

CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS  
DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN  
CARTAGENA DE INDIAS



TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

ERICK MAURICIO MELENDEZ MENDOZA

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

2015



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Investigador:

ERICK MAURICIO MELENDEZ MENDOZA

Trabajo de grado para optar al título de:  
INGENIERO CIVIL

Grupo De Investigación:  
ESCONPAT

Línea De Investigación:  
CONSERVACION Y CONSOLIDACIÓN DE MONUMENTOS

Investigador Director:  
MSC. JORGE ALVAREZ CARRASCAL

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

2015



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE  
EDIFICACIONES DE TIPOLOGÍA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

## DEDICATORIAS

A mi querida y adorada Madre **GLADYS OMAIRA MENDOZA HERNANDEZ**, la que durante toda mi vida me ha demostrado el verdadero amor de madre, la que por mi lucho, se sacrificó por darme siempre lo mejor, que anhelo un día verme convertido en un profesional.

A Ella que nunca me dio la espalda en momentos difíciles y me dio ánimo para continuar en los momentos en que sentí desfallecer. A mi madre le debo todo en la vida por esto le brindo este triunfo obtenido que es muy pequeño comparado con todo el esfuerzo realizado por ella para poder obtenerlo, Gracias mil te doy Madre por esta profesión.

A mi amado Padre **VIANOR MELENDEZ POSSO**, que hoy no se encuentra conmigo para compartir este logro pero que fue uno de mis mayores motores para iniciar este proceso que siempre fue un sueño de los dos y que ahora se está materializando, solo tengo palabras de agradecimiento y amor para El, y espero en el cielo estés disfrutando de este triunfo tanto como lo hago yo.

A El que desde pequeño siempre me motivo a perseguir mis sueños hoy puedo afirmar que tenía toda la razón que solo es necesario tener determinación para alcanzar tus metas, gracias por hacerme fuerte y con sueños.

A mis hermanos **YENIFER MELENDEZ MENDOZA** y **JULIAN MENDOZA HERNANDEZ** por ser mi respaldo incondicional y demostrarme que a pesar de los inconvenientes que la vida te presenta la Familia siempre será lo primero, son el mejor regalo de Dios.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE  
EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme en el camino correcto y brindarme la sabiduría necesaria para afrontar este arduo proceso de formación.

A mis familiares en general que siempre me respaldaron y me brindaron sus palabras de aliento para salir exitoso en mi proyecto de vida.

A mi director de tesis Ing. Jorge Alvarez Carrascal, por su ayuda constante y sus sabios consejos y recomendaciones para el desarrollo de la investigación del presente trabajo de grado.

A el Ing. Modesto Barrios, por sus valiosos aportes a esta investigación y por el préstamo de sus laboratorios y equipos que fueron de gran utilidad para llevar a cabo esta investigación.

A la empresa INGENIERIA DISEÑO Y CONSTRUCCION S. A. S a cargo de los Ingenieros Juan Jose Alvis y Egon Pierre Stohrq, por el préstamo de los equipos necesarios para realizar ensayos de Ultrasonido en los muros In situ de la Iglesia la Santísima Trinidad.

Al Padre Yamil Martirnez Gomez encargado de la Iglesia la Santísima Trinidad, por permitirme el acceso a la Iglesia y realizar los ensayos correspondientes.

A mi gran amigo Brayan Caballero Meza, por brindarme su ayuda en este proceso investigativo



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

RESUMEN.....	13
INTRODUCCION.....	17
1. MARCO DE REFERENCIAL.....	19
1.1 ESTADO DEL ARTE.....	19
1.2 MARCO TEORICO.....	27
1.2.1 Marco contextual.....	27
1.2.2 Marco legal.....	29
1.2.3 Consideraciones para la restauración de patrimonios Históricos.....	33
1.2.4 Marco conceptual.....	34
1.2.4.1 Definiciones.....	34
1.2.4.2 Materiales de construcción.....	35
1.2.4.3 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.....	37
1.2.4.4 Metodologías no destructivas aplicables en obras de rehabilitación de patrimonio.....	40
2. OBJETIVOS.....	45
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	45
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	45
3. ALCANCE.....	46
3.1 DELIMITACION ESPACIAL.....	46
3.2 DELIMITACION TEMPORAL.....	46
3.3 RESULTADOS ESPERADOS.....	47
3.4 PRODUCTO FINAL A ENTREGAR.....	47
3.5 PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS.....	47
3.6 ASPECTOS QUE NO INCLUYE LA INVESTIGACION.....	48
4. METODOLOGIA.....	49
4.1 RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION EXISTENTE.....	49
4.2 LUGAR Y MATERIALES DE ESTUDIO.....	50
4.2.1 Identificación de los lugares de estudio.....	50
4.2.2 Identificación de las fuentes de materiales.....	50
4.3 REALIZACION DE LOS ENSAYOS PERTINENTES.....	50



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

4.3.1 Ensayos a los materiales.....	51
4.3.2 Ensayos No destructivos.....	51
4.3.3 Ensayos Destructivos.....	52
4.4 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	53
4.5 PREPARACION Y PRESENTACION DEL INFORME FINAL.....	53
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	54
5.1 ENSAYOS A LOS MATERIALES.....	54
5.1.1 Consistencia normal y tiempo de fraguado.....	54
5.1.2 Gravedad específica bulk y absorción.....	58
5.1.3 Humedad natural.....	59
5.1.4 Ensayo de permeabilidad.....	60
5.1.5 Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los ángeles.....	61
5.1.6 Resistencia a la compresión de los Ladrillos por medio del Martillo de Smith.....	63
5.2 ENSAYOS A LOS MURETES (DESTRUCTIVOS).....	64
5.3 ENSAYOS A EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL (NO DESTRUCTIVOS).....	72
5.3.1 Esclerómetro.....	72
5.3.2 Ultrasonido.....	78
6. CONNCLUSIONES.....	87
7. RECOMENDACIONES.....	89
8. BIBLIOGRAFIA.....	90



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Resistencia a compresión según tipo de piedras.....	38
Tala 2. Escala de dureza de Mohs.....	40
Tabla3. Correspondiente a la cantidad de ensayos realizados a los materiales .....	51
Tabla4. Correspondiente a la cantidad de ensayos No Destructivos.....	52
Tabla5. Correspondiente a la cantidad de ensayos Destructivos.....	53
Tabla6. Correspondiente a las penetraciones registradas con Cal Hidratada (Aguja 10mm)...	54
Tabla7. Correspondiente a las penetraciones registradas con Cal Viva (Aguja 10mm).....	55
Tabla8. Correspondiente a la Consistencia normal obtenida.....	56
Tabla9. Correspondiente a las penetraciones registradas con Cal Hidratada (Aguja 1mm)...	56
Tabla10. Correspondiente a las penetraciones registradas con Cal Viva (Aguja 1mm).....	56
Tabla11. Correspondiente al Tiempo de fraguado obtenido.....	57
Tabla12. Gravedad Especifica Bulk y Absorción de ladrillos de Ferretería Antioquia.....	58
Tabla 13. Correspondiente a la Humedad natural de los ladrillos de Ferretería Antioquia..	59
Tabla 14. Correspondiente a la Permeabilidad de los ladrillos de Ferretería Antioquia.....	61
Tabla 15. Condiciones de realización del ensayo de desgaste.....	62
Tabla 16. Correspondiente a los resultados del ensayo de desgaste.....	62
Tabla 17. Resistencia a la compresión de los ladrillos.....	63





CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Tabla 18. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena a los 7 Días.....	64
Tabla 19. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena y cemento a los 7 Días.....	65
Tabla 20. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena – Caracuchos –Polvo de ladrillo a los 7 Días.....	65
Tabla 21. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena a los 14 Días.....	66
Tabla 22. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena y cemento a los 14 Días.....	66
Tabla 23. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena – Caracuchos –Polvo de ladrillo a los 14 Días.....	66
Tabla 24. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena a los 28 Días.....	67
Tabla 25. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena y cemento a los 28 Días.....	67
Tabla 26. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena – Caracuchos –Polvo de ladrillo a los 28 Días.....	68
Tabla 27. Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 1)...	73
Tabla 28. Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 2)...	73
Tabla 29. Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 3)...	74
Tabla 30. Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 4)...	74
Tabla 31. Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto5)...	75
Tabla 32. Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 6)...	75



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE  
EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Tabla 33. Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 7)...	76
Tabla 34. Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 8)...	76
Tabla 35. Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 9).....	77
Tabla 36. Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Resumen)...	77
Tabla 37. Lectura velocidad de onda muretes de fuentes actuales.....	79
Tabla 38. Lectura velocidad de onda muretes antiguos.....	80
Tabla 39. Lectura Resistencia a la compresión muretes de fuentes actuales.....	81
Tabla 40. Lectura Resistencia a la compresión muretes de materiales antiguos.....	81
Tabla 41. Lectura Resistencia a la compresión muros in situ (Punto 1).....	82
Tabla 42. Lectura Resistencia a la compresión muros in situ (Punto 2).....	82
Tabla 43. Lectura Resistencia a la compresión muros in situ (Punto 3).....	84
Tabla 44. Lectura Resistencia a la compresión muros in situ (Punto 4).....	84



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de principio de ensayo del método ultrasónico .....	43
Figura 2. Principio de funcionamiento del aparato de ensayo .....	43
Figura 3. Correspondiente a los ensayos de tiempo de fraguado con Cal Viva (Aguja 1mm) .....	57
Figura 4. Correspondiente a los ensayos de Gravedad Especifica Bulk y Absorción. ....	59
Figura 5. Correspondiente a los ensayos de Humedad Natural .....	60
Figura 6. Correspondiente al proceso constructivo de los muretes.....	64
Figura 7. Correspondiente al proceso de ensayos a los muretes.....	72
Figura 8. Correspondiente a la medición de la velocidad de onda “Materiales nuevos” .....	79
Figura 9. Correspondiente a la medición de la velocidad de onda “Materiales viejos” .....	80
Figura 10. Correspondiente a la medición de resistencia la compresión “Materiales Nuevos” .....	81
Figura 11. Correspondiente a la medición de resistencia la compresión “Materiales antiguos” .....	82
Figura 12. Correspondiente a la medición de resistencia la compresión muros in situ .....	83
Figura 13. Correspondiente a la medición de resistencia la compresión muros in situ .....	83
Figura 14. Correspondiente a la medición de resistencia la compresión muros in situ .....	84
Figura 15. Correspondiente a la medición de resistencia la compresión muros in situ .....	85
Figura 16. Correspondiente al proceso de realización de los ensayos ultrasónicos.....	86



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

**ÍNDICE DE GRAFICOS**

Grafico 1. Correspondiente a la Cantidad de Agua Vs Penetración (Cal Hidratada).....55

Grafico 2. Correspondiente a la Cantidad de Agua Vs Penetración (Cal Viva).....55

Grafico 3. Correspondiente a los ensayos a compresión de los muretes a los 7 días.....65

Grafico 4. Correspondiente a los ensayos a compresión de los muretes a los 14 días.....67

Grafico 5. Correspondiente a los ensayos a compresión de los muretes a los 28 días.....68

Grafico 6. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos-Cal-Arena Vs Edad de ensayos.....69

Grafico 7. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena-Cemento Vs Edad de ensayos.....69

Grafico 8. Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena-Polvo de ladrillos-Caracuchos Vs Edad de ensayos.....70

Gráfico 9. Resistencia a la compresión obtenida mediante el uso del esclerómetro.....78

Gráfico 10. Resistencia a la compresión obtenida mediante el ultrasonido.....85

Gráfico 11. Resistencia a la compresión obtenida mediante el ultrasonido.....86



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

## RESUMEN

La ciudad de Cartagena de Indias posee una gran cantidad de edificaciones y monumentos de tipología colonial que tienen un alto valor patrimonial las cuales nos convierten en un Distrito Turístico, Histórico y Cultural, razón por la cual estas construcciones se encuentran en constante restauración con el fin de conservar el título otorgado por la UNESCO de Patrimonio Histórico de la Humanidad. A través de este trabajo se busca establecer si es conveniente utilizar los materiales de fuentes actuales que se utilizan en la actualidad para la restauración de edificaciones de tipología colonial, a través de una comparación las características físicas y mecánicas de los materiales trabajando en conjunto (muretes), con las de los muros in situ de la Iglesia la Santísima Trinidad.

El proyecto fue planteado como una investigación de tipo mixto, en esta se comprende un ámbito descriptivo y otro experimental. La investigación se desarrolló básicamente en cinco fases fundamentales: la recopilación y análisis de información existente, en la segunda fase se llevó a cabo la identificación de los lugares de estudio (Iglesia la Santísima Trinidad) y los lugares donde fueron adquiridos los materiales de fuentes actuales (Ferretería Antioquia y fuente local de suministro de material). La tercera fase fue la realización de los ensayos destructivos y no destructivos, que comprende ensayos como resistencia a la compresión, permeabilidad, humedad natural, gravedad específica de bulk, desgaste, etc. Realizadas las primeras tres fases se procedió a la cuarta y quinta fase que consistió en el análisis de los datos y la presentación del informe final.

Se hicieron muretes con tres combinaciones de materiales diferentes y al analizar los resultados obtenidos se concluyó que la combinación que presento un mejor comportamiento a la compresión fue la combinación 2 (Ladrillos, Cal, Arena y Cemento) que obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 5.27 MPa, mientras que la resistencia promedio de los muros in situ obtenida a través del ensayo de ultrasonido y Martillo de Smith fueron de 10.25 MPa y 12.4 MPa respectivamente, teniendo en cuenta que la resistencia obtenida en los muros in situ fue casi el doble de la obtenida en los muretes de mampostería, se puede concluir que estos materiales al trabajar como conjunto tienen una resistencia muy baja en comparación con los muros in situ, por tanto, se determina que no son convenientes las



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE  
EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

restauración llevadas a cabo, con este tipo de combinación de materiales. Además podemos concluir que el uso de caracuchos y polvo de ladrillo a la mezcla de argamasa aumento la resistencia a la compresión de la misma en un 32.96%.

Por último, de determinaron algunas propiedades físicas de los materiales de forma independiente y se concluyó que la absorción promedio de los ladrillos fue 7,08%, la humedad natural fue de fue 0.70%, la permeabilidad fue de 3,94104E-06 cm/seg y desgaste aproximado de 84.12 %.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

**ABSTRACT**

The city of Cartagena de Indias has great number of buildings and monuments of colonial typology that have a high equity which makes us a tourist, historical and cultural district, which is why these buildings are in constant refurbishment to retain the title awarded Historical UNESCO World Heritage Site. Through this work is to establish whether to use the materials of current sources used at present for the restoration of buildings of colonial typology, through a comparison of Physical and mechanical properties of materials working together (low walls), with those of in situ walls of the Holy Trinity Church.

The project was conceived as an investigation of mixed type, this is an area comprising descriptive and other experimental. The research was conducted basically in five phases fundamental: the collection and analysis of existing information, in the second phase was carried identification out of the study sites (Holy Trinity Church) and places where purchased materials current sources (Hardware and local source of Antioquia material supply). The third phase was the realization of non-destructive testing destructive testing comprising as compressive strength, permeability, moisture Natural bulk specific gravity, wear, etc. Made the first three phases proceeded the fourth and fifth phase consisted of an analysis of the data and the report end.

Low walls were made with three combinations of different materials and to analyze the results it was concluded that the combination performed better than the It was compression combination 2 (bricks, lime, sand and cement) you got a resistor 28-day average of 5.27 MPa, while the average strength of in situ walls obtained through performed better compression was the combination 2 (bricks, lime, sand and Cement) that obtained an average resistance at 28 days 5.27 MPa, while resistance average of the walls obtained in situ through trial and ultrasound hammer Smith were 10.25 MPa and 12.4 MPa respectively, considering that the resistance obtained in situ walls was almost double that obtained in the low walls of masonry, it can be concluded These materials work as a whole have a very low resistance compared to in walls therefore it is determined that the restoration are not suitable carried After all, with such a combination of materials. We may conclude that the use of caracuchos and clay mortar mix to increase the compressive strength thereof in one 32.96%.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE  
EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Finally, they determined of some physical properties of materials so independent and it concluded that the average absorption of the bricks was 7.08%, moisture Natural was was 0.70%, the permeability was  $3,94104E-06$  cm / sec and approximately wear 84.12%.





CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

## INTRODUCCION

Cartagena de indias, ciudad con gran influencia colonial, cuenta con estructuras y edificaciones de la época de la colonia las cuales están basadas en la arquitectura medieval europea. Por esta razón y por ser parte de la infraestructura cartagenera desde la fundación de la ciudad; han sido consideradas patrimonio histórico cultural y es de gran preocupación de las autoridades locales y de planeación realizar planes de mejoramiento y reparación a estas infraestructuras, que con el paso de los años y los efectos de la naturaleza han venido deteriorándose algunas hasta el punto de ser inhabitables, significando riesgos a habitantes y vecinos. Cabe señalar que estas edificaciones no pueden ser modificadas ni remodeladas sin cumplir una serie de normas, por esta razón es importante realizar un estudio adecuado y evaluación de los materiales que pueden ser utilizados para su reparación.

Debido a esta necesidad de evaluar los materiales actuales con los cuales se realizan dichas reparaciones, se han realizado diversas investigaciones en las cuales se han determinado las propiedades físicas y mecánicas de algunos materiales que se utilizan actualmente en restauraciones. Estas propiedades han sido determinadas en los materiales de forma independiente (CASTELLAR, 2014), pero al realizarse la revisión bibliográfica de investigaciones a nivel nacional sobre como es el funcionamiento de los materiales actuando como conjunto y cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de estos, no se encontró resultado alguno que muestre el estado del arte sobre este tema a nivel nacional. De lo expuesto anteriormente surgen una gran variedad de interrogantes, por lo que en ésta investigación se llega al planteamiento de los siguientes, ¿Las propiedades mecánicas y el comportamiento estructural de muretes con ladrillos tomados de las fuentes actuales para la restauración de las casas coloniales en la ciudad de Cartagena, son similares a las de los muros in situ de las mismas?, ¿Se pueden utilizar los ladrillos tomados de las fuentes actuales para la restauración de las casas coloniales en la ciudad de Cartagena?

