



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CUBIERTAS DE LA
CASA DE TIPOLOGÍA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS
DE ACUERDO A LA NSR-10**



Investigadores

LEONARDO LUIS CASTILLO BURGOS

FRANLUID POSADA ARCILA

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2018



EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CUBIERTAS DE LA
CASA DE TIPOLOGÍA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS
DE ACUERDO A LA NSR-10



Grupo de Investigación
ESCONPAT

Línea de Investigación
GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO

Investigadores
LEONARDO LUIS CASTILLO BURGOS
FRANLUID POSADA ARCILA

TRABAJO DE GRADO

Director
ING. WALBERTO RIVERA MARTINEZ
MSC. ESTRUCTURAS

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2018

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, D. T. y C., ____ de _____ de 2017

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios pues fue el quien me dio la fuerzas cuando más las necesite para no desfallecer a lo largo de este proceso.

Un agradecimiento muy especial merece mi madre quien fue una fuente de calma y amor en momentos de desesperación, a mi padre que me enseñó a ser fuerte en todo momento y a mi hermana por su comprensión y paciencia.

A mi familia, amigos y compañeros, quienes fueron un apoyo incondicional cuando los necesite, compañeros que me dieron ánimos para seguir adelante en esta etapa de mi vida.

A la universidad de Cartagena y a los docentes que me brindaron tantas enseñanzas académicas y de vida a lo largo de estos cinco años.

A mi Compañero Franluid Posada Arcila por su apoyo en la elaboración del presente trabajo de grado.

Leonardo Luis Castillo Burgos

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien es mi todo, sin Él nada sería posible en mi vida, a su amor infinito y el saber que Él guiará nuestras vidas y nuestros pasos.

A mis padres y hermanas, por ser apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por ser los pilares de mi formación, por enseñarme que todo en la vida se logra con sacrificios, en especial a mi madre que me ha enseñado el valor del trabajo y del estudio, el valor de terminar todo lo que se empieza, y hacerlo todo con cariño, amor y dedicación; por darme ánimos para cumplir mis sueños, por tantas cosas, gracias una vez más.

A mi familia porque en la unión hemos aprendido el amor, el respeto, la tolerancia, la comprensión, a jamás darnos por vencidos, a que en unión y armonía todo es más hermoso, y que el que persevera alcanza.

A la Universidad de Cartagena, a los docentes, por tantas enseñanzas, por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales.

A mi Compañero Leonardo Luis Castillo Burgos por su apoyo en la elaboración del presente trabajo de grado.

Franluid Posada Arcila.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN.....	16
1. MARCO REFERENCIAL	20
1.1. ANTECEDENTES.....	20
1.1.1. ANTECEDENTES LOCALES	21
1.2. ESTADO DEL ARTE.....	27
1.3. ANÁLISIS DE LAS LIMITACIONES	34
1.4. MARCO TEÓRICO.....	36
1.4.1. Arquitectura colonial	36
1.4.2. Cubiertas	36
1.4.2.1. Geometría de las cubiertas	36
1.4.2.2. Geometría de las cubiertas en la construcción colonial	37
1.4.3. Armadura de cubiertas coloniales.....	38
1.4.3.1. Cubiertas Plana en Terraza.....	38
1.4.3.2. Cubierta en Par e Hilera	39
1.4.3.3. Cubierta Par y Nudillo.....	39
1.4.4. Materiales de construcción de cubiertas	40
1.4.4.1. Teja árabe o española	40
1.4.4.2. Maderas para la construcción	41
1.4.4.2.1. Propiedades resistentes de la madera	41
1.4.4.2.3. Patología de la madera	45
1.4.4.2.3.1. Abióticos.....	45
1.4.4.2.3.2. Bióticos	46
1.4.5. Cargas	47
1.4.5.1. Generalidades	47
1.4.5.2. Efectos de las cargas.....	47
1.4.5.2.1. Cargas vivas	47
1.4.5.2.2. Carga muerta	47
1.4.5.2.3. Carga de viento	47
1.4.6. SAP2000	48



2. OBJETIVOS.....	49
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	49
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	49
2.3. ALCANCE.....	50
2.3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	50
2.3.2. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	52
2.3.3. PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS.....	52
2.3.4. EXCEPCIONES Y/O LIMITACIONES.....	53
3. METODOLOGÍA.....	54
3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	54
3.1.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	55
3.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA.....	55
3.2.1. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PRIMARIA.....	56
3.2.1.1. Detallar el estado actual e identificar problemas patológicos.....	56
3.2.1.2. Modelación en SAP2000.....	57
3.2.1.2.1. Asignación de cargas al modelo.....	58
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.1. IGLESIA DE SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO.....	62
4.1.1. Tipo de cubierta (Par y Nudillo).....	62
4.1.2. Lacería en tirantes en la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo.....	65
4.2. CORPORACIÓN UNIFICADA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR (CUN)	67
4.2.1. Tipo de cubierta.....	67
4.2.1.1. Cubierta Par e Hilera.....	67
4.2.1.2. Cubierta Plana en Terraza.....	68
4.3. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE PATOLOGÍAS.....	69
4.3.1. IGLESIA DE SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO.....	69
4.3.1.1. Análisis patológico.....	69
4.3.2. CORPORACIÓN UNIFICADA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR (CUN)	73
4.3.2.1. Análisis patológico.....	73



4.4. CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE DE MADERA.....	75
4.4.1. IGLESIA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO	75
4.4.1.1. Ceiba.....	75
4.4.2. CORPORACIÓN UNIFICADA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR (CUN).....	78
4.4.2.1. Abarco	78
4.5. Memoria de Cálculo Estructural	81
4.5.1. Determinación de las cargas	81
4.5.2.1. Cargas Muertas y Viva	81
4.5.2.2. Cálculo de Fuerzas de Viento.....	82
4.6. Modelos de las Cubiertas	89
4.6.1. Modelo Cubierta Par y Nudillo.....	90
4.6.1.1. Asignación de cargas.....	90
4.6.2. Modelo Cubierta Par e Hilera	93
4.6.2.1. Asignación de cargas	93
4.6.3. Modelo Cubierta Plana en Terraza	96
4.6.3.1. Asignación de cargas	96
4.7. Revisión del Diseño	99
4.7.1. Material	99
4.7.1.1. Cubierta Par y Nudillo.....	99
4.7.1.2. Cubierta Par e Hilera y cubierta Plana en Terraza	101
4.7.2. Deflexión	102
4.7.3. Flexión	103
4.7.3.1. Cubierta Par y Nudillo.....	104
4.7.3.2. Cubierta Par e Hilera y Plana en Terraza	105
4.7.4. Cortante.....	107
4.7.4.1. Cubierta Par y Nudillo.....	108
4.7.4.2. Cubierta Par e Hilera y Plana en Terraza	109
4.7.5. Tensión axial.....	111
4.7.5.1. Cubierta Par y Nudillo y Par e Hilera.....	112
4.7.5.2. Cubierta Plana en Terraza	112



EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CUBIERTAS DE LA CASA
DE TIPOLOGÍA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE ACUERDO A LA NSR-10



4.7.6. Compresión axial	113
4.7.6.1. Cubierta Par y Nudillo.....	114
4.7.6.2. Cubierta Par e Hilera	116
4.7.6.3. Cubierta Plana en Terraza	117
4.7.7. Revisión del diseño con cargas verticales para los elementos que no cumplen con los esfuerzos admisibles.....	117
4.7.8. Calculo de la nueva sección transversal	119
5. CONCLUSIONES.....	121
6. RECOMENDACIONES	124
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXOS	129
ANEXOS 1. Ficha Patológica Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo	130
ANEXOS 2. Ficha Patológica Corporación Unificada de Educación Superior (CUN).....	140
ANEXOS 3. Glosario	147



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cartabón de 5. Fuente: (Angulo, 2012)	37
Figura 2. Cubierta Plana en Terraza. Fuente: Autores	38
Figura 3. Cubierta Par e Hilera. Fuente: (Angulo, 2012).....	39
Figura 4. Cubierta Par y Nudillo. Fuente: Autores	40
Figura 5. Cubierta colonial típica de Cartagena. Fuente: (Angulo, 2012)	41
Figura 6. Ubicación de los barrios: San Pedro, San Diego y Getsemaní. Fuente: (Angulo, 2012).....	51
Figura 7. Ubicación Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo en el barrio San Diego. Fuente: (Google Maps, 2017).....	51
Figura 8. Ubicación Corporación Unificada Nacional de Educación Superior en el barrio San Diego. Fuente: (Google Maps, 2017).....	52
Figura 9. Construcción de los modelos de las diferentes cubiertas de tipología colonial – SAP 2000. Fuente: Autores (De izquierda a derecha, cubierta Par y Nudillo, cubierta Par e Hilera y cubierta Plana en Terraza).	57
Figura 10. Cubierta Par y Nudillo, Iglesia Santo Toribio de Mogrovejo. Fuente: Autores	63
Figura 11. Parte central de uno de los tirantes dobles de la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo. Fuente: Autores.....	65
Figura 12. Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo, estrella de ocho puntas central, se diseñó a partir de dos cuadrados girados, uno 45° respecto del otro para conformar el sino. Fuente: (Angulo, 2012)	66
Figura 13. Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo, labor de lazo en una de las figuras laterales de un tirante en la iglesia de Santo Toribio. Fuente: (Angulo, 2012).....	66
Figura 14. Cubierta en Par e Hilera, Corporación Universitaria Nacional de Educación Superior (CUN). Fuente: Autores	67
Figura 15. Cubierta Plana en Terraza, Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN). Fuente: Autores	68
Figura 16. Coeficientes de presión externa, GC_{pf} . Fuente: (NSR, 2010)	84
Figura 17. Modelo 3D cubierta Par y Nudillo - SAP2000. Fuente: Autores	90
Figura 18. Cargas muertas cubierta Par y Nudillo - SAP2000. Fuente: Autores.....	90
Figura 19. Cargas vivas cubierta Par y Nudillo - SAP2000. Fuente: Autores	91
Figura 20. División de la cubierta según los coeficientes de presión. Fuente: Autores.....	91
Figura 21. Cargas por viento cubierta Par y Nudillo - SAP2000. Fuente: Autores	92
Figura 22. Modelo 3D cubierta Par e Hilera - SAP2000. Fuente: Autores	93
Figura 23. Cargas muertas cubierta Par e Hilera - SAP2000. Fuente: Autores	93
Figura 24. Cargas vivas cubierta Par e Hilera - SAP2000. Fuente: Autores.....	94
Figura 25. División de la cubierta según los coeficientes de presión. Fuente: Autores.....	94
Figura 26. Cargas por viento cubierta Par e Hilera - SAP2000. Fuente: Autores.....	95
Figura 27. Modelo 3D cubierta Plana en Terraza - SAP2000. Fuente: Autores	96
Figura 28. Cargas muertas cubierta Plana en Terraza - SAP2000. Fuente: Autores.....	97



Figura 29. Cargas vivas cubierta Plana en Terraza - SAP2000. Fuente: Autores.....	97
Figura 30. Cargas por viento cubierta Plana en Terraza - SAP2000. Fuente: Autores	98
Figura 31. Deflexión máxima cubierta Par y Nudillo- SAP2000. Fuente: Autores.....	102
Figura 32. Deflexión máxima cubierta Par e Hilera - SAP2000. Fuente: Autores	102
Figura 33. Deflexión máxima cubierta Plana en Terraza - SAP2000. Fuente: Autores...	103
Figura 34. Momento de un par - SAP2000. Fuente: Autores.....	104
Figura 35. Momento de un nudillo - SAP2000. Fuente: Autores.....	104
Figura 36. Momento de un tensor - SAP2000. Fuente: Autores	105
Figura 37. Momento de un par - SAP2000. Fuente: Autores.....	105
Figura 38. Momento de un tensor - SAP2000. Fuente: Autores	105
Figura 39. Vigas ortogonales - SAP2000. Fuente: Autores	106
Figura 40. Momento de una viga ortogonal - SAP2000. Fuente: Autores.....	106
Figura 41. Momento de una viga - SAP2000. Fuente: Autores	107
Figura 42. Momento en un entablado - SAP2000. Fuente: Autores	107
Figura 43. Cortante de un par - SAP2000. Fuente: Autores	108
Figura 44. Cortante de un nudillo - SAP2000. Fuente: Autores	108
Figura 45. Cortante del tensor - SAP2000. Fuente: Autores.....	108
Figura 46. Cortante de un par - SAP2000. Fuente: Autores	109
Figura 47. Cortante del tensor principal - SAP2000. Fuente: Autores.....	109
Figura 48. Cortante de una viga ortogonal - SAP2000. Fuente: Autores.....	110
Figura 49. Cortante de una viga- SAP2000. Fuente: Autores	110
Figura 50. Cortante de un entablado- SAP2000. Fuente: Autores	110
Figura 51. Carga axial tensor, Cubierta Par y Nudillo - SAP2000. Fuente: Autores.....	112
Figura 52. Carga axial tensor principal, Cubierta Par e Hilera- SAP2000. Fuente: Autores	112
Figura 53. Carga axial de un par - SAP2000. Fuente: Autores	116
Figura 54. Carga axial de un par - SAP2000. Fuente: Autores	117
Figura 55. Momento de un par - SAP2000. Fuente: Autores.....	118



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de los componentes estructurales presentes en cada cubierta. Fuente: (Autores).....	57
Tabla 2. Propiedades de los materiales. Fuente: (Bonfante & Bustos, 2014), (Keenan & Tejada, 1987).....	58
Tabla 3. Datos generales para determinar la presión por velocidad en las diferentes cubiertas coloniales. Fuente: (NSR, 2010)	60
Tabla 4. Factores para determinar la Fuerza de Viento de diseño Fuente: (NSR, 2010) ...	60
Tabla 5. Propiedades Físicas - Ceiba. Fuente: (Keenan & Tejada, 1987).....	77
Tabla 6. Propiedades Mecánicas - Ceiba. Fuente: (Keenan & Tejada, 1987).....	78
Tabla 7. Propiedades Físicas - Abarco. Fuente: (Bonfante & Bustos, 2014).....	80
Tabla 8. Propiedades Mecánicas - Abarco. Fuente: (Bonfante & Bustos, 2014)	81
Tabla 9. Carga Total presente en la Cubierta Par y Nudillo. Fuente: Autores	81
Tabla 10. Carga Total presente en la Cubierta Par e Hilera. Fuente: Autores.....	82
Tabla 11. Carga Total presente en la Cubierta Plana en Terraza. Fuente: Autores.....	82
Tabla 12. Datos Generales cubierta Par y Nudillo. Fuente: Autores.....	83
Tabla 13. Factores para determinar la Fuerza de Viento de diseño – Cubierta Par y Nudillo. Fuente: (NSR, 2010).....	83
Tabla 14. Coeficientes de presión externa, GCpf - Cubierta Par y Nudillo. Fuente: (NSR, 2010).....	84
Tabla 15. Datos generales cubierta Par e Hilera. Fuente: Autores	85
Tabla 16. Factores para determinar la Fuerza de Viento de diseño – Cubierta Par e Hilera. Fuente: (NSR, 2010).....	86
Tabla 17. Coeficientes de presión externa, GCpf - Cubierta Par e Hilera. Fuente: (NSR, 2010).....	86
Tabla 18. Datos generales cubierta Plana en Terraza. Fuente: Autores	87
Tabla 19. Factores para determinar la Fuerza de Viento de diseño – Cubierta Plana en Terraza. Fuente: (NSR, 2010)	87
Tabla 20. Coeficientes de presión externa, GCpf - Cubierta Plana en Terraza. Fuente: (NSR, 2010).....	88



Tabla 21. Esfuerzos y módulos de elasticidad admisibles - Ceiba. Fuente: (Keenan & Tejada, 1987).....	100
Tabla 22. Esfuerzos y módulos de elasticidad admisibles para Abarco. Fuente: (NSR, 2010)	101
Tabla 23. Revisión del diseño por deflexión presente en cada Cubierta. Fuente: Autores	103
Tabla 24. Revisión del diseño a flexión Cubierta Par y Nudillo. Fuente: Autores	105
Tabla 25. Revisión del diseño a flexión Cubierta Par e Hilera. Fuente: Autores.....	106
Tabla 26. Revisión del diseño a flexión Cubierta Plana en Terraza. Fuente: Autores	107
Tabla 27. Revisión del diseño a cortante Cubierta Par y Nudillo. Fuente: Autores.....	108
Tabla 28. Revisión del diseño a cortante Cubierta Par e Hilera. Fuente: Autores	109
Tabla 29. Revisión del diseño a cortante Cubierta Plana en Terraza. Fuente: Autores....	110
Tabla 30. Revisión del diseño a tensión axial Cubierta Par y Nudillo y Par e Hilera. Fuente: Autores	112
Tabla 31. Datos generales presentes en la revisión del diseño a cortante Cubierta Par e Hilera. Fuente: Autores	116



RESUMEN

El presente estudio nace de la necesidad de conservar el patrimonio histórico de la ciudad de Cartagena de Indias y tiene como finalidad estudiar la patología y el comportamiento estructural de las cubiertas de tipología colonial presentes en el centro histórico de dicha ciudad, para así tener un mayor conocimiento a la hora de hacer restauraciones y/o rehabilitaciones de estas cubiertas. Para la evaluación de la patología presente en las cubiertas, se llevaron a cabo diferentes procedimientos como, levantamientos fotográficos y mapeo de las patologías encontradas, lo cual permitió el análisis detallado de las zonas de mayor afectación, donde los elementos de madera presentaban ataque de xilófagos y humedad, factores que deterioran el estado de la madera, haciendo que pierda sus características físicas y mecánicas. Por otra parte, para la evaluación estructural de las cubiertas, se tomaron las medidas de todos los elementos de estas y por medio de una búsqueda bibliográfica, se caracterizó y clasificó la especie de madera presente en cada cubierta: abarco (Par e Hilera y Plana en Terraza) y ceiba (Par y Nudillo), además se revisó el diseño de los elementos o miembros a flexión, cortante y fuerza axial, con esta información se realizó un modelo para cada una de las cubiertas por medio del Software SAP2000, que permitió conocer los esfuerzos actuantes en cada uno de los elementos de las cubiertas, dichos esfuerzos se compararon con los esfuerzos admisibles que establece NSR-10 para cada una de la especie de madera usada, obteniendo como resultado, que los pares de la cubierta Par y Nudillo y las vigas ortogonales de la cubierta Plana en Terraza, no cumplen con los criterios establecidos en dicha norma. A partir de los resultados de este estudio se calcularon nuevas secciones transversales para estos elementos, que serían de 16x12cm para los pares y de 20x20cm para las vigas ortogonales.

Palabras claves: Arquitectura colonial, cubierta, patología, madera, propiedades, modelos.



ABSTRACT

The present study is born of the need to preserve the historical heritage of the city of Cartagena de Indias and has the purpose of studying the pathology and the structural behavior of the colonial type roofs present in the historic center of said city, in order to have a greater knowledge at the time of making restorations and / or rehabilitations of these covers. For the evaluation of the pathology present in the covers, different procedures were carried out, such as photographic surveys and mapping of the pathologies found, which allowed the detailed analysis of the areas of greatest affectation, where the wood elements presented attack by xylophages and humidity, factors that deteriorate the state of the wood, causing it to lose its physical and mechanical characteristics. On the other hand, for the structural evaluation of the covers, the measurements of all the elements of these were taken and through a bibliographic search, the wood species present in each cover was characterized and classified: abarco (Pair and Row and Flat in Terrace) and ceiba (Pair and Knuckle), in addition the design of the elements or members to flexion, shear and axial force was reviewed, with this information a model was made for each of the covers by means of the SAP2000 Software, which allowed know the efforts acting on each of the elements of the covers, these efforts were compared with the admissible efforts established by NSR-10 for each of the specie of wood used, obtaining as a result, that the pairs of the cover Pair and Knuckle and the orthogonal beams of the flat roof in Terrace, do not meet the criteria established in said standard. From the results of this study new cross sections were calculated for these elements, which would be 16x12cm for the pairs and 20x20cm for the orthogonal beams.

Keywords: Colonial architecture, roof, pathology, wood, properties, models.



INTRODUCCIÓN

La ciudad de Cartagena fue declarada Patrimonio Histórico de la Humanidad por la UNESCO en el año 1984, desde ese entonces se han venido realizando estudios de restauración en las edificaciones con el fin de conservarlas y conservar dicho título.

Sin embargo, muchos de estos estudios aplicados en la ciudad de Cartagena se enfocan en estructuras construidas en la época colonial, donde la ciudad ha demostrado tener un número de edificaciones de alto valor patrimonial a nivel nacional construidas en dicha época. Estas edificaciones presentan estructuras de cubiertas que conservan el sistema de Par e Hilera o Par y Nudillo, así como Planas en Terraza, pero en vez del entablado son las correas las que reciben directamente un entejado de cemento, debido a esto los inmuebles requieren un especial cuidado, ya que por contener elementos de madera como las cubiertas son vulnerables a presentar patologías, que afectaría su comportamiento estructural.

Por otra parte, con base en estudios realizados anteriormente en la universidad de Cartagena se conocen las propiedades físicas y mecánicas de las especies de madera usada en las construcciones de estas cubiertas, teniendo en cuenta esas propiedades se realizó un estudio de capacidad de carga, donde se evaluó la susceptibilidad de la estructura cuando esta es afectada por cargas muertas, vivas, y de viento, con herramientas actuales como el software SAP2000; por lo tanto, el problema a resolver involucra factores como los agentes a los que están expuestas las construcciones, el tipo de cubierta usada, los aspectos geométricos y componentes de las mismas y las características propias de los tipos de materiales usados.

Para llevar a cabo este proyecto se tomaron como referencias investigaciones relacionadas con la “Caracterización, Clasificación y Patología De Las especies De Maderas Más Usadas En La Construcción Como Elementos Estructurales Permanentes En La Ciudad De Cartagena”, así como el trabajo relacionado con la “Evaluación y Diagnóstico Patológico de la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo de Cartagena de Indias”, con el fin identificar, localizar y caracterizar las patologías presentes en los elementos estructurales de la iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo de Cartagena de Indias, a través de la inspección visual detallada



de su estructura, con el fin de proponer medidas y recomendaciones para su rehabilitación estructural.

Con base en lo anterior, se observó que los estudios están relacionados con los materiales utilizados en las cubiertas de tipología colonial, donde la madera como material fundamental de construcción presenta deterioros por el paso del tiempo, la falta de mantenimiento y la exposición a agentes climáticos y biológicos. En cualquiera de estos casos, es necesario la previa identificación de la madera que la compone, ya sea para seleccionar especies maderables con propiedades (físicas y mecánicas) y características similares a la original, ya que a partir de dicho material, aspectos geométricos, dimensiones y componentes de la cubierta, se puede someter está a una modelación estructural.

Todo lo anterior motivó la realización del presente trabajo. Este tuvo como objetivo determinar el estado actual de las cubiertas de las casas de tipología colonial declaradas patrimonio histórico de la humanidad en Cartagena de indias, a través de estudios patológicos y la modelación del comportamiento estructural a la luz de la NSR-10, con el fin de generar recomendaciones que permitan optimizar la conservación y el mejoramiento de su patrimonio, y para ello se reconoció la patología de las especies de madera presente en las estructuras de cubiertas, mediante inspecciones visuales detalladas, además se conocieron aspectos geométricos de las mismas, dimensiones, componentes y características, así como su demanda de carga y su resistencia en servicio; además se debe recurrir a lo expuesto en la Norma Sismo resistente Colombiana (NSR-10), en el título correspondiente a estructuras en madera (Título G), donde se brindan recomendaciones para el cuidado y el mantenimiento a las obras realizadas con éste material.

Por lo tanto, el problema involucró factores como los agentes a los que están expuestas las construcciones, el tipo de armadura usada en la cubierta y las características propias de los tipos de materiales usados, intentando responder a preguntas como:

¿Las cubiertas de la casa de tipología colonial en Cartagena de Indias son vulnerables a afectaciones en su estructura que puedan representar un peligro para su permanencia y vida útil? , ¿Cómo se comportan los diferentes tipos de cubiertas al estar sometidas a cargas por



peso muerto, viva, y de viento?, ¿Qué lesiones han sufrido las cubiertas hasta el día de hoy?, ¿Cuál es la causa directa e indirecta de las lesiones presentes?

La ciudad de Cartagena de Indias, posee un sistema de zonificación que divide la ciudad amurallada en tres barrios diferenciados: San Pedro; San Diego y Getsemaní, en estos barrios resalta la casa colonial, la cual es un producto de la casa con patio interior española, claro ejemplo sería la Corporación Unificada de Educación Superior (CUN) ubicada en la calle de la Serrezuela, también se destaca la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo, la cual es uno de los monumentos religiosos más importantes de la ciudad, hito arquitectónico, se encuentra localizada en una de las esquinas de la plaza Fernández Madrid, en el antiguo barrio San Diego, entre la calle Curato y la Calle del Sargento Mayor. La iglesia de Santo Toribio fue construida a principios del siglo XVIII (entre 1730 a 1737). Fue la última iglesia en levantarse durante la época colonial.

Es necesario que tanto los ingenieros, arquitectos y aquellas personas enmarcadas en el campo de la restauración y restructuración de edificaciones de tipología colonial en la ciudad de Cartagena, cuenten con información fundamentada en la caracterización de las patologías y una guía para hacer inspecciones visuales detalladas de una estructura correctamente, así como la caracterización y clasificación de las especies de maderas más usadas en la construcción de los elementos estructurales.

Además de tener un panorama acerca del comportamiento estructural de las cubiertas de tipología colonial bajo ciertas condiciones de servicio, las lesiones que esta puede presentar, así como las principales causas biológicas y abióticas que afectan la patología de la madera presente en los elementos de la estructura de cubierta, cabe resaltar las clases de riesgo en función del lugar donde va a instalarse la madera y la protección de esta. Es ahí donde reside la importancia de este trabajo de grado, pues servirá de guía para evaluaciones estructurales y patológicas relacionada con las cubiertas de tipología colonial y la patología presente en sus elementos de madera.



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CUBIERTAS DE LA CASA
DE TIPOLOGÍA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE ACUERDO A LA NSR-10**



El proyecto de investigación se enmarca dentro de la línea de investigación “Gestión y Conservación del Patrimonio”, perteneciente al grupo de investigación ESCONPAT de la Universidad de Cartagena, donde se contó con la asesoría del Ingeniero Walberto Rivera Martínez, director del proyecto. El proyecto se justifica dentro de esta línea de investigación porque involucra un estudio específico de evaluación estructural de las cubiertas de tipología colonial, así como un diagnóstico patológico de las mismas.



1. MARCO REFERENCIAL

1.1. ANTECEDENTES

En el ámbito local, la información relacionada con el estado de conservación estructural de las cubiertas de la casa de tipología colonial es poca, sin embargo se encuentran temáticas relacionadas con la caracterización y patología de las especies de madera relacionadas con esta, así como el análisis del comportamiento que tiene la misma como tal, al utilizarla en estructuras permanentes en la restauración de casas coloniales.

La casa cartagenera ha sido estudiada con anterioridad, mucho más en el caso colonial que en el republicano, en cuanto a la documentación encontrada, esta se limita a trabajos de pregrado existentes en la Universidad de Cartagena.

La Universidad de Cartagena con sus investigaciones, tiene la oportunidad de servir de apoyo en esta labor y en efecto ha iniciado muchas investigaciones que en un tiempo no muy lejano, darán los frutos requeridos y será la fuente científica para el conocimiento y conservación de estos monumentos.

A continuación, se relacionan una serie de investigaciones a nivel local para conocer el estado de conservación estructural actual de las casas de tipología colonial, así como la relación que tiene la madera como elemento de construcción en dicha época.



