), microorganismos, o exposición al fuego. Algunos tonos típicos de descoloración, como amarillo, naranja, café, y negro se dan gracias a la presencia de carotinoides y melanina, producidas por los hongos y la cianobacterias. Asimismo, se pueden encontrar zonas oscuras producidas por la humedad de diferentes formas y extensiones.

Imagen 21. Decoloración



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.12 Eflorescencia: Cristales delgados en la superficie de un color generalmente blanco o polvoriento. Las eflorescencias tienen una cohesión pobre y están hechas de cristales solubles de la sal. Su adhesión al sustrato es bastante débil lo cual facilita su remoción.



Imagen 22. Eflorescencia



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.13 Incrustación: Mineral duro y compacto en la capa externa adherido a la piedra. La morfología de la superficie y el color son usualmente diferentes a los de la piedra. Las incrustaciones usualmente son encontradas en las áreas del edificio donde el agua se está colando o se ha colado en el pasado. Las incrustaciones generalmente están adheridas firmemente a la piedra y cuando una incrustación es removida, los materiales de la piedra que están adheridos también se pueden haber removidos. Las incrustaciones en los monumentos son generalmente depósitos de materiales movilizadas por la colación de agua: carbonatos, sulfatos, óxidos metálicos, y sílica.

Imagen 23. Incrustación



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.



1.2.14.14 Patina: Modificación cromática del material, generalmente un resultado artificial o natural del tiempo y que en muchos casos no muestra un deterioro visible en la superficie, se clasifican en:

Patinas ricas en hierro: una capa natural delgada de color café o negro y enriquecido con materiales de la arcilla/hierro, el cual puede ser encontrado en el hierro que contiene piedras areniscas.

Patina de oxalato: una capa delgada de color café o naranja enriquecida con oxalatos de calcio. Este tipo de patina se puede encontrar en un ambiente al aire libre y en muchos casos sobre superficies de mármol o substratos de piedra caliza.

Imagen 24. Pátina



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.15 Manchar: Un depósito en forma de una capa delgada de partículas exógenos (ej. hollín), que le dan una apariencia sucia a tierra. Con las manchas pueden tener muchos grados de adhesión y cohesión con el substrato y su presencia no se considera una afectación a la estructura.



Imagen 25. Manchar



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.16 Subflorencia: Sales solubles con una adhesión pobre, comúnmente blancas, localizadas debajo de la superficie de la piedra. Las subflorencias están escondidas a menos que la capa de piedra sobre ellas se desprenda. En ese caso, los cristales de la sal se vuelven visibles en la nueva superficie expuesta.

Imagen 26. Subflorencia



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.14.17 Colonización Biológica: Colonización de la piedra por plantas y microorganismos como bacterias, hongos, algas, líquen, y cianobacterias. La colonización biológica también



incluye la influencia de otros animales como los que hacen sus nidos sobre la piedra. La relación generalmente es fuerte y se desarrolla generalmente en las cavidades de la piedra. Su incidencia puede ser aún mayor si bajo la presencia de árboles o animales cerca.

Imagen 27. Colonización biológica



Fuente: Icomos Iscs: Glosario Ilustrado de Patrones de la Piedra en edificaciones y monumentos.

1.2.15 Humedad y tipología de la humedad

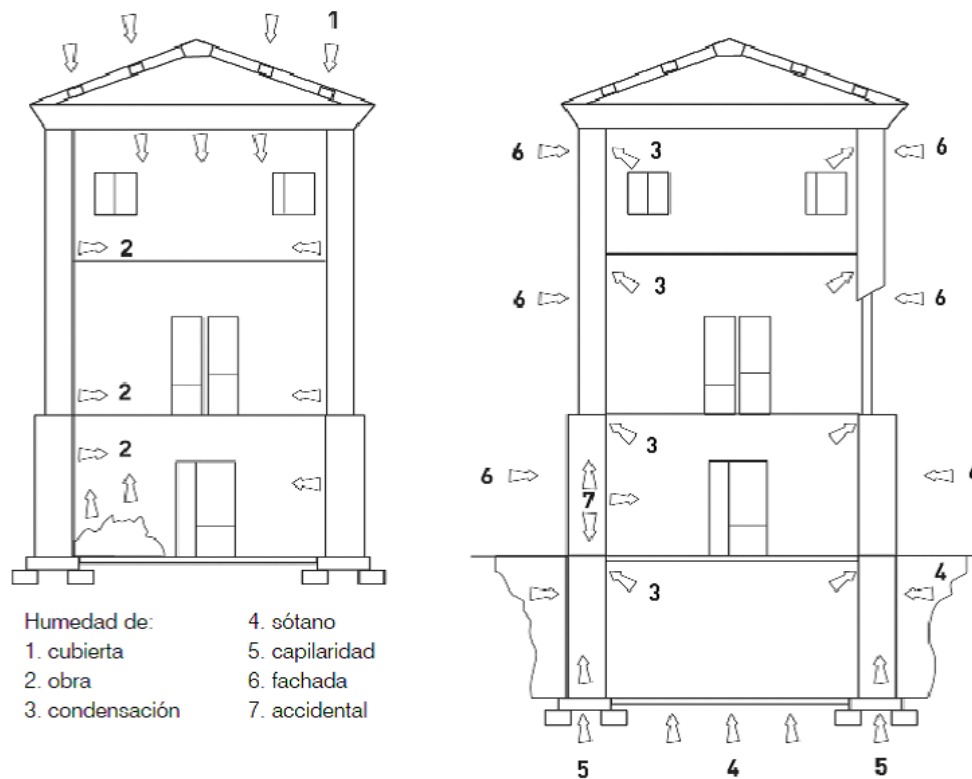
La humedad se puede definir como la presencia no deseada de agua en este líquido en lugares o períodos de tiempo variables. La aparición de humedad provoca patologías bien conocidas, como descomposiciones o disgregaciones de los materiales sobre los que se forma, efectos antiestéticos o desagradables como (olores, manchas, cambios de color, etc.) o bien ambientales perjudiciales para la salud, pero en muchas ocasiones las humedades son también el origen de lesiones constructivas más grandes que pueden llegar a implicar un elevado riesgo. Por ello es conveniente conocer bien algunas propiedades y características del agua y distintos tipos de humedades que pueden afectar a un edificio.

En la construcción de un edificio se utiliza una gran variedad de materiales, cada uno con características y capacidades de absorción de agua muy distintas. En función de la procedencia o de la manera de extenderse del agua se pueden distinguir los siguientes tipos de humedades:



- a) **De la obra:** Debida al contenido residual de agua utilizada en los procesos constructivos y que no se haya evaporado, así como al agua que contienen los propios materiales.
- b) **Capilar:** el agua procede del terreno sobre el cual se encuentra el edificio y, por capilaridad asciende por los elementos que están en contacto con el terreno.
- c) **De filtración:** Causada por la acción de la lluvia y el viento. El agua penetra a través de elementos constructivos.
- d) **De condensación:** la condensación del aire puede dar lugar a la formación de gotas que cuando se van agregando llegan a formar núcleos húmedos. Este fenómeno se puede producir tanto en el interior como en el exterior del edificio.
- e) **Accidental:** la falta de mantenimiento de las instalaciones del edificio, el mal uso de las mismas o algún fallo puntual también pueden provocar humedades.

Imagen 28. Humedad y tipología de la humedad



Fuente: Enciclopedia de la Broto de patologías en la construcción, 2005.



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar los factores patológicos, ligados con el entorno húmedo y salino al cual está expuesto el material pétreo conformante de las murallas en el sector Baluarte de Santa Bárbara, a través de un análisis descriptivo de las condiciones ambientales de la zona y su incidencia sobre los bloques; con el fin de plantear alternativas de solución de intervención para la restauración y preservación de su estructura.

2.2 Objetivos Específicos

- Revisar y actualizar las patologías existentes del cordón amurallado de la Ciudad de Cartagena de Indias, en el caso de estudio, utilizando las técnicas de análisis patológico.
- Comparar a través de análisis medio ambientales y del estado actual del material pétreo como el ambiente salino y húmedo influye en los patrones de deterioro que presenta la muralla actualmente.
- Localizar mediante sistemas de posicionamiento global GPS las patologías existentes en el cordón amurallado.
- Plantear soluciones a las patologías encontradas teniendo en cuenta el tipo de intervención

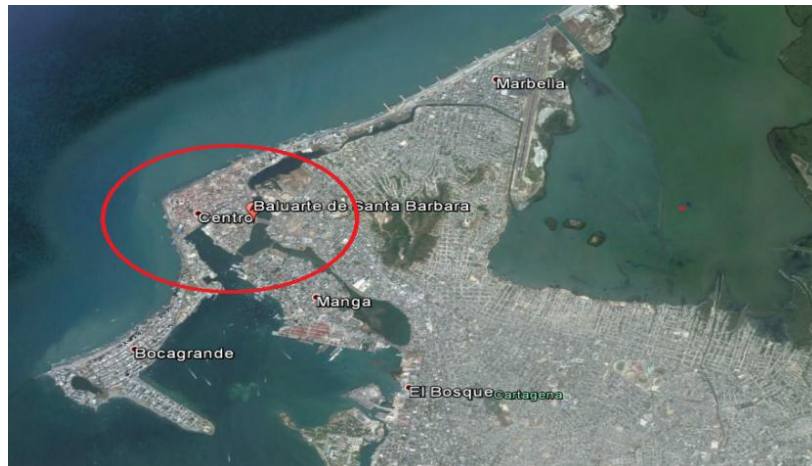


3 ALCANCE

3.1 Delimitación Espacial

La siguiente propuesta de trabajo de grado se llevó a cabo en la jurisdicción del municipio de Cartagena, en el departamento de Bolívar. Sus coordenadas geográficas fueron: 10°25'20'' Latitud Norte, 75°32' 36'' Longitud Oeste. Este municipio posee una superficie de 709.1 Km², con una población de 944.250 habitantes donde se proyecta para el 2020 una población municipal total por área de 1.057.445 de habitantes (DANE, 2005), su temperatura media es de 28OC y tiene una altitud de 2 msnm.