Para solucionar las preguntas planteadas anteriormente, se tomaron como referencia trabajos de investigación realizados por otros autores, relacionados con el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en restauraciones de edificaciones coloniales en la ciudad de Cartagena. Uno de estos trabajos, es el realizado por J. España y M. Tapia,



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGÍA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

para la Universidad de Cartagena en el año 2008, acerca de la determinación de ciertos parámetros que sirvieran de base para la caracterización y la normalización de estructuras de mampostería de tipología colonial. Otro trabajo analizado fue el realizado por L. Aguirre y A. Arrieta, para la universidad de Cartagena como tesis de grado en el año 2014, que consistió en un estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en la restauración de edificaciones de tipología colonial y republicano en la ciudad de Cartagena y por último se consultó con el Ingeniero Jorge Rocha el cual desconoce de investigaciones de este tipo y proporciono información de mucha importancia para esta investigación. Con base a lo anterior, se observa que existen estudios de los materiales de forma independiente y una investigación teórica de caracterización y normalización de parámetros de mampostería colonial, pero ninguna investigación experimental que realice un estudio comparativo de las propiedades mecánicas y el comportamiento estructural de muretes con ladrillos tomados de las fuentes actuales para la restauración de las casas coloniales en la ciudad de Cartagena, con los muros in situ. Por eso la importancia y pertinencia de esta investigación para poder cuantificar las propiedades estructurales tanto de los muros originales, como la de los muretes hechos con materiales de fuentes actuales.

Como se dijo inicialmente la ciudad de Cartagena como Distrito Turístico, Histórico y Cultural ostenta el título Patrimonio Histórico de la Humanidad otorgado por la UNESCO el cual debe ser conservado, por lo tanto, las restauraciones deben afectar lo menos posible dicho título. Este trabajo se elabora con la finalidad de evaluar la conveniencia del uso de ladrillo y argamasa para la restauración de edificaciones de tipología colonial existentes en la ciudad de Cartagena sin que se afecte ese título.

Este proyecto servirá para la comunidad estudiantil interesada en conocer este tema, a los ingenieros y arquitecto que trabajan en restauraciones de este tipo, además servirá como base para futuras investigación que completen este estudio y a su vez lo profundicen.



## 1. MARCO DE REFERENCIAL

Por la gran importancia que posee para la ciudad de Cartagena de Indias la conservación y mantenimiento del Patrimonio arquitectónico, ha sido constante el desarrollo de procesos de recuperación y restauración de estructuras y edificaciones antiguas. A continuación se presenta una descripción básica de algunos trabajos de investigación relacionados con el estudio de las técnicas y materiales implementados para los procesos de restauración de construcciones antiguas en la ciudad de Cartagena.

### 1.1 ESTADO DEL ARTE

**Resistencia estructural empírica de la mampostería de tipología colonial en cartagena de indias, José F. España Moratto, Esteban J. Puello Mendoza y Edilber E. Almanza Vásquez, grupo de investigación ciencia y sociedad, diciembre de 2009, publicada en línea por la asociación colombiana de facultades de ingeniería -acofi- [www.acofi.edu.co](http://www.acofi.edu.co)**

En este trabajo se determina empíricamente la resistencia de distintas mezclas de piedra coralina, piedra de coral, ladrillos tipo tableta militar y argamasa (mezcla de arena y cal), que actúa como material aglomerante, para normalizar la mampostería de tipología colonial, usada en las construcciones antiguas de la ciudad de Cartagena de Indias. Se determinaron las propiedades estructurales de los cuatro tipos de muros que se encuentran en las edificaciones residenciales coloniales, obteniendo parámetros estructurales que servirán para evaluar sus capacidades de carga y el factor de corrección  $\alpha$  que afecta la resistencia teórica calculada de los muros, respecto a la resistencia experimental. Se establece teóricamente la mejor composición de las proporciones de los materiales de las mezclas, desde el punto de vista de la resistencia de las estructuras coloniales.

Como resultado se obtuvo que, cuando la argamasa se prepara en proporción 1:1, la resistencia del ciclópeo es ligeramente mayor que cuando se prepara en proporción 1:2 y ésta, ligeramente mayor a la preparada en proporción 1:3. Lo que indica que a mayor proporción de arena en la argamasa, la resistencia del ciclópeo disminuye; esto debido a que los espacios entre los granos de arena son llenados por la cal.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

A menor cantidad de argamasa que mezcla de agregados en el ciclópeo, la resistencia a la comprensión de éste es mayor; esto debido a que la resistencia total es proporcional a las resistencias parciales y al tener los agregados gruesos mayor resistencia y mayor participación en la mezcla, se tiene este resultado.

De igual manera se puede observar, que las mayores resistencias en los ciclópeos se obtienen con las mezclas de agregado grueso que presentan mayores resistencias proporcionales, y estas resistencias se presentan en las combinaciones que poseen mayor porcentaje de ladrillo o tableta militar, independiente de los porcentajes de piedra de coral y piedra coralina.

Uno de los problemas encontrados en las argamasas preparadas con cal (Cogollo et al., 2003) es la duración en el periodo del fraguado que depende del aire, condición que justificaría el uso de materiales como la piedra coralina y la piedra de coral que le restan resistencia a las diferentes mezclas, teniendo en cuenta que la porosidad de las mismas ayudarían al fraguado del ciclópeo y sirviendo además como aislante térmico y sonoro.

De acuerdo con las pendientes de las rectas calculadas teóricamente y con datos extremos reales se encuentra que el factor de corrección de la ecuación:

$$R = \alpha (\%Ra + \%Rc + \%Ri + \%Rp) \quad (1)$$

Donde  $\alpha$  indica el factor de corrección entre los resultados teóricos y los de laboratorio. Dicho factor para la mampostería tipo II (con piedra coralina) tendría un valor de 0.81 y para la mampostería tipo III (con tableta militar) tendría un valor 0.86.

La limitación principal que presenta esta investigación es que la fórmula utilizada para el cálculo de las resistencias es una formula empírica basada en la sumatoria de las resistencias parciales multiplicada por un factor  $\alpha$  que varía según sea el tipo de muro que se está evaluando.



**Parámetros para la normalización de las mamposterías de tipo colonial; España, J., & Tapia, M. (2008); Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena.**

Este estudio fue desarrollado por J. España y M. Tapia, para la Universidad de Cartagena en el año 2008. El objetivo principal del estudio consistió en la determinación de ciertos parámetros que sirvieran de base para la caracterización y la normalización de estructuras de mampostería de tipología colonial en las edificaciones antiguas de la ciudad de Cartagena. Lo anterior presenta gran relevancia debido a que en Colombia no existen normas específicas que regulen este tipo de estructuras coloniales (España & Tapia, 2008).

El estudio se desarrolló aplicando una metodología de carácter investigativo, mediante el análisis de información existente de estudios y ensayos previamente efectuados por diferentes profesionales de la Universidad de Cartagena, complementados con datos experimentales obtenidos de ensayos de laboratorio en los cuales se analizó la variación de los valores de resistencia a la compresión de ciertos tipos de muros al usar varias combinaciones de argamasa (cal y arena) en distintas proporciones. Con base en lo anterior, los autores proponen una correlación matemática que permite calcular la carga axial que pueden resistir determinados tipos de muros con características de mampostería específicas (España & Tapia, 2008).

Esta investigación es de gran utilidad para el trabajo de grado propuesto, debido a que proporciona información importante sobre el comportamiento de los materiales que se tienen contemplados ya que se estudian las propiedades inherentes a la mampostería, se hace alusión directa al ladrillo y al mortero, los cuales son dos de los materiales a analizar en el presente trabajo investigativo. Sin embargo, es coherente analizar este tipo de materiales que corresponden a épocas antiguas, con respecto a los materiales que se usan en la actualidad para los procesos de restauración con el fin de evaluar tales condiciones de resistencia para la mampostería antigua y realizar análisis del comportamiento esperado de las estructuras restauradas con los materiales actuales.

La limitación principal de esta investigación es que no nos proporciona información experimental de ensayos a compresión realizados directamente a los muros, la información



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

suministrada es en su mayoría información recolectada que complementan con ensayos hechos a los materiales

**Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales más utilizados y disponibles en la región para la restauración de las fortificaciones coloniales de la ciudad de Cartagena; tesis de pregrado meza, m., & cohen, j.; facultad de ingeniería. Programa de ingeniería civil. Universidad de Cartagena; (2011).**

Este trabajo fue realizado por M. Meza y J. Rhenals, para la Universidad de Cartagena como tesis de grado en el año 2011. En el mismo, la finalidad principal consistió en el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de determinados tipos de materiales usados para restaurar el cordón amurallado de la ciudad de Cartagena, teniendo en cuenta la clasificación de tales materiales según la fuente que los suministra en esta ciudad (Meza & Cohen, 2011).

Los materiales que se estudiaron fueron: la piedra caliza, el ladrillo y la argamasa; tales materiales se obtuvieron de diferentes canteras y fábricas cercanas a la ciudad de Cartagena. Para todos ellos se evaluaron las siguientes propiedades físicas y mecánicas: resistencia a la compresión, desgaste, densidad y porosidad; lo anterior se efectuó por medio de la aplicación de ensayos de laboratorio regulados por las siguientes normativas: UNE-EN 1936:1999, UNE-EN 1926:1999 y la I.N.V.E-219 (Meza & Cohen, 2011).

En el estudio se pudo observar que las piedras calizas de mejor calidad son aquellas provenientes de las canteras Coloncito y La Constancia, y por otro lado las piedras de la cantera Guadalupe presentan las características más pobres para su uso en la restauración de las fortificaciones de muralla. Para el análisis de los ladrillos se obtuvo que la fuente que proporciona los ladrillos de mejor calidad fue la Ladrillera El Peaje, debido a que mostraron mayores valores de resistencia a la compresión. Por último, para la argamasa se concluyó que la proporción más apropiada para su uso en restauración es la de dos partes de arena por una cal, que mostró mayores valores de resistencia en la prueba de cubo (Meza & Cohen, 2011).

Este estudio se limitó sólo al estudio de los materiales relacionados con la restauración de las murallas de la ciudad de Cartagena, por lo cual el análisis de las condiciones de resistencia



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

puede ser diferente para los materiales requeridos en la restauración de edificaciones como viviendas y construcciones de uso gubernamental que se encuentran en el Centro Histórico que son el eje de esta investigación. Y es por ello que resulta trascendental y pertinente la realización del estudio de los materiales propios de las casas coloniales, tanto aquellos usados en la construcción original como los utilizados actualmente en las restauraciones arquitectónicas.

**Propiedades mecánicas de la mampostería de tabique rojo recocido utilizada en chilpancingo, gro (méxico); v. Flores( \*) , s. Sánchez-tizapa( \*\*) , r. Arroyo( \*\*) , r. Barragán( \*\*); informes de la construcción vol. 65, 531, 387-395, julio-septiembre 2013 issn: 0020-0883 eissn: 1988-3234 doi: 10.3989/ic.12.084**

En este proyecto se presentan los resultados de ensayos en especímenes de mampostería de tabique rojo recocido comúnmente utilizado para la construcción de muros de mampostería confinada en Chilpancingo (Estado de Guerrero, México). Un total de 68 ensayos, entre pilas y muretes, fueron realizados. Los valores medidos fueron la resistencia de diseño a compresión y cortante, los módulos de elasticidad y corte y la cohesión de la junta. También se obtuvieron expresiones para definir la curva esfuerzo-deformación en las pruebas de pilas y muretes. La comparación de los valores respecto a la norma de la ciudad de México, utilizada como referencia en el diseño y análisis, concluye que hay diferencias significativas para algunos de ellos.

El valor experimental más importante para el diseño de edificaciones sometidas a fuerzas sísmicas es la resistencia a cortante de diseño ( $v^*m$ ) para el cual se obtuvo un incremento del 57% respecto al valor normativo, considerando que la resistencia a compresión de diseño de la pieza ( $f^*m$ ) apenas cumple con la Norma. Lo anterior se explica por la influencia positiva de la resistencia de diseño a compresión del mortero ( $f^*j$ ) que registra un aumento de 72%. Esta situación es benéfica para la seguridad de las construcciones; sin embargo, los altos valores del módulo elástico y de corte, dos veces mayores a los referenciados, pueden generar un comportamiento más frágil al registrado en edificaciones ubicadas en otros lugares. Otro punto desfavorable es la alta variación de las propiedades, los mayores valores corresponden a la deformación normal unitaria,  $\epsilon_m$ , (51%) y al módulo elástico,  $E_m$ , (40%). En los muretes,



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

la mayor variación se registró en la deformaciones de fluencia y última ( $\gamma_y$ ,  $\gamma_u$ ) con 50% y 58%, respectivamente. Lo anterior tiene su origen, muy probablemente, en la falta de control de calidad de los insumos y en los procesos de elaboración de las piezas. Respecto a la resistencia a compresión ( $f^*m$ ), la norma subestima la aportación del mortero ya que hay un incremento del 75%. Para el esfuerzo de adherencia de la junta no existen valores normativos, pero también hay un incremento de dos veces respecto a los referenciados en la bibliografía. Por otro lado, las ecuaciones obtenidas del comportamiento en pilas y muretes pueden servir para realizar simulaciones numéricas de muros y/o estructuras de mampostería. Los valores aquí reportados son los primeros en su tipo para esta zona y deben complementarse con estudios futuros. En México, el ensaye de muretes a tensión diagonal es la prueba más común para evaluar la mampostería; sin embargo, la información es insuficiente porque la envolvente de resistencia es una combinación de modos de falla. Lo anterior sugiere dos cosas: a) incorporar la prueba de adherencia a la normatividad mexicana, b) modificar el espécimen de la prueba a compresión para inducir un estado de esfuerzos semejante al existente en muros sujetos a carga sísmica. Los valores registrados y las ecuaciones propuestas servirán como referencia para evaluar el comportamiento sísmico de edificaciones de mampostería confinada construidas en Chilpancingo, Gro. Esto podría impactar positivamente en la disminución del riesgo sísmico existente en la ciudad.

Una de las limitaciones que presenta este proyecto es que fue realizado en base a la norma mexicana y tendría que hacerse una evaluación a ver si se ajusta a las normas vigentes en nuestro país, además se tendría que comprobar con más exactitud el proceso de elaboración del tabique rojo recocido y compararlo con el proceso de producción de ladrillos en Colombia.

**Ewing, b., & kowalsky, m. (2004). Compressive behaviour of unconfined and confined clay brick masonry. Journal of structural engineering. Asce, 650-661.**

En el año 2004, los profesores de la Universidad Estatal de Carolina del Norte (EEUU), Bryan Ewing y Mervyn Kowalsky, adelantaron un estudio sobre el comportamiento de los bloques de arcilla a la compresión bajo condiciones en presencia y ausencia de confinamiento. El objetivo principal de la investigación consistía en el análisis de la





CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

influencia que el uso de ciertas placas de confinamiento tiene en el comportamiento de la mampostería de ladrillos de arcilla con respecto a la resistencia a la compresión. Para ello los investigadores construyeron 15 prismas de ladrillos aportando tres muestras de ensayo para cada una de las cinco distintas configuraciones planteadas: un muro Wythe simple (inconfinado) y cuatro muros Wythe doble, de estos últimos sólo una configuración es inconfinada y las otras tres poseen confinamiento usando diferentes tipos de placas (Ewing & Kowalsky, 2004).

Mientras que para el muro Whyte simple inconfinado la resistencia a la compresión obtenida fue de 15,56 MPa en promedio, para el muro Whyte doble inconfinado se obtuvo una resistecia de 25,9 MPa. Sin embargo para las configuraciones de muros Whyte doble con distintos tipos de confinamiento, se obtuvieron valores mayores de resistencia a la compresión, alcanzando inclusive los 36,69 MPa (Ewing & Kowalsky, 2004).

A partir de lo anterior, el estudio concluye que el uso de confinamiento para la construcción de mampostería en ladrillos de arcilla puede mejorar la resistencia última a la compresión en el orden de un 40% (Ewing & Kowalsky, 2004).

Sin embargo para el desarrollo de esta investigación, se presenta cierta limitación, ya que no se considera importante el análisis del comportamiento de la mampostería de ladrillo en condiciones especiales de confinamiento. Aunque la información relacionada con el comportamiento de la mampostería de ladrillo en condiciones normales (sin confinar), puede ser de utilidad para contar con datos de referencia al momento de la revisión de los resultados que se obtengan tras la realización de los ensayos de laboratorio previstos.

**Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación estructural del patrimonio, Ignacio Lombillo, Luis Villegas, Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria.**

La conservación del patrimonio cultural esta considerado como un principio fundamental en la vida cultural de las sociedades modernas. En los últimos años, se han realizado extensas investigaciones en torno a esta área, conduciendo a desarrollos in la inspección, ensayos no destructivos, monitorización y análisis estructural de monumentos. No obstante la



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

comprensión, el análisis y la reparación de construcciones históricas continúa siendo uno de los desafíos más importantes de las técnicas modernas. El análisis de construcciones antiguas formula importantes desafíos porque dada la complejidad de su geometría, la variabilidad de las propiedades de los materiales tradicionales, las diferentes técnicas de construcción, la ausencia de conocimiento sobre los daños existentes, de cómo afectan determinadas acciones a las construcciones a lo largo de su vida y la falta de códigos. En suma, las restricciones en la inspección y la falta de ejemplos de edificios de valor histórico, así como los altos costes movilizados en la diagnosis y en la inspección, a menudo derivan en una reducción de la información relativa a los sistemas de construcción interna o de las propiedades de los materiales existentes. Los métodos no destructivos son, de hecho, necesarios para obtener las características mecánicas necesarias para el análisis y comprensión del comportamiento mecánico de las construcciones históricas, así como, para validar el análisis en si mismo. Derivado de ello, el propósito de la comunicación es aportar una visión actualizada de algunas de las metodologías no destructivas aplicadas, de forma general, a la rehabilitación estructural del patrimonio construido, y en particular a las técnicas acústicas aplicadas a la evaluación de estructuras de fábrica. Cabe aludir a que no son muchos los entes que en nuestro país se dedican a esta línea de investigación, contrariamente a lo que ocurre en otros países, por ejemplo en Italia, motivo por el que dicha línea de investigación cuenta con buenas perspectivas de futuro.