1.1.1. ANTECEDENTES LOCALES

- *DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS UBICADAS EN CASAS COLONIALES EN EL BARRIO GETSEMANÍ DE LA CIUDAD DE CARTAGENA* (Fortich & López, 2016. Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia)

Este estudio fue efectuado con el fin de determinar qué tan vulnerables son las casas coloniales de barrio Getsemaní a partir del método cualitativo denominado Índice De Vulnerabilidad, justificado por la importancia como icono histórico al hacer parte del centro de la ciudad de Cartagena, el cual es considerado patrimonio de la humanidad. En el proceso de selección de la información primaria se tomaron muestras específicas en diferentes zonas del barrio por los integrantes del proyecto en donde se incluyeron casas de 1 y 2 pisos. Se pudo establecer que la muestra analizada presentó una vulnerabilidad global mayor al 40% lo que se califica para el método como una vulnerabilidad alta. En comparación con bibliografías relacionadas con este estudio en diferentes sectores (San Diego) del mismo Centro histórico de Cartagena, se observa que el método arroja valores más bajos que el de dicho estudio, por lo cual se sugiere realizar un estudio de carácter cuantitativo. Además se determinaron parámetros influyentes como la no presencia de diafragmas horizontales, el estado patológico, separación de muros estructurales y calidad y organización del sistema resistente, los cuales hacen que estas viviendas sean más o menos susceptibles, debido a que la mayoría de las casas poseen elementos no estructurales de peso significativo mal vinculados a los muros que representan un alto riesgo para las personas en caso de ocurrir alguna emergencia.

A partir de lo anterior se generaron recomendaciones para mitigar la vulnerabilidad de las viviendas del barrio Getsemaní, tales como hacer un estudio cuantitativo de todas las casas del barrio partiendo de las bases reflejadas por el presente trabajo de investigación y determinar el nivel de vulnerabilidad que presentan las estructuras, para poder tomar correctivos al respecto y así evitar accidentes por fallas estructurales de las mismas; hacer mantenimiento o cambio de los elementos estructurales de madera en las cubiertas



deterioradas de las casas; curarlos y esterilizarlos para evitar agentes bióticos como el comején e impermeabilizar las partes que tengan contacto con los muros y estén expuestos a la intemperie para prevenir su descomposición y debilitamiento; reparar e intervenir las patologías que presenten los muros en la mampostería como humedad, fisuras, corrosión y eflorescencia para ayudar a mantener la estabilidad y conservación de las casas coloniales; Reforzar los elementos estructurales que estén sometidos a cargas en los que se noten fisuras o lesiones capilares, para garantizar que trabajen sin riesgo de fallar. (Fortich & López, 2016)

- *VULNERABILIDAD DE CASAS ALTAS DE TIPO COLONIAL UBICADAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA* (Ospino & Torres, 2016. Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia)

El presente estudio tuvo como finalidad establecer la vulnerabilidad de las casas altas coloniales del barrio Centro, tomando como referencia un método cualitativo denominado índice de vulnerabilidad. La metodología se llevó a cabo mediante una inspección visual detallada por medio de archivos fotográficos, mediciones y levantamiento del predio, donde se determinaron los factores más influyentes que hacen estas viviendas susceptibles, entre los cuales, se encuentran las cubiertas mal enlazadas con los muros ortogonales, la ausencia de diafragmas horizontales rígidos, el tipo de mampostería estructural y la constitución de la misma. Asimismo, se determinó el estado patológico, separación de muros estructurales, calidad y organización del sistema resistente. Finalmente, se obtuvo un resultado de vulnerabilidad ponderado de 31,58%, lo que indicó una vulnerabilidad media para este tipo de casas. Con base en lo anterior se plantean las siguientes recomendaciones pertinentes que permitan el mantenimiento y/o mejoramiento de las casas coloniales del centro histórico, Tratar deterioros patológicos que se observan en estas edificaciones como lo son la humedad, presencia de fisuras, corrosión, picaduras en los muros, goteras, eflorescencia y demás, de aquellas casas que lo requieran; Debido a que el índice de vulnerabilidad determinado en las edificaciones altas de tipo colonial tomadas como muestra para este proyecto investigativo es medio, se recomienda realizar un estudio de vulnerabilidad cuantitativo que permita un análisis detallado de las edificaciones del sector; Utilizar impermeabilizantes en las uniones de los muros con la cubierta para mitigar la humedad que se presenta. Además aplicar



pesticidas en la madera de la cubierta, baranda de balcones, vigas y áreas aledañas a éstas para evitar la propagación de comején y otros organismos que deterioren las estructuras de la edificación. (Ospino & Torres, 2016)

- *CARACTERIZACIÓN, CLASIFICACIÓN Y PATOLOGÍA DE LAS ESPECIES DE MADERAS MÁS USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN COMO ELEMENTOS ESTRUCTURALES PERMANENTES EN LA CIUDAD DE CARTAGENA* (Bonfante & Bustos, 2014. Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia)

El presente estudio tenía por objetivo la caracterización, clasificación y patología de las especies de madera más utilizadas en la ciudad de Cartagena como elementos estructurales permanentes, dichas especies son: Abarco, Carreto, Guayacán trébol, Guayacán polvillo, Nazareno y Puy. Donde cada una de las características de las especies de madera estudiadas y su patología fue producto de una investigación de tipo mixta, es decir, una investigación bibliográfica y una experimental.

La importancia del estudio residió en desarrollar una xiloteca, y una guía técnica ya que a través de estos productos se identifican y caracterizan las patologías y propiedades físicas y mecánicas de las especies anteriormente mencionadas. La metodología desarrollada fue de inspección para elementos estructurales en madera, que incluía las siguientes acciones: inspección visual, estimación de propiedades mecánicas haciendo uso del esclerómetro y detección de pudriciones mediante el empleo de equipos semidestructivos.

A partir de los resultados de este estudio se proyectó brindar una base sólida de información e implementar un nuevo método semidestructivo, (Extracción de testigo con broca Sierra) para analizar el estado de las maderas in situ, un método no destructivo con el esclerómetro para estimar su resistencia a la compresión y además caracterizar las propiedades físicas y mecánicas para el uso adecuado de las maderas.



A partir de muestras de madera en buen estado y en deterioro evidente, se realizaron los ensayos mencionados. Los resultados que se lograron en el ensayo no destructivo, fueron relativamente buenos en las muestras sanas, ya que según la clasificación y caracterización de las maderas, existe una relación directa de la densidad con las propiedades mecánicas, es decir, a mayor densidad, mayor resistencia, haciendo que por lo general las maderas densas sean más durables que las maderas livianas (Guayacán Polvillo, Nazareno, Puy, Guayacán trébol, Carreto, Abarco). Generalmente las maderas densas, son difíciles para trabajarlas, secarlas y para su inmunizado. Además se recomienda usar un esclerómetro de menor rango de esfuerzo, o mejor aún, un tipo de esclerómetro que se usa específicamente en madera, dicho esclerómetro es conocido como woodpecker, y se implementa con el objetivo de facilitar la inspección a edificaciones de valor histórico, sin comprometer la integridad de las estructuras, así como la a aplicación de inmunizantes sobre los elementos de madera que vayan a ser puestos en servicio en una obra de construcción o restauración, con el objetivo de prevenir el ataque de agentes xilófagos tempranamente. (Bonfante & Bustos, 2014)

- *DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA UTILIZADA COMO VIGA EN LAS VIVIENDAS COLONIALES DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA* (Ayola & Matute, 2013. Cartagena, Colombia)

Es un estudio realizado con el objetivo de determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera utilizada actualmente como viga de entrepiso en las viviendas coloniales del centro histórico la ciudad de Cartagena, a través de ensayos de laboratorio, los cuales permitieron obtener una serie de datos reales para establecer la capacidad de carga y resistencia a las que las especies en estudio podrían ser sometidas. Además de ello, se realizó una clasificación de las maderas estudiadas según los distintos grupos de madera estructural que se tienen en cuenta en las normas NSR 2010 y EL MANUAL DEL PACTO ANDINO, para luego evaluar el comportamiento de cada tipo de madera al someterse a diferentes condiciones de carga, usando simulaciones computarizadas.



Dando como resultado, que especies como: Polvillo, Guayacán, Bálsamo, Almendro, Campano, Puy, Guayabo, Mangle, Ceiba Colorada o Tolúa y Carreto, se usan actualmente en la construcción como elementos estructurales. Las clases de madera que mejor comportamiento presentaron luego del análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio fueron la de Puy, Guayacán y Campano; de entre las cuales se destaca la de Puy en la que se observaron esfuerzos admisibles a flexión de 25.30 (Kg/cm²), compresión 366.90 (Kg/cm²), tensión 1405.64 (Kg/cm²) y cortante 41.69 (Kg/cm²). Por otro lado, se observó que al realizar las simulaciones para cada tipo de madera, ninguna cumplió los requisitos de resistencia para la solicitud de carga analizada, según los parámetros de las normas NSR 10 y el MANUAL DEL PACTO ANDINO. (Ayola & Matute, 2013)

- *EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO PATOLÓGICO DE LA IGLESIA DE SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO DE CARTAGENA DE INDIAS.* (Bustamante & Castillo, 2012. Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia)

El presente estudio tuvo por objetivo realizar una evaluación cualitativa y diagnóstico patológico de la Iglesia Santo Toribio de Mogrovejo de Cartagena de Indias. La importancia del estudio residió en la necesidad de iniciar el proceso de restauración del monumento, ya que a través de esta evaluación patológica se identificaron las patologías presentes en la iglesia. A partir de los resultados de este estudio se planificaron las acciones necesarias para preservar este ícono histórico y joya colonial de la ciudad. A partir de una primera revisión bibliográfica de cada uno de los sistemas constructivos que componen a la edificación, se realizó una inspección visual y detallada mediante un archivo fotográfico, mediciones y toma de muestras no destructivas del inmueble, comprendiendo de esta forma un estudio de tipo no experimental. Se obtuvieron elementos con menores daños a nivel de piso, no siendo así para la cubierta inclinada, donde la alta humedad del microclima ha afectado en gran proporción el tejado en toda su extensión y los elementos del entrepiso de la parroquia. Los elementos fabricados en madera, tales como pares, la hilera y otros elementos ornamentales presentan graves patologías por efectos de humedad del ambiente, desprendimientos y por acción de insectos xilófagos. No se reportaron daños por dilataciones térmicas en estos materiales. De igual manera, se encontraron elementos en concreto reforzado gravemente



afectados por pérdidas de sección y corrosión de aceros, de los cuales se han reportado desplomes recientes. Ante los resultados observados en el levantamiento patológico, se concluye con la necesidad de realizar reparaciones inmediatas a elementos de madera que comprenden la cubierta inclinada, así como el reforzamiento de elementos en concreto por la muestra de inestabilidad en todas sus formas. Otros elementos como muros y pisos no requieren acciones instantáneas, pero sí de mantenimiento y conservación. (Bustamante & Castillo, 2012)

- *LA MADERA COMO ELEMENTO DE LA CONSTRUCCIÓN COLONIAL ESPAÑOLA EN CARTAGENA DE INDIAS, SIGLO XVI A XVII, UN ENFOQUE DESDE LA INGENIERÍA CIVIL MODERNA* (Cabarcas & Mejía, 2004)

Mediante dicho estudio se encontraron resultados y recomendaciones tras una serie de indagaciones apoyadas en recursos bibliográficos y ensayos realizados por los autores, para poder tener un conocimiento acerca de la madera como elemento de construcción en la época colonial y su utilización actual dentro de los procesos de restauración, teniendo en cuenta aspectos inherentes a ella. Con este estudio se llegó a la conclusión de que la escogencia del tipo de madera recia a utilizar para reemplazarla por la hallada en la obra, no solamente será determinada por su resistencias mecánica, sino también teniendo en cuenta el análisis de costo de distintas alternativas y de la disposición de éstas en la región.

Las maderas utilizadas actualmente en Cartagena, para la restauración de edificaciones antiguas, debido a su fácil consecución, dimensiones, dureza y resistencia son: guayacán, algarrobo, almendro, cativo, ceiba, abarco, guayabo, nazareno, balata y roble. (Cabarcas & Mejía, 2004)



1.2. ESTADO DEL ARTE

Debido a la gran importancia que posee la conservación y mantenimiento del Patrimonio arquitectónico a nivel mundial, 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 a nivel nacional e internacional relacionados con el estudio de las técnicas y materiales implementados para los procesos de restauración de construcciones antiguas a nivel mundial.

- *DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA POR MEDIO DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS UBICADAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE SINCELEJO, UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA* (Caballero, 2007. Fundación Universidad del Norte, Sincelejo, Colombia)

El proyecto investigativo consistió en hallar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del centro de la ciudad de Sincelejo y sus alrededores mediante el método de índice de vulnerabilidad para la determinación del daño esperado para diferentes aceleraciones sísmicas, utilizando como herramienta principal la tecnología de sistema de información geográfica (SIG). Para ello, los investigadores realizaron su estudio en una zona que comprendía 1500 edificaciones, basándose en datos tomados del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el programa ArMap. En el IGAC tomaron los planos de la zona de estudio y a partir de estos datos, se escanearon los planos en AutoCAD y de esta forma tener cada uno de los lotes y construcciones y formar un modelo de cada uno de ellos. Luego con ArMap crearon una base de datos para las edificaciones en donde introdujeron la información de la zona y empezaron a trabajar con información de los métodos estadísticos. Para la realización del estudio evaluaron en las edificaciones características como sistema estructural, tipo de cubierta, sistema de entre pisos, sistemas de muro divisorios, área construida, altura de la edificación, y otros aspectos generales como el tipo de suelo sobre el



cual esta cimentada la edificación y el año en que se construyó (para ver que norma de diseño y construcción estaba vigente).

Los resultados finales muestran que un gran número de estructuras presentan problemas, tanto en el diseño arquitectónico y estructural, como en su construcción, ya que la mayoría de las edificaciones antiguas, son principalmente de mampostería No reforzada, las cuales presentan un deterioro considerable en los elementos estructurales y no estructurales y de conexión entre sus elementos resistentes, lo que hace que los índices de vulnerabilidad y de daño aumenten. Cabe resaltar que un gran número de dichas edificaciones se construyeron sin considerar alguna normativa sísmica y con técnicas constructivas artesanales, lo que las convierte en estructuras con alta vulnerabilidad. En cuanto a la geología y características geotécnicas, se encuentran diferentes tipos de suelos, que van desde suelos muy resistentes (en la parte del parque central y zona bancaria) hasta suelos muy blandos (parte oriental y occidental, Hospital regional – Almacén Éxito). (Caballero, 2007)

- *MANUAL PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO HABITACIONAL DE SUCRE* (Peñaranda, 2011. Sucre, Bolivia)

La arquitectura colonial y republicana que caracteriza al homogéneo Centro Histórico de Sucre, la hicieron merecedora como “Ciudad, Patrimonio Cultural de la Humanidad” título conferido por la UNESCO en el año 1991; debido a esto, se vio la necesidad de crear una instancia que controle y fiscalice las diferentes intervenciones en el sector declarado como patrimonial. Por consiguiente, el presente manual recoge una serie de criterios, técnicas y pautas destinadas a la conservación, recuperación, mantenimiento, restauración y refacción de inmuebles patrimoniales existentes en el Centro Histórico de la ciudad de Sucre y porque no en el país, por lo que su importancia radica en que ahora se cuenta con un libro de consulta destinado a una diversidad de profesionales entendidos en el tema logrando optimizar la valoración y conservación del patrimonio arquitectónico de Sucre.



Dicho manual brinda a los profesionales arquitectos, albañiles y propietarios de inmuebles patrimoniales, una guía para la conservación de sus viviendas, teniendo en cuenta las diferentes acciones que se deben evitar para no destruir el patrimonio, acciones como: no utilizar elementos y/o materiales ajenos e incompatibles a los originales, ya que se distorsiona la autenticidad del edificio; no quitar muros originales, ya que son los que sostienen los techos y al quitarlos se compromete a la estructura de las cubiertas; no sobrecargar los edificios, agregando muros, habitaciones, entresijos y techos u otras cargas móviles, porque se aumenta el peso más de lo que soporta la estructura del edificio, causando hundimientos y desplomes.

Donde las cubiertas tradicionales no deben ser drásticamente transformadas, con el objetivo de introducir nuevos ambientes en el entretecho, ocasionando pérdidas en la forma y materiales originales, ya que se modifican las pendientes y hasta se incorporan ventanas de diseño muy ajeno a la arquitectura histórica, alterando la imagen característica del centro histórico, por tanto, las cubiertas de teja colonial son componentes infaltantes en la imagen homogénea de Sucre, por eso se considera como un grave error, alterarlas en su forma o peor sustituirlas por materiales contemporáneos, como las terrazas de hormigón y placas de calamina o asbesto cemento. (Peñaranda, 2011)

- *TECHOS DE MADERA PROCESO DE EJECUCIÓN CONSTRUCTIVA ARTESONES, TERRAZA ESPAÑOLA Y PÉRGOLAS* (Arana, 2007. Universidad de San Carlos, Guatemala)

Se presenta una investigación arquitectónica en el campo de techos de madera y sus distintas formas de construirlos, para lo cual se tomaron los estilos específicos de artesones, terrazas españolas y pérgolas, teniendo en cuenta que en la actualidad se ha dejado de utilizar este sistema constructivo por falta de conocimiento a nivel de ejecución y también por falta de mano de obra calificada. Se establece un proceso técnico y constructivo de artesones, terrazas españolas y pérgolas que facilita su elaboración, y con esto se contribuye al rescate de éste sistema constructivo colonial, aún vigente en la cultura arquitectónica de Guatemala. Asimismo se determinó que las maderas más utilizadas para este tipo de techumbres son la



madera de pino curado y el ciprés, ya que la conformación de sus fibras es tan fuerte que soporta las altas temperaturas y son más fáciles de trabajar. En cuanto al mantenimiento de este tipo de techos se recomienda el uso de cera Brío-Wax, aplicada con wipe; previo a encerar deberá limpiarse el área, para eliminar todo tipo de suciedad que esté contenida en el poro de la madera. (Arana, 2007)

- *MADERAS QUE FUERON USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES COLONIALES DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA HABANA VIEJA, CUBA* (Cuza, Carreras & Saralegui, 2005. Anales del Museo de América)

La aplicación de métodos científicos para el estudio del patrimonio construido de la Habana vieja es una tarea imprescindible para la conservación, la restauración y la documentación histórica de los inmuebles (techos, entresijos, carpintería, balcones) que allí se atesoran. El presente trabajo expone los resultados obtenidos en el estudio de edificaciones coloniales, el cual se realizó a partir del muestreo de piezas y elementos constructivos de madera en ocho inmuebles del Centro Histórico de La Habana Vieja.

En cada uno de los inmuebles en estudio se tomaron muestras, con el asesoramiento del Gabinete de Arqueología, de aquellos elementos que por su diseño, características estructurales y estado de conservación se corresponden con piezas originales o piezas introducidas en restauraciones realizadas en los siglos XVIII y XIX. Las muestras se tomaron en zonas poco visibles, de 1 cm³ o de menor volumen, siempre que permitieran la obtención de cortes en las tres direcciones (transversal, tangencial y radial), estas fueron identificadas mediante el método de la anatomía comparada, donde los caracteres macroscópicos evaluados fueron: color, textura, grano, lustre, olor (en las que lo poseían) y presencia de anillos de crecimiento.



En el muestreo realizado se identificaron 11 especies de maderas, donde maderas como Cedro americano – amargo (*Cedrela odorata*) y ácana (*Manilkara valenzuelana*) fueron las especies identificadas con mayor frecuencia en inmuebles de los siglos XVI al XVIII, en elementos estructurales, ornamentales (barandas, balaustres, rejas torneadas) y de carpintería (portones exteriores, puertas interiores, ventanas y marcos de puertas). (Cuza, Carreras & Saralegui, 2005)

- *EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LOS DEFECTOS DE LA MADERA* (Jesberger, 2014. Universidad Estatal de Pensilvania, Estados Unidos)

Las estructuras de madera están alrededor de nosotros en una variedad de formas que van desde la madera aserrada dimensionada y de las residencias enmarcadas de madera dirigida a las estructuras pesadas de la madera. Las técnicas apropiadas deben ser usadas para remediar el defecto a mano y para prevenir el deterioro adicional de la estructura. Los defectos en la madera se pueden clasificar como escisiones (separación, ruptura), deformación, resistencia a la intemperie, descomposición, infestación de insectos, podredumbre, infestación de insectos o decaimiento debido a otro organismo biológico. Comprender qué defecto está presente y descubrir la fuente del defecto es crucial en la determinación de una solución potencial para prevenir daño adicional a la estructura. Identificar una serie de posibles resoluciones es importante para determinar una posible remediación del problema.

Con el fin de mantener estas estructuras, los ingenieros y constructores deben entender cómo identificar los defectos que están presentes durante la construcción, así como el deterioro que se produce durante un período de tiempo. Las técnicas apropiadas usadas para remediar tales defectos y evitar un mayor deterioro de la estructura, están relacionadas con el control de la humedad, a través de la ventilación, si esta no se puede controlar, se recomienda la utilización de conservantes de tipo de aceite y el agua. La principal diferencia está en la base de solución utilizada para el transporte de los productos químicos conservantes en la madera, de tipo de aceite se utilizan en aplicaciones de alta humedad, ya que el aceite es un replante natural de agua. Sin embargo, la superficie de la madera tratada mantiene el acabado de aceite y hace



que sea difícil de aplicar otros acabados, y de tipo de agua que se utilizan comúnmente cuando se coloca la madera en aplicaciones interiores. La madera tiene un acabado de la superficie se seca por lo que es muy fácil de aplicar alternativa terminado. Otra técnica es la aplicación de pintura o un barniz a la madera. (Jesberger, 2014)

- *DECAIMIENTO DE LA MADERA EN EDIFICIOS: PATOLOGÍA Y CONTROL.*
(Singh & White, 1997. Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, Estados Unidos)

El presente estudio tenía por objetivo determinar la distribución y la extensión de todos los organismos de decaimiento significativos en el edificio, los cuales predisponen a la descomposición de la madera.

Para que cualquier organismo pueda infectar la madera, cuatro elementos críticos deben estar presentes: la temperatura, la humedad, el oxígeno y una fuente de alimento. La humedad se puede añadir a la madera a través de un número de maneras. Algunas de las causas comunes de la humedad en la madera son la ventilación defectuosa alrededor de la madera, la exposición de la madera para ambientes húmedos, y el contacto con el suelo de madera.

Se realizó un análisis de lo que ocurre en realidad en las partes que por lo general son “olvidadas” en los edificios, dando finalmente unos métodos para evitar la proliferación de los agentes destructores de la madera. Concluyendo que un mantenimiento general de las estructuras debe incluir la limpieza frecuente de canales, bajantes, cielorrasos y demás elementos susceptibles a convertirse en un sitio agradable para los agentes patógenos de la madera. Los autores también recomiendan la utilización de sistemas más avanzados, como los de teledetección para monitorear constantemente las zonas de riesgo, así como el control de la humedad, la cual puede controlarse utilizando técnicas apropiadas de construcción, materiales y detalles. Detalles de impermeabilización son esenciales en la prevención de la humedad en el área cubierta. La salud a largo plazo del edificio siempre dependerá de un adecuado mantenimiento. Esto no es menos cierto en edificios tratados con madera inmunizada. (Singh & White, 1997).



- *MADERAS TROPICALES COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN LOS PAÍSES DEL GRUPO ANDINO DE AMÉRICA DEL SUR* (Keenan & Tejada, 1987)

Esta publicación es un resumen de la investigación hecha, y el aprendizaje resultante, en un proyecto aprobado por el Congreso Internacional Interdiscipliniedad y Desarrollo (CIID) en los cinco países suramericanos del grupo Andino (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela). El objetivo principal del proyecto era desarrollar la tecnología para utilizar los recursos forestales de la región como material de construcción. Las actividades involucraron la selección y corte de árboles en el bosque, la anatomía de la madera, la identificación de las especies, el secado, la preservación, la trabajabilidad, las propiedades mecánicas, la clasificación de las tensiones, el establecimiento de tamaños normalizados de madera, la fortaleza de las uniones y amarres, el diseño y prueba de los componentes estructurales. En cuanto al muestreo se seleccionaron 105 especies teniendo en cuenta las siguientes características: Especies aptas para plantaciones o para la reforestación; especies con buena forma y tamaño de árboles; especies de las que ya se conocen algunas propiedades; especies cuyo uso en construcción es ya tradicional y que en la actualidad se comercializan, ya sea por separado o en grupo; especies cuya densidad es entre media y baja; aunque una densidad más alta daría mayor resistencia y rigidez, normalmente dificulta el corte y clavado de la madera. (Keenan & Tejada, 1987)



1.3. ANÁLISIS DE LAS LIMITACIONES

- El estudio y análisis de la información relacionada con la Vulnerabilidad de las estructuras ubicadas en casas coloniales del barrio Getsemaní de la ciudad de Cartagena, así como la Vulnerabilidad de casas alta de tipo colonial ubicadas en el centro histórico de la ciudad, se limitan solo a mostrar un grado generalizado de la vulnerabilidad estructural y no enfatizarán en los tipos de vulnerabilidad que puedan presentarse en las edificaciones. Cabe resaltar que NO realizaron una modelación estructural, puesto que el método aplicado fue el método cualitativo para la determinación del índice de vulnerabilidad con la finalidad de hacer un análisis representativo del sector.
- En el marco del desarrollo de la investigación relacionada con la Determinación de la vulnerabilidad sísmica en las estructuras ubicadas del centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica, se evidencio cierto grado de limitación representado por la información del estudio planeado, ya que solo se enfocaron en el análisis sísmico de las construcciones del centro de la ciudad y no analizan los otros agentes externos que podrían ser causantes de que las estructuras sean vulnerables.
- Una de las limitaciones presente en el estudio Caracterización, clasificación y patología de las especies de maderas más usadas en la construcción como elementos estructurales permanentes en la ciudad de Cartagena, fue que no se necesitaron realizar ensayos de laboratorio para la determinación de propiedades físicas y mecánicas de las especies estudiadas, debido a que estas propiedades están citadas en los diferentes manuales.

Otros estudios presentaron limitaciones como:

- Daño de un equipo de laboratorio, afectando la metodología aplicada, por lo que se recurrió a la ayuda de Ingenieros para la realización de ciertos ensayos.
- Una inspección visual de las áreas afectadas, donde se plasmó de una manera general la apariencia de las patologías.



- No proponer medidas de reparación o restauración.

La investigación se enfoca en las cubiertas de la época colonial, en la que no existía una normativa que controlara el grado de vulnerabilidad de las mismas. Estos elementos presentes en las construcciones ubicadas en los barrios de San Pedro, San Diego y Getsemaní de la Ciudad de Cartagena, aunque llevan mucho tiempo de ser construidas pueden haber sido restauradas y reforzadas estructuralmente para que no sufrieran daños por agentes externos o se vieran afectadas por la presencia de diferentes cargas; sin embargo, dichas edificaciones buscan proteger y preservar el patrimonio de la ciudad, lo que permite verificar o comprobar el estado actual de las cubiertas mediante la evaluación de su comportamiento estructural usando simulaciones computarizadas.



1.4. MARCO TEÓRICO

1.4.1. Arquitectura colonial

La arquitectura doméstica o casa colonial cartagenera es un producto de la casa con patio interior española, que a su vez se relaciona con el impluvium de la casa romana del que hablan Vitrubio y Palladio, y cuya influencia se dejó ver en las fundaciones del Imperio Romano en España y a través de España en Hispanoamérica. Específicamente, tiene origen en la casa española de Andalucía. La importante influencia andalusí se nota especialmente en el tratamiento de patios interiores, mientras en las cubiertas la influencia es francamente islámica, como se puede observar en su armadura de madera de par e hilera y de par y nudillo, así como en el entejado. (Angulo, 2012, p.24)

1.4.2. Cubiertas

La palabra techo viene del latín tectus, que significa “cubierto” y de este significado proviene la palabra cubierta, la cual se puede definir como la estructura y el material de revestimiento que, soportado sobre aquella, cumple la función de mantener protegido el interior de las edificaciones del rigor del clima y otros elementos relacionados con la intemperie. La estructura y materiales de las cubiertas han evolucionado a lo largo del tiempo, partiendo desde las cubiertas primitivas que eran hechas en su totalidad con materiales vegetales, pasando por las más usadas en la historia de la arquitectura que es la teja cerámica o de arcilla, hasta llegar a la actualidad donde aparecen materiales sintéticos y sistemas estructurales de soportes de alta tecnología. (Angulo, 2012)

1.4.2.1. Geometría de las cubiertas

La forma y pendiente de las cubiertas dependen principalmente del clima del sitio donde esta se elaborará, por otra parte, también dependen del tipo de tejas que se usaran, de la estructura que la sostendrá y la luz o distancia que se piensa cubrir.