Imagen 29. Ubicación del municipio de Cartagena en Colombia



Fuente: Google Earth.



Imagen 30. Ubicación del municipio de Cartagena en Colombia



Fuente: Google Earth.

Imagen 31. Baluarte de Santa Bárbara



Fuente: Propia.

3.2 Delimitación Temporal

Este proyecto de investigación se realizó entre los meses de julio a noviembre de 2016, teniendo así una duración de 5 meses. Para definir las fechas en las cuales se realizaron los estudios, se implementó el uso de un cronograma de actividades, anexo previamente en el proyecto. Los ensayos y recorridos de campo se realizaron en los días estipulados en el cronograma.



3.3 Alcance Del Proyecto

El proyecto de investigación busco diagnosticar y recomendar tratamientos para los patrones de deterioro relacionados con el entorno húmedo y salino al cual está expuesto el material pétreo que compone la escarpa de la muralla, tomando en especial consideración el sector del Baluarte de santa Bárbara, a partir del análisis a los depósitos atmosféricos, análisis de humedades y la salinidad en relación con la meteorología, emplazamiento de la estructura y uso de la estructura, evaluaciones al sistema constructivo y sus materiales y un diagnóstico de los patrones de deterioro basando en inspecciones de campo y correlaciones de los análisis anteriores.

Para esta investigación se realizaron visitas al cordón amurallado de la ciudad de Cartagena de Indias, específicamente al Baluarte Santa Bárbara, para poder identificar, registrar y georreferenciar los daños en la estructura, causados principalmente por el ambiente húmedo y salino.

La fase de la georreferenciación se hizo con ayuda de un sistema de posicionamiento global GPS, el cual suministró las coordenadas exactas de los lugares donde se encuentren las patologías presentes en la estructura. Dicha herramienta fue facilitada por la Universidad de Cartagena.

A la vez se realizaron ensayos físico-mecánicos en las áreas donde se presentaban las patologías, que permitieron establecer las condiciones de la estructura. Cabe resaltar que dichos ensayos fueron lo menos invasivos posible con la estructura ya que está se encuentra protegida por ser patrimonio de la humanidad.

3.4 Alcance De Resultados

Al finalizar este estudio se determinó el ambiente al cual se encuentra expuesta la muralla, al estar en un entorno húmedo y salino altamente agresivo que compromete la integridad de su material pétreo. Con base en los diagnósticos que realizamos se determinó que las causas del deterioro de la escarpa no solo se deben a la humedad climática natural, sino a factores antrópicos como: el mal funcionamiento de los sistemas de drenaje (de baja capacidad hidráulica debido las basuras y sedimentos albergados en ello) y la contaminación atmosférica por quema



cercana de combustible fósil y usos inadecuados (Baño Público); que acentúan los efectos degradadores.

3.5 Alcance Productos Complementarios

Los resultados obtenidos se pueden utilizar como base para futuras investigaciones y restauraciones a la muralla, y, además, para realizar estudios que hagan énfasis en el alcance de este tipo de diagnósticos al resto de partes del elemento constructivo considerado (garita, rampa, contraescarpa, cimientos, etc.).

3.6 Limitaciones

Esta investigación presentó las siguientes limitaciones:

- No se hizo estudio de vulnerabilidad sismo resistente.
- No se hizo modelación en software.
- Para la parte del planteamiento de soluciones para la preservación del monumento no se tuvo en cuenta estudio de pre-factibilidad económica.



4 METODOLOGÍA

La siguiente investigación fue desarrollada durante el segundo semestre de año 2016, en la ciudad de Cartagena de indias, y está basada en la identificación de patologías en los sillares de la muralla, ligadas a factores tales como la salinidad y humedad propia de la zona costera, que se encuentran afectando el material pétreo que constituye el cordón amurallado de la ciudad, tomando como caso de estudio el sector del Baluarte de Santa Bárbara. Para tal fin se realizó una visita en el sitio del escenario que rodea dicha estructura, un análisis a la construcción, además de una evaluación al estado actual de la roca. A partir de lo cual se plantearon recomendaciones para la prevención de los daños que estas patologías le puedan ocasionar.

4.1 Diseño De La Investigación

La investigación realizada fue de tipo descriptiva, orientada a diagnosticar el deterioro producido por el ambiente marino al cordón amurallado de la ciudad de Cartagena de Indias en el sector ubicado en el Baluarte de Santa Bárbara, esta permitió medir la información recolectada para luego describir, analizar e interpretar de manera sistemática las características de la estructura.

4.2 Recolección De Información Secundaria

En primera instancia se realizó una revisión bibliográfica de los componentes históricos, investigaciones previas realizadas por expertos, estudiantes y libros, además nos apoyamos en las bases de datos y la biblioteca de la Universidad de Cartagena sede Piedra Bolívar, donde se encontraron artículos científicos fiables referentes al tema, que se habían efectuado para la identificación y caracterización de los materiales para poder desarrollar un diagnóstico.

Además se realizaron visitas de campo con el fin de inspeccionar visualmente el sitio de estudio y se registraron las patologías que a simple vista se observaron.

Dicha inspección visual se registra en formatos como el de la imagen 32, que incluyen la localización general del tramo, localización específica de las patologías, registro fotográfico, listado de patologías encontradas, comentarios y fecha de inspección visual. Ver Anexo 2



Imagen 32. Ejemplo del formato de inspección visual

PLAN DE MANTENIMIENTO CASTILLO SAN FELIPE DE BARAJAS. SISTEMAS ESTRUCTURALES. REGISTRO DE INSPECCIÓN VISUAL		Escuela Taller Cartagena de Indias FORTIFICACIONES																				
Fecha: DICIEMBRE DE 2013	INSPECCIONÓ: Ing. VIRGINIA GUTIÉRREZ	Revisó: Arq. MARIO ZAPATEIRO																				
REGISTRO FOTOGRÁFICO:		Ficha 2 de 10																				
		<p>BONETE </p> <p>LOCALIZACIÓN GENERAL Semi-baluarte 2°. Fotos 1 y 2. Sub-sector Norte. Fotos 3 y 4.</p> <p>LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA Parapetos y merlones.</p> <p>HALLAZGO N° 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">SINTOMAS VISIBLES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> porosidad superficial</td> <td><input type="checkbox"/> oxidación</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> caries superficial</td> <td><input type="checkbox"/> corrosión</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> caries profunda</td> <td><input type="checkbox"/> eflorescencias</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> fisura</td> <td><input type="checkbox"/> manchas negras, verdín</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> grieta</td> <td><input type="checkbox"/> acumulación de sales,</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> fractura</td> <td><input type="checkbox"/> manchas blancuzcas</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> deformaciones</td> <td><input type="checkbox"/> flora invasiva</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> desprendimiento</td> <td><input type="checkbox"/> fauna invasiva</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> deterioro y pérdida de pañete</td> <td><input type="checkbox"/> otro</td> </tr> </tbody> </table>	SINTOMAS VISIBLES		<input checked="" type="checkbox"/> porosidad superficial	<input type="checkbox"/> oxidación	<input checked="" type="checkbox"/> caries superficial	<input type="checkbox"/> corrosión	<input checked="" type="checkbox"/> caries profunda	<input type="checkbox"/> eflorescencias	<input type="checkbox"/> fisura	<input type="checkbox"/> manchas negras, verdín	<input type="checkbox"/> grieta	<input type="checkbox"/> acumulación de sales,	<input type="checkbox"/> fractura	<input type="checkbox"/> manchas blancuzcas	<input type="checkbox"/> deformaciones	<input type="checkbox"/> flora invasiva	<input type="checkbox"/> desprendimiento	<input type="checkbox"/> fauna invasiva	<input checked="" type="checkbox"/> deterioro y pérdida de pañete	<input type="checkbox"/> otro
SINTOMAS VISIBLES																						
<input checked="" type="checkbox"/> porosidad superficial	<input type="checkbox"/> oxidación																					
<input checked="" type="checkbox"/> caries superficial	<input type="checkbox"/> corrosión																					
<input checked="" type="checkbox"/> caries profunda	<input type="checkbox"/> eflorescencias																					
<input type="checkbox"/> fisura	<input type="checkbox"/> manchas negras, verdín																					
<input type="checkbox"/> grieta	<input type="checkbox"/> acumulación de sales,																					
<input type="checkbox"/> fractura	<input type="checkbox"/> manchas blancuzcas																					
<input type="checkbox"/> deformaciones	<input type="checkbox"/> flora invasiva																					
<input type="checkbox"/> desprendimiento	<input type="checkbox"/> fauna invasiva																					
<input checked="" type="checkbox"/> deterioro y pérdida de pañete	<input type="checkbox"/> otro																					
<p><small>Fotografías tomadas el 1 de diciembre de 2013</small></p> <p>COMENTARIOS: La mayoría de los muros de los merlones de este sub-sector presentan caries superficial y alguna caries profunda. Se observan muy pocas zonas con pañete.</p>																						

Fuente: Plan de Mantenimiento San Felipe de Barajas, Escuela Taller de Cartagena.

Para la realización de dichas visitas, se definieron los instrumentos y elementos que se utilizarían en la investigación, los cuales fueron, cinta métrica, cámara fotográfica, cuaderno de apuntes, lápiz, GPS y Esclerómetro facilitado por la Universidad de Cartagena.