La limitación de esta investigación es que únicamente explican los diversos métodos no destructivos que se pueden utilizar para evaluar una edificación colonial, pero no determinan la conveniencia o no del uso de algún tipo de material para su restauración.



## 1.2 MARCO TEORICO

### 1.2.1 Marco contextual

- Historia de Cartagena.

Cartagena de Indias es una ciudad que desde sus inicios hasta hoy ha influido notablemente en los hechos de Colombia. En tiempos precolombinos habitaban en sus costas indios guerreros de la raza Caribe que habrían de darles problemas a más de una expedición colonizadora que se atreviera a desembarcar en sus playas.

Le tocó entonces el honor de la fundación al madrileño Don Pedro de Heredia, el 1 de junio de 1533, con el nombre de "Cartagena de Poniente", para diferenciarla de "Cartagena de Levante", en España, ambas con bahías similares.

La naciente población sería blanca de la codicia de invasores ingleses y franceses, y es que su calidad de puerto negrero y comercial la hacía muy atractiva a ojos foráneos. Por lo tanto su protección y defensa eran más que urgentes, comenzando en pleno siglo XVI con el Fuerte del Boquerón (donde hoy está el Fuerte del Pastelillo). Luego vendrían, poco a poco, las diferentes fortificaciones que rodearían a la ciudad de acuerdo a las exigencias y la evolución del arte militar en los siglos XVII y XVIII.

Sin embargo, no por esto la ciudad se salvaría de arrasadoras invasiones como la del Barón de Pointis en 1697, que la dejó arruinada.

En 1610 llegarían los primeros frailes del Tribunal de Penas del Santo Oficio de la Inquisición, que extendería su poder de reprensión y vigilancia hasta la época de la Independencia.

Cartagena de Indias fue en ocasiones sede de virreyes, como Don Sebastián de Eslava, que gobernó durante casi diez años seguidos, reemplazando a Santa Fe como capital del Nuevo Reino de Granada.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

El 11 de noviembre de 1811 se firmaría el Acta de Independencia Absoluta de España, comenzando con esto 10 largos años para lograr la emancipación definitiva. De los muchos bloqueos y sitios que sufrió la Villa de Heredia, cabe destacar el impuesto por Pablo Morillo, El Pacificador, en 1815, quien tenía el objetivo de recuperar esta importante plaza para la Corona Española. "Cartagena de Indias, Ciudad Heroica", fue el título que se ganaría luego de soportar más de tres meses de intenso cerco.

En la época republicana la ciudad entraría en un largo período de estancamiento, producto de su pérdida de interés estratégico y comercial. Se puede citar a Rafael Núñez, cartagenero que durante esta época de "recesión" de Cartagena de Indias, fuera elegido Presidente de la República en cuatro ocasiones, dirigiendo los destinos de la Nación desde la Heroica, como en la Colonia lo hicieran algunos virreyes.

El renacer de Cartagena de Indias como ciudad determinante en Colombia se da entrado el Siglo XX con la reactivación de su economía, cuando su historia y sus leyendas son sólo recuerdos del pasado glorioso de una ciudad turística que recibe el Siglo XXI llena de esperanzas y sueños para el futuro. (Caribe, s.f.)

- Arquitectura Colonial en Cartagena de Indias.

La historia de Cartagena es la historia de los asedios constantes de los piratas contra ella y de las penurias causadas por las guerras de la independencia, todo lo cual la dejó hasta finales del siglo XIX en un estado lamentable<sup>2</sup>. La ciudad colonial, nombre por el cual hoy se conoce, está constituida por tres barrios: el barrio San Pedro, distinguido por albergar oficinas gubernamentales y las viviendas de las familias de mayor estrato de la época colonial; San Diego, conformado por viviendas de estrato medio, y Getsemaní, donde se formaron asentamientos de artesanos y familias populares en general. La tipología de estas tres zonas fue profundamente marcada por los diversos factores económicos y valores sociales que datan del siglo XVI y XVII, muestra de ello son las diversas formas, materiales, configuraciones y métodos constructivos. (ANGULO G, 2008)



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE  
EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

- Cartagena, patrimonio histórico y cultural de la humanidad

El comité del Patrimonio Mundial de la UNESCO, en la reunión de Buenos Aires en noviembre de 1984, aprobó la solicitud del Gobierno de Colombia para la inclusión del "Puerto, Fortaleza y Conjunto Monumental de Cartagena de Indias" en la lista del Patrimonio Mundial. Dicha distinción se oficializó el 17 de agosto de 1985, cuando el Director General de la UNESCO, Amadou Mahtar M Bow, descubrió la placa conmemorativa en los bajos de la Alcaldía de la Ciudad. (Alcaldía de Cartagena, 2001).

El concepto actual de Patrimonio cultural es el resultado de un proceso unido al desarrollo de la sociedad contemporánea, sus valores y necesidades, la tendencia actual es la de entender el patrimonio cultural en su sentido más amplio, abarcando todos los signos que documenten las actividades y logros de los seres humanos a lo largo del tiempo.

### 1.2.2 Marco legal

- Normas nacionales.

La preocupación por defender el patrimonio histórico arquitectónico que para el país representa Cartagena, viene de hace más de un siglo, cuando se alzaron voces de protesta por el derribo de sectores de murallas en momentos en que no existía Ley Nacional o reglamento que le diera protección y tales demoliciones eran vistas como señal de progreso. Existía una incipiente conciencia local que valoraba las fortificaciones, más no las casas, en su mayoría, desocupadas y ruinosas por la crisis en que se encontraba sumida la ciudad.

En los albores de este siglo carece en el país la conciencia respecto a los monumentos ligados a nuestras gestas emancipadoras, y en el año de 1918 el Congreso de la República emite la Ley 48 declarando material de la historia a los monumentos y fortalezas de la ciudad, preceptuando que no podrían ser destruidos, reparados ni decorados sin autorización de la Dirección de Bellas Artes y de la Academia de la Historia.

En busca de precisar y fortalecer lo dispuesto en la Ley 48, por medio de la Ley 32 de 1924 se crea la Sociedad de Mejoras Públicas para velar por la conservación de los monumentos históricos de la ciudad, y se prohíbe demoler murallas, castillos y demás fuertes. Pese a ello,



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

fue en ese tiempo cuando Cartagena sufrió las mayores demoliciones de sus murallas, hechos que hoy lamentamos.

Este mismo criterio de protección a las murallas y de libertad para intervenir en las construcciones persistió hasta llegar al año 1940, cuando mediante la Ley 5 se declaró Monumento Nacional al sector antiguo de la ciudad dentro del perímetro amurallado, asignando su cuidado a la Academia de la Historia.

El mandato señalado en la Ley se acogió, y la academia de historia ejerció el control, pero con bases muy endebles, puesto que no existía reglamentación precisa, conciencia ciudadana sobre preservación, ni personal calificado para tan delicado trabajo. El resultado: las obras realizadas fueron una conservación formal de fachadas con copia de elementos coloniales.

Durante este periodo se dan demoliciones, transformaciones substanciales con edificaciones que rompen la escala, la armonía del conjunto y el perfil de la ciudad.

Así se continúa hasta el año 1959, cuando el Congreso de la República expide la Ley 163, que integra la legislación existente y se constituye desde entonces hasta nuestros días como el estatuto básico del patrimonio cultural de la nación. En ella se declaran patrimonio histórico y artístico nacional, los monumentos, tumbas prehispánicas, y además de los inmuebles coloniales y aquellos que estén vinculados a las luchas por la Independencia y con el período inicial de la organización de la República. De manera expresa se declara monumento nacional al sector antiguo de Cartagena. Como organismo de control, se integra al Consejo Nacional de Monumentos. Esta Ley fue reglamentada mediante el Decreto Nacional 264 de 1963, que puntualiza y amplía algunos de los criterios contenidos en dicha norma.

Hasta este momento, Cartagena carece de un reglamento específico para la zona histórica, y la aparición en escena del Consejo de Monumentos Nacionales aporta poco, ya que por tener sede en la capital del país, era casi nada lo que podría hacer por esta alejada provincia. (Decreto 0977, 2001)



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

- Normas locales, estudios y reglamentaciones específicas.

En el plano local, la carencia de reglamentaciones específicas perduró hasta bien entrado el presente siglo, pero hubo desde mediados del mismo preocupación por la defensa del patrimonio histórico; prueba de lo anterior es lo preceptuado en el Plan Regulador de Cartagena de 1948, en el que se trata la conservación del sector histórico pero se permiten las modificaciones de las casas coloniales y su adaptación al uso comercial. Del mismo modo, el Decreto 219 de 1958 y el Acuerdo 43 de 1963 permiten las construcciones nuevas, siempre que en sus partes externas se cuiden las líneas arquitectónicas del estilo colonial, y estipulan que preferentemente debe usarse el blanco en los muros.

Estas primeras normas locales resaltan por su falta de precisión en los criterios, la búsqueda de una unidad estilística, la supervaloración de lo colonial y el tratamiento puntual de los tópicos. Consolida el fachadismo colonial y descuida la calidad habitacional la inserción en el conjunto. El Plan Piloto de Cartagena (Acuerdo 21 de 1965) enmarca sus criterios bajo los mismos postulados estilísticos coloniales, sin formular de manera específica una reglamentación de la zona histórica.

En el año de 1968 se produce un hecho que cambia lo sucedido hasta entonces: el Centro de Investigaciones estéticas de la Universidad de los Andes (CIE) realiza un trabajo que divide en dos la historia de las reglamentaciones. Por primera vez se hizo un estudio detallado con inventario de las edificaciones, reglamentación particular de los predios, normas precisas para las intervenciones y recomendaciones sobre un gran número de inmuebles, organismos para el control e incentivos para estimular las restauraciones.

Sus fundamentos estructurales eran la valoración de las edificaciones por niveles de importancia, según su antigüedad y valor arquitectónico y la conservación de la imagen general del conjunto urbano. Tenía aspectos cuestionables en su concepción, vacíos y criterios subjetivos que fueron expresados acomodaticiamente, pero su impacto general fue positivo y decisivo en la conciencia de restauración.

En la misma época, en 1969, el restaurador español Juan Manuel Zapatero realizó el estudio Las Fortificaciones de Cartagena de Indias, donde planteó, también por primera vez en el



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

país, los criterios para la conservación y restauración de las fortalezas, con marcada tendencia a la restauración museográfica. Sus estudios no fueron aplicados inmediatamente. Se adoptaron como norma legal en 1978, cuando la Alcaldía de Cartagena expide el Plan de Desarrollo (Fadul, 2001),

Desde entonces fueron utilizadas las fichas reglamentarias, y en control del centro histórico era ejercido por la oficina de Planeación Municipal, que exigía aprobación previa del Centro Filial de Bolívar del Consejo de Monumentos Nacional, creado a partir de ese año, donde tenían asiento instituciones y representaciones gremiales de la ciudad. Sin embargo, la aplicación irregular de las políticas y la manipulación de las normas, hizo que prosperaran restauraciones movidas más hacia el beneficio económico que al rescate patrimonial.

Hoy día, existen normas para regular las restauraciones de casas coloniales como lo concerniente al Decreto POT 0977 parte octava, la ley de Cultura y la ley de Distrito 708, con criterios a tener en cuenta tales como:

- **Criterios para la conservación.**

Constituye una disciplina que reclama la colaboración con todas las ciencias y con todas las técnicas que puedan contribuir al estudio y a la protección del Patrimonio Monumental. Conscientes de que la conservación de los monumentos se beneficia siempre con la dedicación de estos a una función útil a la sociedad, se propuso un plan racional de nuevos usos que además de mantener en vigencia el sistema defensivo abaluartado de la ciudad, le garantizara una supervivencia digna para las futuras generaciones. Toda intervención se hará con el debido respeto por las partes originales del monumento, destacando de la composición arquitectónica todo complemento indispensable y garantizando que todas las propuestas de habilitación sean de carácter reversible. La restauración deberá hacerse con base en estudios arqueológicos e históricos del monumento.





CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

- **Criterios técnicos de intervención.**

Las propuestas de rehabilitación Deben estar avaladas por conceptos técnicos en diversos campos que garanticen lo factible de su ejecución. Deberán resolverse problemas de orden constructivo en materia de restauración, estructural, de ingeniería hidráulica-sanitaria, especialmente por el manejo de los drenajes indispensables para restituir los niveles originales de los glacis recuperando la verdadera proporción de la muralla, luminotécnicos y de vialidad.

### **1.2.3 Consideraciones para la restauración de patrimonios Históricos.**

Principios teóricos.

Las restauraciones que se realizan en un monumento histórico deben cumplir con principios básicos.

- El respeto a la evolución histórica 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.
- El principio de No Falsificación se aplica cuando en una intervención se requiera integrar (completar algún elemento arquitectónico o reproducir ciertas formas perdidas). 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.
- El respeto a la vejez o pátina. En muchas ocasiones se ha confundido a la mugre con la pátina, pero ésta representa parte de la historia del bien arquitectónico al estar



## CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

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. Cuando es mugre se debe quitar pues atenta la integridad de los materiales.

- El principio de Conservación in situ se refiere al hecho de no desvincular al edificio ni a sus elementos de su lugar de origen. 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.
- Por último, el 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.” (Teran, 2004).

### 1.2.4 Marco conceptual

Para la realización de este proyecto de investigación, enfocado en el análisis comparativo de los materiales utilizados en la construcción de los muros de las casas coloniales y los que se utilizan actualmente para su reparación, a continuación se realiza una enumeración de los conceptos, teorías y términos que sirven de fundamentación en este proyecto.

#### 1.2.4.1 Definiciones

- Muros y acabados

La construcción colonial local es una síntesis criolla de tradiciones mediterráneas, adaptadas al clima y a los materiales caribeños. Los muros y acabados de las edificaciones antiguas de la ciudad se construyeron a base de arcilla ante la dificultad fabricar ladrillos de buena calidad. La arcilla, además, era un material abundante en la zona, de poca resistencia a la usura y la intemperie. En general, los muros de las edificaciones se construyeron con base a:

- Piedra y argamasa de Cal: Este sistema se implementó ampliamente, hasta que el precio de la piedra se incrementó y se sustituyó por el ladrillo.



## CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

- Pedazos de ladrillo, piedra y coral triturado: Esta composición formaba con la argamasa una mezcla muy maciza y resistente a la intemperie. Este fue el sistema que más se utilizó en la vivienda colonial cartagenera. (BRIEVA G. L.)
- Ladrillo

La practicidad del sistema y lo económico que resultaba lo introdujo a la construcción como una buena alternativa en muros. Muchas veces se fabricaba mezclado con retal de coral y siempre se utilizaba una junta gruesa de argamasa.

- Mampostería

Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.7. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (DES) cuando todas sus celdas se inyectan con mortero de relleno o cuando se cumpla con los requisitos adicionales de refuerzos mínimos descritos en D.7.2.1.1, y como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO) cuando sólo se inyectan con mortero de relleno las celdas verticales que llevan refuerzo. (NSR-10 – Capítulo D.1,2010).

### 1.2.4.2 Materiales de construcción

- Argamasa

Mortero y material base compuesto por una mezcla de arena, agua y cal, éste último el conglomerante en éste caso que al secarse adquiere una condición bastante sólida aunque es menor que en la del hormigón. En su mezcla de la argamasa toma especial importancia el empleo de los áridos como materiales naturales como de la arena, grava y la gravilla, en su mezcla se tienen presentes las medidas de sus materias en cantidades determinadas y específicas.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

- Piedra coralina.

Los españoles que a finales del siglo XV y principios del XVI llegaron al Nuevo Mundo guiados por el almirante Cristóbal Colón, emplearon para la edificación de sus nuevos asentamientos y de los principales edificios sociales una piedra caliza que aún hoy en día podemos encontrar de forma abundante, principalmente en la República Dominicana y en Colombia, la denominada Piedra Coralina.

Esta piedra se formó en los lechos marinos del período del Pleistoceno a partir de fósiles, corales y otros animales marinos, por lo que la mayoría de las calizas coralinas se han originado en arrecifes. (Litos online, 2011).

- Estuco

Pasta formada principalmente de cal, reacciona con el agua endureciéndose hasta lograr la unión de los elementos estructurales.

- Concreto

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 kg por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>). El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2400 kg/m<sup>3</sup>.

- Ladrillos de arcilla

Bloque de arcilla o cerámica cocida empleado en la construcción y para revestimientos decorativos. Los ladrillos pueden secarse al sol, pero acostumbran a secarse en hornos. Resisten la humedad y el calor y pueden durar en algunos casos más que la piedra. Su color



## CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

varía dependiendo de las arcillas empleadas y sus proporciones cambian de acuerdo a las tradiciones arquitectónicas.

Algunos ladrillos están hechos de arcillas resistentes al fuego para construir chimeneas y hornos. Otros están hechos con vidrio o se someten a procesos de vitrificación. Los ladrillos se pueden fabricar de diferentes formas, dependiendo de la manera en que se vayan a colocar sus costados largos (al hilo) y sus extremos cortos (cabezales).

El ladrillo era conocido por los indígenas americanos de las civilizaciones prehispánicas. En regiones secas construían casas de ladrillos de adobe secado al sol. Las grandes pirámides de los olmecas, mayas y otros pueblos fueron construidas con ladrillos revestidos de piedra.

Pero fue en España donde, por influencia musulmana, el uso del ladrillo alcanzó más difusión, sobre todo en Castilla, Aragón y Andalucía.

El ladrillo industrial, fabricado en cantidades, sigue siendo un material de construcción versátil. (Arcillas de Colombia S.A., s.f.)