Las cubiertas generalmente suelen estar constituidas por varios planos inclinados llamados paños, tendidos o faldones, estos faldones se intersectan con el plano inclinado para darle una nueva inclinación a la cubierta, esta interceptación entre los dos planos es conocida como limatesas, en el caso de ser saliente y limahoyas en el caso de ser entrantes. A fin de facilitar la geometría en el diseño y en la misma construcción, los faldones contiguos interrelacionados por limahoyas o limatesas, deben tener preferiblemente la misma pendiente, mientras el nivel inferior de su alero corre todo a la misma altura.

Otros elementos de las cubiertas son la cumbrera o caballete, este es la unión donde se interceptan los tendidos en su parte más alta; y el alero o alar, es el remate inferior del tejado que queda el voladizo sobre la fachada para protegerla. El ángulo de inclinación de la cubierta es su pendiente y está dado por la relación entre la altura de la cubierta y el ancho de su proyección horizontal. (Angulo, 2012)

1.4.2.2. Geometría de las cubiertas en la construcción colonial

En el caso específico de los tejados coloniales en Cartagena, el ángulo de inclinación recomendado suele estar alrededor de los 36° , en el caso de cubierta con estructura armada en par e hilera las pendientes suelen estar alrededor de los 36° y 45° .

Para definir las pendientes y levantar una armadura se acudía a una serie de cartabones, de los cuales el más usado era el llamado “cartabón de 5”. (Angulo, 2012)

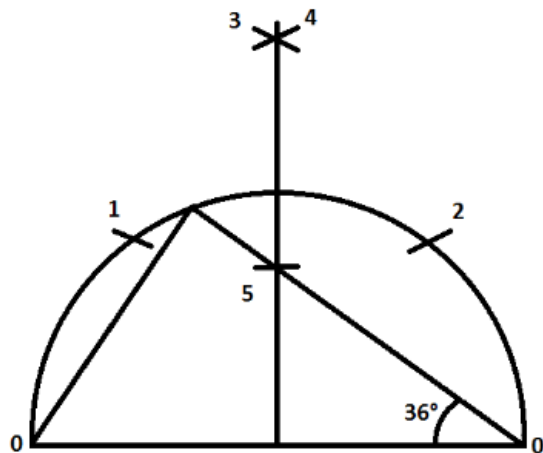


Figura 1. Cartabón de 5. Fuente: (Angulo, 2012)



1.4.3. Armadura de cubiertas coloniales

1.4.3.1. Cubiertas Plana en Terraza

La cubierta plana colonial es una versión de entre piso usada como cubierta, es una solución muy poco usada a excepción de las usadas como miradores o terrazas y como cubierta de otros espacios en casos muchos menos frecuentes que las cubiertas inclinadas. El poco uso se debe al clima de la ciudad ya que durante una parte del año es muy lluvioso, al ser plana las cubiertas tendría más riesgo de presentar filtraciones. La técnica de montaje es muy sencilla: la cubierta va empotrada en los muros y las vigas hechas en madera van apoyadas en ménsulas que ayudan a distribuir la carga y a disminuir la luz, sobre las vigas van colocadas una serie de correas que soportan los ladrillos que se colocaran sobre ellas, por último y con el fin de disminuir las filtraciones de agua se coloca sobre los ladrillos una capa de argamasa con un pequeño declive, con el fin de impermeabilizar un poco a la mezcla se le podía añadir un poco de yeso. (Angulo, 2012)



Figura 2. Cubierta Plana en Terraza. **Fuente:** Autores



1.4.3.2. Cubierta en Par e Hilera

Las cubiertas par e hilera son cubiertas inclinadas que pueden ser de dos aguas o cuatro aguas, su estructura está conformada por una serie de pares que están apoyados en los estribos que en este caso van en todo el largo del muro, este estribo o viga durmiente muchas veces no se ve ya que se encuentra oculta en el arrocabe, el cual no cumple ninguna función estructural, su misión es dar un acabado más fino a la unión entre el par, el estribo y el muro, en la parte superior de la cubierta los pares se apoyan en una viga cumbrera o hilera dándole forma a la parte que recibirá la carga de las pesadas tejas, posteriormente sobre los pares se arma un entablado donde se colocara la argamasa sobre la cual se colocan las tejas. (Angulo, 2012)



Figura 3. Cubierta Par e Hilera. **Fuente:** (Angulo, 2012)

1.4.3.3. Cubierta Par y Nudillo

Las cubiertas en par y nudillo son un tipo inclinadas donde en su interior la parte que más resalta a simple vista son los tirantes dobles entre los cuales se hacía buen trabajo de laceria, sobre los cuales existe muchas discusiones de su origen. Se observa también el arrocabe que es un trabajo de tabiquería que tiene como función que no se observe la llegada de los pares al estribo y el muro. Los pares al llegar a la parte superior son arriostrados por una pieza llamada nudillo que tiene como función estructural servir de amarre, también soportan el plano superior horizontal que es llamado almizate o harneruelo, sobre toda esta estructura se



colocara la argamasa y sobre esta las tejas para dar como terminada la estructura de la cubierta. (Angulo, 2012)



Figura 4. Cubierta Par y Nudillo. **Fuente:** Autores

1.4.4. Materiales de construcción de cubiertas

1.4.4.1. Teja árabe o española

En el caso de las casas coloniales se usaban las tejas llamadas de arcilla árabe o simplemente teja colonial en Cartagena de indias, se usaron en todo el territorio colombiano y en otras partes de Hispanoamérica. Esta echa de una sola pieza con forma cilíndrica cortada de forma longitudinal, se usa como canal colocando la concavidad con la cara hacia arriba y como cobija con la concavidad hacía abajo para cubrir los espacios entre canales. Las tejas se apoyaban sobre una cama de mortero de argamasas que las sujetaba y a la vez cumplía la función de impermeabilizar las juntas entre tejas, esta argamasa se colocaba debajo y entre las tejas. (Angulo, 2012)



Figura 5. Cubierta colonial típica de Cartagena. **Fuente:** (Angulo, 2012)

1.4.4.2. Maderas para la construcción

1.4.4.2.1. Propiedades resistentes de la madera

En la madera se presentan tres direcciones principales respecto a la dirección del grano o fibra, estas direcciones son la longitudinal, la tangencial y la radial, donde las direcciones radiales y tangenciales son perpendiculares al grano. Al momento de usar la madera solo se consideran dos direcciones, longitudinal o paralela a la fibra y la dirección transversal o perpendicular al grano; las principales propiedades resistentes o mecánicas de la madera son: resistencia a la compresión paralela al grano, la compresión perpendicular al grano, la tracción, flexión y corte paralelo al grano. (PADT-REFORT, 1984, p.21)

1.4.4.2.1.1. Resistencia a la compresión paralela

La madera presenta gran compresión a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Esta proviene del hecho de que la fibra está orientada con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o está muy cerca de la orientación de la microfibrilla que construye la capa media de la pared celular. Esta capa es la de mayor espesor de las fibras.

La capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento. Cuando se trata de elementos a escala natural como columnas, solamente aquellas de una relación de esbeltez (longitud/ancho) menor a 10 desarrollan toda su



resistencia al esforzar la sección a su máxima capacidad. Para elementos más esbeltos que son los más comunes, la resistencia está determinada por su capacidad a resistir el pandeo lateral, que depende más de la geometría de la pieza que de la capacidad resistente de la madera que la constituye. (PADT-REFORT, 1984, p.21)

1.4.4.2.1.2. Resistencia a la compresión perpendicular

Bajo este tipo de cargas las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje y que tiene a comprimir las pequeñas cavidades cometidas en ellas. Esto permite que se pueda cargar la madera sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementarse la magnitud de la carga la pieza se va comprimiendo (aplastando los pequeños cilindros que semejan las fibras), aumentando su densidad y también su misma capacidad para resistir mayor carga. (PADT-REFORT, 1984, p.22)

1.4.4.2.1.3. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción paralela en paralelo es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela. El valor típico que caracteriza este ensayo es el esfuerzo de rotura que varía entre 500 y 1500 Kg/cm². La resistencia a tracción paralela es afectada significativamente por la inclinación del grano. por ejemplo, para una inclinación de 1 en 8 (7°) el esfuerzo de rotura es el 75 por ciento del esfuerzo de rotura paralelo al grano, para una inclinación de 1 en 4 (14°) el esfuerzo es 45 por ciento. El esfuerzo de rotura perpendicular al grano (90°) es del 2 al 5 por ciento del esfuerzo de rotura paralelo al grano, para efectos prácticos la resistencia a la tracción perpendicular es nula. (PADT-REFORT, 1984, p.22)



1.4.4.2.1.4. Resistencia al corte

En elementos constructivos en esfuerzo por corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión (corte por flexión). Los análisis teóricos de esfuerzos indican que en un punto dado los esfuerzos de corte son iguales tanto a lo largo como perpendicularmente al eje del elemento. Como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de la pieza, presenta distinta resistencia al corte en estas dos direcciones. La menor es aquella paralela a las fibras y que proviene de la capacidad del “cementante” de las fibras -la lignina- a este esfuerzo. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es de tres a cuatro veces mayor que en dirección paralela. (PADT-REFORT, 1984, p.23)

1.4.4.2.1.5. Resistencia a la flexión paralela al grano

La diferencia entre la resistencia a la tracción y a la compresión paralela resulta en un comportamiento característico de las vigas de madera en flexión. Como la resistencia a la compresión es menor que a la tracción, la madera falla primero en la zona de compresión. Con ello se incrementan las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de tracción, lo que a su vez hace aumentar rápidamente las deformaciones totales; finalmente la pieza se rompe por tracción. En vigas secas, sin embargo, no se presentan primeramente una falla visible de la zona comprimida, sino que ocurre directamente la falla por tracción. (PADT-REFORT, 1984, p.24)

1.4.4.2.2. Propiedades elásticas de la madera

El módulo de elasticidad, el módulo de corte y el módulo de Poisson representan las características elásticas de un material. La madera como material ortotrópico tiene tres módulos de elasticidad, tres módulos de corte y seis módulos de Poisson, orientados y definidos según los tres ortogonales. Desde el punto de vista ingenieril puede suponerse que el material es homogéneo lo que permite considerar solo tres. (PADT-REFORT, 1984, p.25)



1.4.4.2.2.1. Módulo de elasticidad (MOE)

El módulo de elasticidad de la madera puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo-deformación, un ensayo de comprensión paralela, además puede ser hallado por métodos indirectos como en los ensayos a flexión. Según los resultados obtenidos en maderas tropicales, el MOE en comprensión paralela es mayor que el MOE en flexión estática, no obstante, usualmente se toma el segundo como genérico de la especie, por ser las deflexiones en elementos a flexión criterio básico en dimensionamiento. (PADT-REFORT, 1984, p.26)

1.4.4.2.2.2. Módulo de corte o rigidez (g)

El módulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen. Existen diferentes valores para este módulo en cada una de las direcciones de la madera. Sin embargo, el más usual es el que sigue la dirección de las fibras. Los valores reportados para esta propiedad varían entre 1/16 y 1/25 del módulo de elasticidad lineal. (PADT-REFORT, 1984, p.26)

1.4.4.2.2.3. Módulo de Poisson

Se conoce como módulo de Poisson a la relación que existe entre deformación lateral y deformación longitudinal. Para el caso de la madera existen en general 6 módulos de Poisson ya que se relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial y tangencial. La madera presenta diferentes valores según las direcciones que se consideren, se ha reportado para maderas coníferas valores del orden de 0.325 a 0.40 para densidades de 0.5 gr/cm³. (PADT-REFORT, 1984, p.27)



1.4.4.2.3. Patología de la madera

El empleo de una madera en un uso determinado depende principalmente de sus propiedades físicas y mecánica. Es necesario, sin embargo, considerar que estas propiedades son modificadas en mayor o menor escala cuando la madera sufre alteraciones a lo largo del tiempo.

Tradicionalmente se han clasificado a los distintos agentes de estas alteraciones de la madera, en dos grandes grupos: abióticos y bióticos. (Zanni, 2004, p.77)

1.4.4.2.3.1. Abióticos

Son aquellas causas de alteración de la madera de origen no vivo, y comprenden desde las anomalías producidas durante el crecimiento del árbol pasando por los agentes atmosféricos (radiación solar, humedad ambiental, acción corrosiva de la lluvia y el viento, temperatura, etc.), mecánicos y químicos, hasta la absorción de agua y el fuego. (Zanni, 2004, p.80)

- Agentes climáticos

La madera, como mayor parte de los materiales, está sometida a la acción continuada de los agentes climáticos que producen su envejecimiento incluso su destrucción.

La fotodegradación de la madera por acción de la radiación solar, de cuyo espectro total sólo una pequeña parte alcanza la Tierra, no supone en piezas gruesas una pérdida apreciable de resistencia mecánica, pero si influye de modo decisivo en la degradación superficial. (Zanni, 2004, p.81)

- Uso mecánico

Este tipo de alteraciones guarda una relación inversamente proporcional con la dureza de la madera en cuestión y dependen también del uso que se haga de ella. Tienen su origen en diversas causas como por ejemplo la abrasión o el impacto de taconeo en las maderas colocadas en pavimentos, la fatiga del material por sección insuficiente o punzonado por concentración de cargas en el caso de estructuras, etc. (Zanni, 2004, p.89)



1.4.4.2.3.2. Bióticos

La madera es un material muy susceptible de alteración por agentes biológicos y microbiológicos. Generalmente la madera es atacada por organismos heterótrofos entre los cuales se destacan los hongos, bacterias, insectos y algunos vertebrados.

La respuesta de la madera a la agresión biológica varía de acuerdo a la especie, el grado de humedad y la temperatura. Existen maderas muy resistentes y otras fácilmente vulnerables. (Zanni, 2004, p.89)

- Insectos Xilófagos

La acción de los insectos xilófagos tiende a la destrucción de la estructura de la madera, mediante la perforación de galerías tanto en los árboles en pie, como en los recién cortados, para satisfacer las necesidades alimenticias del ciclo biológico correspondiente. Pocas especies de insectos atacan las piezas de madera en servicio. El insecto adulto perfora la madera para depositar los huevos, y la larva que nace continúa su trabajo de perforación para alimentarse durante un tiempo que varía según las especies, entre dos y once años, saliendo luego para transformarse en imago. El insecto adulto continúa, después de apareado, el ciclo descrito. (Zanni, 2004, p.91)

- Xilófagos larvarios

El ciclo biológico comienza cuando las hembras ponen sus huevos (que por su tamaño son invisibles al ojo humano) en lugares protegidos y de difícil accesibilidad de la madera (ranuras, fendas, etc.). Al nacer las larvas, comienzan a alimentarse de la celulosa, lignina y otras sustancias componentes, ocasionando así galerías de forma y tamaño variable según la especie, que afectan la resistencia mecánica de la madera. (Zanni, 2004, p.91)

- Xilófagos sociales. Termitas

Son insectos que viven en comunidad, atacando a la madera en todas sus formas: madera sólida o maciza, laminada, tableros, papel, etc., y destruyéndola en los edificios mal conservados, tanto en exteriores como interiores, cuando su puesta en obra se realiza en contacto más o menos directo con el suelo. (Zanni, 2004, p.98)



1.4.5. Cargas

1.4.5.1. Generalidades

El título B de la norma NSR-10, da los requisitos mínimos que deben cumplir las edificaciones con respecto a cargas que deben emplearse en su diseño, diferente a las fuerzas o efectos que impone el sismo. Para que una estructura sismo resistente cumpla adecuadamente su objetivo, debe ser capaz de resistir además de los efectos sísmicos, los efectos de las cargas prescritas en el presente Título.

1.4.5.2. Efectos de las cargas

1.4.5.2.1. Cargas vivas. Las cargas vivas son aquellas cargas producidas por el uso y ocupación de la edificación y no deben incluir cargas ambientales tales como viento y sismo. (NSR, 2010)

- Las cargas vivas en las cubiertas son aquellas causadas por:
 - (a) Los materiales, equipos y trabajadores utilizados en el mantenimiento de la cubierta y
 - (b) Las causadas por objetos móviles, tales como materas u otros objetos decorativos, y por las personas que tengan acceso a ellas.

1.4.5.2.2. Carga muerta. La carga muerta cubre todas las cargas de elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura, los muros, pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras, equipos fijos y todas aquellas cargas que no son causadas por la ocupación y uso de la edificación. (NSR, 2010)

1.4.5.2.3. Carga de viento. El viento afecta de diferentes maneras las estructuras que encuentra a su paso. La velocidad del viento se encarga en general de producir una presión directa sobre la cara expuesta de la estructura la cual se traduce en un empuje medio. Este genera tanto presión como succión y actúa directamente sobre los elementos de fachada, los cuales trasladan los empujes hasta los elementos estructurales principales. También se



generan empujes dinámicos en la dirección del viento que consisten en fuerzas paralelas al flujo causadas por la turbulencia del viento y cuya fluctuación en el tiempo influye de manera importante en la respuesta estructural. Es decir, que en una estructura pueden actuar ráfagas de viento en forma alternada con diferentes duraciones provocando cargas dinámicas.

La fuerza que ejerce el viento sobre la estructura depende de la presión, de la proyección del área perpendicular a la dirección del viento y del factor de forma de la estructura. A su vez, la presión del viento depende de la velocidad máxima del mismo, de la altura sobre el nivel del terreno y de la densidad del aire que es función de la altura sobre el nivel del mar. (ERN, 2011)

1.4.6. SAP2000

El SAP2000 es un programa de elementos finitos, con interfaz gráfico 3D orientado a objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento de lo más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras.

Conocido por la flexibilidad en el tipo de estructuras que permite analizar, por su poder de cálculo y por la fiabilidad de los resultados, SAP2000 es la herramienta de trabajo diaria para varios ingenieros. La versatilidad en modelar estructuras, permite su utilización en el dimensionamiento de puentes, edificios, estadios, presas, estructuras industriales, estructuras marítimas y todo tipo de infraestructura que necesite ser analizada y dimensionada.

Es posible generar automáticamente cargas de sismo, viento y vehículos, y posteriormente, hacer el dimensionamiento y comprobación automática de estructuras de hormigón armado, perfiles metálicos, de aluminio y conformados en frío, a través de las normativas europeas, americanas, canadienses, turcas, indias, chinas, y otras. (SAP2000, 2017)



2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el estado actual de los tipos de cubiertas de las casas de tipología colonial declaradas patrimonio histórico de la humanidad en Cartagena de indias, a través de estudios patológicos y la modelación del comportamiento estructural a la luz de la NSR-10, con el fin de generar recomendaciones que permitan optimizar la conservación y el mejoramiento de su patrimonio.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la patología de la madera presentes en las diferentes cubiertas, especificando los posibles patógenos que afectan al deterioro de las mismas.
- Describir de forma detallada el estado actual de las cubiertas, además de las variaciones que se han presentado de las mismas
- Analizar el comportamiento de las cubiertas de tipología colonial mediante un modelo estructural realizado en el software SAP 2000, teniendo en cuenta las cargas muertas, vivas y de viento.
- Definir si las características de los diferentes modelos de cubiertas cumplen con los requisitos establecidos en la NSR-10.
- Establecer alternativas de solución que contribuyan a la valoración y conservación y/o mejoramiento de las diferentes cubiertas de la casa colonial presentes en el patrimonio arquitectónico habitacional de la ciudad de Cartagena de Indias.



2.3. ALCANCE

2.3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

La investigación relacionada con el análisis estructural de las cubiertas de las casas de tipología colonial se ubica geográficamente a la ciudad Cartagena, capital del departamento de Bolívar, la cual se encuentra ubicada en la región Caribe colombiana. Dicha investigación se llevó a cabo en diferentes inmuebles existentes en los barrios de San Diego, Getsemaní y San Pedro que cuentan con una declaratoria de patrimonio histórico de la humanidad (ver Figura 6.); esta zona es conocida por los locales como centro histórico de dicha ciudad y se caracteriza por sus edificaciones civiles y militares que son parte indisoluble del origen y memoria cultural de Cartagena, dichas construcciones se caracterizan por ser resultado de una fina mezcla de la arquitectura española con la cultura que ahí se generó, el resultado de esto es lo que se conoce hoy como arquitectura colonial colombiana que está comprendida desde el año 1533 hasta mediados del siglo XIX.

Para este proyecto se tomó una muestra de dos edificaciones de tipo colonial seleccionadas en el centro histórico con la asesoría de ingenieros y arquitectos especializados en el tema, con características que permitan analizar de forma óptima las diferentes cubiertas de tipología colonial.



Figura 6. Ubicación de los barrios: San Pedro, San Diego y Getsemaní. **Fuente:** (Angulo, 2012)

Este trabajo tuvo como objeto la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo, conformado por el Templo y el Claustro, está ubicado en el barrio de San Diego, Centro amurallado de Cartagena de Indias, en la esquina que forma la Calle Sargento Mayor y calle del Curato, frente al parque Fernández Madrid.



Figura 7. Ubicación Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo en el barrio San Diego. **Fuente:** (Google Maps, 2017)



Asimismo, la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) ubicada en el barrio de San Diego, Centro amurallado de Cartagena de Indias, en la esquina que forma la calle del Jardín y la calle de la Serrezuela, Calle 39, Cra. 10 #39-02.



Figura 8. Ubicación Corporación Unificada Nacional de Educación Superior en el barrio San Diego. **Fuente:** (Google Maps, 2017)

2.3.2. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

En el estudio se hizo énfasis en los diferentes tipos de cubiertas de tipología colonial que se encuentran en la ciudad de Cartagena de Indias, aplicando variables de tiempo (origen histórico) y lugar, así como aspectos geométricos, dimensiones, componentes, características y comportamiento estructural. Esto involucro el análisis de cargas muertas, vivas y de viento,, asimismo la patología y lesiones de las diferentes cubiertas presentes en dicha región.

2.3.3. PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS

La investigación servirá de base para futuras investigaciones, debido a que dichos estudios deben ser monitoreados constantemente, ya que el patrimonio histórico de la ciudad de Cartagena puede perder su verdadera esencia por el deterioro en los diferentes elementos y materiales tradicionales presentes en inmuebles patrimoniales existentes, por consiguiente



la conservación de este es una responsabilidad que debe ser asumida por sus habitantes, por lo tanto se los debe estudiar y proteger, de tal manera que se conserve la autenticidad y originalidad de la arquitectura colonial.

2.3.4. EXCEPCIONES Y/O LIMITACIONES

El análisis del proyecto investigativo se limitó a estudiar las cubiertas de tipología colonial cuya construcción está comprendida desde el año 1533 hasta mediados del siglo XIX, si las cubiertas construidas durante este lapso se sometieron a rehabilitaciones de algún tipo perdiendo las cualidades y características de la arquitectura colonial no podrá ser incluida en el estudio. El análisis de la información solo mostro un grado general del comportamiento estructural y problemas patológicos que se presenten en las cubiertas de las edificaciones, por esta razón la modelación presentada solo estudio el comportamiento estructural, esto involucra el análisis de cargas muertas, vivas y de viento.



3. METODOLOGÍA

Este proyecto parte de una investigación de tipo descriptivo cualitativo, es definido así, ya que primero se inspecciono de forma visual las diferentes cubiertas de tipología colonial seleccionadas, de tal manera que se obtuvo información de las diferentes variables con las cuales se trabajó, posteriormente por medio de un análisis adecuado se pudo adquirir los datos de tipo cualitativo, que permitieron conocer las características esenciales de cada tipo de cubierta y así evaluar cada una de las estructuras de cubierta.

Para la realización adecuada y eficiente del proyecto se ejecutaron varias fases. A continuación, se describen las fases del proyecto.

3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

La información secundaria hace referencia a la información recolectada de trabajos de investigación nacional e internacional, relacionados con las casas de tipología colonial y los materiales utilizados en la construcción de dichas edificaciones, la información obtenida de estas investigaciones permitió tener una visión más amplia de la problemática trabajada.

Las investigaciones utilizadas principalmente se encuentran en las bases de datos bibliográficas de la Universidad de Cartagena, donde se encontró el estudio realizado por (Matute & Ayola, 2013), en el que se obtuvieron las propiedades físicas y mecánicas de algunas de las especies de maderas, en la investigación de (Matute & Ayola, 2013), se hace referencia en repetidas ocasiones al “Manual del Grupo Andino”, lo cual condujo a una breve inspección de los temas manejados en el mencionado libro. En el manual, se encontró al final, un apéndice con las propiedades mecánicas de las especies de madera de América del Sur (Keenan & Tejada, 1987). Además, se consultó el estudio realizado por (Bonfante & Bustos, 2014), en el cual se caracterizaron y clasificaron las especies de maderas más usadas en la construcción como elementos permanentes en la ciudad de Cartagena (Abarco, Carreto, Guayacán trébol, Guayacán polvillo, Nazareno y puy).



3.1.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

En esta fase se analizó la información obtenida en las investigaciones anteriores, la cual fue útil para obtener información sobre los problemas, conclusiones y soluciones, así como los daños, problemas patológicos y los materiales presentes en las casas de tipología colonial en los barrios de Getsemaní, San Diego y San Pedro.

Finalmente, de la información recopilada anteriormente se observaron recomendaciones de uso y algunas propiedades físicas y mecánicas de las especies de madera, dando lugar a la conclusión de que no se necesitarían realizar ensayos de laboratorio para la determinación de las mencionadas propiedades, ya que las fuentes citadas anteriormente, en conjunto con la Norma Sismo-Resistente colombiana vigente (NSR-10), resultaron ser confiables para tomarlas como apoyo para caracterizar y clasificar las maderas presentes en cada cubierta estudiada.

3.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA

En esta fase del proyecto se recolecto la información de primera mano, para establecer los lugares de estudio, fue de suma importancia localizar las edificaciones de tipología colonial, que tuvieran presente al menos de una de las siguientes cubiertas: Par e Hilera, Par y Nudillo y Plana en Terraza, esto se desarrolló con ayuda de arquitectos que tienen conocimiento y/o están relacionados directamente con la restauración de las casas de tipología colonial.

En primera instancia se visitaron las casas de tipología colonial ubicadas en el barrio San Diego, en especial la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo y la Corporación Unificada de Educación Superior (CUN), donde en las primeras visitas se documentaron las características de cada tipo de cubierta, así como los problemas patológicos presentes en cada una de las estructuras; por otra parte y apoyándose en cintas métricas, se obtuvo información sobre las diferentes dimensiones y aspectos geométricos de las piezas que hacen parte de la estructura de la cubierta.



Posteriormente, se reconocieron las especies de madera presente en cada una de cubiertas, para esto se tuvo en cuenta los estudios realizados anteriormente, los cuales dejan en claro la clasificación de las maderas que fueron usadas en Cartagena de indias durante la época colonial, esta información permitió tener un conocimiento de los esfuerzos admisibles a flexión, tensión, compresión, cortante y módulo de elasticidad longitudinal (unidades de megapascal - MPa)

3.2.1. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PRIMARIA

3.2.1.1. Detallar el estado actual e identificar problemas patológicos

Apoyándose en la información documentada en las fotografías tomadas y en las inspecciones visuales realizadas en las visitas a las casas coloniales, se detallaron las variaciones que sufrieron las cubiertas; además se analizó si la restauración que se realizó en la Iglesia Santo Toribio de Mogrovejo cumple con las características de construcción de las cubiertas de la época colonial. De igual manera, se reconocieron los diferentes problemas patológicos que sufren actualmente las cubiertas estudiadas y las posibles causas de estas.

El análisis de esta información permitió tener conocimiento sobre las partes de las cubiertas que deben ser reemplazadas o tratadas, para frenar el deterioro generado por los diferentes agentes agresivos y el tiempo.

Los resultados arrojados por el estudio fueron plasmados en un formato descriptivo, que incluye localización general y específica, registro fotográfico y una ficha de valoración visual.