4.3 Georreferenciación De Las Patologías Encontradas

Basados en el informe de inspección visual realizado en esta investigación, se determinó cuáles de las patologías presentes estaban afectando de manera significativa al material pétreo de la muralla. Se llegó a concluir que son 14 patologías representativas, las cuales se clasificaron y analizaron detalladamente. Luego se georreferenciaron con el GPS (sistema de posicionamiento



global) información que se utilizó con el objetivo de facilitar su localización e identificación, el GPS utilizado era de la marca i Finder Expedition C, de la compañía Lowrance Electronics.

Imagen 33. GPS utilizado para la Georreferenciación



Fuente: Propia.

4.4 Toma De Lectura Con El Esclerómetro

Se tomaron las lecturas en los lugares donde se encontraron las patologías que están afectando considerablemente la estructura, con la finalidad de verificar el estado actual del material constitutivo de las murallas. Este ensayo se realizó bajo la norma ASTM C 805, la cual nos aconsejó realizar el ensayo en una superficie plana y despejada de cualquier material que pueda afectar la lectura, realizar el ensayo como mínimo 10 veces para una sola muestra, para luego tomar la media de las lecturas obtenidas y por último que la distancia entre lectura y lectura no sea inferior a 2,5 cm. (ASTM, 2014)

Los datos arrojados por el martillo Schmidt se miden en “Rebotes”, y varían dependiendo del ángulo en el que se tome la lectura, todas las lecturas tomadas en este estudio se hicieron con un ángulo de 90°. Los datos de “Rebotes” por sí solo no representan nada ya que es una unidad



arbitraria, por lo cual se relacionaron dichos datos con la carta de correlación del esclerómetro, ver anexo 1 para poder hallar la resistencia en Kg/cm^2 .

Luego de obtenida dicha resistencia, se clasifico la roca por su resistencia según la tabla siguiente:

Tabla 4. Tipo de material según su resistencia

Tipo de material	Resistencia (kg/cm^2)
Muy débiles	<70
Débiles	70-200
Moderadamente resistente	200-700
Fuertes	700-1400
Muy fuertes	>1400

Fuente: Instron.

4.5 Diagnóstico

En esta fase se analizaron los resultados obtenidos en la inspección visual de las patologías, lo cual permitió determinar la magnitud de los daños y las posibles intervenciones, para dar una solución a las patologías de acuerdo a los métodos establecidos para la conservación de este tipo de monumentos. Con la información recopilada y las soluciones propuestas, se planteó un plan de intervención, que incluyó el registro patológico con las coordenadas exactas, registro fotográfico, resultados de los ensayos, recomendaciones de intervención y periodos de monitoreo propuestos. Este plan de intervención es de vital ayuda a entidades como la Escuela Taller y el IPPC, ya que brinda información exacta y confiable que permite realizar las intervenciones necesarias a corto, mediano y largo plazo, y además les permite actualizar dicho plan de acuerdo a su ejecución, logrando así mantener y conservar las estructuras del cordón amurallado.

4.5.1 Análisis Ambiental

El estado de conservación de las edificaciones, depende en gran medida de las características ambientales a las que éstas se exponen (Broto, 2005), por ello en esta etapa se estimó la vulnerabilidad del material a las condiciones que lo rodean. Como parte del análisis se realizó:



Estimación de depósitos atmosféricos

Para este procedimiento se instalaron testigos en los lienzos de las murallas, que para el caso se definieron como placas rectangulares de 60 x 60 cm hechas de material acrílico liso, en el que por deposición atmosférica el polvo y la salinidad característicos del ambiente costero circundante a la muralla, se depositan en un intervalo promedio de doce horas. Para efectos de este ensayo el tiempo de exposición fue igual para todas las muestras, debido a que permanecieron estables las condiciones atmosféricas. Los testigos se colocaron en lugares representativos del lienzo, en los que se consideró que no habría barreras físicas o posibles factores antrópicos que pudieran generar una alteración.

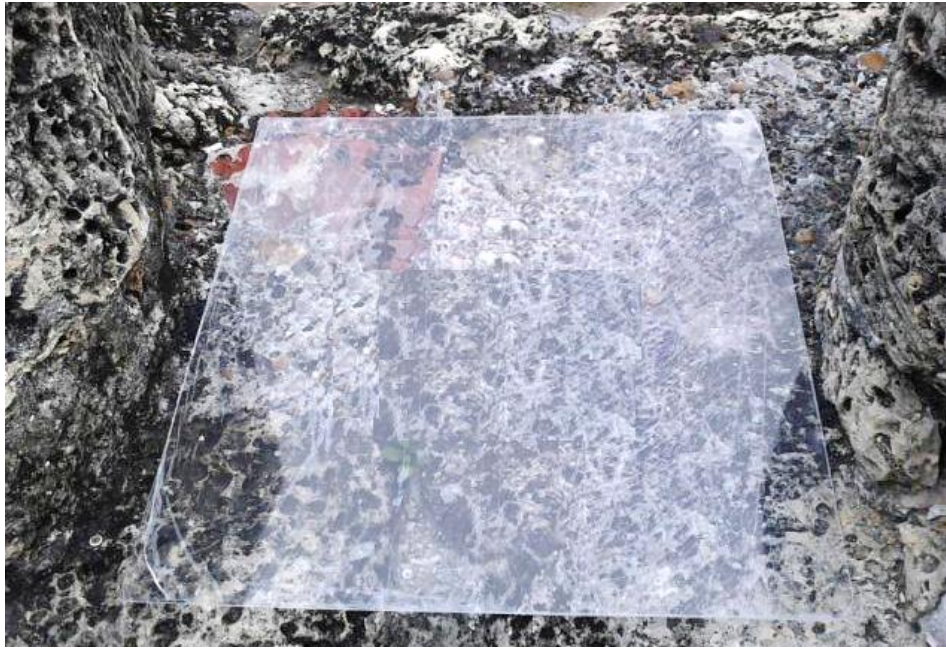
Imagen 34. Ubicación de los Testigos



Fuente: Google Earth.



Imagen 35. Testigo Utilizado



Fuente: Propia

La muestra en los testigos fue recolectada a través del lavado de los mismos con agua destilada, y se obtuvo una solución en la que se determinó, por medio de un análisis químico en los laboratorios de la Universidad de Cartagena ver anexo 6, la concentración de: cloruros, sulfatos y salinidades presentes en ésta.

Para confirmar que la posición de los testigos fue la correcta, se adicionó un testigo adyacente a los demás, el cual al momento de realizar cada análisis nos permitió comprobar que los resultados se encontraran muy cercanos o iguales entre ambos. Las cantidades de los depósitos: (cloruros, salinidad y sulfatos) se calcularon con las siguientes formulas:

Cloruros

$$C_{Cl^-} = \frac{[Cl^-] \times V_{Agua}}{A_t \times t_t} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

C_{Cl^-} : Cantidad de cloruros depositados ($g/m^2 \cdot \text{Año}$)

$[Cl^-]$: Concentración de cloruros



A_t : Área del testigo

T_t : Tiempo del testigo en el lugar

Salinidad

$$C_s = \frac{[salinidad] \times V_{Agua}}{A_t \times T_t} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

C_s : Concentración de salinidad

[salinidad]: Cantidad de sal depositada en (g/L)

A_t : Área del testigo

T_t : Tiempo del testigo en el lugar

Sulfatos

$$C_{Cl^-} = \frac{[SO_4^-] \times V_{Agua}}{A_t \times T_t} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

C_{Cl^-} : Cantidad de cloruros depositados ($g/m^2 \cdot \text{Año}$)

[SO_4^-]: Concentración de sulfato (g/L)

A_t : Área del testigo

T_t : Tiempo del testigo en el lugar



5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de realizar el reconocimiento de los patrones de deterioro, su posible causa, patologías georreferenciadas, y ensayos con el esclerómetro, era necesario conocer el contexto ambiental del caso de estudio, por lo cual se tuvieron en cuenta análisis ambientales al medio circundante de la muralla y la relación de estos con la posible aparición de las patologías registradas.

Análisis ambiental

Para estimar la vulnerabilidad ambiental hacia la humedad y salinidad se estudiaron los siguientes análisis unitarios:

Relación de la meteorología anual con respecto a la posible aparición de los patrones de deterioro en el material pétreo

En el 2009 El CIOH realizó una determinación de los promedios multianuales de condiciones meteorológicas en la ciudad de Cartagena de Indias hasta la fecha. En dicho informe se estableció que la ciudad posee un clima tropical semiárido y que tiene un promedio de humedad cercano a 80%, con la estación lluviosa típicamente entre abril-mayo y septiembre-noviembre.

En la Tabla 5, se encuentran los promedios multianuales de cada una de las variables meteorológicas analizados por el CIOH, para la ciudad de Cartagena hasta el 2009. Con respecto a ella en el mismo informe se identificaron en la urbe tres períodos climáticos principales, llamados Época Seca (verano) y Época Húmeda (invierno) y una Época de Transición.



Tabla 5. Climatológica de los principales puertos del Caribe Colombiano

Climatológica de Cartagena												
Temperatura (°C)												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Mínima promedio	22.9	23.1	23.6	24.6	24.9	25.0	24.7	24.9	24.7	24.4	24.4	23.5
Promedio	26.8	26.8	27.1	27.7	28.3	28.4	28.3	28.3	28.2	27.8	27.8	27.3
Máxima promedio	31.1	31.0	31.1	31.5	31.7	31.9	32.0	31.9	31.7	31.2	31.4	31.3
Precipitación, brillo solar y humedad relativa												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	8	1	1	29	92	115	94	124	143	244	132	37
Días lluvia	1	0	1	3	10	13	10	13	14	17	12	3
Humedad relativa (%)	79	78	78	79	81	81	80	81	81	82	82	81
Brillo Solar (horas/mes)	279	242	244	210	196	190	216	206	176	175	202	245
Evaporación (mm)	170	172	194	187	163	150	163	154	144	140	132	148
Datos medidos en: <u>Aeropuerto Internacional</u> <u>Rafael Núñez</u>			Promedios anuales	Evaporación	Temperatura			Precipitación			Brillo Solar	
				mm	Min	Med	Max	Total	Lluvia	Humedad		
				mm	°C	°C	°C	mm	Días	%		
				1.917	24.2	27,7	31,5	1.021	95	80		245

Fuente: CIOH, 2009.