### 1.2.4.3 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales

- Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se define como la capacidad de un material de resistir cargas de aplastamiento antes de llegar a su punto de fluencia o antes de que el material presente fallas como grietas o en su defecto el colapso total, la resistencia del concreto se puede medir de diferentes formas por métodos destructivos o métodos no destructivos.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Grupo	Tipo de rocas	Resist. Min. A compresion (Kg/cm2)
A	Caliza, travertino, tobas volcanicas	200
B	Areniscas blandas y calizas arcillosas	300
C	Calizas compactas, solomitas, marmol, basalto	500
D	Areniscas cuarzosas (con cemento siliceo)	800
E	Granito, diorita, porfido, diabasa, basalto (rocas igneas en general)	1200

**Tabla 1.** Resistencia a compresión según tipo de piedras.

**Fuente:** MELI, R. Ingeniería estructural de los edificios historicos, p.21

- 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 ( $\rho$ ) se define como la masa (M) por unidad de volumen (V), y se expresa en Kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Determinada la masa y el volumen de una muestra rocosa, se conoce de forma inmediata su densidad. 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". También pueden considerarse otros tipos como la "densidad de la roca húmeda" (para un determinado contenido en humedad) o la "densidad de la roca corregida" (cuando en el volumen de roca no se incluyen los poros abiertos), parámetros obtenidos en algunos ensayos. (Martín, 1996)

- Porosidad.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

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.

$$n = \frac{\text{Volumen de espacios para almacenar fluidos}}{\text{Volumen total}} \quad (3)$$

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.

- 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 dureza 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.

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{(P_a - P_b)}{P_a} \quad (4)$$

Dónde:

$P_a$  es la masa de la muestra seca antes del ensayo (grs)

$P_b$  es la masa de la muestra seca después del ensayo, lavada sobre el tamiz 1.68 mm.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

En el ensayo de resistencia a la abrasión o al desgaste se utiliza la Maquina de los Ángeles.

Esta es un aparato constituido por un tambor cilíndrico hueco de acero de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente, con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que puede transmitirle un movimiento de rotación alrededor del eje.

- Dureza.

Es la resistencia de los materiales para resistir la penetración de otro cuerpo. Para el caso de minerales, la dureza se ha considerado clásicamente como la resistencia que presenta un mineral a ser rayado por otro mineral o material. F. Mohs dedujo empíricamente una escala cualitativa basada en las durezas relativas de distintos minerales que ha sido muy utilizada como criterio de clasificación y de determinación. Esta escala es como sigue: (Universidad de Granada, 2007).

Dureza	Mineral
1	Talco
2	Yeso
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Ortoclasa
7	Cuarzo
8	Topacio
9	Corindoj
10	Diamante

**Tabla 2.** Escala de dureza de Mohs.

**Fuente** (La comunidad petrolera, 2012)

#### 1.2.4.4 Metodologías no destructivas aplicables en obras de rehabilitación de patrimonio

La conservación del patrimonio cultural está considerada como un principio fundamental en la vida cultural de las sociedades modernas. En los últimos años, se han realizado extensas investigaciones en torno a esta área, conduciendo a desarrollos en la inspección, ensayos no destructivos, monitorización y análisis estructural de monumentos. No obstante la comprensión, el análisis y la reparación de construcciones históricas continúa siendo uno de





CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

los desafíos más importantes de las técnicas modernas. El análisis de construcciones antiguas formula importantes desafíos porque dada la complejidad de su geometría, la variabilidad de las propiedades de los materiales tradicionales, las diferentes técnicas de construcción, la ausencia de conocimiento sobre los daños existentes, de cómo afectan determinadas acciones a las construcciones a lo largo de su vida y la falta de códigos. (Lombillo & Villegas, 2005).

Los métodos no destructivos son, de hecho, necesarios para obtener las características mecánicas necesarias para el análisis y comprensión del comportamiento mecánico de las construcciones históricas, así como, para validar el análisis en sí mismo. Estos, están siendo cada vez más empleados en diferentes aplicaciones, especialmente la conservación del patrimonio cultural e histórico. La principal característica de estos métodos es su capacidad de investigar un lugar o estructura sin invadirla. Como es obvio, debería darse preferencia a las técnicas no destructivas minimizando el empleo de las que tienen un carácter destructivo, especialmente cuando los edificios se ven envueltos en alto grado de deterioro, o estén dotados de una estética o una antigüedad que justifica su no alteración.

Clasificación de los métodos de END: Podemos establecer distintas clasificaciones de los métodos de END según sus fundamentos, aplicaciones o su estado actual de desarrollo. (Berganza & Hernández, 2007)

- Según sus fundamentos: Se basan esencialmente en las aplicaciones de uno o varios de los siguientes fenómenos físicos: Ondas electromagnéticas, ondas elásticas o acústicas, emisión de partículas subatómicas, otros fenómenos, tales como los de capilaridad, estanqueidad, absorción, etc.
- Según sus aplicaciones: Se puede decir que las aplicaciones de los métodos de END permiten realizar estudios de defectos, hacer mediciones y caracterizar materiales.



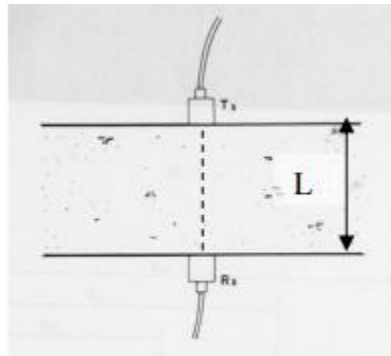
CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

- Según el estado actual de desarrollo: Se pueden clasificar en:
  - a. Métodos convencionales de END: Consideramos como métodos convencionales aquellos que debido al desarrollo actual de los equipos y técnicas operatorias, permiten seguir el ritmo de la producción, proporcionan un registro permanente y permiten la automatización del proceso de inspección. Los siguientes se pueden considerar como métodos de END convencionales: Radiografía Industrial (RI), ultrasonidos (US), líquidos Penetrantes (LP), partículas Magnetizables (PM), corrientes Inducidas (CI) y Visual (EV)
  - b. Métodos nuevos o no convencionales de END: Consideramos como métodos nuevos, aquellos de reciente introducción o en período actual de desarrollo, o aquellos que no tienen una utilización generalizada. Los siguientes se pueden considerar como métodos de END no convencionales: Fuga, termografía, espectroscopia ultrasónica, emisión acústica, radiografía neutrónica, tensiones residuales, entre otros.
- **Métodos Ultrasónicos**

El método de control del hormigón con emisión de impulsos generados mecánicamente apareció en los estados unidos en los años 1940. El principio básico es que la velocidad de la onda a través el hormigón depende al mínimo de las propiedades elásticas, y que es casi independiente de la geometría de la estructura estudiada. Canadá y Reino Unido han desarrollado algunos años después este método utilizando transductores electroacústicos, que permiten un control mejor del tipo y de la frecuencia de los impulsos emitidos. El método moderno consiste en la medición del tiempo que emplea un impulso ultrasónico (es decir de frecuencia entre 20 y 150 kHz) al recorrer la distancia entre un transductor emisor Tx y un transductor receptor Rx, ambos acoplados al hormigón que se está estudiando (sacada de la norma UNE 83-308-86).

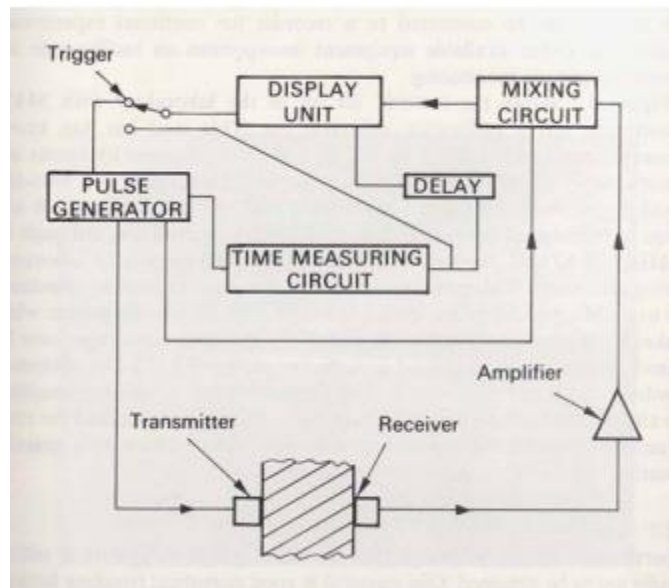


CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Figura 1.** Esquema de principio de ensayo del método ultrasónico

Mediante un transductor electroacústico se genera un impulso de vibración longitudinal; después de recorrer una determinada distancia  $L$ , un segundo transductor recibe la señal y, por medio de un circuito electrónico se mide el tiempo de tránsito o de propagación del impulso a través el material (cf. figura 3.2, sacada del libro de J.H.Bungey y S.G. Millard).



**Figura 2.** Principio de funcionamiento del aparato de ensayo

La velocidad de las ondas en el material permite obtener informaciones sobre las propiedades elásticas. Las frecuencias de las ondas generadas varían entre 20 y 150 kHz, y por el hormigón se utilizan las frecuencias comprendidas entre 54 y 82 kHz. Las velocidades de propagación de las ondas en estos casos varían entre 3,5 km y 4,8 km/s, lo que impone un



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE  
EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

cuidado espacial durante los ensayos in situ, siendo el intervalo de velocidades posibles reducido. (UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA)

- **Esclerómetro o Martillo de Smith**

Este ensayo fue propuesto inicialmente para estimar la resistencia a compresión simple del concreto, pero debido a su facilidad de uso y a su aplicación extendida, se ha modificado en ciertas ocasiones para usarse en la determinación de la resistencia a la compresión en otros materiales distintos al concreto (Guzmán, 2001).

Su uso es muy frecuente dada la manejabilidad del aparato, pudiendo aplicarse sobre roca matriz y fundamentalmente sobre las discontinuidades (resistencia de los labios). Consiste en medir la resistencia al rebote de la superficie de roca ensayada. La medida de rebote se correlaciona mediante un gráfico debido a Miller (1965) que contempla la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto del plano ensayado.

El desarrollo del ensayo consiste en una preparación de zonas elegidas, eliminando la pátina de meteorizada. Se efectúan 10 percusiones con el martillo en la zona elegida y se eliminan los 5 valores más bajos, efectuando el promedio de los restantes. Una vez ensayadas todas las zonas necesarias, se llevan al gráfico de correlación y se obtienen unos valores estimativos de la resistencia a compresión simple de la roca obteniendo una idea de su estado y calidad. El registro de los datos se realiza sobre unos impresos preparados para tal fin, que facilitan la interpretación de los mismos (Ayala & Andreu, 1987).



## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar, a través de un análisis comparativo entre los muros de tipología colonial y muestras de muretes construidos con materiales de fuentes actuales, si estos son convenientes para emplearlos en las restauraciones estructurales de las edificaciones de tipología colonial, con el fin de que estos no pierdan su valor patrimonial.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y realizar la caracterización de los materiales a estudiar específicamente, los cuales son: ladrillo y argamasa.
- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras de muretes y los muros originales ubicados en las edificaciones en restauración, mediante ensayos destructivos y no destructivos.
- Realizar la comparación de las características y las propiedades físicas y mecánicas de las muestras de muretes con la de los muros originales.
- Determinar mediante un análisis de los resultados obtenidos, si el ladrillo y la argamasa en su conjunto, son adecuados para utilizarlos en las restauraciones de edificaciones de tipología colonial en la ciudad de Cartagena.



### **3. ALCANCE**

El estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas entre los muretes hechos con ladrillos de fuentes actuales y los muros originales de las edificaciones de tipología colonial, se llevó a cabo para determinar propiedades similares entre ellos y concluir si es aconsejable la utilización de estos materiales en las restauraciones de inmuebles que presenten estos tipos de muros.

Este estudio se realizó tomando como base los resultados que se obtuvieron de ensayos destructivos y no destructivos que se le realizaran a los muretes y muros de tipología colonial respectivamente, para determinar propiedades tales como resistencia a la compresión. Además se realizaran ensayos complementarios de densidad, humedad, permeabilidad, consistencia normal y tiempo de fraguado a los materiales, para compararlos con los resultados obtenidos en investigaciones anteriores.

Finalmente se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos en los ensayos para determinar si estos muros poseen características físicas y mecánicas similares o no y así recomendar o rechazar estos materiales para futuras restauraciones, con el fin de que las edificaciones a intervenir no pierdan su valor Patrimonial.

#### **3.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL**

Se planteó realizar los ensayos en los muros de tipología colonial en una edificación ubicada en el centro histórico de la ciudad de Cartagena que fuera icónica, que tuviera historia y que fuera colonial, razón por la cual se escogió La iglesia de la Santísima Trinidad, para esto se tramitaron los permisos correspondientes con el responsable de dicha edificación El Padre Yamil Martínez Gómez quien otorgó todos los permisos correspondientes.

#### **3.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL**

El desarrollo de la investigación correspondiente al presente trabajo de grado se realizó en el segundo período académico del año 2015, entre los meses de Julio y Octubre.



### **3.3 RESULTADOS ESPERADOS**

Una vez realizados los ensayos se cuantifico las propiedades físicas y mecánicas de los muros y muretes, como la resistencia a la compresión y las propiedades de los materiales independientes, tales como la densidad, humedad, permeabilidad, consistencia normal y tiempo de fraguado, esta información nos sirvió para compararla con información obtenida de investigaciones realizadas anteriormente.

### **3.4 PRODUCTO FINAL A ENTREGAR**

Una vez se realizó el trabajo de investigación, se presentó un informe con los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados a los muros y muretes. Así mismo se presentó el análisis comparativo de las características observadas en los tipos de muros y sus similitudes para poder concluir si los dos tipos de muros tienen un comportamiento físico y mecánico similar de tal manera que estos materiales se puedan usar en las restauraciones de construcciones de tipología colonial, sin afectar su valor patrimonial.

### **3.5 PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS**

Con el desarrollo de esta investigación, fue posible conocer las propiedades físicas y mecánicas de los muretes hechos de fuentes actuales y de los muros de tipología colonial, esto proporciona bases para otras investigaciones que pudieran llevarse a cabo en esta área más adelante, y puede ser de ayuda para evaluar en un futuro las condiciones de la calidad de los materiales analizados actualmente y así compararla con los resultados que se obtuvieron en esta investigación. Además, las futuras investigaciones podrían enfocarse en el análisis de otros materiales que también se usen en procesos de restauración, tomando como referencia los procedimientos de experimentación y análisis de resultados que se llevaron a cabo en esta investigación. Por otro lado, la información obtenida puede ser de gran utilidad para ser tenida en cuenta por arquitectos e ingenieros restauradores para futuros procesos de restauración que se lleven a cabo en la ciudad.



### **3.6 ASPECTOS QUE NO INCLUYE LA INVESTIGACIÓN**

El análisis de las características de los materiales estudiados en el presente trabajo de investigación, se limita sólo a las propiedades físicas y mecánicas anteriormente mencionadas, sin tener en cuenta la relación que éstas puedan tener con otros aspectos como la composición química interna de los materiales.





#### **4. METODOLOGIA**

Esta una investigación es de tipo mixto, debido a que comprende un ámbito descriptivo y otro experimental, donde principalmente se buscó determinar a través de una serie de ensayos las propiedades físicas y mecánicas de los muretes hechos con ladrillos de fuentes actuales y sus materiales respectivos para compararlas con las de los muros de tipología colonial que constituyen las edificaciones de esta época, con el fin de darle cumplimiento a los objetivos trazados previamente y darle una solución a la pregunta de investigación.

Para la elaboración de este proyecto se propuso una metodología que consta de cinco fases: recopilación y análisis de información existente, lugar y materiales de estudio, realización de los ensayos pertinentes, análisis de resultados obtenidos y en última instancia la preparación del informe final.

A continuación se describirán cada una de las fases planteadas con las que se desarrolló el proyecto de investigación.

##### **4.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE**

En primera instancia, se realizó una revisión bibliográfica de los componentes históricos, investigaciones, trabajos cuyos temas de investigación sean relativos a esta investigación y las normas actuales que limitan las restauraciones de este tipo, este material sirvió como punto de partida. Esta información se puede clasificar dentro de 2 tipos:

- Revisión y análisis de algunos trabajos de investigación relacionados con el estudio de la determinación de las propiedades estructurales de mampostería de tipología colonial y materiales implementados para los procesos de restauración de construcciones antiguas en la ciudad de Cartagena.
- Consulta de las normas actualmente vigentes que regulan y estipulan las especificaciones y los procedimientos a tener en cuenta para efectuar los ensayos necesarios para el desarrollo de la investigación.



## **4.2 LUGAR Y MATERIALES DE ESTUDIO**

La segunda fase se llevó a cabo con la ayuda del Ingeniero Director Jorge Álvarez Carrascal y arquitectos especializados en temas relacionados con restauración, esta fase consta de los siguientes aspectos:

### **4.2.1 Identificación de los Lugares de Estudio.**

Para establecer los lugares de estudio, se solicitó ayuda de arquitectos e ingenieros que tienen conocimiento y/o están relacionados directamente con la restauración de edificaciones de tipología Colonial, se buscó una edificación icónica de la ciudad de Cartagena que tuviera historia, que fuera reconocida por cualquier habitante de la ciudad y que fuera colonial, por tanto, se tramitaron los permisos para realizar los ensayos no destructivos en la Iglesia de la Trinidad, que cumple con todas estas características y está situada en el barrio de Getsemaní, fue erigida hacia el año 1600 y fue dedicada a la Santísima Trinidad. **Fuente especificada no válida.**

### **4.2.2 Identificación de las Fuentes de Materiales.**

Para la elaboración de los muretes se contó con distintos materiales cal, cemento, arena, polvo de ladrillo, caracuchos y ladrillos. Como los muretes fueron construidos con materiales de fuentes actuales, los ladrillos se adquirieron en la Ferretería Antioquia por ser el lugar más cercano que garantiza un material de calidad, en cuanto a la cal, el cemento y la arena fueron adquiridos en una fuente local de suministro de material, por su parte los caracuchos fueron tomados directamente del mar y el polvo de ladrillo que quedó como residuo después del corte de los ladrillos para fabricar los muretes constituyó el último material utilizado.

