

CODE 1.6.74**ESTUDIO DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS DE LA CATEDRAL DE SANTO DOMINGO, PRIMADA DE AMERICA****Flores Sasso, Virginia¹; Prieto Vicioso, Esteban²**1: Oficina de la Obra y Museos de la Catedral de Santo Domingo
e-mail: vfloressasso@gmail.com2: Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña
e-mail: eprietovicioso@gmail.com**PALABRAS CLAVE:** deterioro, degradación, patologías, influencia medioambiente, Catedral de Santo Domingo**RESUMEN**

Todos los materiales, incluyendo los de construcción, sufren con el tiempo procesos de envejecimiento que se presentan como degradación y/o deterioro, especialmente los que están a la intemperie o en contacto con el medioambiente. La Catedral de Santo Domingo, construida entre 1521 y 1541, ha sufrido en los últimos años un acelerado deterioro y cierta degradación de sus materiales constructivos, debido a la influencia del medioambiente local y con el agravante del clima tropical caribeño en que se encuentra.

El objetivo de este estudio ha sido diagnosticar las causas que provocan el acelerado deterioro y procesos patológicos en los materiales constructivos e identificarlas para determinar un tratamiento eficaz y adecuado para poder aumentar la vida útil de los materiales constructivos y reducir sus costos de mantenimiento.

El método planteado para el estudio consiste en tres etapas: la primera es la recolección de datos, levantamientos de alteraciones visibles (Cartografía) y un diagnóstico preliminar (visual); la segunda etapa consiste en la caracterización de materiales (análisis químico, mineralógico, físico, mecánico, etc.), en toma de datos con equipos especializados y el diagnóstico definitivo; y la tercera etapa en el diseño de tratamientos y procedimientos para la intervención donde entra también el control técnico y posterior mantenimiento.

Los estudios y análisis abarcaron toda la parte exterior la Catedral de Santo Domingo, desde sus fachadas hasta las cubiertas, de manera integral. El resultado de este trabajo produjo la caracterización de los materiales empleados en la construcción de la Catedral, la identificación de las patologías y alteraciones así como los elementos que la producen.

1. INTRODUCCIÓN

La Santa Iglesia Basílica Catedral Metropolitana Nuestra Señora Santa María de la Encarnación, Primada de América, construida entre 1521 a 1541, es el edificio colonial más importante y uno de los edificios que menos alteraciones y modificaciones ha sufrido a lo largo de su historia en la República Dominicana. Sin embargo, la Catedral no es ajena a la degradación y/o deterioro progresivo que sufren naturalmente todos los materiales por el paso del tiempo, por la acción de los agentes atmosféricos y contaminantes que están presentes en el medioambiente o por los agentes biodegradables [1].

La Catedral de Santo Domingo fue creada el 8 de agosto de 1511 mediante la bula *Romanus Pontifex* emitida por el Papa Julio II. Es la única iglesia tardogótica, de planta de salón o *hallerkirchen*, en América, de tres naves cubiertas por bóvedas de crucería de piedra y muros de sillares de piedra coralina. Tiene catorce capillas laterales ubicadas siete en cada lado, un coro alto sobre la puerta sur, una sacristía, una sala para el cabildo eclesiástico ubicada sobre el portal norte y el campanario sobre la base de la torre que quedó inconclusa. Su coro bajo fue demolido en 1877 [2].”Figura 1”



Figura 1: Fachada de la Catedral de Santo Domingo.

2. METODOLOGIA

El método establecido para realizar este estudio, se dividió en seis etapas: 1) Determinación del estado actual de la iglesia; 2) Toma de muestras; 3) Caracterización de materiales; 4) Determinación de patologías; 5) Análisis de los factores y causas de deterioro y degradación; 6) Diagnóstico y procedimiento de intervención.