Como producto de una evaluación de cada periodo climático de la ciudad según su precipitación, humedad relativa, brillo solar y régimen de viento, se estimó para cada época la amenaza que representa, además de la incidencia de las variaciones meteorológicas sobre la aparición de los patrones de deterioro influenciados por la humedad y salinidad en la estructura:

Época seca:

Durante esta época, que inicia desde el mes de diciembre hasta el mes de marzo, es donde se encuentran los vientos más fuertes de todo el año alcanzando velocidades hasta de los 50 km/h, también es donde se registran las velocidades más fuertes en todo el año con orientaciones N, NNE y NE. En esta época los vientos inciden perpendicularmente sobre la escarpa causando irregularidades (alveolización) en la superficie de la roca que facilitan la deposición de sales y contaminantes atmosféricos. Esta época representa la mayor amenaza a nivel de aspersión y deposición de humedad y salinidad marina. También es cuando la humedad relativa y las



precipitaciones alcanzan los valores más bajos de todo el año, llegando a 79% y 1 mm/mes. Por su parte el brillo solar logra sus mayores valores en el mes de enero (hasta 279 horas/mes), provocando sobre el material pétreo un estado más resistente a los ataques de la humedad y la salinidad y erradicándose algunos tipos de afloramientos biológicos de su superficie.

Época húmeda:

En la Tabla 5, se observó que la época húmeda abarca los meses de abril a noviembre, extendiéndose en ocasiones hasta la segunda semana del mes de diciembre, en donde las precipitaciones oscilan entre 29 y 244 mm/mes.

Dado que se presenta el régimen de viento más bajo con velocidades máximas de tan solo 19 km/h, en esta época la amenaza hacia el nivel de aspersion y deposición de salinidad marina es la más débil, pero es cuando se experimenta la mayor humedad atmosférica y tasa de precipitación, considerándose éstas como las directas responsables de los procesos de hidratación y cristalización de las sales depositadas durante los meses anteriores en los poros y la erosión generada por la escorrentía superficial (Broto, 2005). La escorrentía superficial también es la encargada de lavar y arrastra consigo los depósitos e incrustaciones acumulados previamente.

Debido el bajo régimen de vientos y el bajo brillo solar (175 horas/mes aprox.), las humedades en la estructura tienden a acumularse, lo que puede generar manchas y crecimiento biológico sobre las irregularidades de la superficie.

Aunque poco notorio, la orientación de los vientos N y NE coinciden una vez más con la alineación de la escarpa, haciéndola vulnerable al efecto de “*impulsión de la lluvia por acción del viento*”, siendo éste capaz de generar erosión a la roca a largo plazo (Se aclara que el análisis de la vulnerabilidad de la construcción por la degradación de este efecto, escapa los alcances de esta investigación) (Blocken & Carmeliet, 2004).

Época de Transición:

Como su nombre lo indica, se da una transición entre los 2 periodos mencionados con anterioridad y sus efectos se presentan moderadamente. El brillo solar y el régimen de vientos empiezan a disminuir gradualmente y aumenta la precipitación, la humedad relativa y la temperatura. Se inician los procesos de hidratación y cristalización de las sales, levemente el lavado y erosión por la escorrentía, y la colonización biológica en las superficies irregulares



como se describió anteriormente. La ciudad alcanza los mayores valores de temperatura en todo el año.

Estimación de depósitos atmosféricos

Con el fin de estimar el porcentaje de salinidad, cloruros y sulfatos que se depositan sobre el lienzo de la muralla, se colocaron los testigos sobre ésta y se realizaron los análisis químicos pertinentes.

Tabla 6. Análisis químico a la solución de los testigos

Muestras	Hora	Fecha de instalación-Recolección	Salinidad mg /L	Cloruros mg/L	Sulfatos mg/L
1	05:00 p.m.	16/09/2016	10	7,12	0,61
	05:00 a.m.	17/09/2016			
2	05:00 p.m.	16/09/2016	30	8.65	0.56
	05:00 a.m.	17/09/2016			
1	06:00 p.m.	21/09/2016	20	8.14	0,76
	06:00 a.m.	22/09/2016			
2	06:00 p.m.	21/09/2016	20	8.54	0,71
	06:00 a.m.	22/09/2016			

Fuente: Propia.

Como una forma de confirmar que la tasa de deposición fuera la correcta en las mediciones, se colocó para cada periodo de muestreo un testigo adicional adyacente al testigo No. 1 (Denominado por esta investigación como 1A) y se compararon los resultados de sus análisis químicos. Los resultados de estas muestras paralelas y el cálculo de la discrepancia porcentual entre ellas se presentan en la Tabla 7.



Tabla 7. Confirmación de análisis químico

17-09-2016	Cloruros mg/L		Sulfatos mg/L		Salinidad mg/l	
	1	1A	1	1A	1	1A
	7,12	7,40	0,61	0,72	10	17
Promedio	7,26		0,65		13,5	
Discrepancia (%)	3,78		15,2		41,1	
22-09-2016	Cloruros mg/L		Sulfatos mg/L		Salinidad mg/l	
	1	1A	1	1A	1	1A
	8,14	8,10	0,76	0,69	20	18,3
Promedio	8,12		0,725		19,15	
Discrepancia (%)	0,49		9,21		8,5	

Fuente: Propia.

En la tabla 7, se observa que no hubo diferencia significativa dentro de las mediciones. En los datos se observa que las concentraciones de los testigos de los días 17 y 22 de septiembre de 2016, fueron similares.

Implementando las ecuaciones para el cálculo de la deposición de: cloruros, salinidad y sulfatos, se hallaron las tasas de deposición.

Cloruros:

Tabla 8. Cálculo de la tasa de deposición de cloruros

Muestra	Fecha	Tasa de deposición de cloruros (g/m ² .Año)
1	17-09-2016	1,15
2	17-09-2016	1,13
1	22-09-2016	1,50
2	22-09-2016	1,54

Fuente: Propia.

Salinidad:

Se procedió a hallarla para cada uno de los testigos colocados:



Tabla 9. Cálculo de la tasa de deposición de Salinidad

Muestra	Fecha	Tasa de deposición de salinidad (g/m ² .Año)
1	17-09-2016	1,86
2	17-09-2016	2,31
1	22-09-2016	2,46
2	22-09-2016	2,38

Fuente: Propia.

Se obtuvo una tasa de deposición de cloruros y salinidad de 1,15 g/m²x año y 2,3g/m²x año respectivamente. Por ser la primera vez que se realizaba una investigación detallada de estas deposiciones en esta época del año, no se pudo contar con un punto de referencia que permitiera saber, que tan altas o bajas podían llegar a ser estas tasas, limitante que impidió determinar la magnitud de afectación de este factor.

Por otra parte, aunque se supuso una correlación proporcional entre la tasa de deposición y la velocidad de viento; factores como la escasez de mediciones, la amplia cantidad de variables relacionadas con la dirección fluctuante, obstáculos de las corrientes de aire y posibles factores antrópicos relacionados con el cuidado durante el tiempo de permanencia de la muestra, impidieron afirmar con veracidad cualquier relación de proporcionalidad, sin embargo, se puede decir que las concentraciones obtenidas de la salinidad y los cloruros en este ensayo, se atribuyen principalmente a sales del ambiente marino que rodea la estructura, que aumentan su presencia en la cercanía con la costa (Grossp & Esbert, 1994). La acumulación de estas sales junto con ciclos de humectación/secado contribuye a la formación de costras salinas, costras negras, incrustaciones, eflorescencia, daños mecánicos por presiones de cristalización e hidratación de las sales, los cuales pueden terminar en grietas, ampollamientos y desprendimiento granular.

Sulfatos:



Tabla 10. Cálculo de la tasa de deposición de sulfatos

Muestra	Fecha	Tasa de deposición de sulfatos (g/m ² . Año)
1	17-09-201	0,04
2	17-09-201	0,04
1	22-09-201	0,17
2	22-09-201	0,16

Fuente: Propia.

Se obtuvo una tasa de deposición de sulfatos de 0,04 g/m² x año. Por ser la primera vez que se realizaba una investigación detallada de estas deposiciones en esta época del año, no se pudo contar con un punto de referencia que permitiera saber, que tan altas o bajas podían llegar a ser estas tasas, limitante que impidió determinar la magnitud de afectación de este factor.

Georreferenciación y toma de lectura con el esclerómetro de las patologías registradas

Se procedió a georreferenciar y realizar ensayos de esclerómetro en las patologías más representativas del tramo de estudio, con la finalidad de conocer la resistencia de la roca alrededor de la patología y su ubicación exacta. A continuación se muestra un registro fotográfico de las patologías georreferenciadas y su respectiva resistencia, para observar los resultados del ensayo de esclerómetro ver anexo



Imagen 36. Patología N° 1



Fuente: Propia.

El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 187,2 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

Este tipo de alteración es asociado con la presencia de sales solubles características del ambiente costero de la ciudad, el cual genera aparición de cavidades que alojan en su interior material pétreo disgregado, eflorescencias o microorganismos, causados por ataques fisicoquímicos.

En esta patología se recomienda someterla a un proceso de devastación de aproximadamente de 10 a 15 cm de la roca, luego colocar con argamasa de cal y canto, una platina de roca de similares características a la roca de las murallas, con esto nos aseguraremos de conservar su estética y estabilidad.



Imagen 37. Patología N° 2



Fuente: Propia.