## **4.3 REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS PERTINENTES**

Esta tercera fase se contempló la realización de los ensayos destructivos y no destructivos que se requerirán para el desarrollo de la investigación, además se realizaron ensayos complementarios a los materiales para determinar ciertas características de los mismos.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

### 4.3.1 Ensayos a los materiales

Se realizaron ensayos a los materiales para determinar cierto tipo de propiedades como la Humedad, Gravedad específica bulk y Permeabilidad, estos ensayos se le realizaron a los ladrillos mientras a que a la Cal se le hizo ensayo de consistencia normal y de tiempo de fraguado para determinar el tiempo de fraguado de la misma tanto a Cal hidratada como a Cal viva.

Material	Tipo de Estudio	Nº de Muestras	Nº de Ensayos por muestra
Ladrillos	Humedad	4	1
	Permeabilidad	4	1
	Gravedad Especifica de Bulk	4	1
Cal Hidratada	Consistencia normal	3	1
	Tiempo de fraguado	1	8
Cal Viva	Consistencia normal	4	1
	Tiempo de fraguado	1	8

**Tabla 3.** Correspondiente a la cantidad de ensayos realizados a los materiales

**Fuente:** Autor

### 4.3.2 Ensayos No Destructivos

Estos ensayos se realizaron en los muros in situ de la Iglesia de la Trinidad que fue construida en la época de la colonia; inicialmente se había planteado realizar únicamente ensayos utilizando el esclerómetro o martillo de Schmidt para evaluar las condiciones de resistencia a la compresión de los materiales antiguos en las construcciones coloniales, pero se determinó que estos ensayos por sí solo no eran concluyentes para el desarrollo de la investigación debido a que se necesitaba conocer la resistencia de los muros actuando en conjunto, por tanto, se decidió llevar a cabo métodos ultrasónicos, la finalidad de estos ensayos no destructivos es no afectar la estructura a la cual se está estudiando.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Tipo de Estudio	N° de Muestras	N° de Ensayos por muestra
Esclerómetro o martillo de Schmidt	9	9
Ultrasonido	3	1

**Tabla 4.** Correspondiente a la cantidad de ensayos No Destructivos

**Fuente:** Autor

### 4.3.3 Ensayos Destructivos

Estos ensayos se realizaron en los laboratorios del Ingeniero Modesto Barrios Fontalvo, los cuales cuentan con la máquina de compresión necesaria para su elaboración. Se realizaron pruebas para determinar la resistencia a la compresión de los muretes fabricados con materiales de fuentes actuales.

Se elaboró un conjunto de 3 muretes, para cada combinación de materiales y para cada edad de ensayo a la cual se va a determinar la resistencia a la compresión de la mampostería. Se deben construir muretes de, al menos, dos unidades de altura, con una relación am/em (altura / espesor) del murete, entre 1,3 y 5,0 (NTC 3495, 2003). Las dimensiones de los muretes fueron de 30cmx35cmx10xm – Ancho/Altura/Espesor. el Institut de Promoció Ceràmica de España afirma un mortero de Cal con una proporción 1:3 da una resistencia a la compresión de 75 daN/cm<sup>2</sup> a los 28 días. (Ceràmica, s.f.) dicha información se podrá corroborar a través de esta investigación

Las 3 Combinaciones de materiales que se utilizaron fueron:

- Combinación 1: Ladrillos – Cal – Arena
- Combinación 2: Ladrillos – Cal – Arena – Cemento
- Combinación 3: Ladrillos – Cal – Arena – Caracuchos y Polvo de Ladrillo.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Tipo de Estudio	Combinacion de materiales	Nº de muestras	Nº de Ensayos a los 7 días	Nº de Ensayos a los 14 días	Nº de Ensayos a los 28 días	Nº de Enayos totales
Compresion	1	9	3	3	3	9
	2	9	3	3	3	9
	3	9	3	3	3	9
<b>Total</b>	3	27	9	9	9	27

**Tabla 5.** Correspondiente a la cantidad de ensayos Destructivos

**Fuente:** Autor

#### 4.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez obtenidos los datos de la fase anterior, se procedió a efectuar el análisis de los mismos; se utilizaron herramientas como Excel y Word para facilitar el desarrollo de todo el proyecto. En esta fase se analizaron los datos obtenidos de los ensayos realizados a los muros, este análisis dio bases para realizar el estudio comparativo que permitirá establecer si los muretes hechos con ladrillos de fuentes actuales cuentan con las características y propiedades necesarias desde el punto de vista estructural para reemplazar los muros originales de edificaciones que se encuentren deterioradas.

#### 4.5 PREPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL

Luego de haber cumplido cada una de las fases anteriores, desarrollados los objetivos propuestos y de llegar a una conclusión sobre la solución del interrogante planteado para el desarrollo de esta investigación, se procedió a preparar el informe final, donde se exponen todos los resultados obtenidos al final de este proceso investigativo, las recomendaciones pertinentes y todos los detalles importantes que conciernen al mismo.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

Luego de efectuar los ensayos de laboratorio pertinentes para el desarrollo de la investigación se obtuvieron una serie de resultados que se consignan a continuación, tales resultados se organizaron según el material que fue ensayado.

### 5.1 ENSAYOS A LOS MATERIALES

Los ensayos mostrados a continuación ayudaran a determinar características físicas y mecánicas de los materiales de forma individual, por lo tanto, no se le pueden otorgar dichas propiedades a los materiales trabajando en conjunto (muros).

#### 5.1.1 Consistencia normal y Tiempo de fraguado

Los siguientes son los resultados correspondientes a los ensayos de Consistencia normal y Tiempo de fraguado, estos ensayos fueron practicados con el Aparato de Vicat, tanto a Cal viva como a Cal Hidratada para determinar qué cantidad de agua se necesitaba para que la Cal obtuviera su consistencia normal y así poder determinar cuál de los dos tipos de cal tardaba menos en su fraguado, como resultado obtuvimos lo siguiente:

- **Consistencia normal**

CAL	
Cantidad de Agua (%)	Penetración (mm)
60,0	1,7
53,2	1,3
50,0	0,8

**Tabla 6.** Correspondiente a las penetraciones registradas con Cal Hidratada (Aguja 10mm).

**Fuente:** Autor



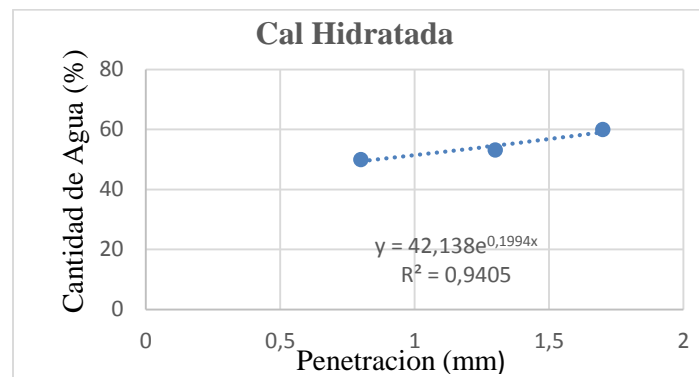
CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

CAL VIVA	
Cantidad de Agua (%)	Penetración (mm)
65,0	0,3
72,0	0,4
80,0	0,7
92,0	10,0

**Tabla 7.** Correspondiente a las penetraciones registradas con Cal Viva (Aguja 10mm).

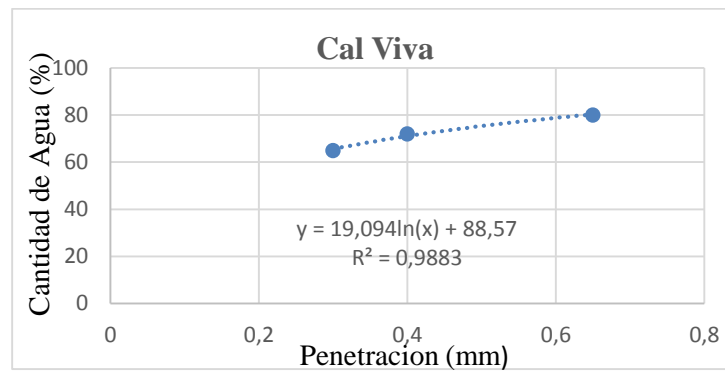
**Fuente:** Autor

Con los datos anteriores se realizaron unos gráficos para determinar la cantidad de agua necesaria para que la Aguja de 10 mm penetrara 1 cm en la muestra de Cal, lo cual representa la Consistencia Normal.



**Gráfico 1.** Correspondiente a la Cantidad de Agua Vs Penetración (Cal Hidratada).

**Fuente:** Autor



**Gráfico 2.** Correspondiente a la Cantidad de Agua Vs Penetración (Cal Viva).

**Fuente:** Autor.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Con las gráficas anteriores se determinó la ecuación de la curva para la Cal Hidratada y la Cal Viva con una correlación de 0.9405 y 0.9883 respectivamente y se determinó la consistencia normal.

CONSISTENCIA NORMAL	
CAL HIDRATADA	CAL VIVA
51,4	88,6

**Tabla 8.** Correspondiente a la Consistencia normal obtenida

**Fuente:** Autor

- **Tiempo de Fraguado**

CAL	
Tiempo(min)	penetracion(mm)
0	38
30	37
45	32
60	29
75	28
90	21
105	19
120	10

**Tabla 9.** Correspondiente a las penetraciones registradas con Cal Hidratada (Aguja 1mm).

**Fuente:** Autor

CAL VIVA	
Tiempo(min)	penetracion(mm)
0	40
30	40
45	38
60	36
75	35
90	34
105	33
120	25

**Tabla 10.** Correspondiente a las penetraciones registradas con Cal Viva (Aguja 1mm).

**Fuente:** Autor





CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Figura 3.** Correspondiente a los ensayos de tiempo de fraguado con Cal Viva (Aguja 1mm). **Fuente:** Autor

Con los datos anteriores se realizaron unos gráficos para determinar el tiempo que tarda la agua de Aguja de 1 mm de diámetro para penetrar 25 cm en la muestra de Cal, lo cual representa el Tiempo de fraguado inicial.

TIEMPO DE FRAGUADO	
CAL HIDRATADA	CAL VIVA
72,7	201,3

**Tabla 11.** Correspondiente al Tiempo de fraguado obtenido

**Fuente:** Autor

A partir de los ensayos anteriores se puede inferir lo siguiente:

- Para obtener la consistencia normal de la cal viva se necesita un 37.2 % más de agua que para la cal hidratada.
- El fraguado inicial de la cal viva tarde 128.64 minutos más que el de la cal hidratada.
- El fraguado de la cal viva no se presentaba de una forma constante en toda la muestra debido a que al realizar mediciones en un mismo tiempo pero en partes distintas de la muestra de cal las penetraciones presentaban variaciones considerables.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

- Conclusión es más rentable utilizar Cal hidratada para la realización de la Argamasa debido a que necesita una cantidad de agua menor y además presenta un tiempo de fraguado menos que la cal viva.

### 5.1.2 Gravedad Específica Bulk y Absorción

Este ensayo fue realizado en 4 muestras de ladrillos para determinar Gravedad Especifica Bulk, Gravedad Especifica Bulk Saturada con Superficie Seca, Gravedad Especifica Aparente y porcentaje de absorción. El ensayo fue realizado basándose en los lineamientos de la norma INVIAS INV E-223-07. A continuación se observan los resultados obtenidos para las muestras de ladrillos de fuentes actuales adquiridos en la Ferretería Antioquia.

MUESTRA	P SECO(gr)	PSS(gr)	P SUM (gr)	Gsb	Gsa	GSBsss	Absorcion(%)
1,0	2758,4	2952,8	1677,8	2,2	2,3	2,6	7,0
2,0	2757,4	2952,5	1678,1	2,2	2,3	2,6	7,1
3,0	2757,1	2952,3	1677,6	2,2	2,3	2,6	7,1
4,0	2757,3	2953,7	1677,3	2,2	2,3	2,6	7,1
<b>PROMEDIO</b>	2757,5	2952,8	1677,7	2,2	2,3	2,6	7,1

**Tabla 12.** Gravedad Especifica Bulk y Absorción de ladrillos de Ferretería Antioquia.

**Fuente:** Autor.

**P SECO** = Peso de la Muestra Seca

**PSS** = Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca

**P SUM** = Peso de la Muestra Sumergida

**Gsb** = Gravedad Especifica Bulk

**Gsb sss** = Gravedad Especifica Bulk Saturada con Superficie Seca

**Gsa** = Gravedad Especifica Aparente

Para este ensayo las muestras se seleccionaron aleatoriamente de los Ladrillos adquiridos en la Ferretería Antioquia. El porcentaje de absorción los ladrillos en promedio fue de 7,08%.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Figura 4.** Correspondiente a los ensayos de Gravedad Específica Bulk y Absorción.

**Fuente:** Autor.

### 5.1.3 Humedad Natural

Este ensayo fue realizado en 4 muestras de ladrillos para determinar la Humedad natural de los ladrillos, estas muestras también fueron seleccionadas aleatoriamente y los resultados obtenidos fueron:

MUESTRA	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO AGUA	Wn(%)
1	2773,34	2753,87	19,47	0,71
2	2772,80	2753,45	19,35	0,70
3	2773,78	2754,10	19,68	0,71
4	2772,43	2753,79	18,64	0,68
<b>PROMEDIO</b>	<b>2773,09</b>	<b>2753,80</b>	<b>19,29</b>	<b>0,70</b>

**Tabla 13.** Correspondiente a la Humedad natural de los ladrillos de Ferretería Antioquia.

**Fuente:** Autor.

De la tabla 13 podemos concluir que la Humedad natural promedio de los ladrillos fue 0.70%, por tanto, los ladrillos poseen una humedad bastante baja.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Figura 5.** Correspondiente a los ensayos de Humedad Natural

**Fuente:** Autor.

#### **5.1.4 Ensayo de Permeabilidad**

El ensayo se realizó basándose en la norma INV E-130-07; para este caso se tomó el bloque de ladrillo y se utilizó un extractor de núcleos para obtener el cilindro, de modo que se ajustara a las dimensiones del permeámetro. El diámetro del Ladrillo era menor del que presentaba el permeámetro, por lo que se optó en rodear de plastilina el cilindro con el fin de que el agua no se filtrara por los lados. El ensayo fue realizado para los ladrillos de la Ferretería Antioquia, se usaron 4 muestras y 1 mediciones por cada muestra.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Muestra	Tiempo(seg)	Vol. Agua(m3)	Coefficiente de permeabilidad (cm/seg)
1	7200	4,4	3,90E-06
2	7200	4,4	3,89E-06
3	7200	4,5	3,98E-06
4	7200	4,5	3,98E-06
<b>PROMEDIO</b>	7200	4,45	3,94104E-06

**Tabla 14.** Correspondiente a la Permeabilidad de los ladrillos de Ferretería Antioquia.

**Fuente:** Autor.

Analizando los datos de permeabilidad mostrados en la tabla 11 podemos ver que los ladrillos tienen en promedio una permeabilidad de  $3,94104E-06$  cm/seg, por lo tanto, podemos concluir que los ladrillos presentan una permeabilidad baja. Mediante este ensayo no se midió directamente al porosidad de los ladrillos pero este ensayo sirve para medir indirectamente esta propiedad debido a que la porosidad depende de la permeabilidad, gracias a esto podemos deducir que los ladrillos presentan una porosidad baja.

### 5.1.5 Ensayo de desgaste por medio de la Máquina de Los Ángeles

Se realizó el ensayo de desgaste para las muestras de ladrillos de fuentes actuales adquiridos en la Ferretería Antioquia. Actualmente no existen muchas referencias de ensayos de desgaste realizado a ladrillos, sin embargo investigaciones como las de Aguirre y Arrieta (2014), sirvió como punto de comparación.

El ensayo de desgaste se realizó siguiendo los lineamientos de la norma INVIAS INV E-219-07, y bajo las siguientes condiciones iniciales:



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

<b>Gradación</b>	<b>E</b>
Nº de revoluciones	1000
Peso inicial de material (g)	10000
Nº de esferas	12

**Tabla 15.** Condiciones de realización del ensayo de desgaste

**Fuente:** Autor

Cabe aclarar que el ensayo se realizó únicamente con dos muestras, debido a la cantidad de material necesario para cumplir con las condiciones de peso inicial de material de la gradación seleccionada.

Para obtener el valor de desgaste, se pesa el material que se retiene en el tamiz N° 12, luego de pasar por la Máquina de Los Ángeles. Los resultados obtenidos se consignan en la siguiente tabla:

<b>Muestra</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Desgaste (%)</b>
1	10000,0	1521,8	84,8
2	10000,0	1654,2	83,5
<b>PROMEDIO</b>	10000,0	1588,0	84,1

**Tabla 16.** Correspondiente a los resultados del ensayo de desgaste

**Fuente:** Autor

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede inferir que:

- Los ladrillos tienen un desgaste aproximado de 84.12 %.
- Los resultados de desgaste son similares a los presentados por Aguirre y Arrieta (2014), que obtuvieron un valor de desgaste promedio para los ladrillos de la Ferretería Antioquia de 83.49 %



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

### 5.1.6 Resistencia a la compresión de los Ladrillos por medio del Martillo de Smith

Los siguientes son los resultados correspondientes al ensayo de resistencia a la compresión de ladrillos mediante el uso del esclerómetro, este ensayo sólo se consideró para ladrillos adquiridos en fuentes actuales. El ensayo se realizó tomando 9 puntos (en lugar de sólo 7, para obtener mejores resultados) a cero grados ( $0^\circ$ ), en una muestra de ladrillo.