3.2.1.2. Modelación en SAP2000

Teniendo en cuenta los valores de variables como el módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, resistencia al corte, resistencia a la tracción y las dimensiones de los componentes estructurales, se realizó un modelo en tres dimensiones (3D) de cada una de las cubiertas en el software SAP2000. El modelo obtenido se sometió a cargas muertas, vivas, y de viento.

Componente	U (cm)		
	Par y Nudillo	Par e Hilera	Plana en Terraza
Pares	12x14	9.0x14	-
Nudillos	12x14	-	-
Tensores	26x26	26x26	-
Vigas	-	-	17x17
Entablado	-	-	22x2.5

Tabla 1. Dimensiones de los componentes estructurales presentes en cada cubierta. **Fuente:** (Autores)

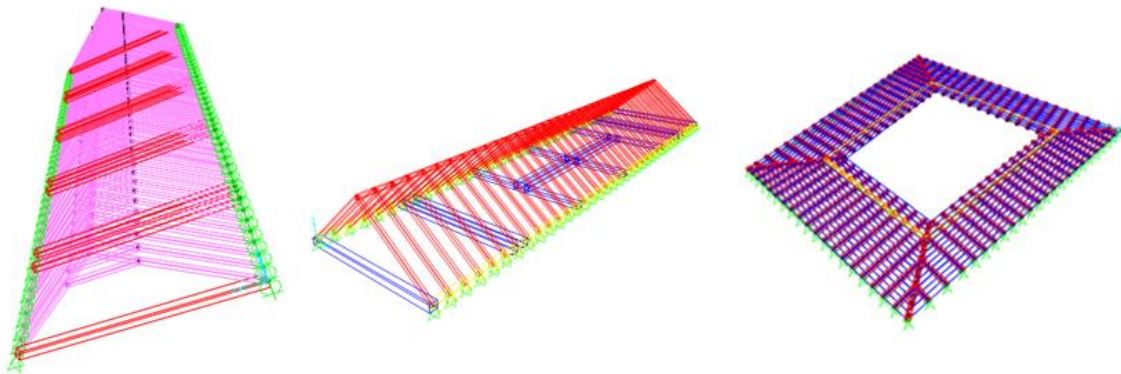


Figura 9. Construcción de los modelos de las diferentes cubiertas de tipología colonial – SAP 2000. **Fuente:** Autores (De izquierda a derecha, cubierta Par y Nudillo, cubierta Par e Hilera y cubierta Plana en Terraza).

Luego se asignaron las propiedades de los diferentes materiales que componen la estructura, tales como densidad y módulo de elasticidad, de acuerdo a los estudios realizados mencionado anteriormente.



Especie de Madera	Densidad (Ton/m ³)	Módulo de Elasticidad (Ton/m ²)
Ceiba	0.52	1.070.000
Abarco	0.55	1.321.000

Tabla 2. Propiedades de los materiales. **Fuente:** (Bonfante & Bustos, 2014), (Keenan & Tejada, 1987)

3.2.1.2.1. Asignación de cargas al modelo

Para el cálculo de las cargas mencionadas presentes en cada una de las cubiertas de tipo Par y Nudillo, Par e Hilera y Planas en Terraza, localizadas en la ciudad de Cartagena de Indias, exactamente en la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo y la Corporación Unificada de Educación Superior (CUN) en el barrio de San Diego, se tomó como referencia la Normatividad Colombiana - Normas Sismo Resistente (NSR-10)

- N.S.R. TÍTULO B “CARGAS”
- N.S.R. TÍTULO G “ESTRUCTURAS DE MADERA Y ESTRUCTURAS DE GUADUA”

Se entiende que todos los Reglamentos y Normas están en vigencia y/o son de la última edición.

- COMBINACIONES DE CARGAS USADAS PARA EL METODO DE ESFUERZOS ADMISIBLES

Combinaciones básicas: el diseño de las estructuras de cubiertas y sus componentes se realizó usando las combinaciones de carga estipuladas por la Norma Sismo Resistente (NSR-10), para el caso del presente estudio relacionado con las cubiertas, se utilizaron las siguientes:

- D + F
- D + H + F + L + T
- D + H + F + (Lr o G o Le)
- D + H + F + 0,75(L + T) + 0,75(Lr o G o Le)
- D + H + F + W
- D + H + F + 0.7E
- D + H + F + 0,75W + 0,75L + 0,75(Lr o G o Le)



$$D + H + F + 0,75(0,7E) + 0,75L + 0,75(Lr \text{ o } G \text{ o } Le)$$
$$0.6D + W + H$$
$$0.6D + 0.7E + H$$

Donde,

D: Carga muerta.

E: Fuerzas sísmicas reducidas de diseño

L: Carga vivas debidos al uso y ocupación de la edificación

Lr: Cargas vivas sobre la cubierta

Le: Carga de empozamiento de agua

W: Carga de viento

H: Cargas debidas al empuje lateral del suelo

G: Carga debida al granizo

T: Fuerza y efectos causados por variación de temperatura

Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones para el caso del presente estudio:

$$E=0$$

$$Le=0$$

$$H=0$$

$$G=0$$

$$T=0$$

Con esta información y remplazándola en las combinaciones de cargas básicas mencionadas anteriormente se tendría que las combinaciones de cargas a usar serian:

$$D$$

$$D + Lr$$

$$D + 0,75Lr$$

$$D + W$$

$$D + 0,75W + 0,75Lr$$

$$0.6D + W$$

$$0.6D$$

Por medio de este análisis, se pudo observar cuales elementos de las estructuras de cubiertas son los más afectadas por los diferentes tipos de cargas.



DATOS GENERALES	
TIPO DE CUBIERTA:	
LOCALIZACIÓN:	
ÁNGULO θ EN GRADOS	
SISTEMA:	SPRFV
TIPO DE CERRAMIENTO:	Edificios Parcialmente Cerrados
TIPO DE ESTRUCTURA:	Edificios Bajos ($h \leq 18$ m) o de Cualquier Altura
ECUACIÓN:	$P = qh * (GC_p - GC_{pi})$ (N/m ²) (B.6.5-16)

Tabla 3. Datos generales para determinar la presión por velocidad en las diferentes cubiertas coloniales. **Fuente:** (NSR, 2010)

	REF. en la NSR-10
V	Figura B.6.4-1
K_d	Tabla B.6.5-4
I (Grupo II)	Tabla B.6.5-1
K_h (h: 13.45 m)	Tabla B.6.5-3
K_{zt}	Sección B.6.5.7.2
G	Sección B.6.5.8
GC_{pi} & GC_{pf}	Figura B.6.5-2-7

Tabla 4. Factores para determinar la Fuerza de Viento de diseño **Fuente:** (NSR, 2010)

3.3. Cumplimiento de la NSR-10

Las características de la madera y de los componentes de las cubiertas, como también las dimensiones y las luces fueron comparadas con las establecidas como admisibles en la NSR-10. Tomado como referencia el título G (Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua), el cual se usó para revisar el diseño de los diferentes elementos y miembros de las cubiertas de tipología colonial a deflexión, flexión, cortante y carga axial, para esto se compararon los esfuerzos admisibles con los esfuerzos reales actuantes en cada miembro.



3.4. Establecer alternativas y recomendaciones

Interpretando los resultados arrojados por la modelación y contemplando las características que estipula la NSR-10, se redactaron conclusiones y recomendaciones, estas serán de importancia para la conservación y mejoramiento del patrimonio histórico de Cartagena.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este estudio realizó un diagnóstico del estado actual de las cubiertas de tipología colonial en Cartagena de Indias, así como las variaciones que han presentado, las cubiertas tratadas se encuentran presentes en la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo y La Corporación Unificada Nacional de Educación Superior.

Inicialmente se realizó una inspección preliminar del templo, se hizo un registro fotográfico detallado de las patologías encontradas y se hizo un reporte detallado de la observación. Posteriormente, se caracterizó y clasificó la especie de madera utilizada en la construcción, para poder llevar a cabo su modelamiento estructural.

4.1. IGLESIA DE SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

La iglesia Santo Toribio de Mogrovejo es una edificación que data del siglo XVIII, fue la última iglesia en levantarse durante la época colonial. La construcción de esta iglesia se inició en 1666, bajo el nombre de Santo Tomás de Villanueva. Sin embargo quedó paralizada en la fase de los cimientos, hasta que don Gregorio de Molledo y Clarque, en el año de 1730, descubrió los vestigios de la misma, y considerando la necesidad del templo, reanudó la obra sobre parte de los viejos basamentos. La construcción del templo culminó en el año de 1732 y su consagración a Santo Toribio de Mogrovejo fue el 7 de octubre de 1736.

4.1.1. Tipo de cubierta (Par y Nudillo)

En la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo se destaca el Templo, el cual posee una estructura de cubierta en Par y Nudillo, cuyos elementos son todos en su totalidad en madera; con lacería (*L*) en madera de complejo ensamble, dicha cubierta cuenta con una serie de pares (*C*) afianzados en un estribo (viga durmiente), ubicados sobre los muros, los pares al llegar a la parte superior son arriostrados por una pieza llamada nudillo (*N*) que tiene como función estructural servir de amarre, también soportan el plano superior horizontal que es llamado almizate o harneruelo (*E*), sobre toda esta estructura se coloca la argamasa y sobre esta las



tejas para dar como terminada la estructura de la cubierta. Sin embargo, la estructura de la cubierta se encuentra arriostrado con un tensor (A), el cual evita que los esfuerzos horizontales de los pares, producidos por el peso propio de la cubierta desestabilicen los muros (Figura 9.).

Por el aspecto físico, la época de la que data la edificación y la disponibilidad del material, se tratan de *ceibas*, cabe resaltar que la cubierta fue restaurada en el año 2015 utilizando el mismo material, debido a su fácil consecución, dimensiones, dureza y resistencia.



Figura 10. Cubierta Par y Nudillo, Iglesia Santo Toribio de Mogrovejo. **Fuente:** Autores

Convenciones:

A: Tirante o tensor. B: Arrocabe. C: Pares. E. Almizate o harneruelo. L: Lazos (lacería). N: Nudillo.



4.1.1.1. Tejas

El material de las tejas es barro cocido, esta echa de una sola pieza con forma cilíndrica cortada de forma longitudinal, se usa como canal colocando la concavidad con la cara hacia arriba y como cobija con la concavidad hacía abajo para cubrir los espacios entre canales. Describe la misma pendiente de los pares (igualmente a dos aguas), y remata sobre los muros laterales con disminución de su inclinación.

4.1.1.2. Pares

Soportan un entablado, el revoque y el tejado de la iglesia. Se empalman en un extremo con los durmientes sobre los muros y en su otro extremo con la viga cumbreira o hilera. De igual forma, poseen un punto de empalme en el primer tercio medio medido de arriba abajo, dónde se cargan los nudillos. El entablado sobre los pares se encuentra desde los espejos, en la base de estos sobre los muros, hasta el empalme con los nudillos.

4.1.1.3. Nudillos

Se encontraron elementos en madera con decoraciones longitudinales menores, soportados en el primer tercio de los pares. El entablado continúa desde el empalme con un par hacia el otro par, y de esta forma regresando hacia la base de éste último. De esta manera, se logra conformar el artesonado de la Iglesia.



4.1.2. Lacería en tirantes en la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo



Figura 11. Parte central de uno de los tirantes dobles de la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo. **Fuente:** Autores

En la Figura 10 se ve parte de un tirante doble, donde se encuentran varias figuras sencillas pero muy bien logradas. Como es frecuente, la figura de la mitad parte de una estrella de ocho puntas con una mitra de obispo en la mitad del seno. A lado y lado surgen figuras que conforman también estrellas de ocho pero esta vez partiendo de un pequeño seno cuadrado lo que determina una estrella que recoge sus puntas de dos en dos.

Cabe mencionar que aunque los lazos en los tirantes no son apeinazados, como suele suceder en la lacería de los pares; en esta ocasión las tablillas que lo conforman están embebidas en escopladuras practicadas en la parte inferior de los tirantes o en sus peinazos.

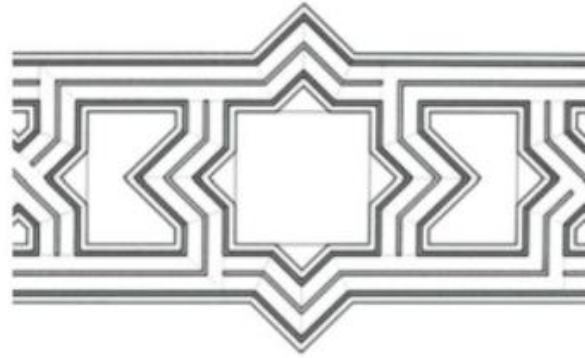


Figura 12. Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo, estrella de ocho puntas central, se diseñó a partir de dos cuadrados girados, uno 45° respecto del otro para conformar el sino. **Fuente:** (Angulo, 2012)

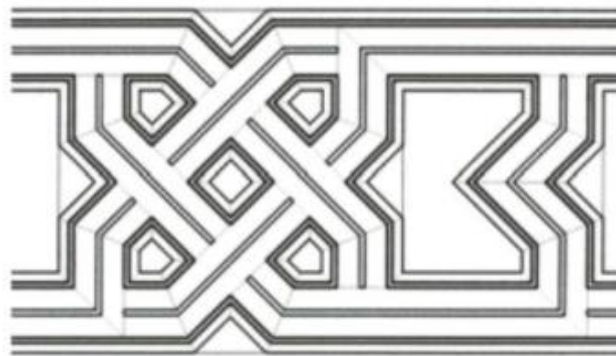


Figura 13. Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo, labor de lazo en una de las figuras laterales de un tirante en la iglesia de Santo Toribio. **Fuente:** (Angulo, 2012)

Si se observa con cuidado en los taujeles que conforman tal figura podemos observar una estrella de ocho puntas alargadas.



4.2. CORPORACIÓN UNIFICADA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR (CUN)

4.2.1. Tipo de cubierta

En la edificación donde actualmente se ubica la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) se destacan dos tipos de cubiertas, la cubierta par e hilera y la plana en terraza.

4.2.1.1. Cubierta Par e Hilera

La cubierta par e hilera se encuentra en la parte exterior de la edificación cubriendo los salones principales de esta misma, la cubierta a lo largo de la edificación es de dos aguas y su estructura está conformada por una serie de pares que van apoyados en su parte inferior en los estribos o viga durmiente y en su parte superior se apoyan en una viga cumbrera o hilera; encima de los pares se encuentran apoyadas unas tablas sobre las cuales se sujetan las tejas por medio de una capa de argamasa.

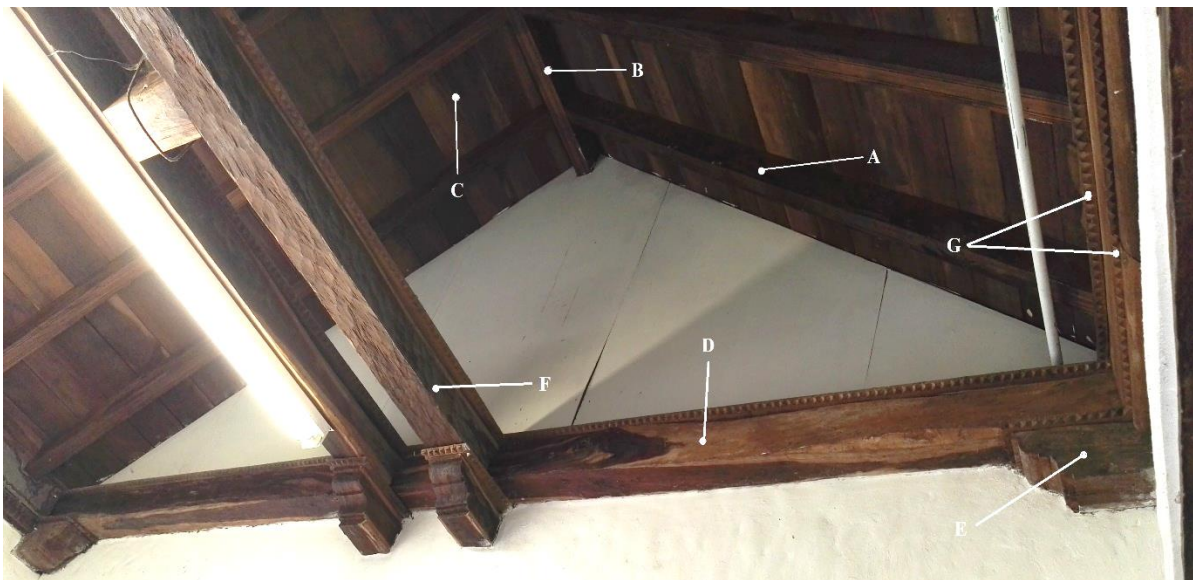


Figura 14. Cubierta en Par e Hilera, Corporación Universitaria Nacional de Educación Superior (CUN). **Fuente:** Autores



Convenciones:

A: Pares. B: Hilera. C: Entablado. D: Tensor. E: Ménsula o can. F: Tensor.

En la Figura 14 se ve un acercamiento de la cubierta par e hilera de la Corporación Universitaria Nacional de Educación Superior (CUN) donde se pueden apreciar los diferentes componentes que conforman la estructura de la cubierta.

4.2.1.2. Cubierta Plana en Terraza

La cubierta plana en terraza se encuentra en la parte interior de la edificación cubriendo los pasillos y parte del patio de esta misma, la estructura de la cubierta permite que se forme una terraza o balcón en la parte interior de la casa. La cubierta está compuesta por vigas que en un extremo están empotradas en los muros y en el extremo opuesto se apoya en vigas ortogonales que a su vez están apoyadas en columnas, sobre estas vigas van apoyadas una serie de tablas que soportan los ladrillos que se colocan sobre ellas, por último sobre los ladrillos va una capa de argamasa que tiene como función disminuir las filtraciones. En el caso preciso de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) se encontró que sobre la capa de argamasa se colocaron baldosas de cerámica.



Figura 15. Cubierta Plana en Terraza, Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN). **Fuente:** Autores



Convenciones:

A: Vigas. B: Entablado. C: Viga ortogonal. D: Columna.

En la Figura 15 se ve un acercamiento de la cubierta plana en terraza de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) donde se pueden apreciar los diferentes componentes que conforman la estructura, también se puede apreciar cómo van empotrada las vigas (A) en los muros y como están apoyadas sobre las vigas ortogonales (C).

4.3. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE PATOLOGÍAS

El análisis de esta sección del estudio se enfoca en los problemas patológicos presentados en la estructura de cubierta y su ubicación dentro de la edificación.

El origen de las lesiones hay que buscarlo en tres familias de causas:

- Las deformaciones mecánicas de sus componentes
- Problemas funcionales debido a las humedades
- Ataque de hongos o xilófagos al material

Se presentan recuentos fotográficos de las patologías, análisis estadísticos de los datos recolectados, descripción detallada de lo observado durante la evaluación patológica, etc.

4.3.1. IGLESIA DE SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

4.3.1.1. Análisis patológico

La cubierta tipo Par Nudillo se encuentra en perfecto estado, debido a la intervención que se realizó recientemente para su conservación (año 2015). La intervención consistió en el desmonte total y restauración de la cubierta.

Cabe resaltar que en 2013, una construcción vecina desestabilizó la cimentación, fracturó columnas y hundió pisos, obligando a intervenir la Iglesia y Claustro de Santo Toribio de Mogrovejo desde sus bases siguiendo los lineamientos arquitectónicos, volumetría y acabados que la caracterizaban.



De acuerdo al estudio relacionado con la “*Evaluación y Diagnostico Patológico de la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo de Cartagena de Indias*”, se obtuvo:

El estado externo de la cubierta presentó patologías por humedades e infiltraciones. Las tejas de barro, por su porosidad y alta exposición a la humedad, no estaban exentas de sufrir problemas de goteras y fisuración. En general, todo el tejado mostró una constante saturación incluso en horas de sol, proceso que desarrolló la formación de verdín en el revoque. Este proceso llevó al daño en la plantilla de nivelación de las tejas, eliminando cualquier manto o capa impermeabilizante y creando goteras en el interior de la iglesia, razón por la que todos los elementos en madera de la cubierta interior se encontraban gravemente afectados por temas de humedad. (Bustamante & Castillo, 2013)

4.3.1.1.1. Fallas Físicas

2013	2017
Las lesiones físicas se dieron comúnmente por humedades en los contactos con las maderas, estos puntos de intersección presentaron problemas por infiltraciones de agua y de agentes biológicos.	Una pequeña parte del muro que sostiene la estructura de cubierta presenta síntomas de humedad de filtración, logrando tener contacto con la cabeza del tirante (ménsula), la aparición de esta provoca puede provocar patologías como descomposición o disgregación de la madera.



4.3.1.1.2. Fallas Mecánicas

2013	2017
<p>La estructura de cubierta presentó deformaciones o rotura de elementos portantes, como consecuencia de la pudrición de las cabezas del tirante en par, ocasionando una pérdida de conexión entre tirante y solera (viga durmiente).</p> <p>En los primeros dos tercios, desde el durmiente hasta el nudillo, se observaron maderas levemente afectadas con constantes cambios de color y desprendimientos. Sin embargo, del nudillo hacia la cumbrera, se encontraron elementos totalmente dañados, afectados por comején, humedad y pérdidas de sección. Las condiciones del espacio entre el entablado sobre el nudillo y los pares eran tan precarias que todos los elementos presentaban desprendimientos considerables que comprometieron la estabilidad de la estructura de cubierta. (Bustamante & Castillo, 2013)</p> <p>Otras causas que llevaron a las deformaciones en cumbreras, pares y tirantes pueden ser: por un exceso de temperatura, o simplemente una deformación remanente por el peso propio o reparaciones con sobrecargas no previstas y la fatiga propia de la madera, por el paso del tiempo, que suele ser la causa más habitual.</p>	<p>Las cabezas (ménsula) de un tirante presentan rajaduras, las cuales a través del tiempo están expuestas a insectos xilófagos, por tanto, si dichas cabezas del tirante se pudren, estas dejarán de ejercer su función pudiendo producirse un desplazamiento de los durmientes hacia el exterior o un desplazamiento de los pares que descienden y empujan el muro.</p> <p>Una pequeña grieta vertical, en el muro de fachada, que arranca de la parte superior, lo cual puede indicar que la unión de un par y un tirante de una cercha se ha roto y el par, al no tener una pieza que impida su movimiento, se desliza hacia abajo empujando el muro de cerramiento y produciendo sobre él, la grieta vertical.</p>



4.3.1.1.3. Fallas Biológicas

2013	2017
<p>La estructura de cubierta presento suficientes síntomas que acusan la acción de agentes bilógicos sobre los componentes principales como la cumbrera, pares, nudillos, tensores y cabezas de los tensores.</p> <p>Las tejas españolas mostraron suciedades, producidas especialmente por la acumulación de partículas y sustancias relacionadas con el clima o el aire atmosférico que se adhirieron al tejado, produciendo manchas oscuras.</p> <p>La madera estuvo sometida a ciertas condiciones de humedad y temperatura, por ende presento degradación debido al ataque de insectos xilófagos que a dichas condiciones ambientales invadieron sectores de la madera, afectando sus propiedad físicas y reduciendo severamente su resistencia estructural.</p> <p>Los tensores y vigas durmientes presentaron una pudrición blanca causada por hongos que se alimentaron de la lignina, dejando la celulosa de color blanco, en este caso la madera se rompe en fibras y su resistencia disminuye considerablemente.</p> <p>La viga cumbrera se vio afectada por pérdidas considerables de sección, llevándola a la rotura como consecuencia de ataques de xilófagos o probablemente por hongos debidos a la humedad,</p> <p>Los tipos de xilófagos más habituales que se encontraron en las cubiertas fueron:</p>	<p>La humedad de filtración presente en el muro que sostiene la estructura de cubierta muestra contacto con la cabeza del tirante (ménsula), la presencia de esta facilita la aparición de hongos que no necesitan excesiva humedad para desarrollarse. Esta presencia de hongos favorece a la aparición de insectos xilófagos y a la pérdida de las propiedades mecánicas y físicas de la madera, lo que a través del tiempo ocasiona su pudrición y ruptura.</p>



<p>“Isópteros” que llegan a la cubierta a través de otras piezas ya atacadas del edificio, normalmente a través de la estructura de madera.</p>	
---	--

4.3.2. CORPORACIÓN UNIFICADA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR (CUN)

4.3.2.1. Análisis patológico

Para el análisis patológico de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) se examinaron los dos tipos de cubiertas presentes en esta edificación, por un lado, la cubierta par e hilera y por el otro la cubierta plano en terraza.

4.3.2.1.1. Fallas Físicas

Par e Hilera	Plana en Terraza
<p>Las fallas físicas presentes en esta cubierta son muy pocas, las encontradas son por filtración en zonas localizadas, debido a que algunas tejas se encuentran rotas.</p>	<p>En esta cubierta se presentan muchas filtraciones de agua en diferentes puntos a lo largo de esta, el deterioro de la madera se encuentra avanzado a tal punto que es evidente de forma visual el cambio físico en la madera.</p>



4.3.2.1.2. Fallas Mecánicas

Par e Hilera	Plana en Terraza
<p>Las cabezas o ménsulas de algunos tirantes presentan rajaduras de un grosor considerable, las cuales a través del tiempo pueden generar fallas mecánicas de mayor magnitud.</p>	<p>Gracias a las grandes dimensiones de las secciones de madera solo se presentan pequeñas grietas que no ponen en riesgo la estructura.</p> <p>Por otra parte, por el deterioro y comienzo de pudrición en algunas zonas gracias a la humedad, se podría esperar que si no son tratados a tiempo se presenten fallas mecánicas de la madera en un futuro.</p>

4.3.2.1.3. Fallas Biológicas

Par e Hilera	Plana en Terraza
<p>En la parte interior de la edificación y en los faldones exteriores de la cubierta se encontraron rastros de la presencia de xilófagos, los tipos de xilófagos que se encontraron son:</p> <p>“Termitas o Comejenes” son los ataques de estos insectos los que pueden causar mayores daños a la estructura de madera.</p> <p>Las tejas españolas muestran suciedad producida por la vegetación cercana, también presentan el evidente crecimiento de moho que se adhirió al tejado, produciendo manchas oscuras.</p>	<p>La humedad generada por la filtración de agua en la cubierta permitió la aparición de hongos que no necesitan excesiva humedad para desarrollarse.</p> <p>En algunas zonas las vigas y el entablado presentan una pudrición blanca causada por hongos que se alimentaron de la lignina, dejando la celulosa de color blanco, en este caso la madera se rompe en fibras.</p> <p>A lo largo de la cubierta también se encontró presencia de “Termitas o Comejenes” que en algunas zonas se evidencia el deterioro avanzado de la madera.</p>



4.4. CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE DE MADERA

Una vez identificada la especie de madera, Ceiba usada en la restauración de la Iglesia Santo Toribio de Mogrovejo y Abarco en la CUN, se procede a identificar las características y propiedades de la madera usada en la iglesia como elemento estructural permanente.

A continuación, se muestra la información recopilada tomando como referencia el estudio relacionado con la “*Caracterización, clasificación y patología de las especies de maderas más usadas en la construcción como elementos estructurales permanentes en la ciudad de Cartagena*”. (Bonfante & Bustos, 2014)

Abreviaturas

ELP: Esfuerzo al límite proporcional.

ER: Esfuerzo de ruptura.

MOE: Módulo de elasticidad.

MOR: Módulo de ruptura.

PARAL.: Paralela

PERP.: Perpendicular

4.4.1. IGLESIA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

4.4.1.1. Ceiba

(Densidad Básica 0.52 g/cm³)

Nombre científico: Ceiba Pentandra (L.) Gaertn.

Sinonimia: Bombax pentandrum L., Ceiba caribaea (DC.), Eriodendron anfractuosum DC.

Familia: Malvaceae

Otros nombres comunes: Ceibo, Bonga, Palo Borracho, Cedro Espino, Ceiba Colorada, Pochote, Painera, Lupuna, Mapajo, Kapok.