Para determinar el estado actual se elaboraron una serie de documentos planimétricos y levantamientos arquitectónicos precisos (planta y elevaciones), lo cual fue complementado con un levantamiento fotográfico. Esta planimetría se realizó mediante tecnología de barrido laser con un Escáner 3D, complementado con un levantamiento fotogramétrico para lo cual se utilizó una cámara fotográfica calibrada, un equipo TCR de medición sin prisma y una plataforma de tijerilla para poder elevarse verticalmente. Todo esto fue completado con una toma de datos manual, con cinta métrica, nivel, plomada y escuadra. ”Figura 2”

Además, para comprender mejor el monumento se realizaron una serie de investigaciones, entre ellas: la identificación de intervenciones anteriores (fecha y acción realizada), técnicas constructivas utilizadas en la construcción, cambios significativos producidos a lo largo de su historia (tanto en la estructura, entorno y uso) y sucesos que pudieran haber causado algún daño. Debido al tamaño de la iglesia se preparó una guía donde se enumeró cada componente de las fachadas y cubiertas para poder indicar e identificar con mayor precisión el lugar donde fueron tomadas las muestras y donde estaban localizadas las patologías. “Figura 3”



Figura 2: Toma de datos.



Figura 3: Guía de identificación de la fachada Sur.

Para la caracterización, lo primero fue identificar los materiales presente en la catedral, de acuerdo a su origen, determinando los siguientes: piedra y madera (geo-material natural) y ladrillo, morteros, capas pictóricas (geo-material artificial). Luego se establecieron las características que fueron analizadas. Estas son: descripción macro y microscópica, componentes petrográficos, porosimetría, resistencia mecánica, capacidad y velocidad de absorción,

Cartografiar las sales, humedades y resistencia de los materiales fue parte de los análisis para determinar las patologías presentes. Se estudiaron todas las fachadas y para la toma de datos se preparó previamente una cuadrícula donde se marcaron los ejes X y Y, ejes que al superponerlos en los planos coincidían con cada uno de los sillares o ladrillos. Asimismo se cartografió las zonas donde había depósitos superficiales (suciedades, excremento de palomas) y biológicos (vegetación y hongos), mediante un análisis visual y fotográfico. “Figura 4”

Con toda esta información se determinó que existían siete factores principales que han influido en el deterioro y degradación de los materiales utilizados en la Catedral. Estos son: 1) la propia naturaleza de los materiales, 2) las condiciones medioambientales como el clima (temperatura, humedad, viento, presión atmosférica, lluvias, sol), las sales presente en el ambiente, procedente del spray marino producto de la cercanía de la edificación con la costa y la contaminación ambiental (lluvia ácida, ácido sulfhídrico presente en el aire), 3) la biodegradación (hongos y vegetación), 4) Intervenciones y reparaciones inadecuadas, 5) Desastres naturales (huracanes y terremotos) , 6) Factor humano (actos vandálicos) y 7) Presencia de animales (palomas).



Figura 4: Cartografía de humedad en el campanario

Como parte del diagnóstico, se diseñó una ficha para evaluar el grado de alteración o deterioro que presenta la edificación, tanto por sus materiales como por sus elementos. Esto ayuda a determinar los mecanismos que provocan el deterioro. Todo el diagnóstico fue coherente a los daños y alteraciones, resaltando su velocidad de avance de deterioro y con ello preparar el procedimiento de intervención, determinando la necesidad y urgencia de algunas zonas así como las medidas de protección y mantenimiento adecuadas.

3. TECNICAS DE CARACTERIZACION UTILIZADAS

En estos momentos existen diversas técnicas que permiten obtener gran cantidad de información sobre un material. Para la caracterización de los materiales de la Catedral y con la finalidad de generar el menor impacto a la edificación, se decidió que la mayoría de las pruebas serían mediante ensayos no destructivos (END) o pseudos destructivos (EPD).

Para determinar su composición se realizaron las siguientes pruebas:

- Difracción de Rayos X. Mediante este análisis se determinó cuantitativamente la composición mineralógica de cada uno de los materiales. De este análisis se obtiene una gráfica donde se muestra una serie de reflexiones (difracciones) características de cada material.
- Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X. Se cuantifican y cualifican todos los elementos presentes en las muestras, desde el magnesio hasta el uranio, a través de su composición química.
- Microscopio petrográfico. Observar los componentes microscópicos. Un sistema de polarización de la luz con dos nicoles (analizador y polarizador) permite identificar las especies a través de sus propiedades ópticas. Para esto se prepara la muestra en láminas muy finas, de unas 30 micras.
- Microscopio digital portátil. Aumenta la muestra del material para poder observar los componentes microscópicos [3].
- Reacciones químicas. Se utilizaron diversos ácidos para determinar mediante reacciones químicas la presencia o no de materiales que contienen carbonatos, como la coralina, ya que son más sensibles a los medios ácidos. "Figura 5".