LADRILLOS		
Lectura	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	31,0	21,6
2	30,0	20,6
3	29,0	18,6
4	30,0	20,6
5	27,0	16,2
6	32,0	23,3
7	26,0	15,5
8	28,0	17,7
9	30,0	20,6
<b>PROMEDIO</b>	<b>29,2</b>	<b>19,4</b>

**Tabla 17.** Resistencia a la compresión de los ladrillos

**Fuente:** Autor.

A partir de los datos anteriores se puede inferir lo siguiente:

- El promedio de lecturas del valor del rebote del esclerómetro corresponde a 29,2.
- El promedio las resistencia a compresión de los ladrillos fue de 19.4 MPa.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

## 5.2 ENSAYOS A LOS MURETES (DESTRUCTIVOS)

Estos ensayos se realizaron según la norma NTC 3495, se elaboraron un conjunto de 3 muretes para cada combinación de materiales y para cada edad de ensayo 7, 14 y 28 días, se tomaron estas edades de ensayos por recomendación del Ingeniero restaurador Jorge Rocha Rodríguez el cual cuenta con una amplia experiencia en el tema de restauraciones coloniales. Los muretes guardan una relación Altura/Espesor de 2.9.



**Figura 6.** Correspondiente al proceso constructivo de los muretes.

**Fuente:** Autor.

- **Ensayos a los 7 Días**

LADRILLOS - CAL - ARENA			
Muestra	Falla Argamsa (MPa)	Falla Ladrillo (MPa)	Falla en conjunto (MPa)
1,0	1,1	3,8	4,2
2,0	1,1	3,8	4,2
3,0	1,0	3,8	4,3
<b>PROMEDIO</b>	1,1	3,8	4,2

**Tabla 18.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena a los 7 Días. **Fuente:** Autor.





CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

<b>LADRILLOS - CAL - ARENA - CEMENTO</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Falla Argamasa (MPa)</b>	<b>Falla Ladrillo (MPa)</b>	<b>Falla en conjunto (MPa)</b>
1,0	2,4	5,2	6,8
2,0	2,4	5,2	7,0
3,0	2,4	5,1	6,9
<b>PROMEDIO</b>	2,4	5,2	6,9

**Tabla 19.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena y cemento a los 7 Días.

**Fuente:** Autor.

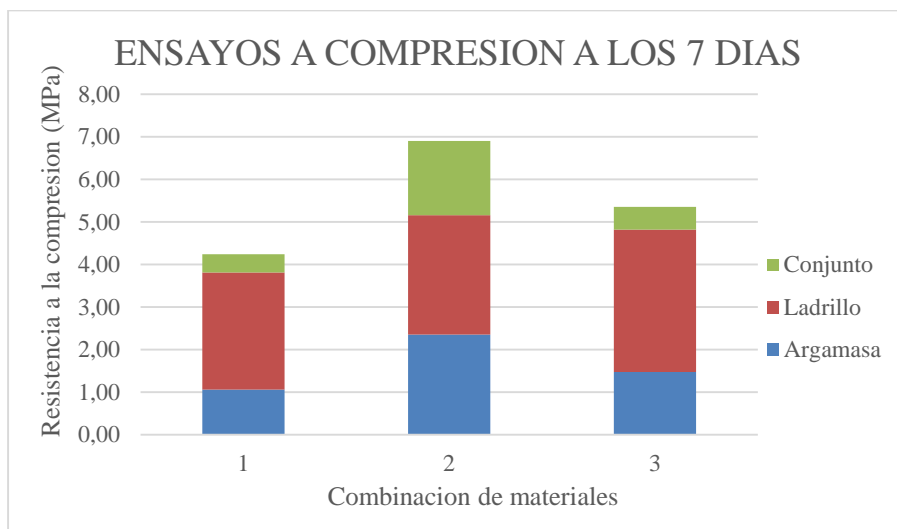
<b>LADRILLOS - CAL - ARENA -CARACUCHOS - POLVO DE LADRILLO</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Falla Argamasa (MPa)</b>	<b>Falla Ladrillo (MPa)</b>	<b>Falla en conjunto (MPa)</b>
1,0	1,5	4,8	5,3
2,0	1,4	4,8	5,4
3,0	1,5	4,8	5,4
<b>PROMEDIO</b>	1,5	4,8	5,4

**Tabla 20.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena – Caracuchos –Polvo de ladrillo a los 7 Días.

**Fuente:** Autor.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Gráfico 3.** Correspondiente a los ensayos a compresión de los muretes a los 7 días.

**Fuente:** Autor

- **Ensayos a los 14 días**

LADRILLOS - CAL - ARENA			
Muestra	Falla Argamasa (MPa)	Falla Ladrillo (MPa)	Falla en conjunto (MPa)
1,0	1,6	4,1	5,1
2,0	1,9	4,2	5,1
3,0	1,7	4,2	5,2
<b>PROMEDIO</b>	1,7	4,2	5,1

**Tabla 21.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena a los 14 Días. **Fuente:** Autor.

LADRILLOS - CAL - ARENA - CEMENTO			
Muestra	Falla Argamasa (MPa)	Falla Ladrillo (MPa)	Falla en conjunto (MPa)
1,0	3,8	7,1	8,3
2,0	3,9	7,1	8,3
3,0	3,9	7,0	8,3
<b>PROMEDIO</b>	3,9	7,1	8,3

**Tabla 22.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena y cemento a los 14 Días. **Fuente:** Autor.

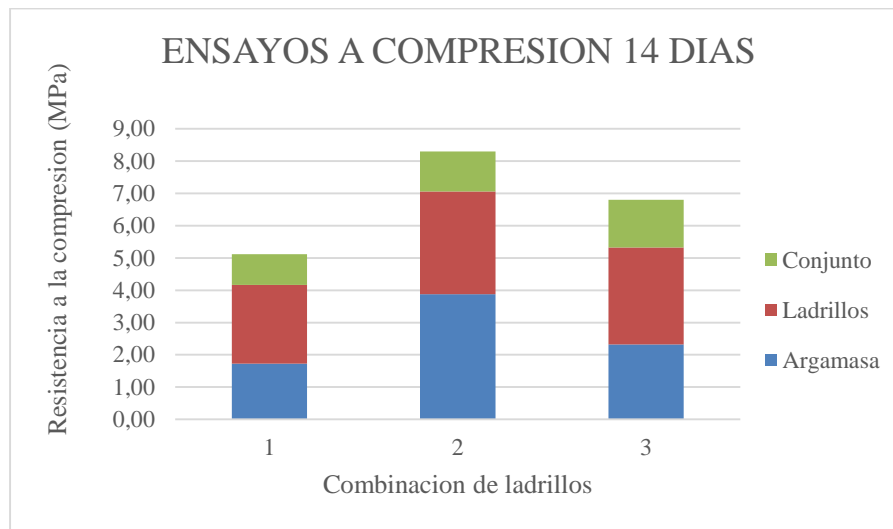


CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

LADRILLOS - CAL - ARENA - CARACUCHOS - POLVO DE LADRILLO			
Muestra	Falla Argamasa (MPa)	Falla Ladrillo (MPa)	Falla en conjunto (MPa)
1,0	2,3	5,3	6,8
2,0	2,4	5,4	6,7
3,0	2,3	5,3	6,9
<b>PROMEDIO</b>	2,3	5,3	6,8

**Tabla 23.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena – Caracuchos –Polvo de ladrillo a los 14 Días.

**Fuente:** Autor.



**Gráfico 4.** Correspondiente a los ensayos a compresión de los muretes a los 14 días.

**Fuente:** Autor

- **Ensayos a los 28 días**

LADRILLOS - CAL - ARENA			
Muestra	Falla Argamasa (MPa)	Falla Ladrillo (MPa)	Falla en conjunto (MPa)
1,0	2,7	5,3	6,5
2,0	2,8	5,3	6,4
3,0	2,8	5,2	6,6
<b>PROMEDIO</b>	2,8	5,3	6,5

**Tabla 24.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena a los 28 Días. **Fuente:** Autor.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

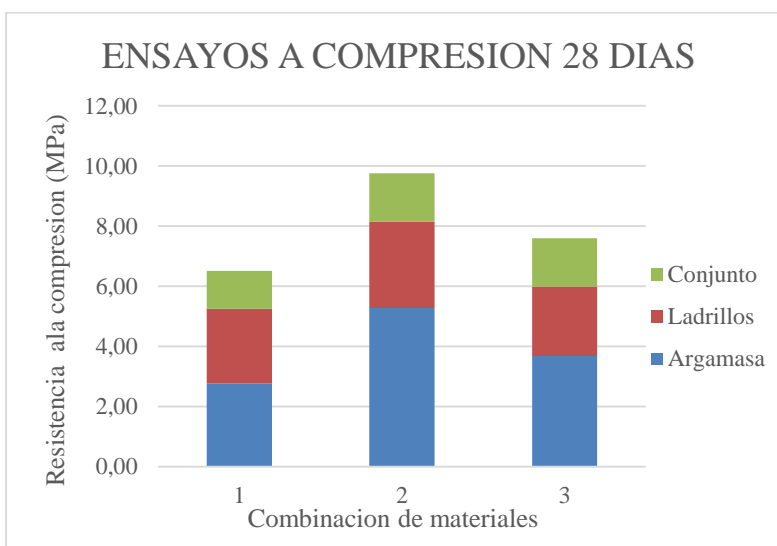
LADRILLOS - CAL - ARENA - CEMENTO			
Muestra	Falla Argamasa (MPa)	Falla Ladrillo (MPa)	Falla en conjunto (MPa)
1,0	5,3	8,1	9,8
2,0	5,2	8,1	9,7
3,0	5,3	8,2	9,8
<b>PROMEDIO</b>	<b>5,3</b>	<b>8,2</b>	<b>9,8</b>

**Tabla 25.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena y cemento a los 28 Días. **Fuente:** Autor.

LADRILLOS - CAL - ARENA - CARACUCHOS - POLVO DE LADRILLO			
Muestra	Falla Argamasa (MPa)	Falla Ladrillo (MPa)	Falla en conjunto (MPa)
1,0	3,7	6,0	7,5
2,0	3,7	6,0	7,6
3,0	3,6	5,9	7,7
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,7</b>	<b>6,0</b>	<b>7,6</b>

**Tabla 26.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes Ladrillos –Cal-Arena – Caracuchos –Polvo de ladrillo a los 28 Días.

**Fuente:** Autor.



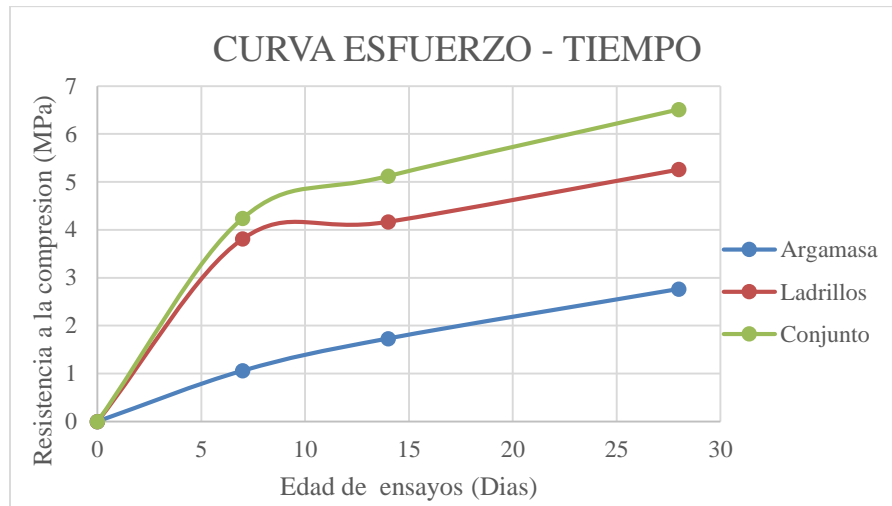
**Gráfico 5.** Correspondiente a los ensayos a compresión de los muretes a los 28 días.

**Fuente:** Autor

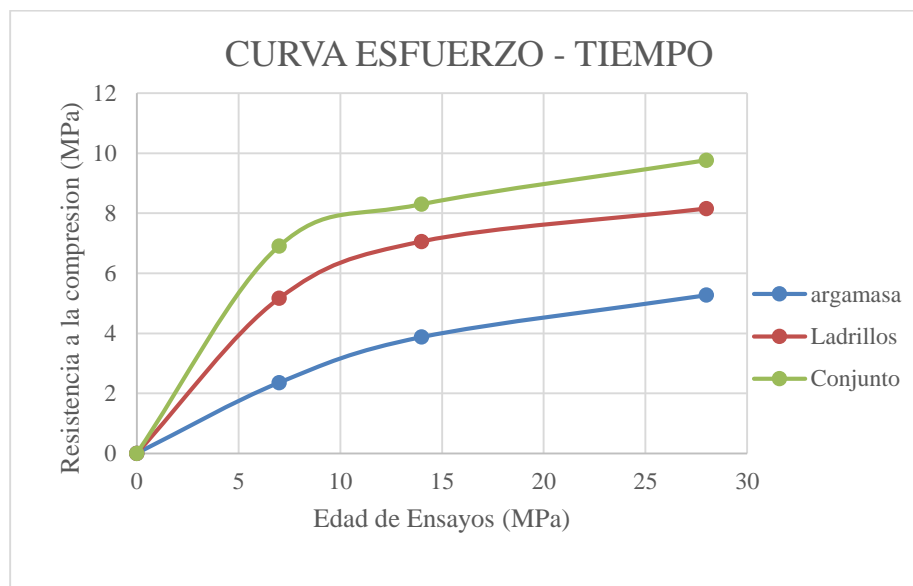


CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

A continuación se mostraran las gráficas que muestran cómo se desarrolla la resistencia a la compresión de los muretes en las tres edades de ensayo:



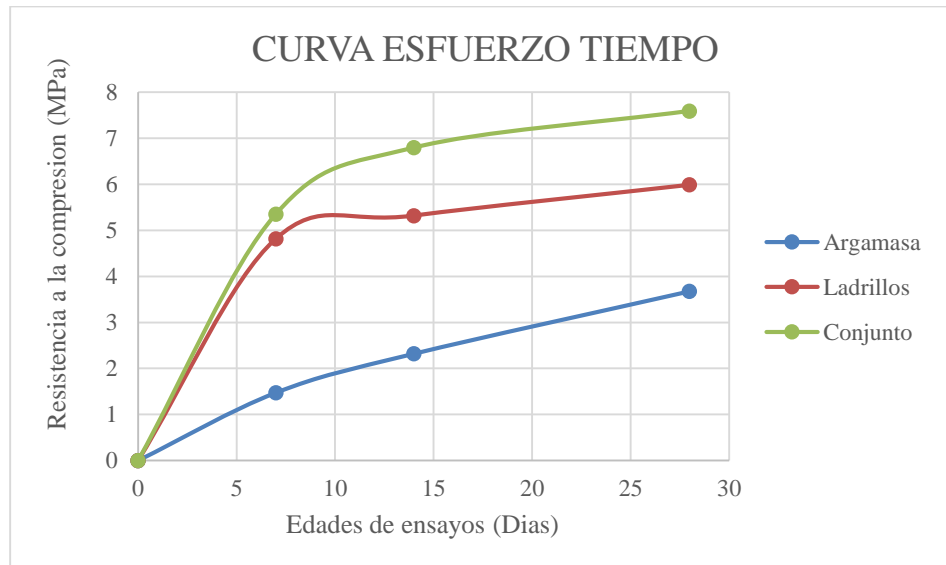
**Grafico 6.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena Vs Edad de ensayos. **Fuente:** Autor



**Grafico 7.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena-Cemento Vs Edad de ensayos. **Fuente:** Autor



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Grafico 8.** Correspondiente a la Resistencia a la compresión de los muretes de Ladrillos – Cal-Arena- Polvo de ladrillos-Caracuchos Vs Edad de ensayos. **Fuente:** Autor

A partir de los ensayos anteriores se puede inferir lo siguiente:

- Con las distintas combinaciones de muretes se presentó inicialmente una falla de la argamasa, posteriormente de presentaron fallas de los ladrillos de forma independiente y por último se presentó la falla en conjunto con excepción de la combinación 1 que a pesar de que el murete se veía en un claro estado de fatiga no presento una falla en la misma sección, por tal razón el parámetro de referencia para comparar los muretes será la falla de la argamasa.
- El murete de la combinación 1 con el cual se pretendía realizar el ensayo a compresión de los 7 días fallo mientras se realizaba el proceso de transporte hacia el lugar de ensayo, lo que quiere decir que esta combinación a esta edad de ensayo presenta una resistencia bastante baja, el ingeniero Jorge Rocha declaro que esta combinación de argamasa presenta una limitación en el proceso constructivo debido a que no podría construirse muros con alturas mayores de 90 cm y anchos mayores de 100 cm ya que presentarían un cabeceo producido por su mismo peso (J. Rocha, comunicación personal, 4 de agosto de 2015), este murete fue



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

reemplazado por uno en buen estado y posteriormente reconstruido y con este se realizó el ensayo a los 28 días. El uso de esta combinación de materiales no afecta el título de Patrimonio histórico que posee la ciudad.

- La Combinación de materiales que mejor se comportó a la compresión es la Combinación 2 que a los 28 días obtuvo una resistencia promedio de 5,27 MPa.
- La combinación con peor comportamiento fue la 1 quien obtuvo una resistencia a la compresión promedio a los 28 días de 2,77 MPa.
- Al agregar caracuchos y polvo de ladrillo a la argamasa causó que la resistencia a la compresión de la argamasa trabajando como conjunto con los demás materiales aumentara en un 32.96%, además adicionar estos materiales a la argamasa no pone en riesgo el título de patrimonio histórico de la humedad de la ciudad de Cartagena.
- Al agregar cemento a la argamasa causó que la resistencia a la compresión de la argamasa trabajando en conjunto con los demás materiales aumentara en un 90.25%. En la actualidad los diseños con adicción de cemento en edificaciones de tipología colonial están siendo aceptados por el Ministerio de Cultura pero esta adicción no es bien vista por algunas entidades relacionadas con el tema debido a que este material no existía en la época colonial, lo cual podría afectar a largo plazo el título de patrimonio histórico de la ciudad.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Figura 7.** Correspondiente al proceso de ensayos a los muretes.