Distribución geográfica: Es originario de zonas tropicales. Se distribuye en todos los trópicos del mundo, desde el sur de México hasta Venezuela, Brasil, Colombia y Ecuador, así como en regiones tropicales de África Occidental y Asia. Se encuentra en zonas desde 0 a 1600 msnm

Características sobresalientes del árbol: Árbol de gran tamaño (uno de los más grandes en América tropical) que puede alcanzar una altura de 30 a 50 m (hasta 70 m para un óptimo crecimiento), con un diámetro a la altura del pecho de hasta 3 m; el tronco es cilíndrico, grueso y recto, algunos con contrafuertes grandes y bien desarrollados, su corteza externa es roja con numerosas espinas cónicas fuertes, en la base del mismo tronco, mientras que la interna es blanca amarillenta. A menudo presenta en el tronco un ensanchamiento en forma de barriga; la copa es redondeada con pocas ramas pero muy gruesas, robustas y torcidas. Hojas alternas, compuestas, digitadas y caducifolias. Flores cremosas, blancuzcas, en fascículos de 4- 8; cáliz de 10-18 cm de largo. Fruto en cápsulas oblongas de 10 a 20 cm de largo y de 3 a 6 cm de diámetro, parduscas pálidas, abriendo en 5 valvas que contiene semillas de color negro envueltas en una lana de color blanco.

Características externas de la madera: Corteza externa, lisa a ligeramente fisurada en ocasiones de color gris verdosa cubierta de espinas cónicas sobre todo en los individuos jóvenes, las cuales pierde al madurar o sólo los conserva en la parte superior de las ramas. La corteza interna es de color crema con amarillo, granulosa con presencia de abundantes fibras.

Secado: Seca moderadamente al aire libre, sin embargo toma tiempo, presentando defectos de alabeo a lo largo de cualquiera de las dimensiones mayores y longitud de rajaduras en los extremos financieros. Presenta un programa fuerte de secado en horno con un tiempo de secado de 86 horas, presentando defectos principales como torcedura y abarquillado.

Preservación: En cuanto a su preservación con inmunizantes no es una tarea fácil, con la técnica de inmersión la albura presenta buenos resultados, mientras que el duramen su penetración es casi nula.



Trabajabilidad: Fácil de trabajar, tanto manualmente como con maquinaria, es de fácil aserrado y presenta un buen acabado. Por otro lado, no es recomendable utilizar clavos sobre su madera, pues tiende a astillarse.

Durabilidad natural: es considerada entre moderada a alta, la albura no es resistente a los hongos, mientras que su duramen si resistente a los hongos y la pudrición.

Usos actuales: La Ceiba es plantada en zonas rurales para ser utilizada como cerca viva, sombra para ganado, como barrera rompevientos y para proteger cultivos gracias a sus copas densas y extendidas. Su madera es muy usada en cajonería, apreciada en la construcción de puertas, ventanas y muebles finos, además es muy común encontrarla en elementos como dinteles, cubiertas y portones coloniales.

Además es usada para fabricar canoas, balsas, salvavidas, aeromodelos, flotadores, cajas de empaque, acabados de interiores, lápices, chapas, boyas, madera rústica, fósforos, artículos torneados, instrumentos musicales y juguetes. (Mari, 2015)

Valores medios para las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

PROPIEDADES FÍSICAS		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	VERDE	83
	SECADO AL AIRE	12
DENSIDAD (g/cm ³)	VERDE	0,95
	SECADO AL AIRE	0,63
	SECADO AL HORNO	0,60
	BÁSICA	0,52
CONTRACCIÓN NORMAL (%)	RADIAL	2,3
	TANGENCIAL	4,7
	VOLUMÉTRICA	6,9
CONTRACCIÓN TOTAL (%)	RADIAL	4,5
	TANGENCIAL	8,2
	VOLUMÉTRICA	12,4
T/R	TANGENCIAL/RADIAL	1, 8

Tabla 5. Propiedades Físicas - Ceiba. **Fuente:** (Keenan & Tejada, 1987)



PROPIEDADES MECÁNICAS					
CONDICIÓN CH (%)	FLEXIÓN ESTÁTICA (kg/cm ²)			COMPRESIÓN (kg/cm ²)	
	ELP	MOR	MOE * 10 ³	PARAL.	PERP.
				ER	ELP
VERDE + 30 %	402	570	85	291	54
SECO AL AIRE 12%	500	798	107	435	73

CONDICIÓN CH (%)	CIZALLAMIENTO (kg/cm ²)		DUREZA (kg)		TENACIDAD (kg-m)	
	RADIAL	TANGENCIAL	LADOS	EXTREMOS	RADIAL	TANGENCIAL
	ER	ER	-	-	-	-
VERDE + 30 %	62	73	362	371	1,46	181
SECO AL AIRE 12%	80	87	396	658	1,69	1,88

Tabla 6. Propiedades Mecánicas - Ceiba. **Fuente:** (Keenan & Tejada, 1987)

4.4.2. CORPORACIÓN UNIFICADA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR (CUN)

4.4.2.1. Abarco

(Densidad Básica 0.55 g/cm³)

Nombre científico: *Cariniana pyriformis* Miers

Sinónimo: *Cariniana legalis* (Mart). Kunz

Familia: Lecythidaceae.

Otros nombres comunes: Albarco, Caobano, Chibuya, Caoba Falsa, Cobano, Coco Abarco, CocoHuasco, Jequitiva, Castanha de Macaco, Fono Tallador, Humajotina, Meringue Meniee, Nomana, Nomena, Papelillo, Poná, Tabarí. (Bonfante & Bustos, 2014)



Distribución geográfica: Se encuentra desde Casta Rica, Brasil, Venezuela, Perú, hasta Bolivia. En Colombia se halla en los valles de los ríos León y Amazonas, Costa Atlántica, Chocó, Costa del Pacífico, zona de Cúpica, Zona baja del Atrato, Magdalena Medio, en el bajo putumayo y la zona de Urabá. (Bonfante & Bustos, 2014)

Características sobresalientes del árbol: Árbol que puede alcanzar hasta 40 metros de altura y 2.0 m. de diámetro. Las raíces son profundas y con bambas pobres. Tronco recto a cónico. La corteza externa es de color marrón oscuro, bastante fisurada, la cual se desprende en tiras largas que se usan como cordages. La corteza interna es de color blanco cremoso de apariencia fibrosa. Hojas simples, alternas con borde aserrado. Flores blanco- amarillento dispuestas panículas terminales. El fruto es un pixidio leñoso, piriforme y deshiscente por opérculo apical. Crece en rodales casi puros, en suelos drenados de los bosques húmedo y muy húmedo tropical o asociado con las siguientes especies: ceiba amarilla (hura crepitans), caucho(Ficus sp),Guayabo (calycophyllum sp). (Bonfante & Bustos, 2014)

Características externas de la madera: La albura es de color marrón claro rosáceo con transición gradual a duramen de color marrón rosáceo claro hasta oscuro. A menudo con líneas oscuras que acentúan el veteado. Olor y sabor, ausentes o no distintivos. Grano de recto a entrecruzado. Textura de mediana a fina. Brillo mediano. Veteado acentuado. (Bonfante & Bustos, 2014)

Secado: Seca rápidamente al aire libre, alcanzando un contenido de humedad del 20%, en menos de 120 días y con poca tendencia a torceduras y rajaduras. Buen comportamiento al secado artificial con programa de secado severo. (Bonfante & Bustos, 2014)

Preservación: Es importante de inmunizar mediante los diferentes tratamientos conocidos.

Trabajabilidad: Fácil de trabajar, aunque el contenido de cristales de oxalato de calcio produce desgastes en los filos de la maquinaria y herramientas. Ofrece un buen acabado. En el cepillado y taladrado no se presentan defectos pero cuando estos defectos se dan, se consideran como leves; en el moldurado se manifiesta un ligera dificultad.



Durabilidad natural: Es muy alta. La madera es de resistente a muy resistente al ataque de hongos e insectos. (Bonfante & Bustos, 2014)

Usos actuales: Para durmientes de ferrocarril, cruceta para postes, postes para líneas aéreas, construcciones normales, chapas para triplex y decorativas, carretería, pisos de viviendas y vagones, muebles, carrocerías, fabricación de lápices, estructuras (armaduras, vigas, viguetas y columnas), puertas, ventanas, Zócalos, cielo raso, cajonería. (Bonfante & Bustos, 2014)

Las siguientes tablas muestran los valores medios para las propiedades físicas y mecánicas de la madera tomados del estudio de “*Caracterización, clasificación y patología de las especies de maderas más usadas en la construcción como elementos estructurales permanentes en la ciudad de Cartagena*”. (Bonfante & Bustos, 2014)

PROPIEDADES FÍSICAS		
DENSIDAD (g/cm³)	VERDE	0,96
	SECADO AL AIRE	0,71
	SECADO AL HORNO	0,64
	BÁSICA	0,55
CONTRACCIÓN NORMAL (%)	RADIAL	3,71
	TANGENCIAL	5,13
	VOLUMÉTRICA	8,3
T/R	TANGENCIAL/RADIAL	1,61
CONTRACCIÓN TOTAL (%)	RADIAL	5,35
	TANGENCIAL	7,83
	VOLUMÉTRICA	13,17
T/R	TANGENCIAL/RADIAL	1,46

Tabla 7. Propiedades Físicas - Abarco. **Fuente:** (Bonfante & Bustos, 2014)



PROPIEDADES MECÁNICAS					
CONDICIÓN CH (%)	FLEXIÓN ESTÁTICA (kg/cm ²)			COMPRESIÓN (kg/cm ²)	
				PARAL.	PERP.
	ELP	MOR	MOE * 10 ³	ELP	ELP
VERDE + 30 %	372,13	641,62	103,32	201,42	60,89
SECO AL AIRE 12%	575,42	1027,9	132,1	313,6	108,72

CONDICIÓN CH (%)	CIZALLAMIENTO (kg/cm ²)		DUREZA (kg)		TENACIDAD (kg-m)	
	RADIAL	TANGENCIAL	LADOS	EXTREMOS	RADIAL	TANGENCIAL
	ER	ER	-	-	-	-
VERDE + 30 %	82,16	89,33	387,67	340,95	1,3	1,45
SECO AL AIRE 12%	122,19	119,25	507,82	508,55	1,02	1,23

Tabla 8. Propiedades Mecánicas - Abarco. **Fuente:** (Bonfante & Bustos, 2014)

4.5. Memoria de Cálculo Estructural

4.5.1. Determinación de las cargas

4.5.2.1. Cargas Muertas y Viva

1. CUBIERTA PAR Y NUDILLO

Localización: Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo

Componente	Carga (Ton/m ²)	REF. en la NSR-10
Ménsulas	0,0046	
Entablado	0,0104	
Argamasa - Plantilla	0,2100	
Teja de arcilla	0,0800	Tabla B.3.4.1-4
Carga Muerta (D)	0,3050	
Carga Viva (Lr)	0,0350	Tabla B.4.2.1-2
Q	0,3400	

Tabla 9. Carga Total presente en la Cubierta Par y Nudillo. **Fuente:** Autores



2. CUBIERTA PAR E HILERA

Localización: Corporación Unificada de Educación Superior

Componente	Carga (Ton/m ²)	REF. en la NSR-10
Ménsulas	0,0129	
Entablado	0,0550	
Argamasa - Plantilla	0,2100	
Teja de arcilla	0,0800	Tabla B.3.4.1-4
Carga Muerta (D)	0,3579	
Carga Viva (Lr)	0,0350	Tabla B.4.2.1-2
Q	0,3929	

Tabla 10. Carga Total presente en la Cubierta Par e Hilera. **Fuente:** Autores

3. CUBIERTA PLANA EN TERRAZA

Localización: Corporación Unificada de Educación Superior

Componente	Carga (Ton/m ²)	REF. en la NSR-10
Pisos	0,1100	Tabla B.3.4.1-3
Argamasa pega (ladrillos)	0,0238	
Ladrillo	0,1680	
Argamasa	0,2100	
Entablado	0,0110	
Carga Muerta (D)	0,5228	
Carga Viva (Lr)	0,5000	Tabla B.4.2.1-1
Q	1,0228	

Tabla 11. Carga Total presente en la Cubierta Plana en Terraza. **Fuente:** Autores

4.5.2.2. Cálculo de Fuerzas de Viento

Procedimiento de Diseño Sistemas Principales de Resistencia de Fuerzas de Viento (SPRFV)

1. CUBIERTA PAR Y NUDILLO

- Presión por velocidad

$$q_z = 0.613 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 * I$$

$$q_h = 0.613 * K_h * K_{zt} * K_d * V^2 * I$$

K_d : Factor de dirección de viento

K_{zt} : Factor topográfico

V : Velocidad básica de viento (Región 5 – CARTAGENA)



K_z : Coeficiente de exposición de presión por velocidad evaluado a la altura z

K_h : Coeficiente de exposición de presión por velocidad evaluado en $z = h$

DATOS GENERALES	
TIPO DE CUBIERTA:	PAR Y NUDILLO
LOCALIZACIÓN:	IGLESIA DE SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ÁNGULO θ EN GRADOS	54
SISTEMA:	SPRFV
TIPO DE CERRAMIENTO:	Edificios Parcialmente Cerrados
TIPO DE ESTRUCTURA:	Edificios Rígidos de Cualquier Altura
ECUACIÓN:	$P = q * GC_p - q_i * GC_{pi}$ (N/m ²) (B.6.5-15)

Tabla 12. Datos Generales cubierta Par y Nudillo. **Fuente:** Autores

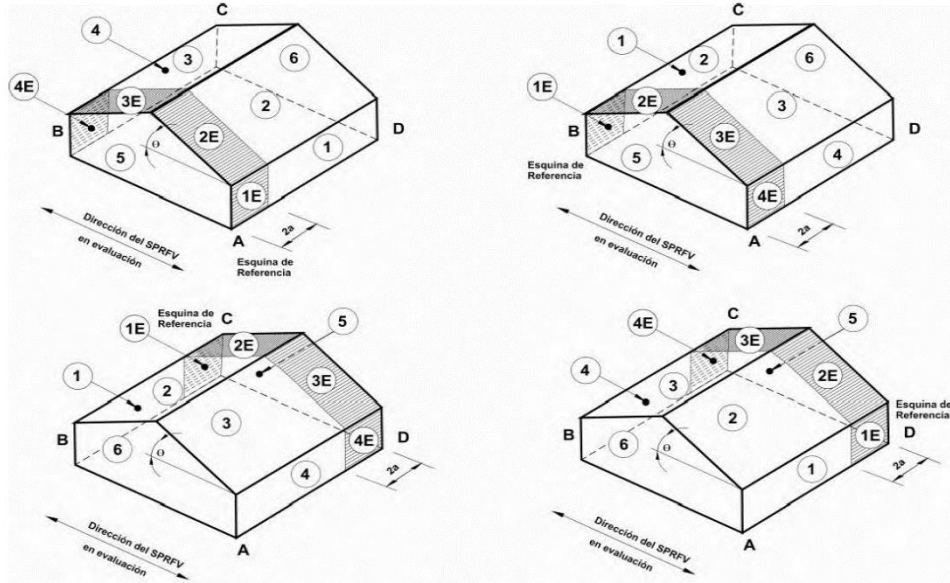
Donde,

- $q = q_z$, para paredes barlovento evaluadas a una altura z por encima del terreno.
- $q = q_h$, para paredes a sotavento, paredes laterales y cubiertas, evaluados a una altura h .
- $q_i = q_h$, para paredes a barlovento, paredes laterales y cubiertas de edificios cerrados y para la evaluación de presiones internas negativas en edificios parcialmente cerrados.
- G = factor de efecto ráfaga de la sección B.6.5.8
- C_p = coeficientes de presión externa de las Figs. B.6.5-3 o B.6.5-5
- GC_{pi} = coeficientes de presión interna

		REF. en la NSR-10
V	46 m/s	Figura B.6.4-1
K_d	0.85	Tabla B.6.5-4
I (Grupo II)	1.00	Tabla B.6.5-1
K_h (h : 13.45 m)	0.78	Tabla B.6.5-3
K_{zt}	1	Sección B.6.5.7.2
G	0.85	Sección B.6.5.8
GC_{pi}	0.55 -0.55	Figura B.6.5-2

Tabla 13. Factores para determinar la Fuerza de Viento de diseño – Cubierta Par y Nudillo. **Fuente:** (NSR, 2010)

Coefficientes de presión externa, GC_{pf} , será tomado según lo expuesto en la Figura B.6.5-7 - NSR-10, que se muestran a continuación:



Cubierta ángulo θ (grados)	Superficie de la edificación									
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E
0-5	0.40	-0.69	-0.37	-0.29	-0.45	-0.45	0.61	-1.07	-0.53	-0.43
20	0.53	-0.69	-0.48	-0.43	-0.45	-0.45	0.80	-1.07	-0.69	-0.64
30-45	0.56	0.21	-0.43	-0.37	-0.45	-0.45	0.69	0.27	-0.53	-0.48
90	0.56	0.56	-0.37	-0.37	-0.45	-0.45	0.69	0.69	-0.48	-0.48

Figura 16. Coeficientes de presión externa, GC_{pf} . **Fuente:** (NSR, 2010)

Para el caso puntual de un ángulo de $\theta=58^\circ$ y por medio de una interpolación, se obtuvo los siguientes valores de GC_{pf} :

GC_{pf} (Barlovento)	2	0.14
	2E	0.12
GC_{pf} (Sotavento)	3	-0.40
	3E	-0.53

Tabla 14. Coeficientes de presión externa, GC_{pf} - Cubierta Par y Nudillo. **Fuente:** (NSR, 2010)



- Presión por velocidad

$$q_h = 0.613 * K_h * K_{zt} * K_d * V^2 * I$$

$$q_h = 0.613 * 0.78 * 1 * 0.85 * 46^2 * 1.00 = 859.98 \approx 860 \text{ N/m}^2$$

- Fuerza de Viento de diseño

$$P = q_h * (GC_p - GC_{pi}) \text{ N/m}^2$$

- Zona 2

$$P = 860 \text{ N/m}^2 * (0.14 - 0.55) = -352.6 \text{ N/m}^2$$

$$P = 860 \text{ N/m}^2 * (0.14 + 0.55) = 593.4 \text{ N/m}^2$$

- Zona 2E

$$P = 860 \text{ N/m}^2 * (0.12 - 0.55) = -369.8 \text{ N/m}^2$$

$$P = 860 \text{ N/m}^2 * (0.12 + 0.55) = 576.2 \text{ N/m}^2$$

- Zona 3

$$P = 860 \text{ N/m}^2 * (-0.40 - 0.55) = -817 \text{ N/m}^2$$

$$P = 860 \text{ N/m}^2 * (-0.40 + 0.55) = 129 \text{ N/m}^2$$

- Zona 3E

$$P = 860 \text{ N/m}^2 * (-0.53 - 0.55) = -928.8 \text{ N/m}^2$$

$$P = 860 \text{ N/m}^2 * (-0.53 + 0.55) = 17.2 \text{ N/m}^2$$

2. CUBIERTA PAR E HILERA

- Presión por velocidad

DATOS GENERALES	
TIPO DE CUBIERTA:	PAR E HILERA
LOCALIZACIÓN:	CUN
ÁNGULO θ EN GRADOS	39
SISTEMA:	SPRFV
TIPO DE CERRAMIENTO:	Edificios Parcialmente Cerrados
TIPO DE ESTRUCTURA:	Edificios Bajos $h \leq 18$ m
ECUACIÓN:	$P = q_h * (GC_p - GC_{pi}) \text{ (N/m}^2\text{) (B.6.5-16)}$

Tabla 15. Datos generales cubierta Par e Hilera. **Fuente:** Autores



Donde,

- q_h = presión por velocidad evaluada a la altura media de la cubierta, h.

		REF. en la NSR-10
V	46 m/s	Figura B.6.4-1
Kd	0.85	Tabla B.6.5-4
I (Grupo III)	1.15	Tabla B.6.5-1
Kh (h: 6.0 m)	0.70	Tabla B.6.5-3
Kzt	1	Sección B.6.5.7.2
GCpi	0.55 -0.55	Figura B.6.5-2

Tabla 16. Factores para determinar la Fuerza de Viento de diseño – Cubierta Par e Hilera. **Fuente:** (NSR, 2010)

Coefficiente de presión externa GC_{pf} (Figura 16), siguiendo el mismo procedimiento que se hizo anteriormente, se obtiene que, para el caso puntual de un ángulo $\theta=39^\circ$ los valores de GC_{pf} son los siguientes:

GCp (Barlovento)	2	0.21
	2E	0.27
GCp (Sotavento)	3	-0.43
	3E	-0.53

Tabla 17. Coeficientes de presión externa, GC_{pf} - Cubierta Par e Hilera. **Fuente:** (NSR, 2010)

- Presión por velocidad

$$q_h = 0.613 * K_h * K_{zt} * K_d * V^2 * I$$

$$q_h = 0.613 * 0.70 * 1 * 0.85 * 46^2 * 1.15 = 887.55 \approx 888 \text{ N/m}^2$$

- Fuerza de Viento de diseño

$$P = q_h * (GC_p - GC_{pi}) \text{ N/m}^2$$

- Zona 2

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (0.21 - 0.55) = -301.92 \text{ N/m}^2$$

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (0.21 + 0.55) = 674.88 \text{ N/m}^2$$



- Zona 2E

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (0.27 - 0.55) = -248.64 \text{ N/m}^2$$

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (0.27 + 0.55) = 728.16 \text{ N/m}^2$$

- Zona 3

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-0.43 - 0.55) = -870.24 \text{ N/m}^2$$

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-0.43 + 0.55) = 106.5 \text{ N/m}^2$$

- Zona 3E

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-0.53 - 0.55) = -959.04 \text{ N/m}^2$$

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-0.53 + 0.55) = 17.76 \text{ N/m}^2$$

3. CUBIERTA PLANA EN TERRAZA

- Presión por velocidad

DATOS GENERALES	
TIPO DE CUBIERTA:	PLANA EN TERRAZA
LOCALIZACIÓN:	CUN
ÁNGULO θ EN GRADOS	0
SISTEMA:	SPRFV
TIPO DE CERRAMIENTO:	Edificios Parcialmente Cerrados
TIPO DE ESTRUCTURA:	Edificios Bajos $h \leq 18$ m
ECUACIÓN:	$P = qh * (GC_p - GC_{pi})$ (N/m ²) (B.6.5-16)

Tabla 18. Datos generales cubierta Plana en Terraza. **Fuente:** Autores

		REF. en la NSR-10
V	46 m/s	Figura B.6.4-1
K_d	0.85	Tabla B.6.5-4
I (Grupo III)	1.15	Tabla B.6.5-1
K_h (H: 3 m)	0.70	Tabla B.6.5-3
K_{zt}	1	Sección B.6.5.7.2
GC_{pi}	0.55 -0.55	Figura B.6.5-2

Tabla 19. Factores para determinar la Fuerza de Viento de diseño – Cubierta Plana en Terraza. **Fuente:** (NSR, 2010)



Coefficiente de presión externa GC_{pf} , (Figura 16), siguiendo el mismo procedimiento que se hizo anteriormente se obtiene que, para el caso puntual de un ángulo $\theta=0^\circ$ los valores de GC_{pf} son los siguientes:

GC _p (Barlovento)	2	-0.69
	2E	-1.07
GC _p (Sotavento)	3	-0.39
	3E	-0.53

Tabla 20. Coeficientes de presión externa, GC_{pf} - Cubierta Plana en Terraza. **Fuente:** (NSR, 2010)

- Presión por velocidad

$$q_h = 0.613 * K_h * K_{zt} * K_d * V^2 * I$$

$$q_h = 0.613 * 0.70 * 1 * 0.85 * 46^2 * 1.15 = 887.55 \approx 888 \text{ N/m}^2$$

- Fuerza de Viento de diseño

$$P = q_h * (GC_p - GC_{pi}) \text{ N/m}^2$$

- Zona 2

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-0.69 - 0.55) = -1101.12 \text{ N/m}^2$$

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-0.69 + 0.55) = -127.32 \text{ N/m}^2$$

- Zona 2E

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-1.07 - 0.55) = -1438.56 \text{ N/m}^2$$

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-1.07 + 0.55) = -461.76 \text{ N/m}^2$$

- Zona 3

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-0.39 - 0.55) = -834.72 \text{ N/m}^2$$

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-0.39 + 0.55) = 142.08 \text{ N/m}^2$$

- Zona 3E

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-0.53 - 0.55) = -959.04 \text{ N/m}^2$$

$$P = 888 \text{ N/m}^2 * (-0.53 + 0.55) = 17.76 \text{ N/m}^2$$



4.6. Modelos de las Cubiertas

Los modelos estructurales de las cubiertas estudiadas en el presente proyecto, se ejecutaron en el software SAP2000, para la realización de los modelos se tuvo en cuenta las propiedades resistentes y elásticas de las especies de madera, para el caso de este estudio, las maderas presentes son: Abarco y Ceiba; los valores utilizados para cada una de las especies son los siguientes:

- **Densidad:** Para el caso de la ceiba se tiene una densidad de 0.52 Ton/m^3 y para el abarco de 0.55 Ton/m^3 .
- **Peso específico:** El peso específico usado para la ceiba es $5.10 \text{ Ton}/(\text{m}^2\text{s}^2)$ y para el abarco de $5.39 \text{ Ton}/(\text{m}^2\text{s}^2)$.
- **Módulo de elasticidad (E):** Para la ceiba es de $1.070.000 \text{ Ton/m}^2$ y para el abarco de $1.321.000 \text{ Ton/m}^2$.
- **Poisson (U):** Los valores de poisson de las especies de madera están en el orden de 0.325 a 0.4, por lo cual se usara 0.35. (PADT-REFORT, 1984, p.27)
- **Módulo de corte (G):** El módulo de corte varía entre $1/16$ y $1/25$ del módulo de elasticidad, por lo cual se usara $1/20$ para el modelamiento. (PADT-REFORT, 1984, p.26)

4.6.1. Modelo Cubierta Par y Nudillo

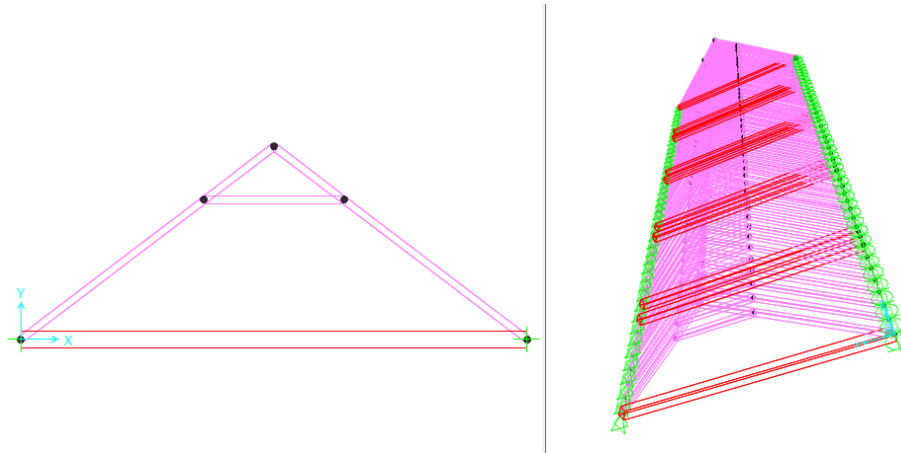


Figura 17. Modelo 3D cubierta Par y Nudillo - SAP2000. **Fuente:** Autores

4.6.1.1. Asignación de cargas

Basándose en los análisis de cargas, análisis de carga por viento y el análisis sísmico, se asignaron las cargas a la cubierta Par y Nudillo, obteniendo los siguientes resultados:

- Cargas muertas

En el análisis de cargas muertas se obtuvo una carga igual a $0,3050 \text{ Ton/m}^2$, teniendo en cuenta la separación entre cada par que es de $0,47$ lo que da una longitud aferentes $0,47\text{m}$ para cada par, con esta longitud aferente se puede conocer la carga en unidad de metro lineal que soporta cada par.

$$W \text{ muerta} = 0,47\text{m} * 0,3050 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0,1433 \frac{\text{Ton}}{\text{m}} \approx 0,14 \frac{\text{Ton}}{\text{m}}$$

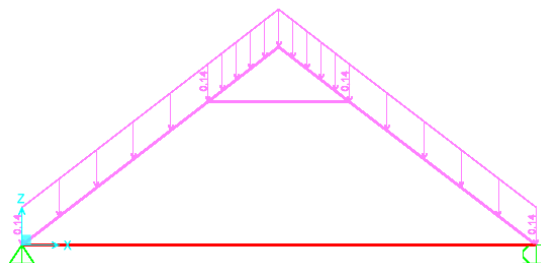


Figura 18. Cargas muertas cubierta Par y Nudillo - SAP2000. **Fuente:** Autores



- Cargas vivas

En el análisis de cargas vivas se obtuvo una carga igual a $0,035 \text{ Ton/m}^2$, teniendo una longitud aferente de $0,47\text{m}$ para cada par, donde la carga en unidad de metro lineal que soporta cada par es.

$$W \text{ viva} = 0,47\text{m} * 0,035 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0,01664 \frac{\text{Ton}}{\text{m}} \approx 0,02 \frac{\text{Ton}}{\text{m}}$$

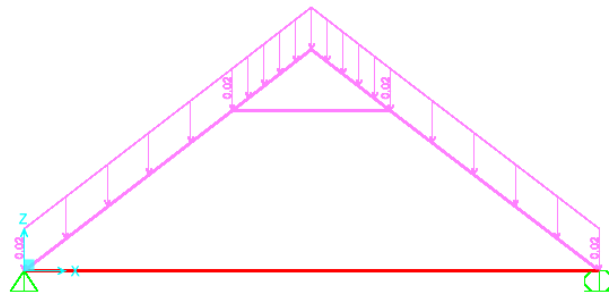


Figura 19. Cargas vivas cubierta Par y Nudillo - SAP2000. **Fuente:** Autores

- Cargas de viento

Según lo expuesto en el análisis de viento, en la cubierta hay cuatro diferentes zonas con presiones y succiones, para determinar estas zonas se debe tener en cuenta la norma sismo resistente (NSR-10), lo cual permite conocer la siguiente división de la cubierta, representada en la Figura 21, donde $a=2\text{m}$.