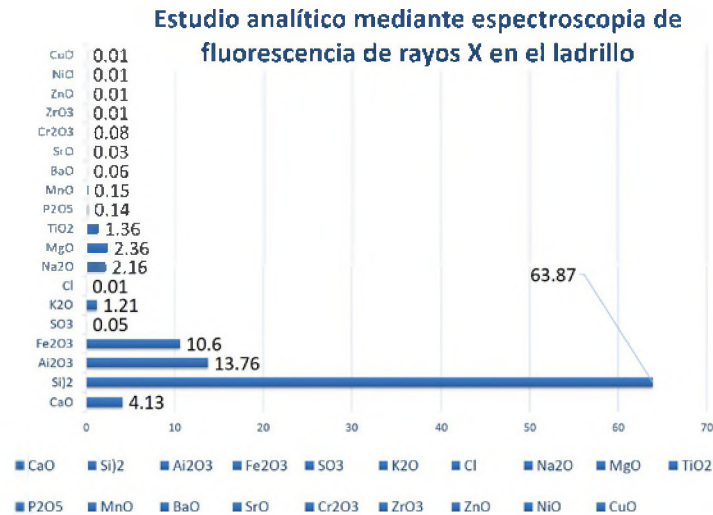


Figura 5: Estudio analítico mediante espectroscopia de fluorescencia de rayos X en el ladrillo.



Figura 6: Análisis mediante reacción química de la piedra coralina.

Para determinar humedad:

- Protómetro. Para detectar la presencia de humedad en la piedra, morteros, ladrillo y madera. Se mide en escala de 0 a 100%.
- Galvanómetro. A pesar de que este equipo sirve para medir corriente eléctrica, se utilizó para conocer el nivel de humedad existente en los materiales ya que el agua es un buen conductor de la electricidad. Cuando en el galvanómetro indica corriente eléctrica eso significaba presencia de humedad.

Para determinar sales:

- Galvanómetro adaptado con un sensor. Este equipo sirve para medir y detectar la presencia de pequeña conductividad eléctrica. Se utilizó para medir el contenido de sales solubles en los materiales a partir de la conductividad de la solución de las sales existentes en zonas próximas a la superficie del material. Esta disolución se obtiene mediante la aplicación de un apósito de papel secante empapado con agua destilada sobre la superficie del material a estudiar, así las sales existentes se transmiten hacia el papel húmedo con el que luego hacemos la medición.

Para determinar resistencia:

- El método Schmidt. Un esclerómetro que mide el valor de la dureza y resistencia a la presión del material por rebote. Este valor se midió en kg/cm². Esta prueba se hizo para la piedra, ladrillo y morteros.

Para determinar porosimetría y capacidad de absorción hídrica:

- Porosimetría por intrusión de mercurio. Consiste en penetrar mercurio de manera controlada aplicándole una determinada presión, la cual, mediante una relación matemática entre el diámetro de poro intruido por el mercurio y la presión necesaria para que se produzca tal intrusión, da unos valores.
- Método por inmersión total. Se preparan las muestras y se sumergen en el agua en tiempos determinados (desde 1 segundo hasta horas según se determine), se sacan, se pesan en una balanza de precisión; y se vuelve a sumergir hasta que ya no absorba más agua. Estos valores se grafican y luego se interpretan. “Figura 6”.
- Ensayo a la pipa o pipeta. Es una prueba sencilla para determinar la absorción. Consiste en colocar en el material un cilindro graduado de vidrio y acodado (pipeta) con agua para medir el volumen que absorbe en un determinado tiempo. Este ensayo tiene la ventaja de que se puede medir la capacidad de absorción in situ.