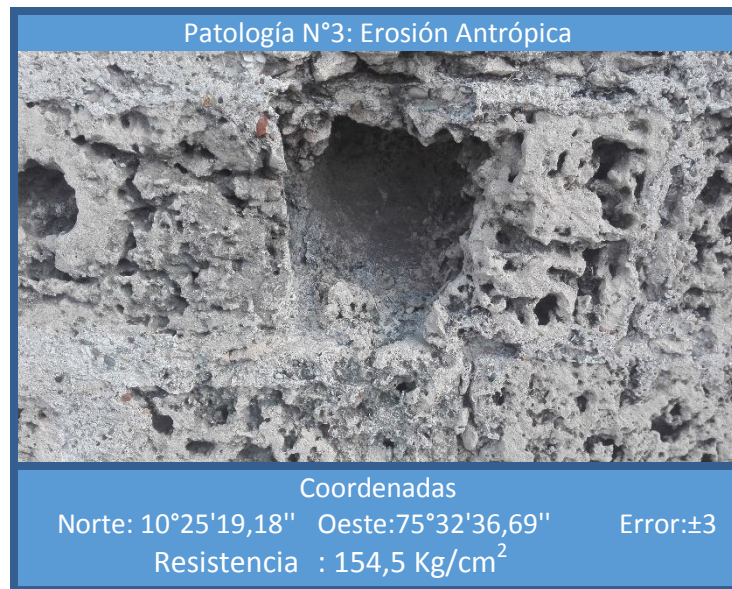
El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 172,4 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

En la imagen anterior se observa a simple vista una abertura de más de un centímetro de ancho lo cual nos indica que es una fractura, Este tipo de deterioro se agrava a causa de lluvias ácidas, filtraciones y efectos eólicos, por las brisas que se concentran en las juntas. Generando pequeños remolinos que van extrayendo el material de la pega.

En esta patología se recomienda someterla a un proceso de devastación de aproximadamente de 10 a 15 cm de la roca, luego colocar con argamasa de cal y canto, una platina de roca de similares características a la roca de las murallas, con esto nos aseguraremos de conservar su estética y estabilidad.



Imagen 38. Patología N° 3



Fuente: Propia.

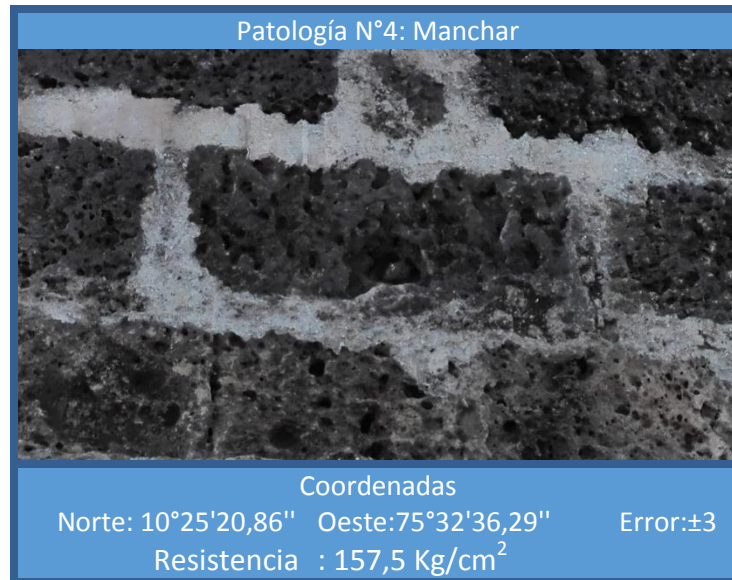
El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 154,5 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

En la imagen anterior se observa Perdida de la superficie original, que conlleva a formas alisadas, esta puede tener causas naturales o antropogénicos. Puede darse gracias a procesos químicos, físicos, y/o biológicos.

En esta patología se recomienda someterla a un proceso de devastación de aproximadamente de 10 a 15 cm de la roca, luego colocar con argamasa de cal y canto, una platina de roca de similares características a la roca de las murallas, con esto nos aseguraremos de conservar su estética y estabilidad.



Imagen 39. Patología N° 4



Fuente: Propia.

Anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 157,5 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

Este patrón de deterioro se pudo reconocer fácilmente. Las costras negras se presentan por la cercanía con la vía donde se genera el humo de los automóviles, Estas provocan a largo plazo alteraciones como: ampollas, disgregación, disolución y depósitos.

Se recomiendan rociar con polvo de cal para evitar la proliferación de manchas en la roca.



Imagen 40. Patología N° 5



Fuente: Propia.

El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 170,9 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

Debido a los alcances económicos de este estudio, no se analizó detalladamente los subtipos de colonización biológica. Sin embargo a nivel general, se encontró recubrimientos de capas biológicas enraizadas sobre las irregularidades de la roca. Sin duda debido a su cercanía con el manglar. La colonización biológica tiene como efectos secundarios daños mecánicos sobre los sillares, debido a las presiones ocasionadas por las raíces y la fijación de minerales que pueden causar manchas o impregnaciones.

Se recomienda limpiar la superficie de la roca de suciedades y elementos extraños, se hace lo mismo con los poros, recalzar las juntas al ras con argamasa, así evitaremos que la estructura sufra inestabilidad.



Imagen 41. Patología N° 6



Fuente: Propia.

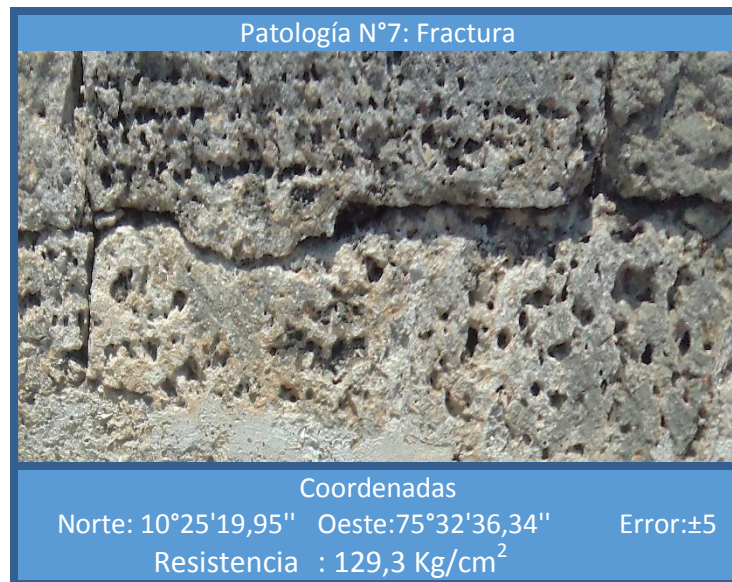
El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 111,5 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

En la figura anterior, se puede observar la pérdida de juntas. La cual crea inestabilidad en la estructura, este fenómeno se da principalmente por efectos de la meteorización de la argamasa y la escorrentía producto de las aguas lluvias.

Se recomienda recalzar las juntas al ras con argamasa para darle más estabilidad a la estructura.



Imagen 42. Patología N° 7



Fuente: Propia.

El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 129,3 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

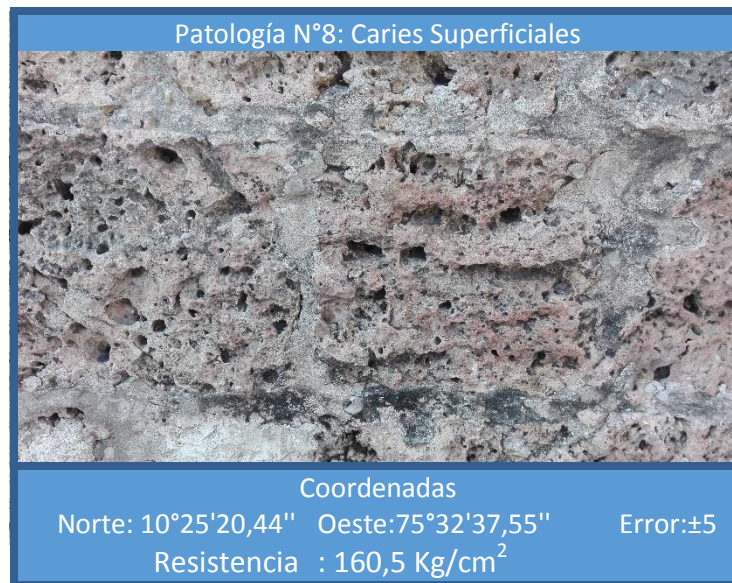
En la imagen anterior se observa claramente una grieta debido a que presenta una abertura entre cinco y diez milímetros, resultado de la separación entre una parte y la otra.

Este tipo de deterioro se agrava a causa de lluvias ácidas, filtraciones y efectos eólicos, por las brisas que se concentran en las juntas. Generando pequeños remolinos que van extrayendo el material de la pega.

Para esta patología se recomienda consolidación de juntas (cerrar pequeños espacios que quedan entre dos superficies) para aumentar la cohesión de los componentes superficiales de la roca.



Imagen 43. Patología N° 8



Fuente: Propia.

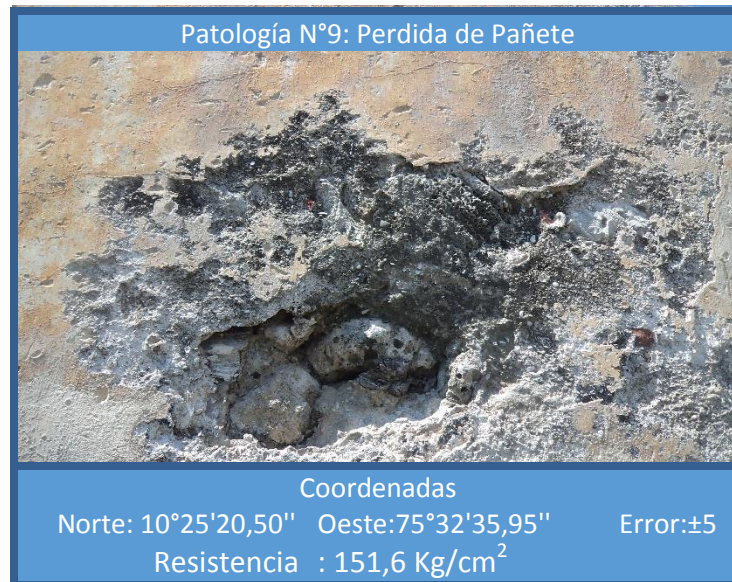
El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 160,5 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

En la anterior imagen, se observan caries superficiales. Estas anomalías causan debilidad estructural en la muralla, se determina debido a la presencia del deterioro progresivo en la superficie de la roca con pérdida de material pétreo, originado quizás por efectos eólicos ocasionando un desgaste mecánico sobre la roca.