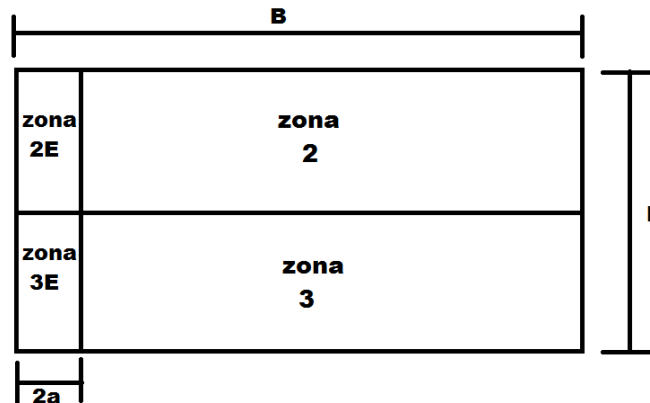


Figura 20. División de la cubierta según los coeficientes de presión. **Fuente:** Autores



Los pares ubicados en cada zona tendrán una carga en unidad de metro lineal, teniendo en cuenta la longitud aferente de cada par nos daría que la carga para cada zona es:

$$W_{(viento\ 2)} = 595.4 \frac{N}{m^2} * 0,47m = 279.84 \frac{N}{m} = 0.028 \frac{Ton}{m}$$

$$W_{(viento\ 2E)} = 576.2 \frac{N}{m^2} * 0,47m = 270.81 \frac{N}{m} = 0.028 \frac{Ton}{m}$$

$$W_{(viento\ 3)} = -817 \frac{N}{m^2} * 0,47m = -383.99 \frac{N}{m} = -0.039 \frac{Ton}{m}$$

$$W_{(viento\ 3E)} = -928.8 \frac{N}{m^2} * 0,47m = -436.54 \frac{N}{m} = -0.045 \frac{Ton}{m}$$

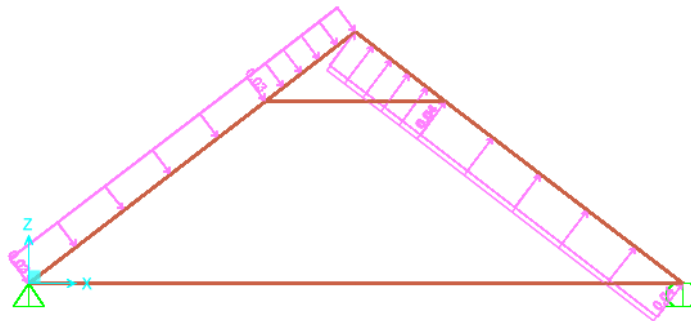


Figura 21. Cargas por viento cubierta Par y Nudillo - SAP2000. **Fuente:** Autores

4.6.2. Modelo Cubierta Par e Hilera

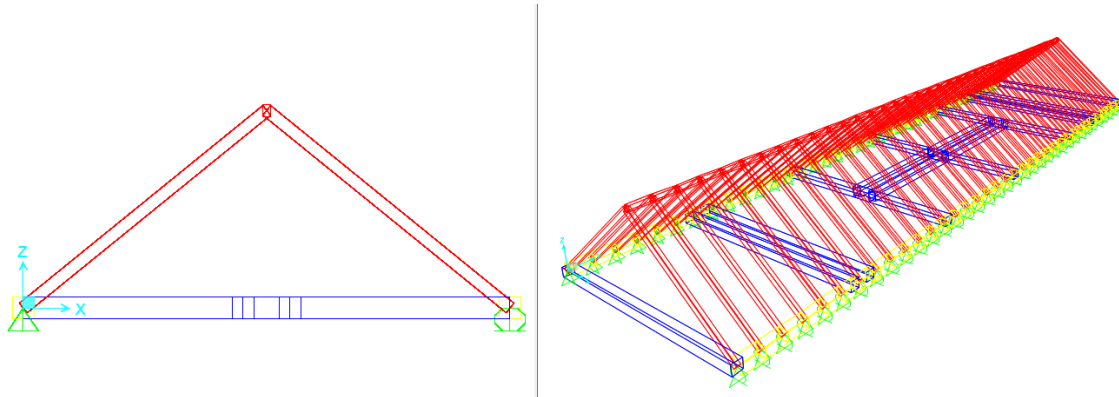


Figura 22. Modelo 3D cubierta Par e Hilera - SAP2000. **Fuente:** Autores

4.6.2.1. Asignación de cargas

Basándose en los análisis de cargas, análisis de carga por viento y el análisis sísmico, se asignaron las cargas a la cubierta Par e hilera, obteniendo los siguientes resultados:

- Cargas muertas

En el análisis de cargas muertas se obtuvo una carga igual a $0,3579 \text{ Ton/m}^2$, teniendo en cuenta la separación entre cada par que es de $0,57$ lo que da una longitud aferentes $0,57\text{m}$ para cada par, con esta longitud aferente se puede conocer la carga en unidad de metro lineal que soporta cada par.

$$W \text{ muerta} = 0,57\text{m} * 0,3579 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0,204 \frac{\text{Ton}}{\text{m}} \approx 0,2 \frac{\text{Ton}}{\text{m}}$$

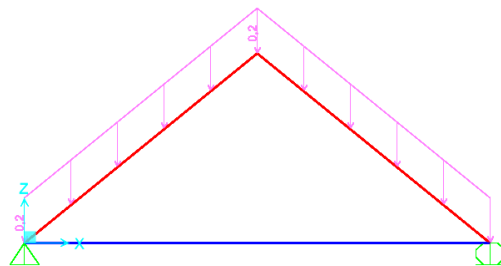


Figura 23. Cargas muertas cubierta Par e Hilera - SAP2000. **Fuente:** Autores



- Cargas vivas

En el análisis de cargas vivas se obtuvo una carga igual a $0,035 \text{ Ton/m}^2$, teniendo la longitud aferente la $0,57\text{m}$ para cada par, donde la carga en unidad de metro lineal que soporta cada par es.

$$W \text{ viva} = 0,57\text{m} * 0,035 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0,01995 \frac{\text{Ton}}{\text{m}} \approx 0,02 \frac{\text{Ton}}{\text{m}}$$

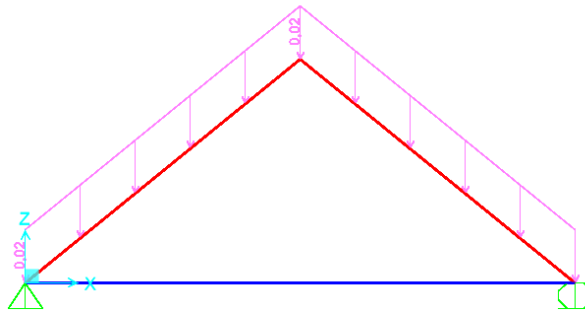


Figura 24. Cargas vivas cubierta Par e Hilera - SAP2000. **Fuente:** Autores

- Cargas de viento

Según lo expuesto en el análisis de viento la cubierta tiene cuatro diferentes zonas con presiones y succiones diferentes, para determinar estas zonas se debe tener en cuenta la norma sismo resistente (NSR-10) lo que permite conocer la siguiente división de la cubierta representada en la Figura 26, donde $a=2\text{m}$.

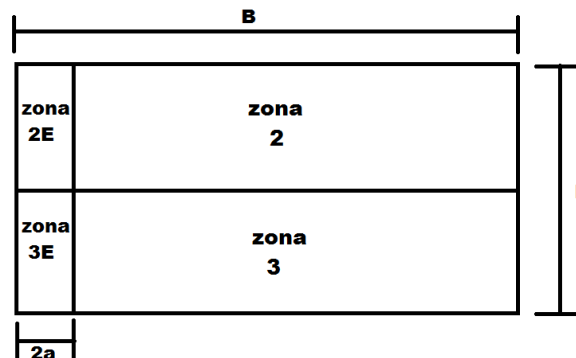


Figura 25. División de la cubierta según los coeficientes de presión. **Fuente:** Autores



Los pares ubicados en cada zona tendrán una carga en unidad de metro lineal diferente, teniendo en cuenta la longitud aferente de cada par nos daría que la carga para cada zona es:

$$W_{(viento\ 2)} = 674.88 \frac{N}{m^2} * 0,57m = 384.68 \frac{N}{m} = 0.039 \frac{Ton}{m}$$

$$W_{(viento\ 2E)} = 7728.16 \frac{N}{m^2} * 0,57m = 415.05 \frac{N}{m} = 0.042 \frac{Ton}{m}$$

$$W_{(viento\ 3)} = -870.24 \frac{N}{m^2} * 0,57m = -496.04 \frac{N}{m} = -0.051 \frac{Ton}{m}$$

$$W_{(viento\ 3E)} = -959.04 \frac{N}{m^2} * 0,57m = -546.65 \frac{N}{m} = -0.056 \frac{Ton}{m}$$

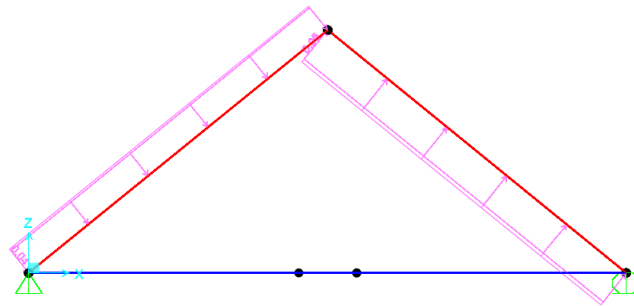


Figura 26. Cargas por viento cubierta Par e Hilera - SAP2000. **Fuente:** Autores

4.6.3. Modelo Cubierta Plana en Terraza

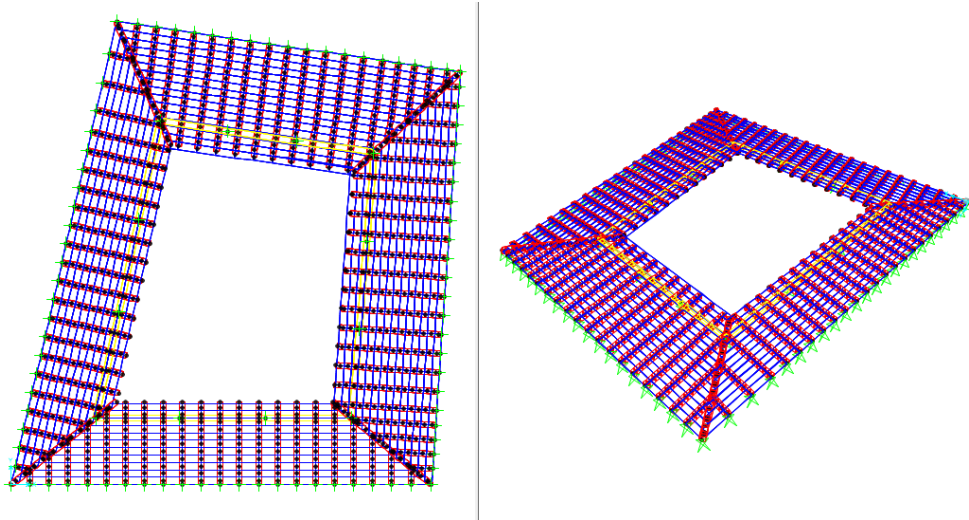


Figura 27. Modelo 3D cubierta Plana en Terraza - SAP2000. **Fuente:** Autores

4.6.3.1. Asignación de cargas

Basándose en los análisis de cargas y análisis de carga por viento, se asignaron las cargas a la cubierta Plana en Terraza, obteniendo los siguientes resultados:

- Cargas muertas

En el análisis de cargas muertas se obtuvo una carga igual a $0,5228 \text{ Ton/m}^2$, teniendo en cuenta que cada tabla tiene un ancho de $0,22\text{m}$ y como la carga se coloca en el centro de la tabla, se tiene que la longitud aferente es de $0,22\text{m}$, con esta longitud aferente se puede conocer la carga en unidad de metro lineal que soporta cada tabla.

$$W \text{ muerta} = 0,22\text{m} * 0,5228 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0,115 \frac{\text{Ton}}{\text{m}} \approx 0,12 \frac{\text{Ton}}{\text{m}}$$

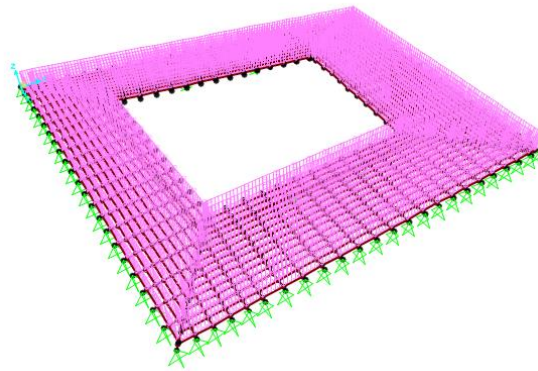


Figura 28. Cargas muertas cubierta Plana en Terraza - SAP2000. **Fuente:** Autores

- Cargas vivas

En el análisis de cargas vivas se obtuvo una carga igual a $0,5 \text{ Ton/m}^2$, teniendo una longitud aferente de $0,22\text{m}$ para cada tabla, la carga en unidad de metro lineal que soporta cada tabla es.

$$W \text{ viva} = 0,22\text{m} * 0,5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0,11 \frac{\text{Ton}}{\text{m}}$$

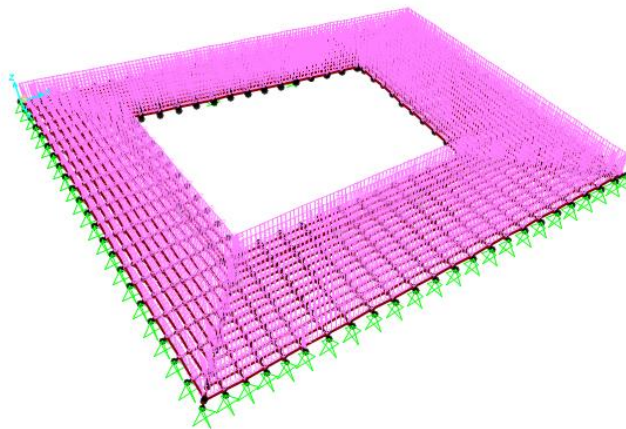


Figura 29. Cargas vivas cubierta Plana en Terraza - SAP2000. **Fuente:** Autores



- Cargas de viento

Según lo expuesto en el análisis de viento, la cubierta presenta cuatro zonas diferentes con presiones y succiones, para determinar estas zonas se debe tener en cuenta la norma sismo resistente (NSR-10) lo que permite conocer la siguiente división de la cubierta representada en la Figura 21, donde $a=2m$ según lo estipulado en la norma.

Para el caso de la cubierta plana, las fuerzas generadas por viento son de succión, por lo cual, en las cuatro zonas serán negativas, con esto y teniendo en cuenta la longitud aferente de cada tabla nos daría que la carga para cada zona es:

$$W_{(viento\ 2)} = -1101.12 \frac{N}{m^2} * 0,22m = -242.25 \frac{N}{m} = -0.025 \frac{Ton}{m}$$

$$W_{(viento\ 2E)} = -1438.56 \frac{N}{m^2} * 0,22m = -316.48 \frac{N}{m} = -0.032 \frac{Ton}{m}$$

$$W_{(viento\ 3)} = -834.72 \frac{N}{m^2} * 0,22m = -183.64 \frac{N}{m} = -0.019 \frac{Ton}{m}$$

$$W_{(viento\ 3E)} = -959.04 \frac{N}{m^2} * 0,22m = -210.99 \frac{N}{m} = -0.022 \frac{Ton}{m}$$

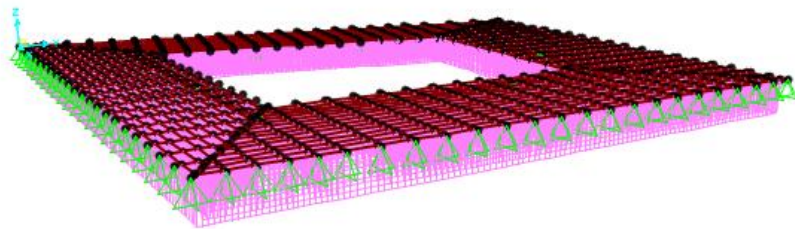


Figura 30. Cargas por viento cubierta Plana en Terraza - SAP2000. **Fuente:** Autores



4.7. Revisión del Diseño

Para comprobar el diseño de las diferentes cubiertas según la Norma Sismo Resistente (NSR-10), se revisaron los elementos o miembros a deflexión, flexión, cortante y carga axial; esto se realizó con la información arrojada por el software estructural SAP2000 y la información expuesta anteriormente.

4.7.1. Material

Para analizar el cumplimiento de los diferentes elementos y miembros de las cubiertas de tipología colonial, se debe tener en cuenta, primeramente, el tipo de material usado para su construcción, la NSR-10, la cual establece una serie de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad para los diferentes tipos de madera.

4.7.1.1. Cubierta Par y Nudillo

Para la construcción de la cubierta Par y Nudillo la madera usada fue Ceiba, este tipo de madera no se encuentra dentro de las maderas estandarizadas por la Norma Sismo Resistente (NSR-10), por ende, el diseño se realiza con los esfuerzos y módulos de elasticidad mencionados anteriormente.

La NSR-10 establece una metodología para obtener los esfuerzos y módulos de elasticidad admisibles, partiendo de datos experimentales y está dada por:

$$F_i = \frac{FC * F_d}{FS * FDC} * FX_i * (1 - 1.645 * COV_i)$$



Donde:

FC : Factor de calidad

F_d : Factor de altura

FS : Factor de seguridad

FDC : Factor de duración de carga

F_i : Esfuerzo admisible i

FX_i : Esfuerzo básico promedio i

COV_i : Coeficiente de variación de esfuerzos

Por medio de la Tabla G-A-1 de la Norma Sismo Resistente (NSR-10), se obtienen los siguientes valores para el esfuerzo admisible a flexión (F_b):

$$FX_b = 500 \frac{Kg}{Cm^2} = 49,03 \text{ Mpa}$$

$$F_b = \frac{0,8 * 0,9}{2 * 1.6} * 49,03 \text{ Mpa} * (1 - 1.645 * 0.16)$$

$$F_b = 8.13 \text{ Mpa}$$

Realizando el procedimiento anterior para cada uno de los esfuerzos y módulos de elasticidad de la ceiba, se tiene que sus esfuerzos y módulos de elasticidad admisibles para el diseño son los que muestra la Tabla 20.

F_b	F_t	F_c	F_p	F_v	$E_{0.5}$	$E_{0.05}$	E_{min}
8.13	9,81	11.73	3,14	1.25	10492.96	6695.55	4154.47
Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa

Tabla 21. Esfuerzos y módulos de elasticidad admisibles - Ceiba. **Fuente:** (Keenan & Tejada, 1987)



Donde:

Fb: Esfuerzo admisible para flexión

Ft: Esfuerzo admisible para tensión

Fc: Esfuerzo admisible para compresión paralela

Fp: Esfuerzo admisible para compresión perpendicular

Fv: Esfuerzo admisible para cortante

E_{0.5}: Modulo de elasticidad longitudinal promedio

E_{0.05}: Modulo de elasticidad longitudinal 5° percentil

E_{min}: Modulo de elasticidad longitudinal mínimo

4.7.1.2. Cubierta Par e Hilera y cubierta Plana en Terraza

Para la cubierta Par e Hilera como para la cubierta Plana en Terraza, la madera usada fue Abarco y en la norma sismo resistente, dicha especie se agrupa en las maderas tipo ES4 como se puede ver en la tabla G-B.4., la norma facilita unos esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad que deben ser usados para el diseño con dicha especie de madera.

De la tabla G.2.2-1 y G.2.2-2 se obtienen los diferentes esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad longitudinales, que se usaran en el presente diseño.

Grupo madera	Fb	Ft	Fc	Fp	Fv	E _{0.5}	E _{0.05}	E _{min}
ES4	17.0 Mpa	12.0 Mpa	15.0 Mpa	2.8 Mpa	1.5 Mpa	12500 Mpa	10000 Mpa	5000 Mpa

Tabla 22. Esfuerzos y módulos de elasticidad admisibles para Abarco. **Fuente:** (NSR, 2010)



4.7.2. Deflexión

La norma sismo resistente (NSR-10) establece en la sección G.3.2 una serie de deflexiones admisibles, estas deflexiones no pueden ser superadas por las reales presentes en cada cubierta. Por medio de la tabla G.3.2-1 presente en el título G de la NSR-10, se sabe que la deflexión admisible depende de la longitud del miembro y está dada por:

$$\Delta_{admissible} = l/240$$

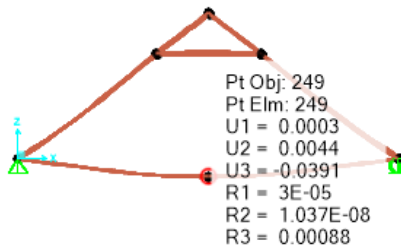


Figura 31. Deflexión máxima cubierta Par y Nudillo- SAP2000. **Fuente:** Autores

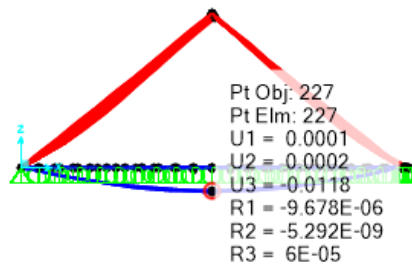


Figura 32. Deflexión máxima cubierta Par e Hilera - SAP2000. **Fuente:** Autores

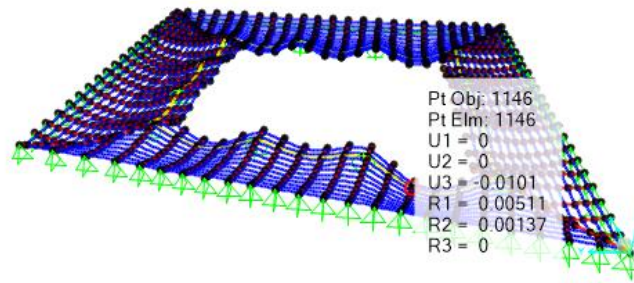


Figura 33. Deflexión máxima cubierta Plana en Terraza - SAP2000. **Fuente:** Autores

DEFLEXIÓN					
Cubierta	Elemento	l (m)	$\Delta_{act.}$ (m)	$\Delta_{admisible}$ (m)	Condición
Par y Nudillo	Tensores	8.00	0.039	0.033	No Cumple
Par e Hilera		5.77	0.012	0.024	Cumple
Plana en Terraza	Vigas	2.42	0.010	0.010	Cumple

Tabla 23. Revisión del diseño por deflexión presente en cada Cubierta. **Fuente:** Autores

4.7.3. Flexión

El diseño por flexión se realiza por el método de los esfuerzos admisibles, tales esfuerzos deben ser modificados por coeficientes de duración de carga, temperatura, contenido de humedad, entre otros.

$$F'_b = F_b * C_D * C_F * C_L$$

Donde:

F'_b : Esfuerzo admisible para flexión modificado

C_D : Coeficiente de modificación por duración de carga

C_F : Coeficiente de modificación por forma

C_L : Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de viga



El análisis del momento resistente, se realizó para cada uno de los elementos de la cubierta, teniendo en cuenta los mayores momentos generados por las combinaciones de cargas, este análisis se determinó teniendo en cuenta la sección G.3.3.5 (el momento actuante no debe exceder el valor del momento resistente dado por la fórmula:

$$M \leq F'_b \frac{bd^2}{6}$$

Donde:

M: Momento actuante en N-mm

b: Medida de menor longitud de la sección en mm

d: Medida de mayor longitud de la sección en mm

Los esfuerzos

4.7.3.1. Cubierta Par y Nudillo

La especie de madera presente en la cubierta Par y Nudillo es Ceiba; el esfuerzo admisible para flexión es de 8.13 Mpa (Tabla 21), de la sección G.2.2. se obtienen los valores para C_D , C_F y C_L , por tanto:

$$F'_b = 8.13 \text{ MPa} * 0.9 * 1.1 * 1 = 8.05 \text{ MPa}$$

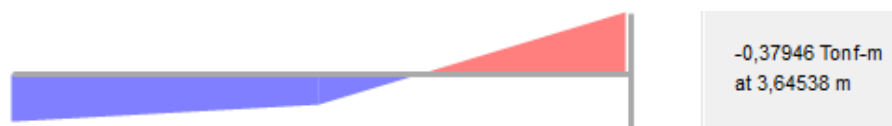


Figura 34. Momento de un par - SAP2000. **Fuente:** Autores

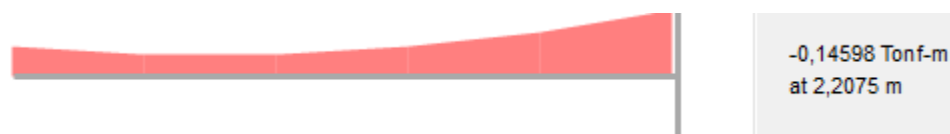


Figura 35. Momento de un nudillo - SAP2000. **Fuente:** Autores



Figura 36. Momento de un tensor - SAP2000. **Fuente:** Autores

FLEXIÓN				
Elemento	Combinación de Carga	Mact. (N-mm)	Mrest. (N-mm)	Condición
Pares	D+W	3.726.530	3.155.600	No Cumple
Nudillos	D+W	1.470.990	3.155.600	Cumple
Tensores	D+0.75Lr	23.535.960	23.581.133	Cumple

Tabla 24. Revisión del diseño a flexión Cubierta Par y Nudillo. **Fuente:** Autores

4.7.3.2. Cubierta Par e Hilera y Plana en Terraza

La especie de madera presente en la cubierta Par e Hilera y Plana en Terraza es Abarco, el esfuerzo admisible para flexión es de 17 Mpa (Tabla 22), de la sección G.2.2, se obtienen los valores para C_D , C_F y C_L , por tanto:

$$F'_b = 17.0 \text{ MPa} * 0.9 * 1.1 * 1 = 16.83 \text{ MPa}$$

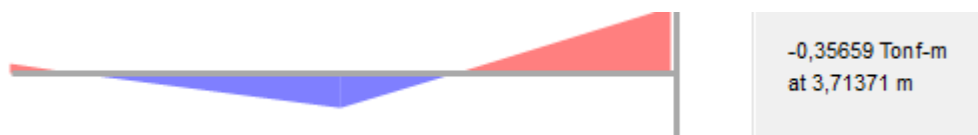


Figura 37. Momento de un par - SAP2000. **Fuente:** Autores



Figura 38. Momento de un tensor - SAP2000. **Fuente:** Autores



FLEXIÓN				
Elemento	Combinación de Carga	Mact. (N-mm)	Mrest. (N-mm)	Condición
Pares	D+ Lr	3.530.39	4.984.020	Cumple
Tensores	D+0.75W+0.75Lr	15.7880.700	49.300.680	Cumple

Tabla 25. Revisión del diseño a flexión Cubierta Par e Hilera. **Fuente:** Autores

- ✓ Cubierta Plana en Terraza
- Vigas ortogonales

Las vigas ortogonales, son las que van apoyadas sobre las columnas de la cubierta plana y sobre esta se apoyan las vigas en uno de sus extremos, se representan de color rojo en la Figura 39.