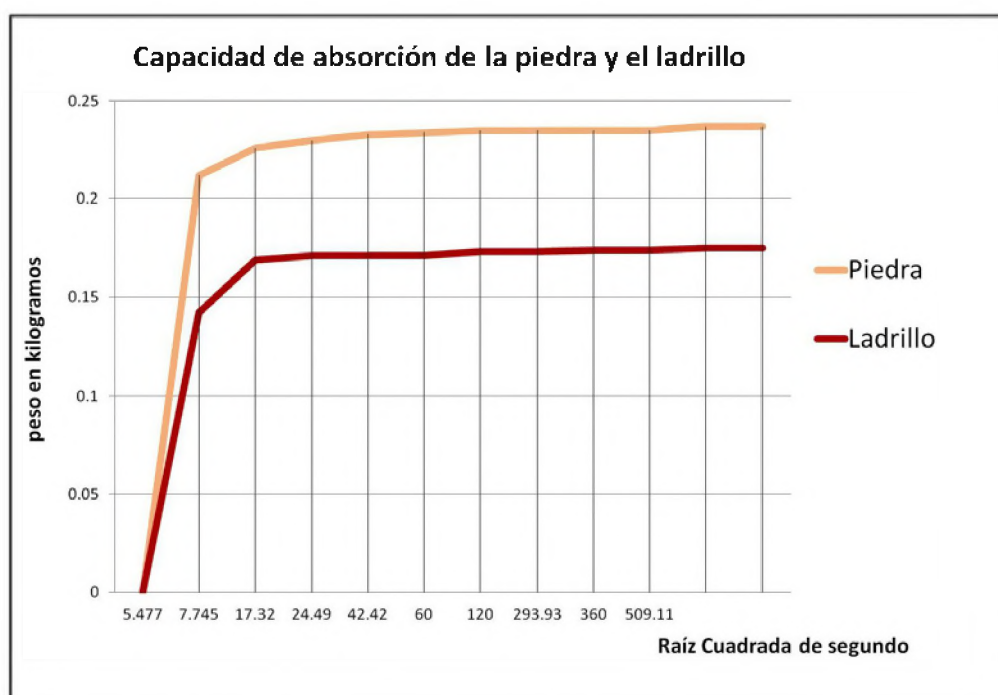


Figura 7: Capacidad de absorción de la piedra y el ladrillo.

Para el análisis medioambiental:

- Estación meteorológica para determinar la temperatura, humedad, presión atmosférica, precipitación, velocidad y dirección del viento. La Estación fue colocada en el entorno inmediato de la Catedral.
- Piranómetro. Para medir la radiación solar y conocer el comportamiento de los revocos y pátinas presentes en el exterior de la Catedral.
- Termo higrómetro. Se instalaron en el interior de la Catedral varios Termo higrómetro para medir la temperatura y humedad.
- Peachímetro. Es un instrumento con el cual se mide el nivel de pH y la temperatura. Con esta prueba se determinó el pH de los excrementos de palomas y la orina de las personas. Los rangos de medición del equipo utilizado oscilan para el pH entre: 0,0 y 14,0 pH, en la temperatura entre: -5 y +80,0°C. La precisión para el pH fue de $\pm 0,02$ pH y para la temperatura de $\pm 0,8$ °C.
- Analizador de gas portátil. Para determinar la calidad del aire y las partículas presentes en el medioambiente. El equipo utilizado tenía la capacidad de detectar la presencia de: monóxido de

carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de azufre (SO₂, SO₃ y SO_x), óxidos de nitrógeno (NO, NO₂ y NO_x), hidrocarburos (C_xH_y), partículas aerosoles y ozono (O₃)

Para analizar la granulometría:

- Tamices. Con los cuales se midió la granulometría de los morteros.