Se recomiendan someterlas a un proceso de devastación de aproximadamente de 10 a 15 cm de la roca, luego colocar con argamasa de cal y canto una platina de roca de similares características a la roca de las murallas, con esto nos aseguraremos de conservar su estética y estabilidad.



Imagen 44. Patología N° 9



Fuente: Propia.

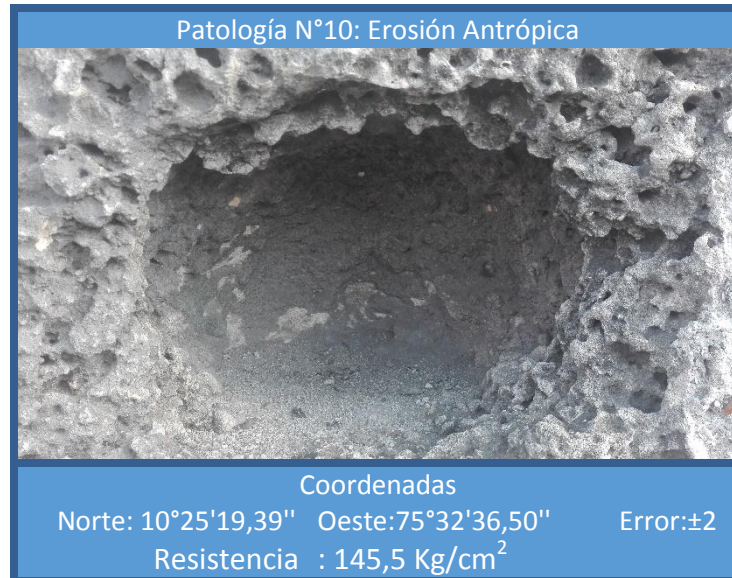
El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 151,6 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

En la imagen anterior se observa la pérdida de pañete estas anomalías son causadas por agentes de daños externos tales como exposición al ambiente agresivo, ciclos de mojado y seco, y erosión por acción del viento.

Se recomienda restaurar el pañete con argamasa de cal y canto, con esto nos aseguraremos de conservar su estética.



Imagen 45. Patología N° 10



Fuente: Propia.

El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 145,5 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

En la imagen anterior se observa Perdida de la superficie original, que conlleva a formas alisadas, esta puede tener causas naturales o antropogénicos. Puede darse gracias a procesos químicos, físicos, y/o biológicos.

En este caso se observa claramente el daño ocasionado a la roca por turistas y propios, ya sea rayando sus nombres sobre ella, raspándola para preparar sus dosis de "bazuco" (derivado de la coca de muy baja calidad) o incluso hacer caletas como se evidencio en unas de las visitas al sitio aunque no se pudo obtener un registro fotográfico por cuestiones de seguridad.

Se recomienda cambiar completamente la roca, ya que la posibilidad de devastar e integrar es nula, debido a la profundidad del daño mayor a 30 cm.



Imagen 46. Patología N° 11



Fuente: Propia.

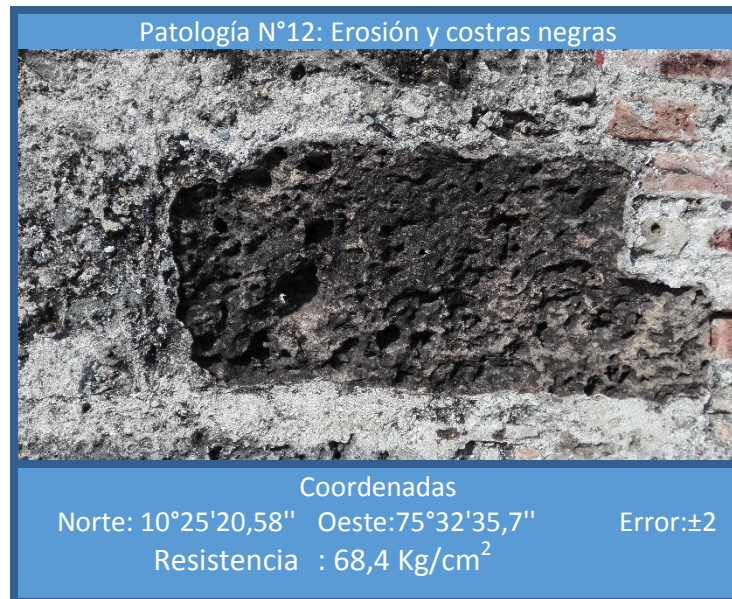
El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 66,9 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Muy Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

En la imagen anterior se observa Erosión, Este deterioro pudo deberse a 2 factores principalmente: uno seria la desintegración natural, ya que como sabemos, estas son rocas que llevan largo tiempo aguantando las inclemencias del tiempo. Y otro pudo ser ocasionado por una carie superficial que al no ser tratada a tiempo genero una carie profunda, originando un desgaste mecánico sobre la superficie de la piedra.

En esta patología se recomienda someterla a un proceso de devastación de aproximadamente de 10 a 15 cm de la roca, luego colocar con argamasa de cal y canto, una platina de roca de similares características a la roca de las murallas, con esto nos aseguraremos de conservar su estética y estabilidad.



Imagen 47. Patología N° 12



Fuente: Propia.

El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de 68,4 Kg/cm², valor que la ubica en la categoría “Muy Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia). En la imagen anterior se observan dos patologías (erosión y manchas negras).

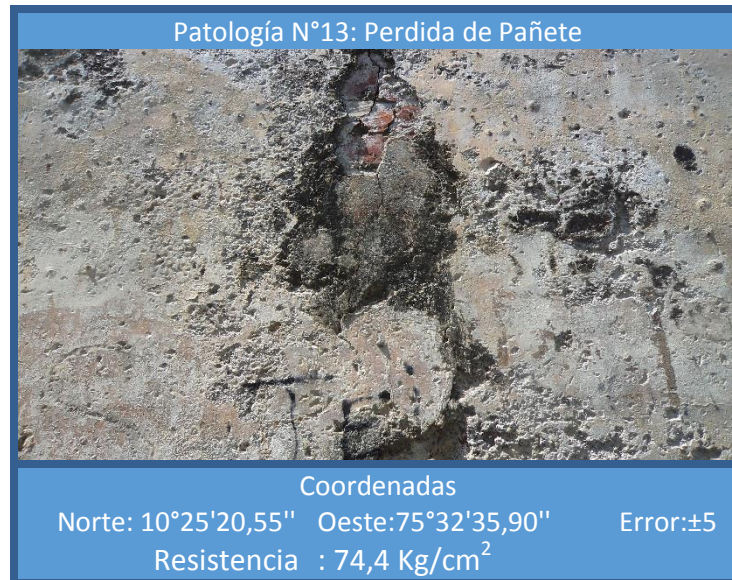
La erosión genera pérdida de la superficie original, que conlleva a formas alisadas, puede tener causas naturales y antropogénicas, también se atribuye a procesos químicos, físicos, y/o biológicos. Por el cual la roca es expuesta a que, con el clima y el tiempo, sufran cambios de carácter y se deterioren.

Las manchas negras se presentan por la cercanía con la vía donde se genera el humo de los automóviles, Estas provocan a largo plazo alteraciones como: ampollas, disgregación, disolución y depósitos.

Se recomienda someterla a un proceso de devastación y neutralización, en el cual se retira aproximadamente de 10 a 15 cm de la roca, luego colocar con argamasa de cal y canto una platina de roca de similares características a la roca de las murallas, además rocías polvo de cal para detener las manchas en la roca.



Imagen 48. Patología N° 13



Fuente: Propia.

El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de $74,4 \text{ Kg/cm}^2$, valor que la ubica en la categoría “Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

En la imagen anterior se observa la pérdida de pañete estas anomalías son causadas por agentes de daños externos tales como exposición al ambiente agresivo, ciclos de mojado y seco, y erosión por acción del viento.

Se recomienda restaurar el pañete con argamasa de cal y canto, con esto nos aseguraremos de conservar su estética.



Imagen 50. Patología N° 14



Fuente: Propia.

El anexo A2 Muestra los datos obtenidos del ensayo de esclerómetro realizado a la patología anterior, el cual indica que la roca presenta una resistencia de $66,9 \text{ Kg/cm}^2$, valor que la ubica en la categoría “Muy Débiles” de acuerdo con la tabla 4, (tipo de material según su resistencia).

En la imagen anterior se observa un desprendimiento de la roca de la muralla, causado quizás por una carie profunda debido a la acidez del agua lluvia producida por los óxidos de nitrógeno emitidas en la combustión de los automotores, aumentando la acción agresiva del agua.

Se recomiendan someterlas a un proceso de devastación de aproximadamente de 10 a 15 cm de la roca, luego colocar con argamasa de cal y canto una platina de roca de similares características a la roca de las murallas, con esto nos aseguraremos de conservar su estética y estabilidad.



En la siguiente tabla se puede observar de manera genaral el plan de interveccion y periodo de monitoreo de cada patologia, con su ubicación y resitencia.