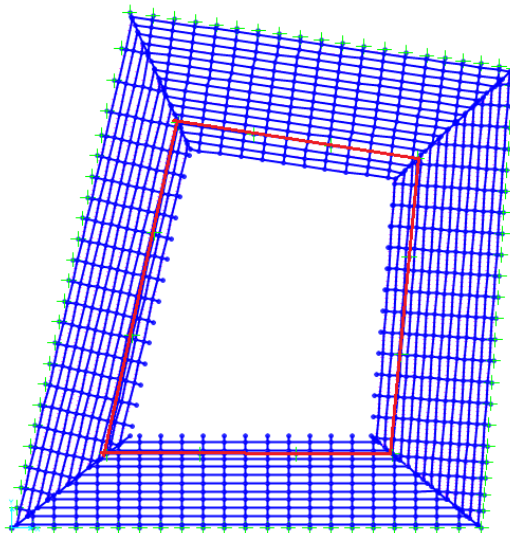


Figura 39. Vigas ortogonales - SAP2000. **Fuente:** Autores

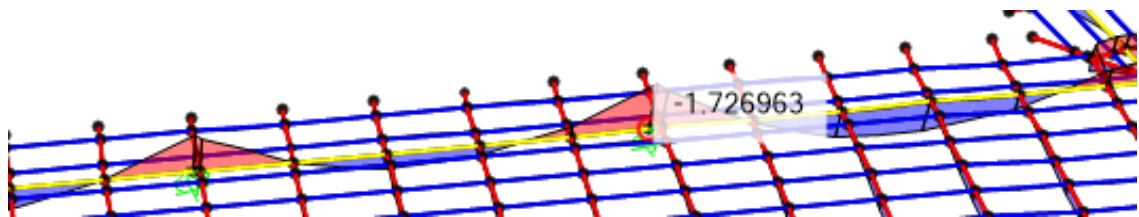


Figura 40. Momento de una viga ortogonal - SAP2000. **Fuente:** Autores

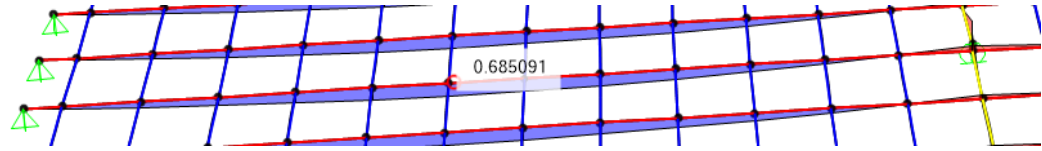


Figura 41. Momento de una viga - SAP2000. **Fuente:** Autores



Figura 42. Momento en un entablado - SAP2000. **Fuente:** Autores

FLEXIÓN				
Elemento	Combinación De Carga	Mact. (N-mm)	Mrest. (N-mm)	Condición
Vigas Ortogonales	D+ Lr	16.965.500	13.780.965	No Cumple
Vigas	D+ Lr	6.766.580	13.780.965	Cumple
Entablado	D+ Lr	68.640	385.688	Cumple

Tabla 26. Revisión del diseño a flexión Cubierta Plana en Terraza. **Fuente:** Autores

4.7.4. Cortante

El análisis para cortante se realizó para cada uno de los elementos, tales como pares y tensores; la sección G.3.4 establece la siguiente condición:

$$\frac{3v}{2bd} \leq F'_v$$

Donde:

F'_v : Esfuerzo admisible modificado para cortante en MPA

v: Fuerza cortante actuante en la sección en N

b: Medida de menor longitud de la sección en mm

d: Medida de mayor longitud de la sección en mm

4.7.4.1. Cubierta Par y Nudillo

La especie de madera presente en la cubierta Par y Nudillo es Ceiba, por tanto, el esfuerzo admisible para cortante es de 1.25 Mpa (Tabla 21.), de la sección G.2.2, se obtienen los valores para C_D , C_F y C_L , por tanto:

$$F'_v = 1.25 \text{ MPa} * 0.9 * 1.1 * 1 = 1.24 \text{ MPa}$$



Figura 43. Cortante de un par - SAP2000. **Fuente:** Autores



Figura 44. Cortante de un nudillo - SAP2000. **Fuente:** Autores

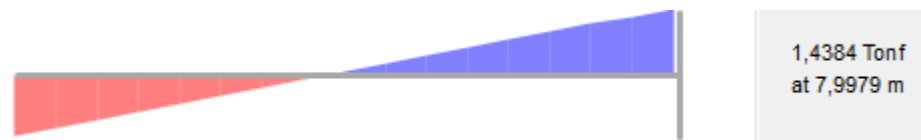


Figura 45. Cortante del tensor - SAP2000. **Fuente:** Autores

CORTANTE				
Elemento	Combinación de Carga	f_v (MPa)	F'_v (MPa)	Condición
Pares	D+0.75W+0.75Lr	0.44	1.24	Cumple
Nudillos	D+W	0.11		Cumple
Tensores	D+W	0.31		Cumple

Tabla 27. Revisión del diseño a cortante Cubierta Par y Nudillo. **Fuente:** Autores



4.7.4.2. Cubierta Par e Hilera y Plana en Terraza

La especie de madera presente en la cubierta Par e Hilera es Abarco, por tanto, el esfuerzo admisible para cortante es de 1.5 Mpa (Tabla 22), de la sección G.2.2, se obtienen los valores para C_D , C_F y C_L :

$$F'_v = 1.5 \text{ MPa} * 0.9 * 1.1 * 1 = 1.49 \text{ MPa}$$

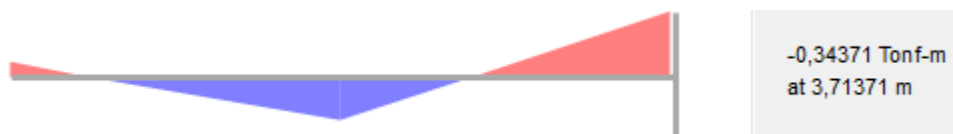


Figura 46. Cortante de un par - SAP2000. **Fuente:** Autores

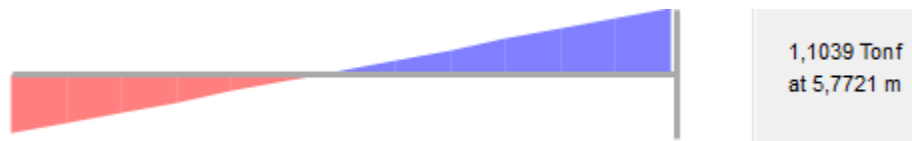


Figura 47. Cortante del tensor principal - SAP2000. **Fuente:** Autores

CORTANTE				
Elemento	Combinación De Carga	f_v (MPa)	F'_v (MPa)	Condición
Pares	D+0.75W+0.75Lr	0.39	1.49	Cumple
Tensores	D+W	0.24		Cumple

Tabla 28. Revisión del diseño a cortante Cubierta Par e Hilera. **Fuente:** Autores

✓ Cubierta Plana en Terraza

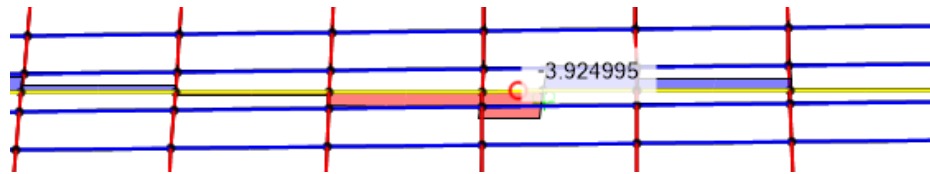


Figura 48. Cortante de una viga ortogonal - SAP2000. **Fuente:** Autores

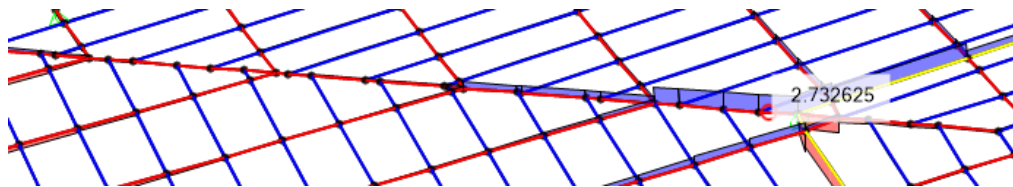


Figura 49. Cortante de una viga- SAP2000. **Fuente:** Autores

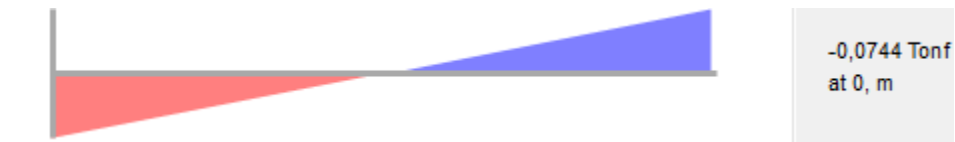


Figura 50. Cortante de un entablado- SAP2000. **Fuente:** Autores

CORTANTE				
Elemento	Combinación De Carga	f_v (MPa)	F'_v (MPa)	Condición
Vigas Ortogonales	D+ Lr	1.99	1.49	No Cumple
Vigas	D+ Lr	1.38		Cumple
Entablado	D+ Lr	0.19		Cumple

Tabla 29. Revisión del diseño a cortante Cubierta Plana en Terraza. **Fuente:** Autores



4.7.5. Tensión axial

Se analizaron a fuerza de tensión axial los elementos de la cubierta que están sometidos a esta carga, cabe resaltar que los esfuerzos a tensión actuante no deben superar los esfuerzos a tensión admisibles, este análisis se realizara según lo establecido en la sección G.4.2, que estipula lo siguiente:

$$\frac{T}{A_n} \leq F'_t$$

Donde:

F'_t : Esfuerzo admisible modificado de tensión paralela al grano en MPa

T: fuerza axial de tensión actuante en la sección en N

A_n : Área neta de la sección en mm²

Para las cubiertas Par y Nudillo y Par e Hilera se analizaron con carga axial los tensores, ya que son los únicos que están sometidos a dicha carga, los esfuerzos admisibles deben ser modificados por coeficientes de duración de carga, temperatura, contenido de humedad, entre otros; para el caso de cada cubierta se tiene que:



4.7.5.1 Cubierta Par y Nudillo y Par e Hilera



Figura 51. Carga axial tensor, Cubierta Par y Nudillo - SAP2000. **Fuente:** Autores



Figura 52. Carga axial tensor principal, Cubierta Par e Hilera- SAP2000. **Fuente:** Autores

TENSIÓN AXIAL					
Cubierta	Elemento	Combinación de Carga	f_t (MPa)	F'_t (MPa)	Condición
Par y Nudillo	Tensores	D+0.75W+0.75Lr	0.96	9.71	Cumple
Par e Hilera		D+W	0.87	11.88	Cumple

Tabla 30. Revisión del diseño a tensión axial Cubierta Par y Nudillo y Par e Hilera.

Fuente: Autores

4.7.5.2. Cubierta Plana en Terraza

La cubierta Plana en Terraza no se diseñó a tracción axial, ya que ninguno de sus miembros está sometido a dicha carga.



4.7.6. Compresión axial

Para las cubiertas Par y Nudillo y Par e Hilera, se analizaron a fuerza de compresión axial solo los pares de la cubierta, ya que son los que están sometidos a este tipo de carga, este análisis se realizó tomando como referencia la sección G.4.3.6, que tiene como condición:

$$P \leq F''_c * A_n$$

Donde:

F''_c : Esfuerzo admisible modificado para compresión paralela al grano en MPa

P : Fuerza axial de tensión actuante en la sección en N

A_n : Área neta de la sección en mm²

- Longitud efectiva

$$\ell_e = K_e * \ell_u$$

Donde:

ℓ_e : Longitud efectiva en mm

K_e : Coeficiente de longitud efectiva

ℓ_u : Longitud no soportada lateralmente de la columna

- Relación de esbeltez

Basándose en la tabla G.4.3-2 de la NSR-10, se tiene que.

$$\lambda = \frac{\ell_e}{d}$$

En donde:

λ : Medida de esbeltez

d : Dimensión de la sección transversal en la dirección considerada, en mm



- Esfuerzo crítico (F_{CE})

Basándose en la tabla G.4.3-3 de la NSR-10, se tiene que.

$$F_{CE} = \frac{0,822 * E'_{min}}{\lambda^2}$$

- Coeficiente de modificación por estabilidad (C_p)

Según lo expuesto en la sección G4.3.5 de la NSR-10, el coeficiente debe ser calculado según la fórmula:

$$C_p = \frac{1 + \left(\frac{F_{CE}}{F'_c}\right)}{2C} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{F_{CE}}{F'_c}\right)}{2C}\right)^2 - \frac{F_{CE}}{F'_c c}}$$

- Esfuerzo admisible modificado por estabilidad de columna (F''_c)

El esfuerzo admisible es nuevamente modificado por el coeficiente de estabilidad de columna, este será el esfuerzo utilizado para el diseño a compresión axial.

$$F''_c = F'_c * C_p$$

Los esfuerzos admisibles deben ser modificados por coeficientes de duración de carga, temperatura, contenido de humedad, entre otros; para el caso de cada cubierta se tiene que:

4.7.6.1. Cubierta Par y Nudillo

$$F'_c = F_c * C_D * C_F * C_L$$
$$F'_c = 11.73 \text{ MPa} * 0.9 * 1.1 * 1 = 11.61 \text{ MPa}$$



- Longitud efectiva

Tomando como referencia la tabla G.4.3-1 de la NSR-10, se obtiene el valor de $K_e=1$, ya que se podría asumir que es una columna con los dos extremos empotrados, pero uno de los extremos permite desplazamiento, por tanto:

$$\ell_e = 1 * 5000mm = 5000mm$$

- Relación de esbeltez

La medida de esbeltez debe ser menor que 50, según lo establecido en la sección G.4.3.4 de la NSR-10.

$$\lambda = \frac{5000mm}{140}$$

$$\lambda = 35.71 < 50$$

Cumple

- Esfuerzo critico (F_{CE})

$$F_{CE} = \frac{0,822 * 4154.47 MPa}{35.71^2} = 2.68 MPa$$

- Coeficiente de modificación por estabilidad (C_p)

De la tabla G.4.3-3 de la NSR-10, el valor de $C=0.80$, por tanto:

$$C_p = \frac{1 + \left(\frac{2.68 MPa}{11.61 MPa}\right)}{2 * 0.80} - \sqrt{\left(\frac{1 + \left(\frac{2.68 MPa}{11.61 MPa}\right)}{2 * 0.80}\right)^2 - \frac{2.68 MPa}{11.61 MPa} \cdot \frac{1}{0.80}}$$
$$C_p = 0.22$$



- Esfuerzo admisible modificado por estabilidad de columna (F''_c)

El esfuerzo admisible es nuevamente modificado por el coeficiente de estabilidad de columna, este será el esfuerzo utilizado para el diseño a compresión axial.

$$F''_c = 11.61 \text{ MPa} * 0.22$$

$$F''_c = 2.55 \text{ MPa}$$

Con la ayuda de SAP2000, se conoce la fuerza de compresión axial con mayor magnitud que se genera en uno de los pares, la cual corresponde a la combinación de carga D+Lr y tiene una magnitud de a 2.00 Ton.f



Figura 53. Carga axial de un par - SAP2000. **Fuente:** Autores

$$P = 2.00 \text{ Tonf} = 19613.30 \text{ N}$$

$$19613.30 \text{ N} \leq 2.55 \text{ MPa} * 16800 \text{ mm}^2$$

$$19613.30 \text{ N} < 42840 \text{ N}$$

Cumple

4.7.6.2. Cubierta Par e Hilera

DATOS GENERALES		
F'_c (MPa)	14.85	
ℓ_e (mm)	3710	
Relación de esbeltez ($\lambda < 50$)	26.5	Cumple
Esfuerzo critico (F_{CE}) (MPa)	5.85	
Coeficiente de modificación por estabilidad (C_p)	0.35	
F''_c (MPa)	5.20	

Tabla 31. Datos generales presentes en la revisión del diseño a cortante Cubierta Par e Hilera. **Fuente:** Autores



Con la ayuda de SAP2000 se conoce la fuerza de compresión axial con mayor magnitud que se genera en uno de los pares, esta fuerza corresponde a la combinación de carga $D+0.75W+0.75Lr$ y tiene una magnitud de a 1.48 Ton.f



Figura 54. Carga axial de un par - SAP2000. **Fuente:** Autores

$$P = 1.48 \text{ Tonf} = 14513.84 \text{ N}$$
$$14513.84 \text{ N} \leq 5.1975 \text{ MPa} * 12600 \text{ mm}^2$$
$$14513.84 \text{ N} < 65488.5 \text{ N}$$

Cumple

4.7.6.3. Cubierta Plana en Terraza

La cubierta Plana en Terraza no se diseña a compresión axial ya que ninguno de sus miembros está sometido a carga axial.

4.7.7. Revisión del diseño con cargas verticales para los elementos que no cumplen con los esfuerzos admisibles

A continuación, se evaluaron bajo cargas verticales los elementos que no cumplieron con las condiciones que establece la NSR-10, donde se revisó, si los esfuerzos generados por las cargas muertas y vivas presentes en las cubiertas son menores que los esfuerzos admisibles estipulados en dicha norma.



- Pares de la cubierta Par y Nudillo - diseño a flexión

Con la ayuda de SAP2000 se conoce el momento de mayor magnitud en uno de los pares y este es igual a 0.34 Ton.f-m.



Figura 55. Momento de un par - SAP2000. **Fuente:** Autores

$$M = 0.34 \text{ Tonf}(m) = 3334.26 \text{ N}(m) = 3334260 \text{ N}(mm)$$

$$3334260 \text{ N}(mm) \leq (8.05 \text{ MPa}) \frac{120mm * (140mm)^2}{6}$$

$$3334260 \text{ N}(mm) > 3155600 \text{ N}(mm)$$

No Cumple

- Vigas ortogonales cubierta Plana en Terraza - diseño a flexión y cortante

Dado que los esfuerzos más críticos de las vigas ortogonales son generados por las cargas verticales evaluadas anteriormente, obteniendo esfuerzos actuantes mayores a los admisibles, por tanto se mantiene la condición: **No cumple.**



4.7.8. Calculo de la nueva sección transversal

Se calculó la sección necesaria a aquellos elementos que no cumplieron con las condiciones establecidas en la norma, de tal manera que los esfuerzos actuantes sean menores o iguales a los esfuerzos admisibles.

- Pares de la cubierta Par y Nudillo - diseño a flexión

Tomando el momento de magnitud 0.38 Ton.f-m que se usó en la verificación del diseño en el presente trabajo, se tiene:

$$M = 0.38 \text{ Tonf}(m) = 3726.53N(m) = 3726530 \text{ N}(mm)$$

$$3726530 \text{ N}(mm) \leq (8.05 \text{ MPa}) \frac{120mm * (X)^2}{6}$$

$$\therefore X = 15.21cm \approx 16.00cm$$

X es igual a la altura de la sección transversal de los pares de la cubierta Par y Nudillo, por ende, la nueva sección transversal de los pares es de 16x12cm.

- Vigas ortogonales cubierta Plana en Terraza - diseño a flexión y cortante

$$M = 1.73 \text{ Tonf}(m) = 16965.50 \text{ N}(m) = 16965500 \text{ N}(mm)$$

Dado que la sección transversal es cuadrada, se tiene:

$$16965500 \text{ N}(mm) \leq (16.83 \text{ MPa}) \frac{X * (X)^2}{6}$$

$$16965500 \text{ N}(mm) = (16.83 \text{ MPa}) \frac{(X)^3}{6}$$

$$\therefore X = 18,22cm \approx 19,00cm$$

La nueva sección transversal de las vigas ortogonales para el diseño a flexión es de 19x19cm, sección necesaria para que los esfuerzos admisibles sean iguales a los actuantes.



Para el diseño a cortante:

$$v = 3.92 \text{ Tonf} = 38442.06 \text{ N}$$

Dado que la sección transversal será cuadrada tenemos que

$$\frac{3 * 38442.06 \text{ N}}{2 * X * X} = 1.49 \text{ MPa}$$

$$X = 19.67 \text{ cm} \approx 20.00 \text{ cm}$$

La nueva sección transversal de las vigas ortogonales para el diseño a flexión es de 20x20cm, sección necesaria para que los esfuerzos admisibles sean iguales a los actuantes.

Dado que para las vigas ortogonales se calcularon dos posibles secciones se escoge la sección transversal de 20x20cm, la cual cumple con las condiciones tanto para el diseño a flexión y el diseño a cortante.



5. CONCLUSIONES

Las armaduras coloniales presentaron problemas patológicos que acusan la acción de agentes abióticos (climáticos) y biológicos sobre los componentes principales, en el caso de la cubierta Plana en Terraza, esta presentó lesiones físicas, comúnmente por infiltraciones de agua y de agentes biológicos, así como pudrición en algunas ménsulas y vigas, por la presencia de insecto xilófagos (termitas) y hongos, afectando la desintegración de la madera y ocasionando decoloración en esta. En el caso de la cubierta Par e Hilera y Par y Nudillo las cabezas de los tensores (ménsulas) presentaron agrietamiento y rajado.

En cuanto al estado actual de conservación de los sistemas constructivos de las cubiertas, se encuentran patrones como la humedad, rajaduras - grietas, picaduras y goteras que afectan los distintos elementos constructivos.

La gran mayoría de los documentos consultados como base teórica para el desarrollo de este estudio, cómo tesis de grado referentes a evaluaciones patológicas de edificios históricos de la ciudad de Cartagena, reflejan la presencia de los factores mencionados anteriormente, los cuales son comunes en edificaciones de tipología colonial y facilita la aparición de hongos que no necesitan excesiva humedad para desarrollarse. Esta presencia de hongos favorece a la aparición de insectos xilófagos y a la pérdida de las propiedades físicas y mecánicas de la madera, lo que a través del tiempo ocasiona su pudrición y ruptura, colocando en riesgo la estabilidad la estructura a futuro.

En cuanto al modelamiento en SAP2000 de las diferentes cubiertas coloniales, y tomando como referencia la norma sismo resistente (NSR-10), se permitió tener una visión más amplia del comportamiento de las cubiertas ante cargas muertas, vivas y de viento; mediante el método de diseño de los esfuerzos admisible se realizó la revisión de cada uno de los elementos de las cubiertas, obteniendo diferentes resultados.



Para el diseño a deflexión, en las cubiertas Par e Hilera y Plana en Terraza, se obtuvieron valores de 0.012 m y 0.010 m respectivamente, estos valores cumplen con lo establecido en la NRS-10, por otra parte en la cubierta Par y Nudillo, se obtuvo que la deflexión real es de 0.039 m lo cual supera en 1.18 la deflexión máxima admisible estipulada en la NSR-10, ya que la deflexión solo se excede en 6 mm, esta no representa un problema sumamente importante para la edificación.

Para el diseño a flexión, en la cubierta Par y Nudillo, los pares no cumplieron con los criterios de la NSR-10, ya que los momentos actuantes superan a los momentos admisibles un 1.18 aproximadamente, mientras que los nudillos y tensores si cumplen con dicho diseño. Por otra parte, en la cubierta Plana en Terraza, se encontró que las vigas ortogonales no cumplen con los criterios de diseño, debido a que los momentos actuantes son mayores que los momentos admisibles en 1.23 aproximadamente, sin embargo, las vigas y el entablado si cumplen con los criterios de diseño a flexión. Por último, en la cubierta Par e Hilera, se encontraron que tanto los pares como los tensores cumplen con el diseño a flexión estipulado en la norma.

En cuanto al diseño a cortante, se encontró que en la cubierta Plana en Terraza las vigas ortogonales no cumplen con los requisitos de la norma, ya que los esfuerzos actuantes superan a los esfuerzos admisibles en 1.34 aproximadamente, sin embargo, las vigas y el entablado de dicha cubierta cumplieron el diseño. De igual manera, todos los elementos de la cubierta Par y Nudillo y Par e Hilera, cumplen con los requerimientos de la NSR-10 para el diseño a cortante. Además, se observó que todos los elementos de las cubiertas Par y Nudillo, Par e Hilera y Plana en Terraza, cumplen con el diseño por fuerza axial (tensión y compresión).

Al evaluar las cargas verticales sobre los elementos que no cumplieron con los diseños, se observó que con dichas cargas No siguen cumpliendo los criterios de diseño establecidos por la NSR-10, por tanto, se calculó la sección transversal requerida para cada uno de los elementos, obteniendo que para los pares de la cubierta Par y Nudillo, la sección transversal que cumple todos los requisitos de la norma es de 16x12 cm, por otra parte, para las vigas



ortogonales de la cubierta Plana en Terraza, se tiene que la sección que satisface los requisitos de la norma es de 20x20 cm.

Las cubierta Par e Hilera y Par y Nudillo, se encuentran arriostradas con tensores dobles, los cuales evitan que se abra la estructura, es decir, que se desestabilicen los muros debido a las fuerzas horizontales de los pares, producidos por el peso de la cubierta, por esta razón se necesita principalmente que los tensores cumplan con los requerimientos de la norma sismo resistente; en cuanto al diseño a flexión, cortante y tensión axial, todos los tensores cumplen los criterios de la norma. En el caso de la cubierta Par y Nudillo, el nudillo tiene como principal función dar más rigidez a la estructura y detener la deflexión de los pares, por lo cual se requiere que estos elementos resistan los esfuerzos a compresión con los que trabajan, por tanto estos cumplen con los criterios establecidos en la norma.

En las observaciones visuales, realizadas en las diferentes estructuras de cubiertas, no se encontraron daños estructurales generados por fallas mecánicas y viendo la conservación de estas, se tiene que las diferentes cubiertas son totalmente funcionales para las cargas reales (esfuerzos resistentes de cada uno de los materiales usados), pero al usar los esfuerzos admisibles de los materiales, las combinaciones de cargas y las fuerzas horizontales de diseño estipuladas por la Norma Sismo Resistente (NSR-10), los modelos no cumplen con los altos factores de seguridad de dicha norma.

Al principio de la investigación, se pretendió analizar el comportamiento de cada cubierta bajo las cargas de sismo, pero dichas estructuras al estar simplemente apoyadas, no están sometidas a fuerzas de sismo, en el presente caso, las fuerzas se deben aplicar en los muros, por tanto, se descartaron las cargas debidas al sismo.

Este trabajo incluyó un estudio de respuesta de la estructura ante cargas de servicio según la NSR-10, lo cual permite tomar mejores decisiones a la hora de iniciar un proceso de evaluación estructural y restauración y/o rehabilitación de las cubiertas, que hoy se ven expuestas en la mayoría de los casos a otras solicitudes de carga por el cambio de uso a las que suelen ser sometidas, afectando el Patrimonio Histórico de la ciudad.