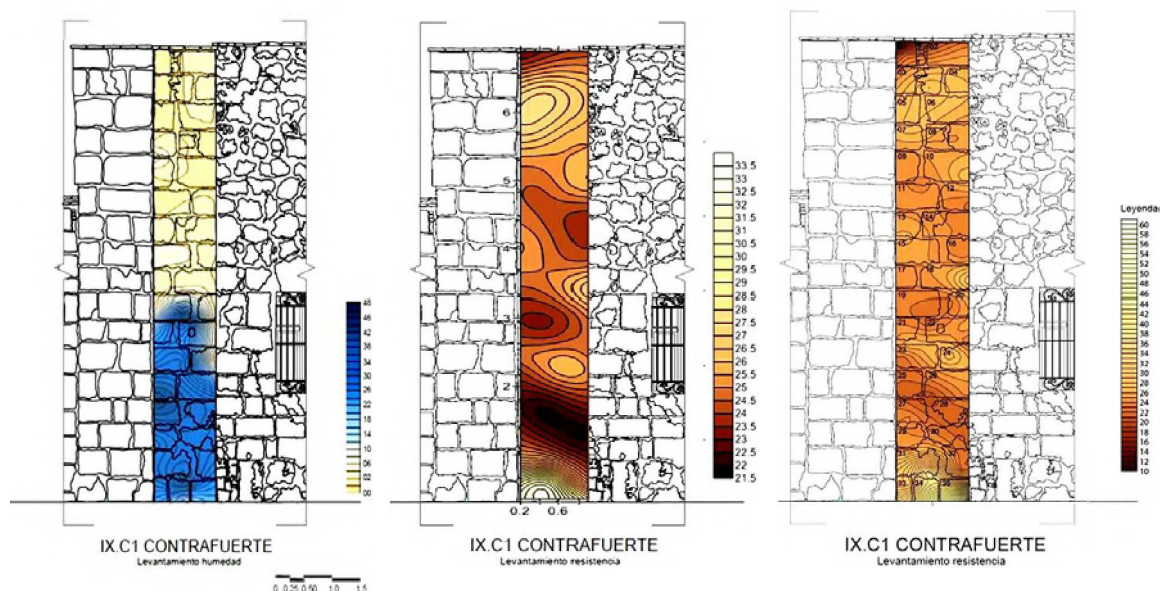


Figura 8: Cartografía de humedades, de sales y de resistencia en contrafuerte de la Catedral de Santo Domingo.

4. CONCLUSIÓN

Luego de realizar todos estos procesos se determinó que la piedra coralina de acuerdo a su descripción macroscópica es de aspecto poroso, color amarillento y se aprecia contenido de fósiles de $\frac{1}{2}$ mm de diámetro, oscilando entre 70μ a más de 1 mm. En el estudio mineralógico aparece compuesta por calcita en su totalidad sin que se aprecien signos de dolomita, solo se observan algunos cuarzos esporádicos. La muestra aparece constituida por abundante contenido de fósiles en donde se distinguen microforaminíferos y nummlites, globigeríneos y otros restos esqueléticos formados por micrita anubarrada por la materia orgánica empastados en escasa matriz micrítica.

La porosidad móldica es abundante hasta el punto de que la materia sólida forma un esqueleto con abundante poros. En la masa aparecen empastados algunos granos de cuarzo de unas 70μ de diámetro o inferior, poco redondeados, revelando sin embargo su carácter detrítico. La granulometría presenta un grano bastante homogéneo de alrededor de $\frac{1}{2}$ mm, aunque es posible encontrar esporádicos fragmentos de fósiles de forma elongada superiores al centímetro en su dimensión mayor, así como otros de tamaños inferiores a las 50μ . La porosidad al microscopio es de 25%. Según la clasificación este tipo de piedra es caliza bioclástica, bioarenita, biomicrita de acuerdo a Folk o grainstone de acuerdo a Dunham [4].

Estas características convierten a la coralina en un buen aislante térmico y muy resistente al ataque por sales. Las sales mantienen una acción lesiva cuando el agua que las disuelve se aloja en la porosidad de tamaño capilar y se evapora dejando las sales cristalizadas, atravesando la pared opuesta del poro y rompiendo el material. Cuando los poros son muy grandes, como es el caso de la coralina de la catedral, los cristales de las sales simplemente tapizan las paredes del poro sin alcanzar la pared opuesta y provocar daños, de manera que la piedra puede almacenar las sales sin deteriorarse lo que explica cómo ha podido permanecer con escasa alteración a lo largo de casi cinco siglos en un ambiente tan agresivo como es la proximidad a la costa caribeña donde los aerosoles marinos constituyen una fuente permanente de aporte salino al material [5].

Otra característica que explica su buen comportamiento es la falta de comunicación entre los poros. A pesar de su alta porosidad al encontrarse incomunicado los poros el agua no penetra. Esto se deduce de la curva de distribución de sus sistema poroso el cual se ha comprobando mediante el ensayo a la pipa el cual mostró muy baja permeabilidad al agua. Tras 24 horas de haber aplicado la pipa solo se apreció una absorción de 5 cm³ de agua. Ello se encuentra en consonancia con las características conocidas de la piedra como buen aislante térmico.



Figura 9: Antes y después del proyecto de restauración.

Mediante el método Schmidt se determinó que el valor de la piedra coralina utilizada en la Catedral es de alrededor de 178 Kg/cm², lo que es un valor bastante bajo para piedra. Ello es consecuencia de su estructura esponjosa poco compacta.