Tabla N° 11. Plan de Intervención y Monitoreo de las patologías registradas

N°	Tipo de Patología	Coordenadas		Resistencia (Kg/cm ²)	Tipo de Intervención	Periodo de Monitoreo
		Norte	Oeste			
1	Alveolizacion	10°25'20,11"	75°32'36,04"	187,2	Devastar e integrar	3 Meses
2	Grieta	10°25'20,57"	75°33'17,3"	172,4	Devastar e integrar	3 Meses
3	Erosión Antrópica	10°25'19,18"	75°32'36,69"	154,5	Devastar e integrar	6 Meses
4	Manchar	10°25'20,86"	75°32'36,29"	157,5	Tratar con cal	3 Meses
5	Colonización Biológica	10°25'20,57"	75°32'37,66"	170,9	Tratar con cal	6 Meses
6	Perdida de Juntas	10°25'19,88"	75°32'36,31"	111,5	Recalzar Juntas	1 Meses
7	Fractura	10°25'19,95"	75°32'36,34"	129,3	Consolidación de juntas	3 Meses
8	Caries Superficiales	10°25'20,44"	75°32'37,55"	160,5	Devastar e integrar	3 Meses
9	Perdida de Pañete	10°25'20,50"	75°32'35,95"	151,6	Integrar y colocar pañete	2 Mes
10	Erosión Antrópica	10°25'19,39"	75°32'36,50"	145,6	Remplazar	3 Meses
11	Erosión	10°25'20,11"	75°32'36,04"	66,9	Verificar y/o Devastar e Integrar	6 Meses
12	Erosión y costras negras	10°25'20,58"	75°32'35,7"	68,4	Verificar y/o Devastar e Integrar	6 Meses
13	Perdida de Pañete	10°25'20,55"	75°32'35,90"	74,4	Integrar y colocar pañete	2 Meses
14	Desprendimiento	10°25'19,90"	75°32'36,34"	66,9	Devastar e integrar	3 Meses

Fuente: Propia



6 CONCLUSIONES

El presente Trabajo realizado en el Baluarte Santa Bárbara en el cordón amurallado de la ciudad de Cartagena de Indias, permitió conocer el estado actual de este. Se observó que en algunas zonas de este baluarte, el material pétreo constitutivo se encuentra en un proceso avanzado de deterioro. Entre los daños que se encontraron en la estructura, se identificaron las siguientes patologías; Erosión antrópica, Grietas, perdida de pañetes, caries superficiales, desprendimiento, entre otros.

Se identificó que la resistencia promedio del área circundante a las patologías encontradas en el tramo se encuentra en la categoría débil y muy débil de acuerdo a la tabla 4 (material según su resistencia) a partir del valor obtenido en las pruebas de resistencias a la compresión.

Es necesario aclarar que en las estimaciones de depósitos atmosféricos no fueron de gran utilidad debido a la escasez de mediciones y las amplia cantidad de variables relacionadas con la dirección fluctuante, obstáculos de las corrientes de aire y posibles factores antrópicos relacionados con el cuidado durante el tiempo de permanencia de la muestra, impiden afirmar con veracidad cualquier relación de proporcionalidad, sin embargo, las concentraciones obtenidas de la salinidad y los cloruros en este ensayo, se puede decir, que se atribuyen principalmente a sales del ambiente marino que rodea la estructura, que aumentan su presencia en la cercanía con la costa (Grossp & Esbert, 1994).

Esta investigación reconoce la necesidad de continuar haciendo estudios en la zona que confinen experimental y teóricamente tal comportamiento. Muy a pesar de lo anterior, es válido afirmar que los sulfatos obtenidos como producto de este análisis de sulfatos, se atribuyen a la contaminación atmosférica proporcionada por la quema de combustible fósil en los automóviles y se les atribuye el efecto de costras negras en la estructura, la cual poco a poco va adhiriéndose a la piedra, pegándose y originando una serie de daños la roca se va erosionando y se va comiendo, va perdiendo su volumen. Por eso es que vemos perforaciones en algunos sectores de la muralla, o que la piedra ha perdido su sección útil.

Pero el parque automotor no solo contamina. El tráfico por las calles adyacentes a la muralla también genera vibraciones que alteran el equilibrio estático de la estructura.

Además se suma el vandalismo de turistas y cartageneros que graban su nombre en la muralla o cuando drogadictos raspan la piedra para preparar sus dosis de "bazuco" (derivado de la coca de



**Factores De Deterioro En Rocas Calcáreas Conformantes De
Monumentos Patrimoniales De Importancia Histórica Y Cultural
(Caso De Estudio: Edificación Militar Del Baluarte Santa Bárbara)**



muy baja calidad) o simplemente usan como baño la magnífica obra. Problemática de la cual fuimos testigos mientras realizamos el proceso de inspección visual donde se apreció una falta de manteniendo, vigilancia y control por los inconvenientes antes mencionados.



7 RECOMENDACIONES

Debido a los extensos estudios que demandan las evaluaciones de daños, al bajo presupuesto de esta investigación y el limitado tiempo de estudio, no se pudo cuantificar muchos de los daños encontrados en la estructura y tampoco determinar con precisión el grado de deterioro con relación al tiempo de exposición que provocan los patrones estudiados durante esta investigación. Por ello se recomienda que por medio de modelaciones matemáticas se profundicen los efectos unitarios y combinados de los factores agresores.

Además se recomienda ampliar el alcance de este tipo de diagnósticos al resto de partes del elemento constructivo y calcular la resistencia a la compresión del material pétreo con equipos más especializados como el ultrasónico.

Es necesario indagar el efecto independiente de cada una de las variables examinadas por este trabajo, lo cual puede ser mediante cámaras aisladas que exponga al material a ambientes ácidos, salinos y húmedos para estudiar el efecto puntal de cada uno de estos factores, así como su acción en conjunto.

Es necesario realizar una investigación más profunda desde el punto de vista histórico, no solo limitándose a la evolución de la construcción si no relacionando este proceso a la evolución del entorno.



8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNOLD, A., & ZEHNDER, K. (1990). Decay of stony materials by salts on humid atmospheres. *Congress on Deterioration and Conservation of Stone.*, (págs. 138-148). Torun.
- ASTM. (2014). www.ASTM.org.
- Balado Piedra, E. J., & Flores Valdes, E. (2004). ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA DISOLUCIÓN KÁRSTICA Y LA. VII CONFERENCIA INTERNACIONAL, (pág. 10). Cuba. Obtenido de www.ScienceDirect.com
- Bicentenario de la independencia de Colombia. 1810-2010. (2007). *Climtología de los principales puertos del caribe colombiano*, Cartagena de Indias D.T. y C. Cartagena de Indias.
- BROTO, C. (2005). *ENCICLOPEDIA BROTO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN*. Barcelona: Structure Barcelona.
- Cueto Ferreira, J. A., & Granger Serrano, E. (2010). *Vulnerabilidad Sísmica Y Patología Estructural De La Muralla Sector Bóvedas - Hotel Santa Clara*. cartagena: Universidad de Cartagena.
- Cunin, E., & Rianudo, C. (2007). *Las Murallas de Cartagena, entre patrimonio , turístico y desarrollo urbano*. Uninorte , 1-16.
- EVANS, I. (1970). Salt crystallization and rock weathering: a review. *Revue de Géomorphologie dynamique, XIX Année*, , 153-177.
- GOUDI, A., COOKE, R., & EVANS, I. (1970). Experimental investigation of rock weathering by salts. 42-48.
- Herrera Diaz, A. (2009). *Estudios y diseños técnicos para la restauración del lienzo de murallas entre el Monumento de la India Catalina y el Museo de la Marina, en Cartagena de Indias, D.T. Cartagena de Indias D. T y C.: Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (FONADE) y Ministerio de Cultura, documento inédito.*
- Herrera Diaz, A. (2008). *INVESTIGACIÓN CONSTRUCTIVA Y TIPOLÓGICA DE LA MURALLA*. Cartagena: Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (FONADE) y Ministerio de Cultura, documento inédito.



- ICOMOS. (2010). ICOMOS-ISCS: Illustrated glossary on stone deterioration patterns. Champigny/Marne, France: V. Vergès-Belmin.
- INEGI. (1 de Octubre de 2014). INEGI. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/gps.aspx?dv=c1>
- Lozano, F., & Gonzalez, K. (2012). Evaluacion patologica de vulnerabilidad sismica del fuerte-bateria de san jose de Bocachica. Cartagena: Unicartagena.
- Moropoulou, A., & Polokreti, K. (2009). Principal componet analysis in monument conservation: there application axamples. ScienceDirect. Jzournal of cultural Heritage. Recuperado el 14 de Agosto de 2014, de www.sciencedirect.com
- Muñoz M., H. A. (2001). Evaluacion y Diagnostico de las estructuras en concreto. Seminario: Evaluacion y Diagnostico de las estructuras en concreto (pág. 21). Bogota, Colombia: Instituto del concreto: ASOCRETO.
- Oliveros Jimenez, M. (2011). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y vibracional de las murallas del sector que comprende el hotel Santa Clara hasta el Claustro de La Merced de la ciudad de Cartagena de Indias. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Proceq SA. (05 de 05 de 2015). www.proceq.com. (Proceq, Ed.)
- PRESS, F. y SIEVER, R. (1985).- "Weathering: the decomposition of rocks". Earth, Cap. 5. Edit. Freeman, pp. 101-124.
- Puentes Cardenas , G. S. (Junio de 2007). Patologia de la construccion en mamposteria y hormigon. Patologia de la construccion en mamposteria y hormigon. Sangolqui, Ecuador: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.
- Rivva L, E. (2006). Durabilidad y Patologia.
- Rene Niño, J. (2009). Patologia de las estructuras: aclaremos terminos. Noticreto N° 96.
- Rhenal, L., & Santos, L. (2012). ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL MATERIAL ROCOSO QUE CONSTITUYE LA ESTRUCTURA DE LAS MURALLAS DE CARTAGENA



Y EL UTILIZADO PARA SU RESTAURACIÓN Y REHABILITACIÓN.