**Fuente:** Autor.

### 5.3 ENSAYOS A EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL (NO DESTRUCTIVOS)

#### 5.3.1 Esclerómetro

Los siguientes son los resultados correspondientes al ensayo de resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad mediante el uso del esclerómetro, este ensayo sólo se consideró como información complementaria debido a que el resultado obtenido no es la resistencia a compresión de los muros trabajando como conjunto, sino específicamente del punto ensayado. El ensayo se realizó tomando 9 puntos (en lugar de sólo 7, para obtener mejores resultados) a cero grados ( $0^\circ$ ), en diversos puntos interiores y exteriores de





CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

mampostería en la edificación mencionada. Se tomaron 9 ensayos en cada punto en los cuales se tomó la lectura del número de rebotes del aparato y a través de la correlación del equipo se determinó la resistencia en  $\text{Kg/cm}^2$ , se realizó un promedio de ambos parámetros obtenidos y posteriormente se hizo la conversión de la resistencia a MPa.

PUNTO 1		
Lectura	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	22,0	10,8
2	23,0	11,8
3	24,0	12,7
4	23,0	11,8
5	24,0	12,7
6	23,0	11,8
7	25,0	13,7
8	24,0	12,7
9	25,0	13,7
<b>PROMEDIO</b>	23,7	12,4

**Tabla 27.** Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 1).

**Fuente:** Autor.

PUNTO 2		
Lectura	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	22	10,8
2	23	11,8
3	22	10,8
4	24	12,7
5	26	15,5
6	25	13,7
7	24	12,7
8	26	15,5
9	22	10,8
<b>PROMEDIO</b>	23,8	12,7

**Tabla 28.** Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 2).

**Fuente:** Autor.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

PUNTO 3		
Lectura	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	25	13,7
2	23	11,8
3	25	13,7
4	22	10,8
5	24	12,7
6	23	11,8
7	25	13,7
8	23	11,8
9	24	12,7
<b>PROMEDIO</b>	23,8	12,5

**Tabla 29.** Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 3).

**Fuente:** Autor.

PUNTO 4		
Lectura	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	22	10,8
2	23	11,8
3	22	10,8
4	23	11,8
5	25	13,7
6	27	16,2
7	26	15,5
8	25	13,7
9	24	12,7
<b>PROMEDIO</b>	24,1	13,0

**Tabla 30.** Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 4).

**Fuente:** Autor.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

PUNTO 5		
Lectura	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	23	11,8
2	25	13,7
3	23	11,8
4	22	10,8
5	25	13,7
6	25	13,7
7	24	12,7
8	23	11,8
9	22	10,8
<b>PROMEDIO</b>	<b>23,6</b>	<b>12,3</b>

**Tabla 31.** Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 5).

**Fuente:** Autor.

PUNTO 6		
Lectura	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	22	10,8
2	23	11,8
3	23	11,8
4	24	12,7
5	25	13,7
6	26	15,5
7	22	10,8
8	22	10,8
9	22	10,8
<b>PROMEDIO</b>	<b>23,2</b>	<b>12,1</b>

**Tabla 32.** Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 6).

**Fuente:** Autor.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

PUNTO 7		
Lectura	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	25	13,7
2	23	11,8
3	24	12,7
4	26	15,5
5	22	10,8
6	22	10,8
7	25	13,7
8	26	15,5
9	23	11,8
<b>PROMEDIO</b>	<b>24,0</b>	<b>12,9</b>

**Tabla 33.** Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 7).

**Fuente:** Autor.

PUNTO 8		
Lectura	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	22	10,8
2	23	11,8
3	23	11,8
4	25	13,7
5	23	11,8
6	22	10,8
7	23	11,8
8	24	12,7
9	22	10,8
<b>PROMEDIO</b>	<b>23,0</b>	<b>11,8</b>

**Tabla 34.** Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 8).

**Fuente:** Autor.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

PUNTO 9		
Lectura	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	23	11,8
2	26	15,5
3	22	10,8
4	24	12,7
5	22	10,8
6	24	12,7
7	23	11,8
8	22	10,8
9	25	13,7
<b>PROMEDIO</b>	23,4	12,3

**Tabla 35.** Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Punto 9).

**Fuente:** Autor.

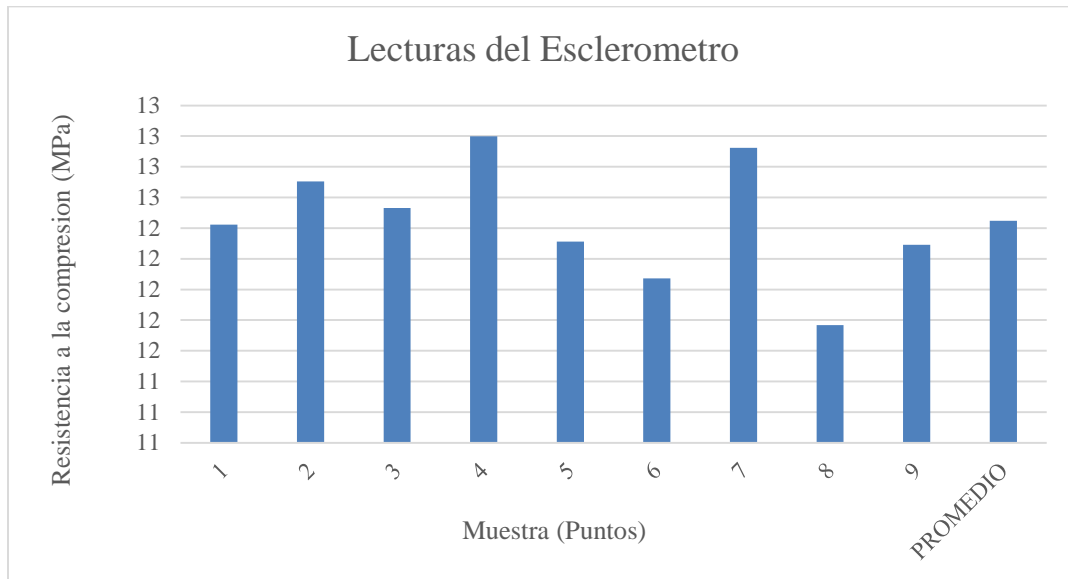
RESUMEN		
PUNTO	Nº de Rebotes	Resistencia a la compresion (MPa)
1	23,7	12,4
2	23,8	12,7
3	23,8	12,5
4	24,1	13,0
5	23,6	12,3
6	23,2	12,1
7	24,0	12,9
8	23,0	11,8
9	23,4	12,3
<b>PROMEDIO</b>	23,6	12,4

**Tabla 36.** Resistencia a la compresión de los muros de la Iglesia la Trinidad (Resumen).

**Fuente:** Autor.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Gráfico 9.** Resistencia a la compresión obtenida mediante el uso del esclerómetro.

**Fuente:** Autor.

A partir de lo anterior se infiere que el valor de resistencia a la compresión promedio de los puntos ensayados es de 12.4 MPa, este valor se tomó como referencia e información complementaria del ensayo de ultrasonido, sin embargo este valor no se usará para realizar ninguna comparación.

### 5.3.2 Ultrasonido

La realización de este ensayo está compuesta en dos fases la primera fue la calibración del aparato y la segunda la realización del ensayo mismo en los muros in situ de La Iglesia la santísima trinidad.

Para efectuar la calibración es necesario, conocer la velocidad de la onda y la resistencia a la compresión aproximada de los materiales, estos valores se determinaron a través de ensayos realizados a muretes fabricados con materiales resultantes de la extracción de muestras de edificaciones coloniales (materiales antiguos) y muretes fabricados con materiales de fuentes actuales, dichos muretes corresponden a la tesis de grado “COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION ENTRE MAMPOSTERIA COLONIAL MIXTA PRESENTE EN EDIFICACIONES Y FORTIFICACIONES DEL CENTRO HISTORICO DE LA CIUDDA DE CARTAGENA DE INDIAS Y MURETES FABRICADOS BAJO



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

CRITERIOS DE CONSTRUCCION SEMEJANTES” llevada a cabo por los estudiantes, A. CAMARGO Y J. GAMARRA.

Luego de realizados los ensayos a dichos muretes los resultados de velocidad de onda y resistencia a la compresión obtenidos para la calibración del aparato fueron:

- Velocidad de Onda.

MATERIALES DE FUENTES ACTUALES		
Tiempo (µs)	Distancia (m)	Velocidad (m/s)
207,7	0,2	933,0
172,3	0,2	1125,0
233,8	0,2	851,0
789,2	0,2	252,0
274,6	0,2	724,0
304,4	0,2	503,0
789,2	0,2	194,0
295,8	0,2	517,0
373,5	0,2	410,0
393,4	0,2	389,0

Tabla 37. Lectura velocidad de onda muretes de fuentes actuales.

Fuente: Autor

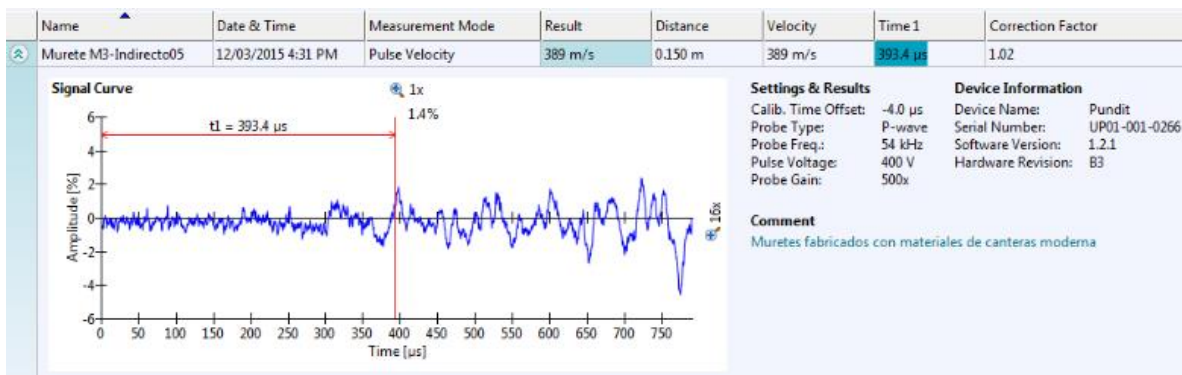


Figura 8. Correspondiente a la medición de la velocidad de onda “Materiales nuevos”.

Fuente: Autor.



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

MATERIALES ANTIGUOS		
Tiempo (μs)	Distancia (m)	Velocidad (m/s)
149,3	0,2	1332,0
146,1	0,2	1361,0
147,9	0,2	1345,0
213,3	0,2	932,0
217,0	0,2	917,0
217,5	0,2	914,0
250,5	0,2	611,0
182,2	0,2	840,0
184,1	0,2	831,0

Tabla 38. Lectura velocidad de onda muretes antiguos

Fuente: Autor.

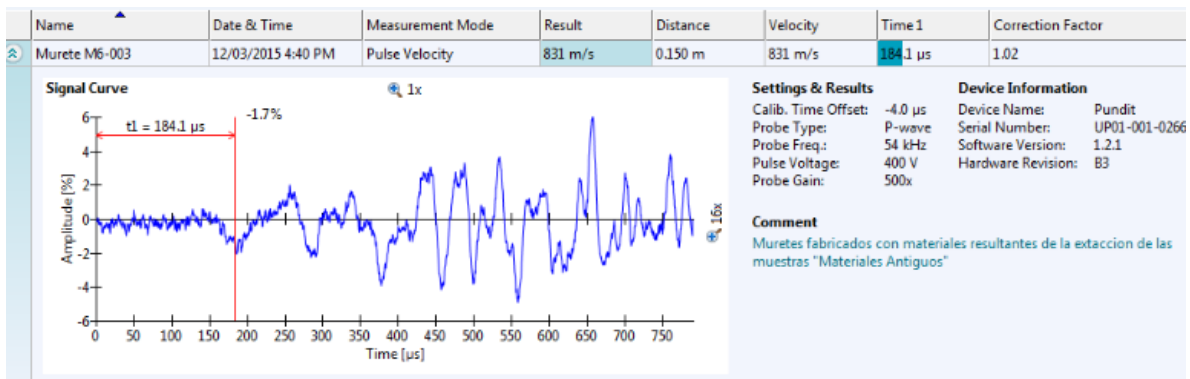


Figura 9. Correspondiente a la medición de la velocidad de onda “Materiales viejos”.

Fuente: Autor.





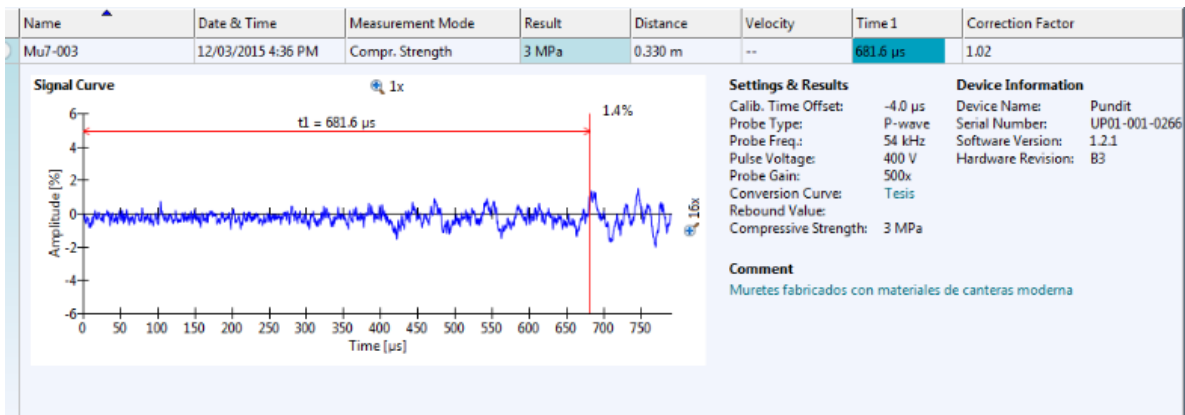
CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

– Resistencia a la compresión

MATERIALES DE FUENTES ACTUALES		
Tiempo ( $\mu\text{s}$ )	Distancia (m)	Resistencia a la compresion (Mpa)
681,6	0,3	3,0
561,2	0,3	4,0
470,9	0,3	4,0

**Tabla 39.** Lectura Resistencia a la compresión muretes de fuentes actuales.

**Fuente:** Autor



**Figura 10.** Correspondiente a la medición de resistencia la compresión “Materiales Nuevos”.

**Fuente:** Autor.

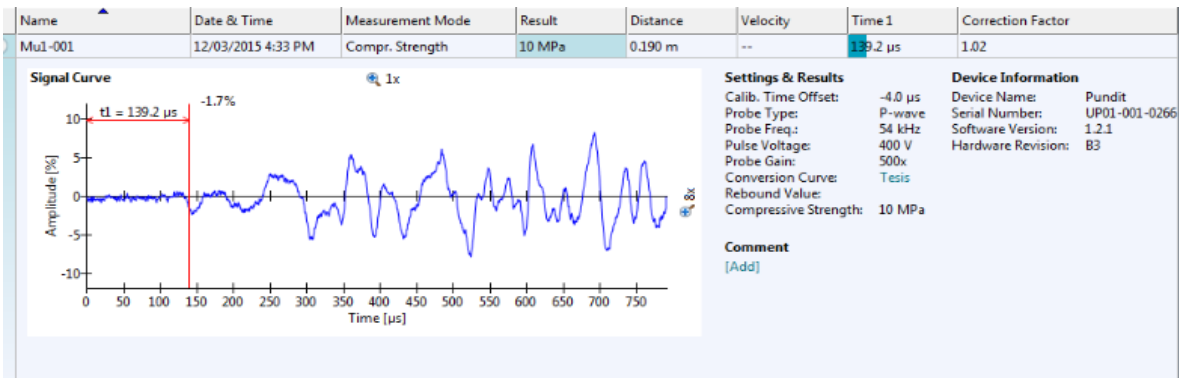
MATERIALES ANTIGUOS		
Tiempo ( $\mu\text{s}$ )	Distancia (m)	Resistencia a la compresion (Mpa)
143,3	0,2	9,0
139,3	0,2	10,0
139,2	0,2	10,0

**Tabla 40.** Lectura Resistencia a la compresión muretes de materiales antiguos

**Fuente:** Autor



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Figura 11.** Correspondiente a la medición de resistencia la compresión “Materiales antiguos”.

**Fuente:** Autor.

Una vez obtenidos los resultados velocidad de onda y resistencia a la compresión de los muretes se realizó la correspondiente calibración del aparato y se procedió a la realización del ensayo. Para cada punto de ultrasonido ensayado se tomaron 4 medidas y en total se ensayaron 4 puntos, los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

PUNTO 1		
Time ( $\mu$ s)	Distance (m)	Resistencia a la compresion (Mpa)
228.2	0.250	7
226.7	0.250	7
227.4	0.250	7
228.7	0.250	7

**Tabla 41.** Lectura Resistencia a la compresión muros in situ (Punto 1).

**Fuente:** Autor



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

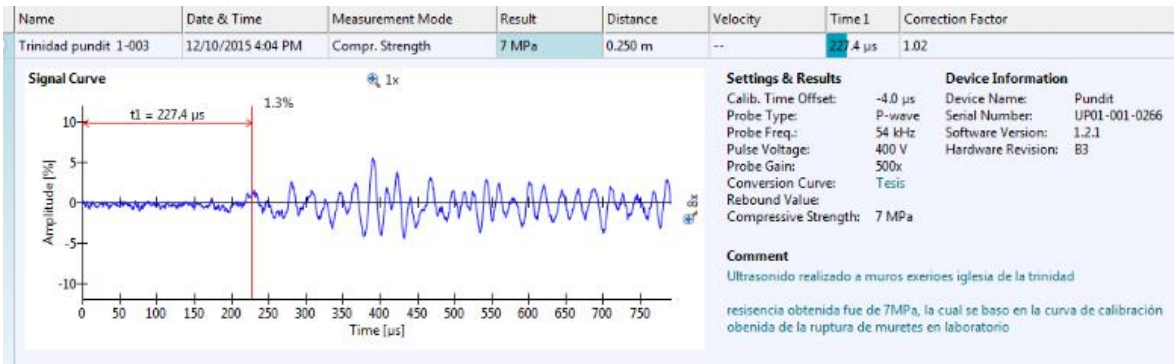


Figura 12. Correspondiente a la medición de resistencia la compresión muros in situ.