En cuanto al ladrillo macroscópicamente es de color rojizo, de porosidad fina. Está compuesto de cuarzo, feldespato, calcosódico, feldespato potásico, biotita, clinopiroxeno, anfíbol, opacos (óxido de hierro). La muestra aparece constituida por una matriz micro cristalina o vítrea en la que se asientan granos de desengrasante. La capa de cocción presenta una textura y mineralogía similar al bizcocho, aunque quizás menos porosa y mayor predominio de la matriz pues procede de un material más arcilloso. Está compuesto por cuarzo (27%), feldespato (23%), matriz y oxido de hierro (37%), clinopiroxeno (2%), biotita (1%) y macroporosidad (10%).

En cuanto a la resistencia, prueba que se realizó con el martillo Schmidt, se determinó que el ladrillo de la Catedral tiene una capacidad resistente de unos 460 kg/ Kg/cm², valor mucho mayor que el que arrojó para la piedra coralina. “Figura 7”

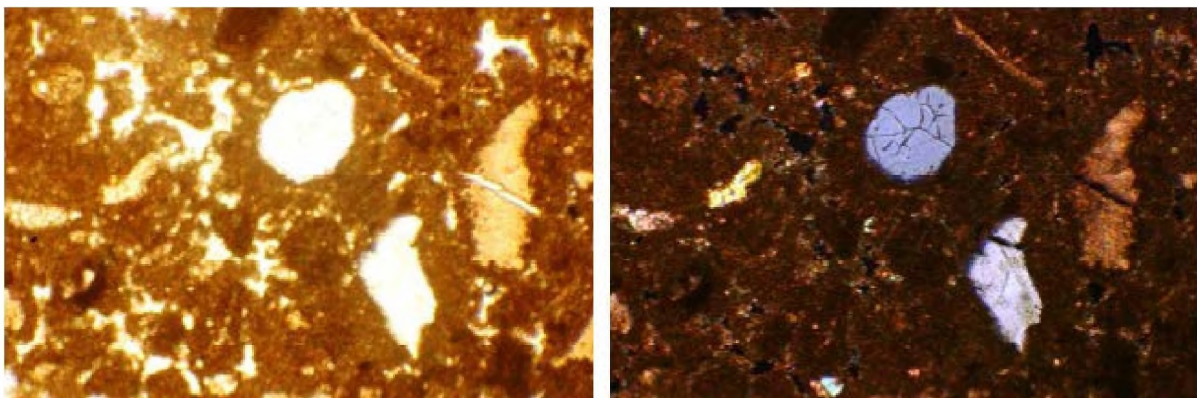


Figura 10: Capa de cocción del ladrillo. En el centro grano de cuarzo. Iz. N//x3,5; dcha. N X. x3,5.

Se determinó que los parámetros medioambientales (clima y contaminantes) deben monitorearse por tres años más para obtener mayor información debido a dos factores esenciales: primero a la ubicación geográfica de la isla que corresponde a la zona tropical húmeda, donde la humedad, el agua y los fenómenos naturales (huracanes y tormentas tropicales) son importantes agentes erosivos; y segundo, debido a que en su entorno existen algunos focos de contaminación ambiental. Para realizar el monitoreo se dejó instalada una estación meteorológica y un medidor de calidad del aire que mide los gases y tipos de partículas presentes en el ambiente.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Prieto Vicioso, Esteban. Restauración, en "*Basilica Catedral de Santo Domingo*". Patronato de la Ciudad Colonial de Santo Domingo, Centro de Altos Estudios Humanísticos y del Idioma Español, Co-editor, Editora Amiga del Hogar, Santo Domingo, 2011
- [2] Flores, Virginia. Arquitectura de la Catedral, en "*Basilica Catedral de Santo Domingo*". Patronato de la Ciudad Colonial de Santo Domingo, Centro de Altos Estudios Humanísticos y del Idioma Español, Co-editor, Editora Amiga del Hogar, Santo Domingo, 2011.
- [3] García de Miguel, José María. "*La caracterización de los materiales aplicada al estudio de la construcción histórica*", Arqueología de la arquitectura: el método arqueológico aplicado al proceso de estudio y de intervención en edificios históricos: actas / coord. Consuelo Escribano Velasco y Luis Caballero Zoreda, Pp. 41-54, 1996
- [4] Dunham, Robert J. (1962) "*Classification of carbonate rocks according to depositional texture*". In Ham, W.E. Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1. pp. 108–121.
- [5] García de Miguel, José María. "*Estudio petrológico de la Catedral de Santo Domingo en la República Dominicana*", Oficina de la Obra y Museos de la Catedral de Santo Domingo, Arzobispado de Santo.