Cartagena.

- Sociedad de mejoras publicas de Cartagena. (2014). Manual de uso temporal y aprovechamiento económico ... CARTAGENA.
- Terán Bonilla, D. A. (2004). Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica. Conservar N°8, 101-121.
- TEUTÓNICO, J.M. (1988).- "A laboratory manual for architectural conservations". ICCROM, 168 pp.
- Torok, A., & Prikryl, R. (1 de octubre de 2010). ScienceDirect. (ELSEVIER, Ed.) Recuperado el 21 de agosto de 2014, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795210001213>



9. ANEXOS

Anexo 1. Carta de correlación del Esclerómetro

CARTA DE CORRELACIÓN DEL ESCLERÓMETRO

IMPACT ANGLE α

R	α -90	α -45	0°	α +45	α +90
	F'c (kg/cm ²)				
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	265	238	190	170
33	290	280	250	210	190
34	310	290	260	220	200
35	320	310	280	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	370	340	300	280
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	420	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	Over 600	Over 600	580	550	530
55	Over 600	Over 600	600	570	550

R= LECTURA DE REBOTE DEL ESCLERÓMETRO

α = ANGULO DE APLICACIÓN DE LOS IMPACTOS

F'c = RESISTENCIA DEL CONCRETO LA COMPRESIÓN

Fuente: www.southgeosystems.net



Anexo 2. Formato de inspección visual

	<h2>Registro de inspección visual</h2>	
<p>Fecha 16/06/17</p>	<p>Inspecciono Alexy Martínez-Walter Arias</p>	<p>Reviso: Alfonso Cabrera Cruz</p> <p>Ficha 1 de 5</p>
<h3>Localización general</h3>		<h3>Localización específica</h3>
<p>El Baluarte de Santa Bárbara protegía el flanco derecho de la desaparecida Puerta de la Media Luna, formando junto al Baluarte de Santa Teresa el sistema defensivo que protegía la única vía de acceso desde tierra firme a la ciudad. Fue construido entre 1631 y 1633 por orden del gobernador e ingeniero Francisco de Murga y un siglo después Juan de Herrera y Sotomayor reparó los daños causados por el ataque francés de 1697. El baluarte cuenta con una rampa, dos garitas, dos bóvedas, un parapeto atronerao y otro a barbata.</p>		



Registro de inspección visual



Ficha
2 de 5

Reviso :
Alfonso Cabrera Cruz

Inspecciono :
Alexy Martínez Walter Arias

Fecha:
16/06/17

Registro Fotográfico :



Localización General

Baluarte de Santa Bárbara

Localización Específica

Flanco Derecho, Contraescarpa

Sintomas Visibles

- Porosidad Superficial
 - Caries Superficial
 - Caries Profunda
 - Fisura
 - Grieta
 - Fractura
 - Erosión
 - Deterioro Y Pérdida De Pañete.
 - Desprendimiento
 - Otro
- Erosión antrópica
 - Corrosión
 - Eflorescencias
 - Alveolización
 - Acumulación De Sales
 - Manchas Blancuzcas
 - Flora Invasiva
 - Manchas Negruzcas, Verdín



Registro de inspección visual



Fecha:

16/06/17

Inspecciono :

Alexy Martínez – Walter Arias

Reviso :

Alfonso Cabrera Cruz

Ficha

3 de 5

Registro Fotográfico :



Localización General

Baluarte de Santa Bárbara

Localización Específica

Merlón, Escarpa, Tronera

Síntomas Visibles

Porosidad Superficial

Caries Superficial

Caries Profunda

Fisura

Grieta

Fractura

Deformaciones

Deterioro Y Pérdida De Pañete.

Desprendimiento

Oxidación

Corrosión

Eflorescencias

Perdida de Juntas

Acumulación De Sales


Manchas Blancuzcas

Colonización Biológica


Manchas Negruzcas, Verdín

Otro





Registro de inspección visual



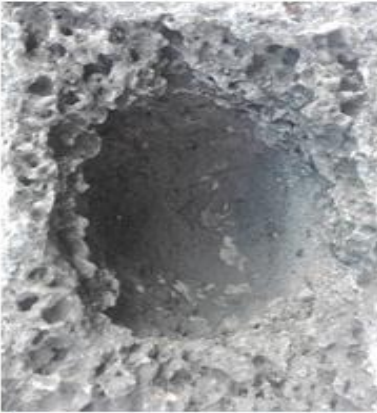



Fecha: 16/06/2016

Inspeccionado: Alexy Martínez - Walter Arias

Revisó: Alfonso Cabrera Cruz

Ficha: 4 de 5

Registro Fotográfico :

Localización General

Baluarte de Santa Bárbara


Localización Específica

Escarpa, Tronera


Síntomas Visibles

Porosidad Superficial	Oxidación
Caries Superficial	Erosión
Caries Profunda	Eflorescencias
Fisura	Fauna Invasiva
Grieta	Acumulación De Sales
Fractura	Manchas Blancuzcas
Erosión Antrópica	Flora Invasiva
Deterioro Y Pérdida De Pañete	Manchas Negruzcas, Verdín
Desprendimiento	Otro





Registro de inspección visual





Fecha: 16/06/17

Inspecciono: Alexy Martínez – Walter Arias

Reviso: Alfonso Cabrera Cruz

Ficha 5 de 5

Registro Fotográfico :

Localización General

Baluarte de Santa Bárbara

Localización Especifica

Escarpa, Tronera

Síntomas Visibles

Porosidad Superficial	Oxidación
Caries Superficial	Corrosión
Caries Profunda	Eflorescencias
Fisura	Fauna Invasiva
Grieta	Acumulación De Sales
Fractura	Manchas Blancuzcas
Deformaciones	Flora Invasiva
Deterioro Y Pérdida De Pañete.	Manchas Negruzcas, Verdín
Desprendimiento	Otro

Fuente: propia.



Anexo 3. Carta de correlación del Esclerómetro

PRUEBAS DE ESCLEROMETRIA					
LECTURAS	Patología 1	Patología 2	Patología 3	Patología 4	Patología 5
1	26	28	22	22	28
2	29	28	27	26	25
3	27	26	25	24	25
4	25	24	25	22	27
5	25	27	27	26	24
6	27	24	25	29	27
7	28	25	27	27	25
8	31	24	24	25	27
9	27	27	21	24	27
10	27	29	27	27	26
Promedio	27	26	25	25	26
F'c (Kg/cm2)	187,2	172,4	154,5	157,5	170,9

Fuente: Propia

Anexo 4. Carta de correlación del Esclerómetro

PRUEBAS DE ESCLEROMETRIA					
LECTURAS	Patología 6	Patología 7	Patología 8	Patología 9	Patología 10
1	24	21	21	19	22
2	23	23	24	25	26
3	21	23	27	27	27
4	21	24	27	25	24
5	19	25	24	26	21
6	23	25	26	25	19
7	21	24	25	27	25
8	24	21	26	25	28
9	24	26	27	21	26
10	21	21	27	28	26
Promedio	22	23	25	25	24
F'c (Kg/cm2)	111,5	129,3	160,5	151,6	145,6

Fuente: Propia



Anexo 5. Carta de correlación del Esclerómetro

PRUEBAS DE ESCLEROMETRIA				
LECTURAS	Patología 11	Patología 12	Patología 13	Patología 14
1	19	22	22	18
2	18	18	22	17
3	21	20	19	15
4	19	17	17	18
5	22	18	22	24
6	20	17	18	17
7	21	18	19	15
8	19	19	16	23
9	17	22	20	23
10	15	21	21	21
Promedio	19	19	20	19
F'c (Kg/cm2)	66,9	68,4	74,4	66,9

Fuente: Propia



Anexo 6. Resultados de Análisis Químico



Cartagena, 28 de septiembre de 2016

Reporte D.F. No 002809/2016

Señor(es)
Walter Arias Herrera - Alexy Martínez Vásquez
Ciudad

Cordial saludo.

A continuación informamos el resultado del análisis practicado a seis (6) muestras de testigo tomadas del baluarte de santa Bárbara, tomada y traída por ustedes.

PARAMETROS	MUESTRA 1: Testigo 1		
	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 512	7,12
Sulfatos Totales	ppm	ASTM D 516	0,61
Salinidad	ppm	ASTM D 512	10

PARAMETROS	MUESTRA 2: Testigo 2		
	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 512	8,65
Sulfatos Totales	ppm	ASTM D 516	0,56
Salinidad	ppm	ASTM D 512	30

PARAMETROS	MUESTRA 3: Testigo A		
	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 512	7,40
Sulfatos Totales	ppm	ASTM D 516	0,72
Salinidad	ppm	ASTM D 512	17



Factores De Deterioro En Rocas Calcáreas Conformantes De
Monumentos Patrimoniales De Importancia Histórica Y Cultural
(Caso De Estudio: Edificación Militar Del Baluarte Santa Bárbara)



	MUESTRA 4: Testigo 1		
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 512	8,14
Sulfatos Totales	ppm	ASTM D 516	0,76
Salinidad	ppm	ASTM D 512	20

	MUESTRA 5: Testigo 2		
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 512	8,54
Sulfatos Totales	ppm	ASTM D 516	0.71
Salinidad	ppm	ASTM D 512	20

	MUESTRA 6: Testigo A		
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 512	8,10
Sulfatos Totales	ppm	ASTM D 516	0,69
Salinidad	ppm	ASTM D 512	18.3

Vo. Bo.

ORLANDO DE LA ROSA MERCADO, Q.F.
ANALISTA PROFESIONAL

Fuente: Laboratorio universidad de Cartagena