Fuente: Autor.

PUNTO 2		
Time ( $\mu$ s)	Distance (m)	Resistencia a la compresion (Mpa)
181.4	0.300	13
204.0	0.300	11
213.5	0.300	10
203.0	0.300	11

Tabla 42. Lectura Resistencia a la compresión muros in situ (Punto 2).

Fuente: Autor

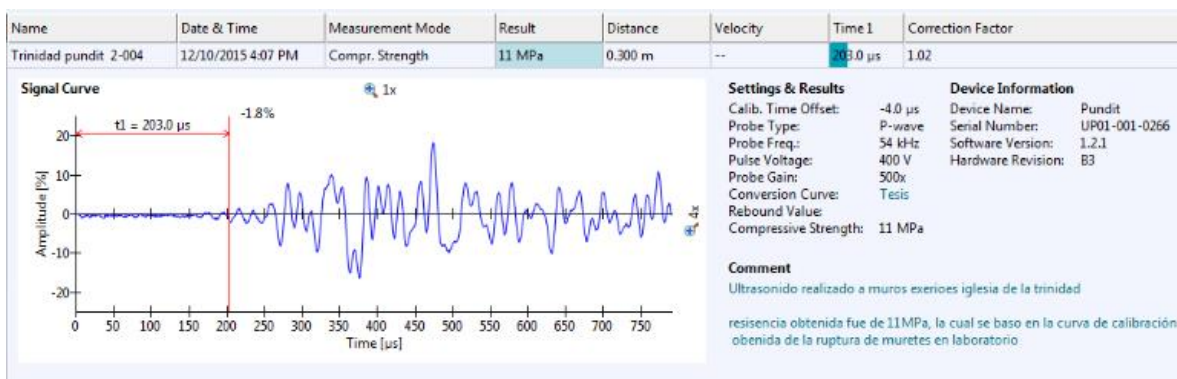


Figura 13. Correspondiente a la medición de resistencia la compresión muros in situ.

Fuente: Autor.

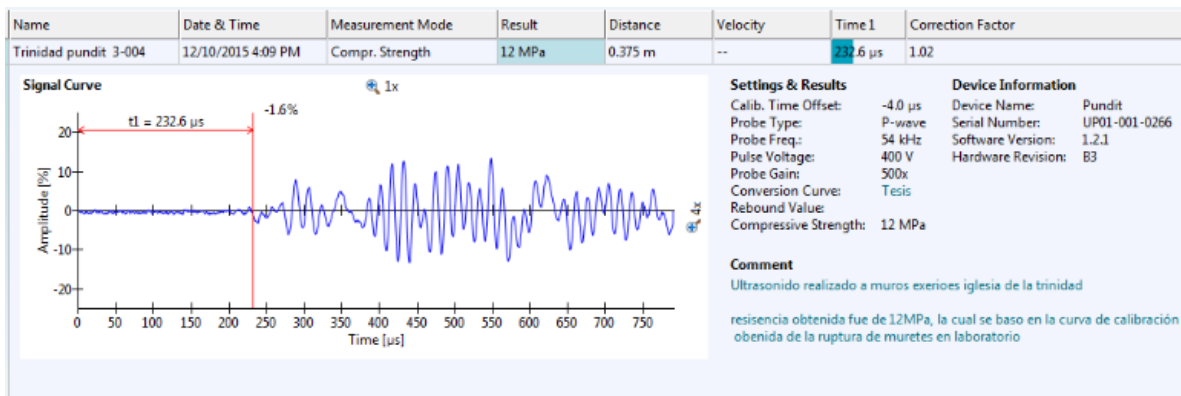


CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

PUNTO 3		
Time (μs)	Distance (m)	Resistencia a la compresion (Mpa)
232.7	0.375	12
232.5	0.375	12
233.0	0.375	12
232.6	0.375	12

**Tabla 43.** Lectura Resistencia a la compresión muros in situ (Punto 3).

**Fuente:** Autor



**Figura 14.** Correspondiente a la medición de resistencia la compresión muros in situ.

**Fuente:** Autor.

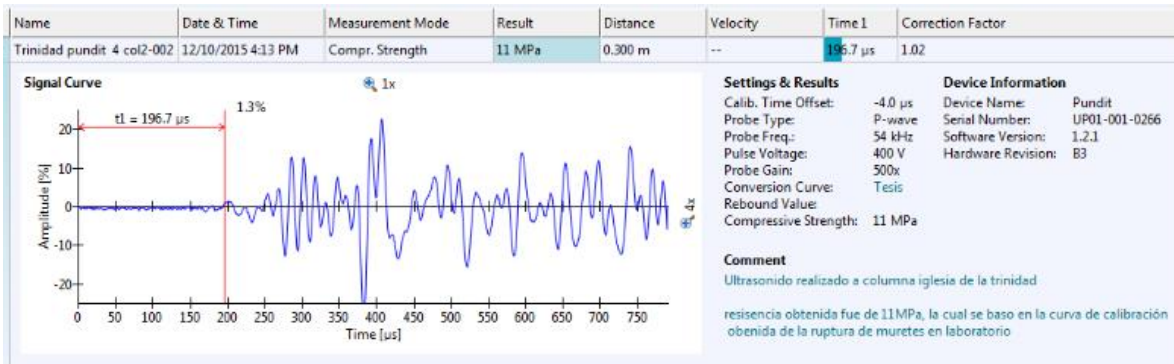
PUNTO 4		
Time (μs)	Distance (m)	Resistencia a la compresion (Mpa)
196.7	0.300	11
193.8	0.300	12
229.7	0.300	9
200.7	0.300	11

**Tabla 44.** Lectura Resistencia a la compresión muros in situ (Punto 4).

**Fuente:** Autor

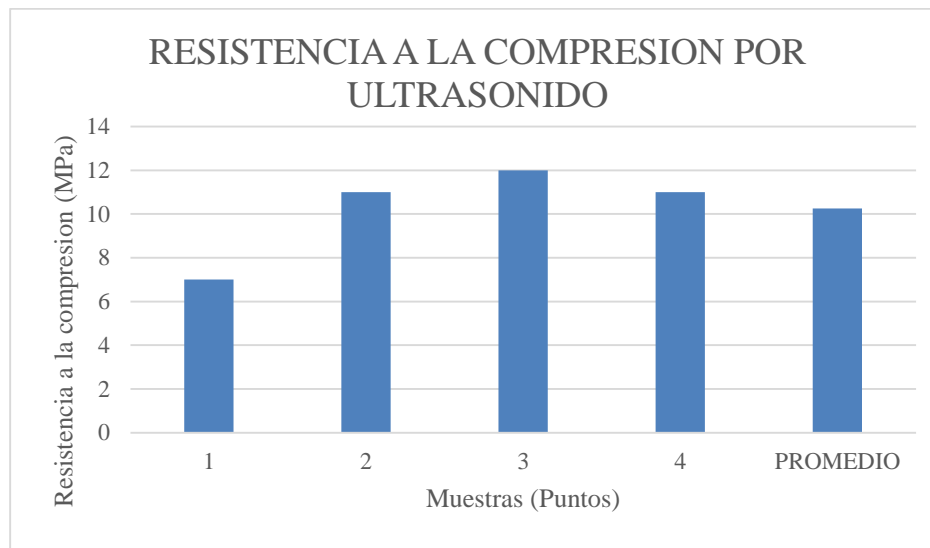


CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Figura 15.** Correspondiente a la medición de resistencia la compresión muros in situ.

**Fuente:** Autor.



**Gráfico 10.** Resistencia a la compresión obtenida mediante el ultrasonido

**Fuente:** Autor.

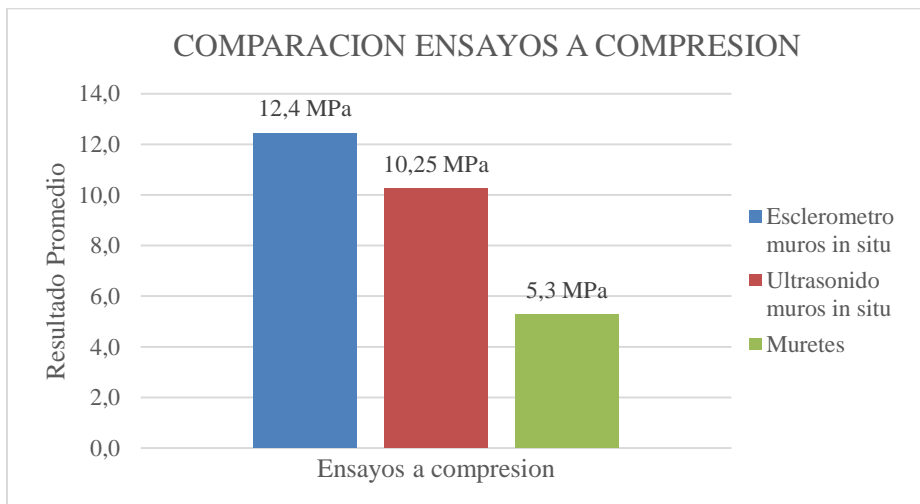
En base a los resultados anteriores podemos inferir que la resistencia a la compresión promedio de los muros in situ de la edificación es 10.25 MPa, parámetro que se utilizó para comprar los resultados obtenidos de los muretes. Realizando la comparación podemos notar que la resistencia desarrollada por los muretes es menor a la resistencia de los muro in situ de la edificación.

CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS



**Figura 16.** Correspondiente al proceso de realización de los ensayos ultrasónicos.

**Fuente:** Autor.



**Gráfico 11.** Resistencia a la compresión obtenida mediante el ultrasonido

**Fuente:** Autor.



## 6. CONCLUSIONES

- Se notó una falla notable en cuanto a la argamasa, esta no posee la capacidad de soportar grandes cargas, la argamasa hecha en la época de la colonia poseía un mejor comportamiento, esto puede deberse a que la calidad de los materiales actuales es menor que la de los materiales de la época colonial y por ende la resistencia que desarrollo es tan baja, por esta razón se tomó el fallo de la argamasa como parámetro de comparación con respecto a los resultados de ultrasonido y esclerómetro.
- Se encontró que la resistencia a la compresión con la maquina universal de los muretes fabricados con materiales de fuentes actuales fue de 5.27 MPa para la combinación 2 (Dos) la cual presento el mejor comportamiento y se tomó como parámetro de comparación con los muros in situ, la argamasa de dicha combinación poseía una adicción de cemento, posteriormente la combinación 3 (Tres) con 3.68 MPa, la argamasa de esta combinación tenía una adicción de caracuchos y polvo de ladrillos, y por último la combinación 1 (Uno) obtuvo una resistencia a la compresión de 2.77MPa, la argamasa de esta combinación estaba hecha a base de cal, arena y ladrillos.

Con respecto a los muros in situ de la Iglesia la Santísima trinidad obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 10.25 MPa y 12.4 MPa, con los ensayos de ultrasonido y Martillo de Smith respectivamente. Esta resistencia fue casi dos veces que la resistencia obtenida de los muretes de la combinación 2 (Dos). Con base a los resultados anteriores se concluye que estos materiales al trabajar como conjunto tienen una resistencia muy baja en comparación con muros de edificaciones coloniales, por tanto se determina que los materiales no son convenientes para las restauraciones llevadas a cabo en este tipo de edificaciones.





CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

- La resistencia medida por métodos ultrasónicos en los muros in situ fue la resistencia medida al muro trabajando como si fuera un solo material, mientras que en los muretes los materiales se ayudaban a recibir las cargas pero cada cual poseía una resistencia diferente.
- Para evaluar la resistencia a la compresión de los muretes como un conjunto sería más recomendable medirlo con métodos ultrasónicos o hacer que la resistencia de todos los materiales sea similar para que pueda comportarse como un solo material y fallen todas las partes al mismo tiempo.
- Los ladrillos de la Ferretería Antioquia obtuvieron una absorción promedio de 7,08%, una humedad natural promedio de 0.70%, una permeabilidad promedio de  $3,94104E-06$  cm/seg, un desgaste aproximado de 84.12 %.
- Para obtener la consistencia normal de la cal viva se necesita un 37.2 % más de agua que para la cal hidratada y el fraguado inicial de la cal viva tarda 128.64 minutos más que el de la cal hidratada.
- El comportamiento estructural de muretes con ladrillos tomados de las fuentes actuales para la restauración de las casas coloniales en la ciudad de Cartagena no son similares a las de los muros in situ de las mismas.
- Los ladrillos pueden ser tomados de las fuentes actuales para la restauración de las casas coloniales en la ciudad de Cartagena, debido a que por sí solos presentan una resistencia a la compresión promedio de 19.4 MPa, pero se debe buscar un mecanismo de aumentar la resistencia de la argamasa y de esta manera garantizar que los ladrillos van a trabajar de manera adecuada





## 7. RECOMENDACIONES

Luego de haber desarrollado la investigación correspondiente al presente trabajo de grado, se realizan las siguientes recomendaciones con el fin de ampliar y complementar los datos obtenidos, debido a que la información referente al tema es escasa y podría ser de utilidad en futuros proyectos de restauración en la ciudad:

- Analizar otros materiales que se le puedan adicionar a la argamasa con el fin de aumentar su resistencia y de esta manera obtener muretes con resistencias mayores, y que dichos materiales no afecten el título de patrimonio histórico de la ciudad.
- Evaluar otros métodos de medición de la resistencia de los muretes con el fin de determinar su resistencia actuando como un solo material y así poder compararla de manera más eficiente.
- Prestar más atención a los aparatos de laboratorio de la Universidad de Cartagena debido a que la ausencia de éstos o el deterioro de los mismos genera atrasos deliberados en el cronograma de los trabajos de grados. En el desarrollo de esta investigación se tuvo una gran limitación por el hecho de que la Máquina Universal de la Universidad de Cartagena se encontraba dañada, además la universidad no posee un medidor ultrasónico confiable que permitiera agilizar el proceso de ejecución, por lo cual se recurrió a la ayuda del Ingeniero Modesto Barrios y Juan Jose Alvis para la realización de ciertos ensayos



## 8. BIBLIOGRAFIA

España, J., & Tapia, M. (2008). *Parámetros para la normalización de las mamposterías de tipología colonial. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena.*

España, J., Puello. E. & Almanza E. (2009). *Resistencia estructural empírica de la Mampostería de tipología colonial en Cartagena de indias. Educación en Ingeniería.*

Meza, M., & Cohen, J. (2011). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales más utilizados y disponibles en la región para la restauración de las fortificaciones coloniales de la ciudad de Cartagena. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena.*

Aguirre, L., & Arrieta, A., (2014). *Estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en la restauración de edificaciones de tipología colonial y republicano en la ciudad de Cartagena.*

Bustamante, G, & Castillo, J. (2012). *Evaluación y diagnóstico patológico de la iglesia santo toribio de mogrovejo de Cartagena de indias*

V. Flores, S. Sánchez-Tizaba, R. Arroyo, R. Barragán. (2013). *Propiedades mecánicas de la mampostería de tabique rojo recocido utilizada en Chilpancingo, Gro (México). Informes de la Construcción, Vol 65, No 531*

Ewing, B., & Kowalsky, M. (2004). *Compressive Behaviour of Unconfined and Confined Clay Brick Masonry. journal of Structural Engineering. ASCE, 650-661.*

(sf). Historia de Cartagena. 2015, de Cartagena caribe Sitio web:  
<http://www.cartagenacaribe.com/historia/historia.htm>



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Angulo g, Francisco. (2008). *Tipologías Arquitectónicas Coloniales y Republicanas*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Alcaldía de Cartagena. (20 de 11 de 2001). *Decreto 0977 de 2001. Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias*. Cartagena.

Fadul, C. (2001). *Evolucion legal de la proteccion al patrimonio. (ICOMOS) Recuperado el 05 de Mayo de 2013, de [http://www.esicomos.org/nueva\\_carpeta/libroTOLEDO/34\\_claudiafadul.htm](http://www.esicomos.org/nueva_carpeta/libroTOLEDO/34_claudiafadul.htm)*

Terán, J. (2004). Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica. Conserva.

Litos online. la revista d la piedra natural. Piedra coralina. Sitio web: <http://www.litosonline.com/es/articles/es/407/la-piedra-coralina>

Arcillas de Colombia. (s.f.). Obtenido de Historia del Ladrillo: <http://www.arcillasdecolombia.com>

Martín, F. M. (1996). *Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectonico*. Madrid: Complutense.

INVIAS. (2007). *Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3 /4") por medio de la maquina de los Angeles*. Colombia.

Universidad de Granada. (16 de 09 de 2007). Propiedades de las rocas de construccion y ornamentacion. Recuperado el 20 de 09 de 2011, de ugr: <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA05.htm>



CONVENIENCIA DEL USO DE LADRILLOS Y ARGAMASA EN LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE EDIFICACIONES DE TIPOLOGIA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

NSR-10 – Capítulo D.1. *Título d mampostería estructural*

La comunidad petrolera. (2012). Obtenido de <http://www.lacomunidadpetrolera.com/biblioteca/>

Lombillo, I., & Villegas, L. (2005). Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación estructural del patrimonio. Universidad de Cantabria: Grupo de Tecnología de la Edificación.

Berganza, A., & Hernández, O. (2007). Ensayos no destructivos. Boletín Iram.

[http://cvc.cervantes.es/artes/ciudades\\_patrimonio/cartagena\\_indias/paseo/igl\\_trinidad.htm](http://cvc.cervantes.es/artes/ciudades_patrimonio/cartagena_indias/paseo/igl_trinidad.htm)

Guzmán, D. S. (2001). Tecnología del Concreto y del Mortero. Bogotá: Bhandar Editores Ltda.

Ayala, F., & Andreu, F. (1987). Manual de Ingeniería de Taludes. Instituto Geológico y Minero de España.

UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA. (s.f.). Obtenido de UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6154/07.pdf?sequence=8>