6. RECOMENDACIONES

La investigación que se llevó a cabo se limitó a mostrar un grado general del comportamiento estructural y no es del todo una evaluación patológica profunda de las diferentes cubiertas, ya que por limitaciones económicas no se propuso un estudio patológico con técnicas instrumentales y ensayos destructivos.

Se destaca la importancia de continuar con un estudio más a fondo en lo que concierne a las patologías que afecta a las diferentes cubiertas coloniales, debido a que la inspección visual no alcanza para diagnosticar la posibilidad del remplazo del elemento estructural, puesto que solo se distinguen agentes climáticos y biológicos que intervienen en las propiedades físicas y no en las propiedades mecánicas, que en su mayor grado habilitan o no su estabilidad estructural.

En la cubierta Par e Hilera, se deben acomodar las tejas desplazadas por la acción del viento y de la lluvia, y reemplazar las tejas que se encuentran rotas, con el fin de que se pueda evitar la exposición de la madera al efecto de la lluvia, así como las filtraciones en el interior de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN).

Preservar los elementos estructurales de madera presentes en las cubiertas ubicadas en la CUN; curarlos y esterilizarlos, para evitar vectores como el comején e impermeabilizar las partes que tengan contacto con los muros y estén expuestos a la intemperie para prevenir su descomposición y debilitamiento.

En cuanto a la cubierta Plana en Terraza, se ve la necesidad de sustituir las vigas de madera con síntomas de pudrición, las cuales presentan baja resistencia mecánica y física; se deben colocar piezas de igual especie e impregnada con protectores.

Utilizar protectores hidrosolubles (Sales CCA, Cromo – Cobre – Arsénico) en las vigas durmientes (estribo) presentes en cada cubierta estudiada, ya que dichos elementos tienen contacto directo con el muro, y es donde la humedad produce mayores efectos, se recomienda



utilizar un tratamiento químico, realizando varias perforaciones e inyectando, si es posible a presión, la sustancia protectora, lo anterior aplica cuando no se puede desmontar la estructura.

Aplicar medidas de refuerzo, aumentando las secciones de los diferentes elementos como lo son los pares, y vigas, de tal manera que aumente la capacidad resistente en aquellos elementos estructurales que no cumplen con los requisitos establecidos en la NSR-10, como se evidencio en el presente trabajo.

Para el caso preciso de las vigas ortogonales de la cubierta plana en terraza que son las más críticas, se deben remplazar por vigas de abarco con una sección transversal de 20x20cm para que cumpla con los criterios de diseño que establece la NSR-10 o se debe evaluar otra forma de reforzar las vigas ortogonales para evitar el deterioro de estas mismas.

Verificar las fuerzas de sismo en los apoyos de las cubiertas, es decir, los muros presentes en cada casa colonial estudiada, los cuales son los responsables de soportar dichas fuerza

- Recomendaciones generales

Es de vital importancia la presencia del **tirante** (tensor) en las cubiertas Par e Hilera y Par y Nudillo, pues da rigidez y estabilidad al sistema, impidiendo que se abran los muros bajo el empuje del peso de la propia cubierta que se concentra en el estribo (viga durmiente).

Es de gran importancia la aplicación de sustancias químicas para prolongar la vida útil de los elementos de madera, que van a ser puestos en servicio en una obra de construcción o restauración, con el objetivo de hacerla resistente al ataque de hongos, insectos y la intemperie, así como mejorar su estabilidad dimensional.

Las tejas españolas de las orillas deben sobresalir de 5.0 a 10 cm, entre más sobresalga es mejor.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Angulo Guerra, F. (2012). Cubiertas en la Arquitectura Colonial y Republicana de Cartagena, Turbaco y Arjona. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia.
2. Arana Archila, N. (2007). Techos de Madera Proceso de Ejecución Constructiva Artesones, Terraza Española y Pérgolas. Universidad de San Carlos de Guatemala.
3. Ayola Ballesteros, J. J., & Matute Turizo, M. J. (2013). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera utilizada como viga de entrepiso en las viviendas coloniales del Centro Histórico de la ciudad de Cartagena*. Cartagena, Colombia
4. Bonfante Polo, A., & Bustos Molina, K. (2014). *Caracterización, clasificación y patología de las especies de maderas más usadas en la construcción como elementos estructurales permanentes en la ciudad de Cartagena*. Cartagena, Colombia.
5. Bustamante Martelo, G. L., & Castillo Brieva, J. L. (2012). *Evaluación y Diagnostico Patológico de la Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo de Cartagena de Indias*. Cartagena, Colombia.
6. Caballero Guerrero, A. R. (2007). Determinación de la Vulnerabilidad Sísmica por Medio del Método del Índice de Vulnerabilidad en las Estructuras Ubicadas en el Centro Histórico de la Ciudad de Sincelejo, Utilizando la Tecnología del Sistema de Información Geográfica. Sincelejo, Sucre, Colombia.
7. Cabarcas B., & Mejía, G. (2004). La madera como elemento de la construcción colonial española en Cartagena de Indias, siglo XVI a XVII, un enfoque desde la ingeniería civil moderna. Cartagena, Colombia.



8. CUZA, A., CARRERAS, R., & SARALEGUI, H. (2005). *Maderas que Fueron Usadas en la Construcción de Edificaciones Coloniales del Centro Histórico de la Habana Vieja, Cuba.*
9. ERN (Evaluación de Riesgos Naturales). (2011). *Vulnerabilidad de Edificaciones e Infraestructura. Tomo I: Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales.*
10. Fortich Gonzáles, C. C., & López Hernández, L. A. (2016). *Determinación de la vulnerabilidad en las estructuras de las casas coloniales ubicadas en el Barrio Getsemaní de la Ciudad de Cartagena.* Cartagena, Colombia.
11. Jesberger, A. (2014). *Evaluación y Rehabilitación de los defectos de la madera.* Universidad Estatal de Pensilvania.
12. Keenan, F. J., & Tejada, M. (1987). *Maderas Tropicales como Material de Construcción en los países del Grupo Andino de América del Sur.* Cartagena: International Development Research Centre 1987.
13. Mari, J. A., (2015). *El Árbol de Ceiba.* Edicionesdigitales.info. Mayagüez, Puerto Rico.
14. NSR-10. (2010). *Norma Sismo Resistente Colombiana, Título A – Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente.* Colombia.
15. NSR-10. (2010). *Norma Sismo Resistente Colombiana, Título B - Cargas.* Colombia.
16. NSR-10. (2010). *Norma Sismo Resistente Colombiana, Título G – Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua.* Colombia.



17. Ospino Hoyos, M., & Torres Cabarcas M. (2016). *Vulnerabilidad de Casas Altas de tipo Colonial ubicadas en el Centro Histórico de la ciudad de Cartagena*. Cartagena, Colombia.
18. PADT-REFORT, (1984). Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 3^a Edición, Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de Recursos Forestales Tropicales, Junta del Acuerdo de Cartagena, Pacto Andino, Lima, Perú.
19. PEÑARANDA, L. (2011). *Manual para la conservación del Patrimonio Arquitectónico habitacional de Sucre*. Sucre, Bolivia.
20. SAP2000. (2017). Csiespana. CSI Spain. Recuperado de <http://www.csiespana.com/software/2/sap2000>
21. Singh, J., & White, N. (1997). Timber decay in buildings: Pathology and control. *Journal of performance of constructed facilities*, 11(1), 3-12.
22. Zanni, E. (2004). *Patología de la madera*. Argentina. Editorial Brujas.

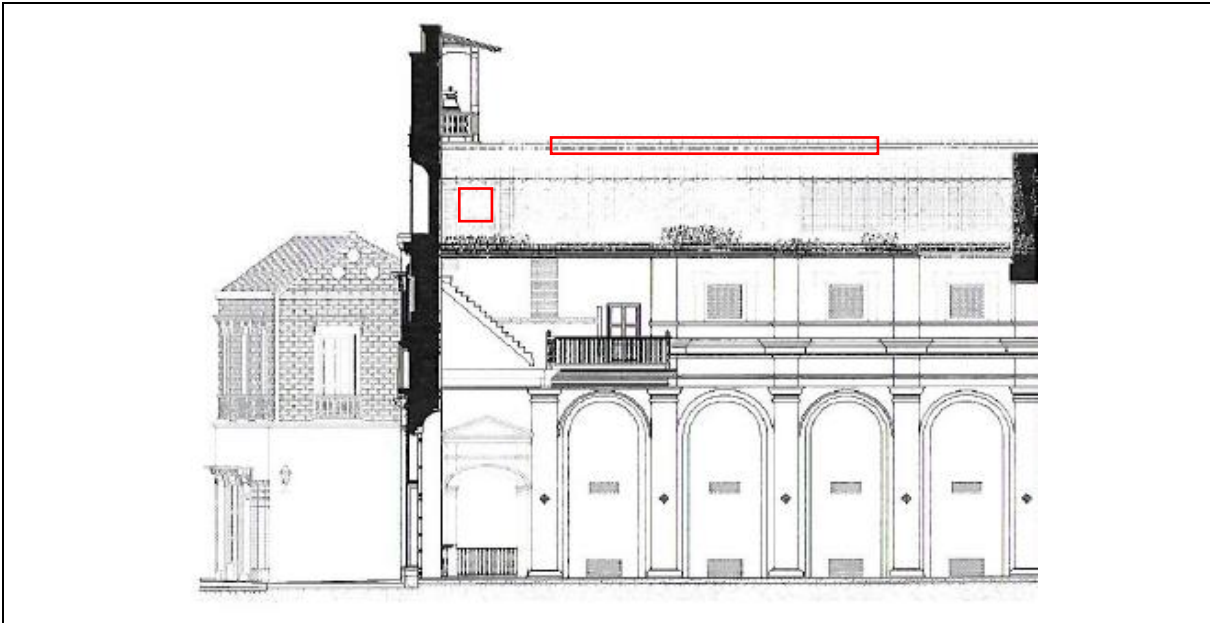


ANEXOS



ANEXOS 1. Ficha Patológica Iglesia de Santo Toribio de Mogrovejo

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN			
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial	X		
Ciudad	Cartagena de Indias	Edificación Republicana			
Lugar	San Diego	Edificación Alta			
Dirección	Cl. 38 #6-107 Calle Sargento Mayor	Edificación Baja			
Fecha	15 de Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos	X		
Edificio	IGLESIA DE SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO				
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA					
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO	
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA					
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Hotel	Otros ¿Cuál?
		X			
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)			DIRECTOR	Walberto Rivera Martínez	
<i>Clima</i>			AUTORES	Leonardo Castillo Burgos Franluid Posada Arcila	
Seco	X				
Lluvioso					
VALORACIÓN VISUAL					
ELEMENTO	<i>Cubierta en Par y Nudillo</i>		LESIONES ENCONTRADAS		
AFECCIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad	X	Humedades	X	
	Funcionalidad	X	Desprendimientos		
	Aspecto		Grietas - Rajaduras	X	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible	X	Fisuras		
	Necesaria		Erosión		
	Conveniente		Suciedad	X	
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Desgaste		
	Moderado		Hongos – Moho		
	Fuerte		Perdida de Material		
	Severo				



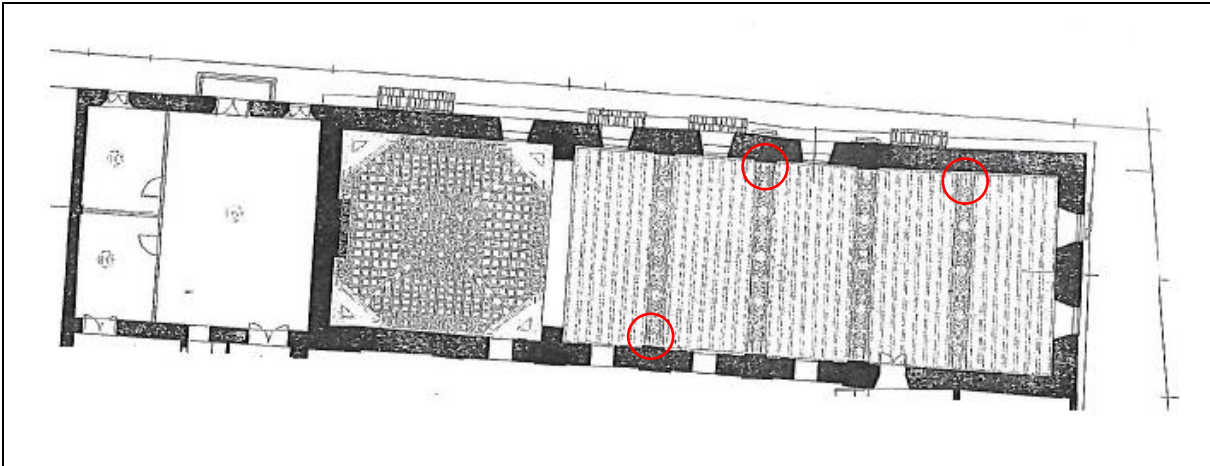
RECuento FOTOGRÁFICO No. 1. Síntomas que acusan la acción de agentes climáticos y biológicos sobre los componentes principales como la cumbrera, pares, nudillos y cabeza de los tensores. (2013)

Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIA DE
ACUERDO A LA NSR-10*





RECuento FOTOGRÁFICO No. 2. Perdida de conexión entre tirante y solera como consecuencia de la pudrición de las cabezas. (2013)

Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10*





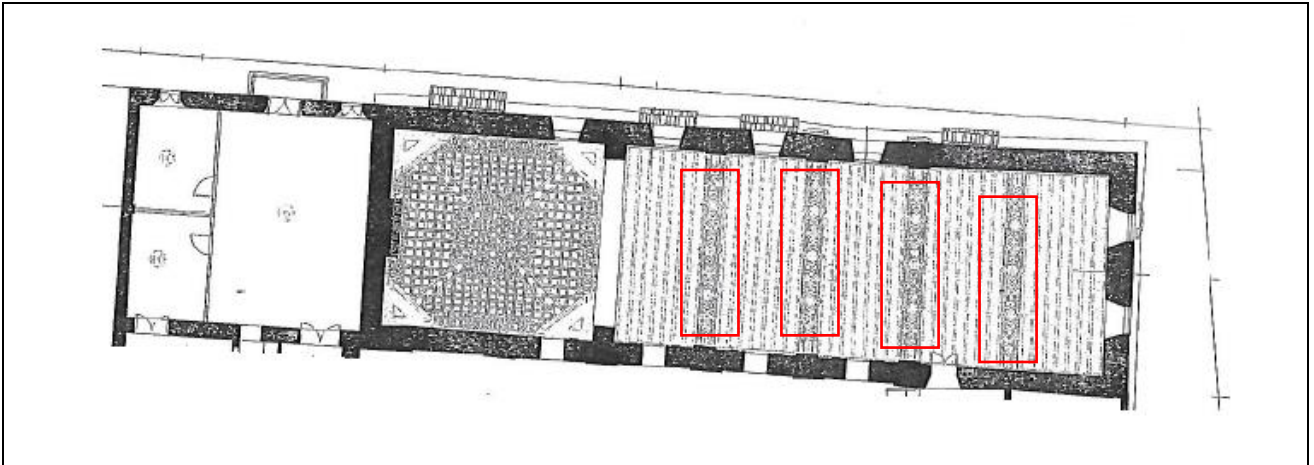
RECuento FOTOGRÁFICO No. 3. Encuentro de los extremos superiores de los pares y la cumbra. Las maderas de los pares y cumbra se encontraban en estado crítico por la alta pérdida de sección, agentes xilófagos y la humedad constante del ambiente. (2013)

Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10*



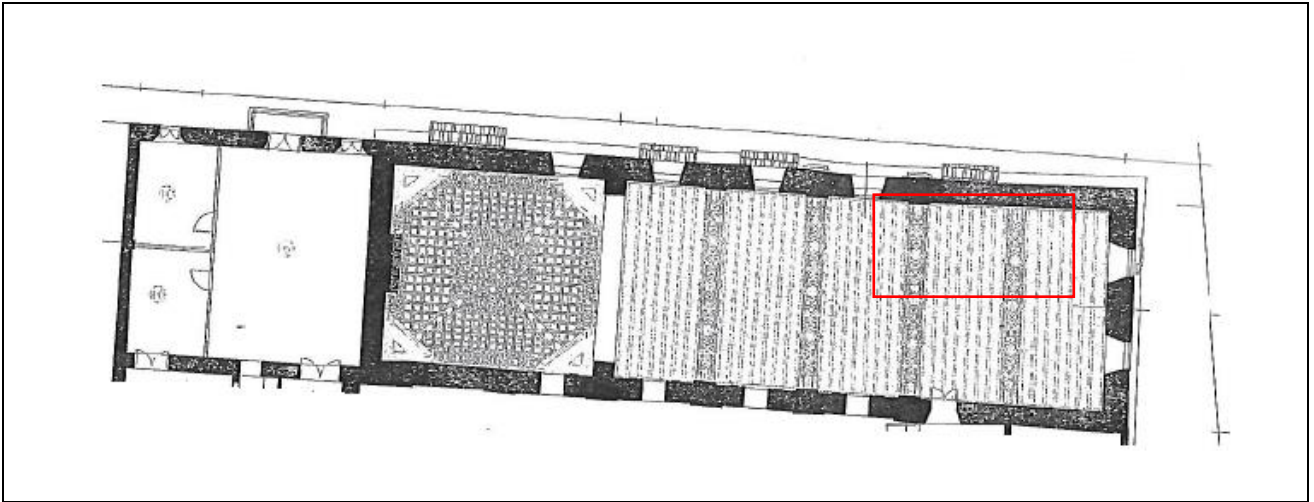


RECuento FOTOGRÁFICO No. 4. Desmonte de tensores y durmientes, se aprecia el mal estado de la estructura de madera. (2013)


Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila
Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10*





RECuento FOTOGRÁFICO No. 5. Humedades observadas en el artesonado por infiltraciones de agua lluvia. (2013)

<p>Leonardo Castillo Burgos Franluid Posada Arcila Director: Walberto Rivera M.</p>	<p><i>EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE ACUERDO A LA NSR-10</i></p>	
--	--	---



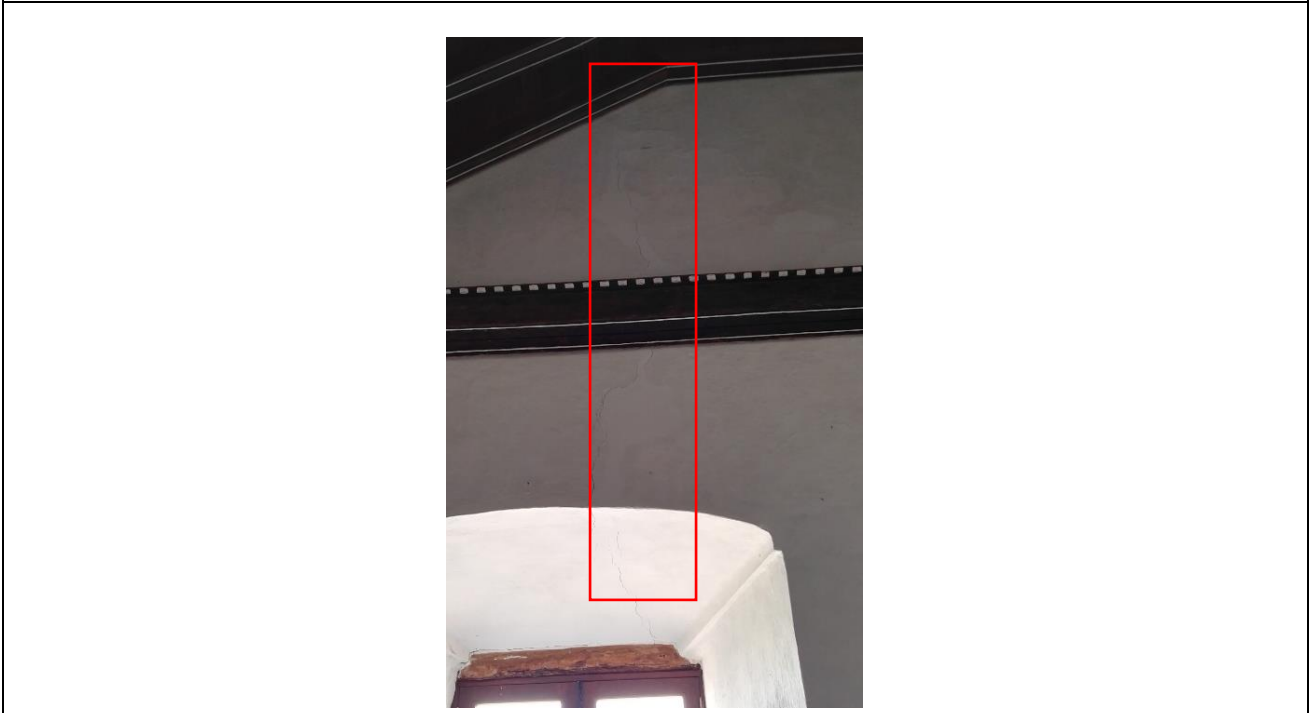
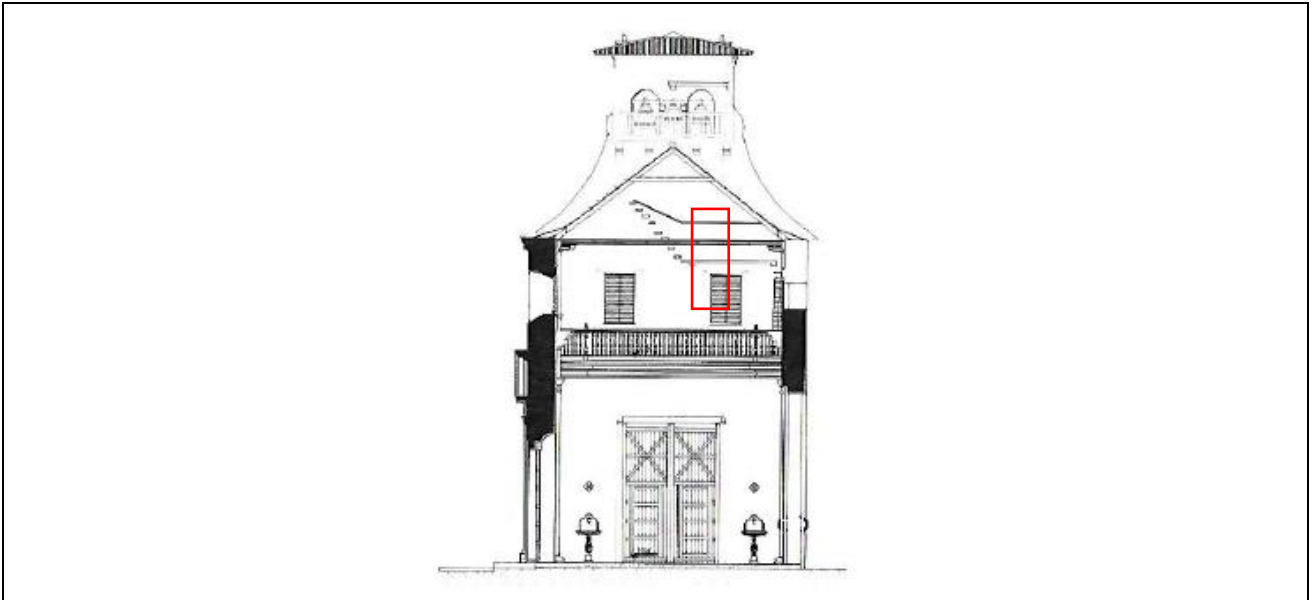
RECUENTO FOTOGRÁFICO No. 6. Detalle de formación de moho o verdín en la cubierta.
(2013)

Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIA DE
ACUERDO A LA NSR-10*





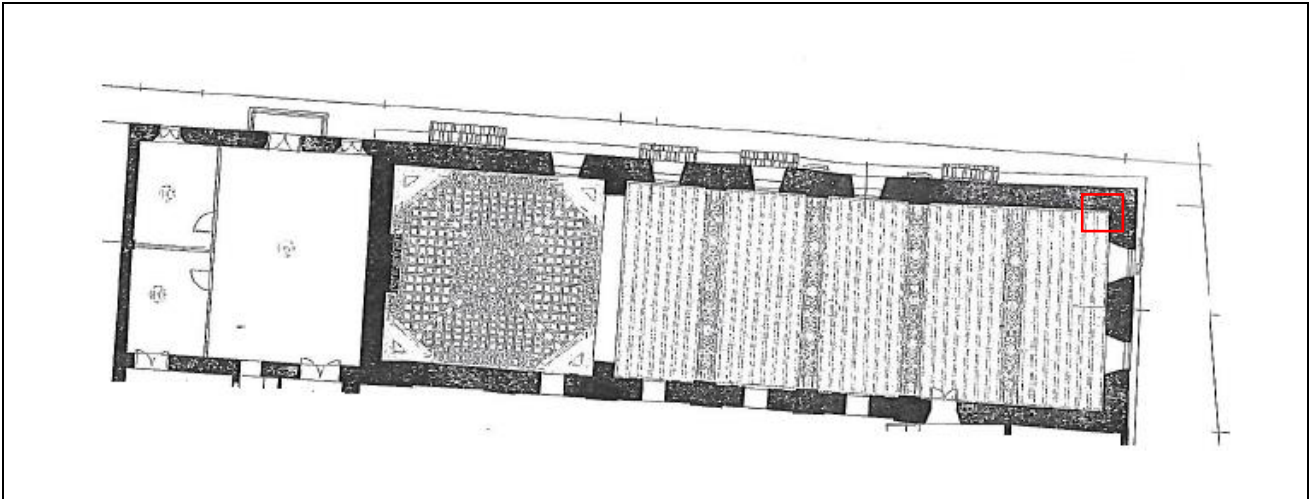
RECUENTO FOTOGRÁFICO No. 7. Grieta vertical en el muro de fachada. (2017)

Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10*





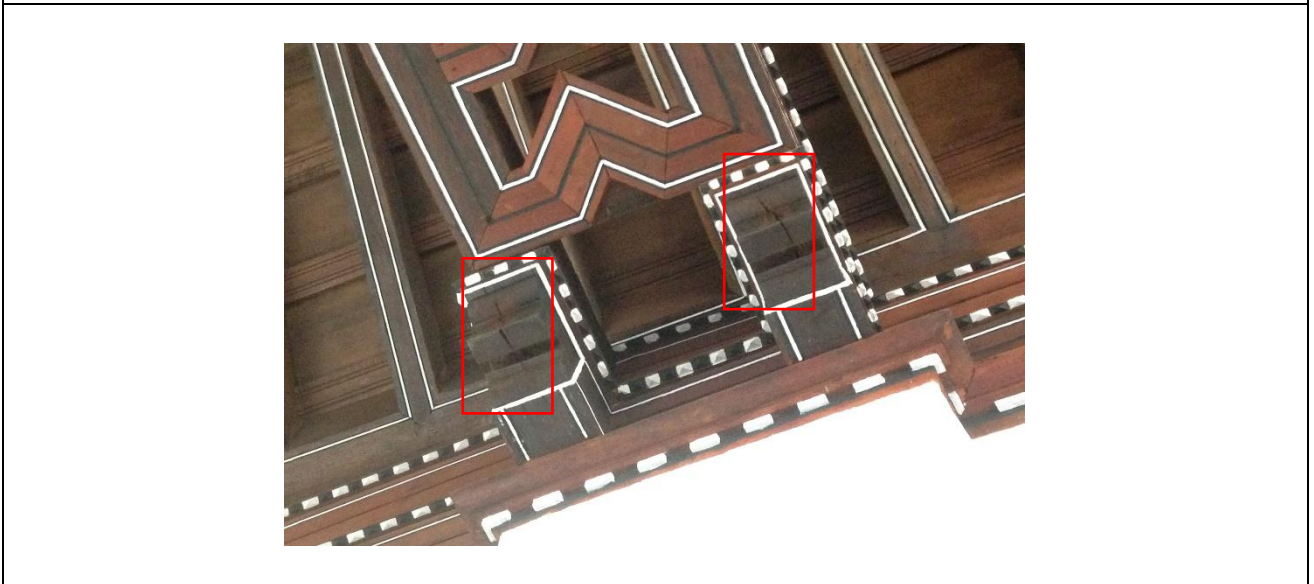
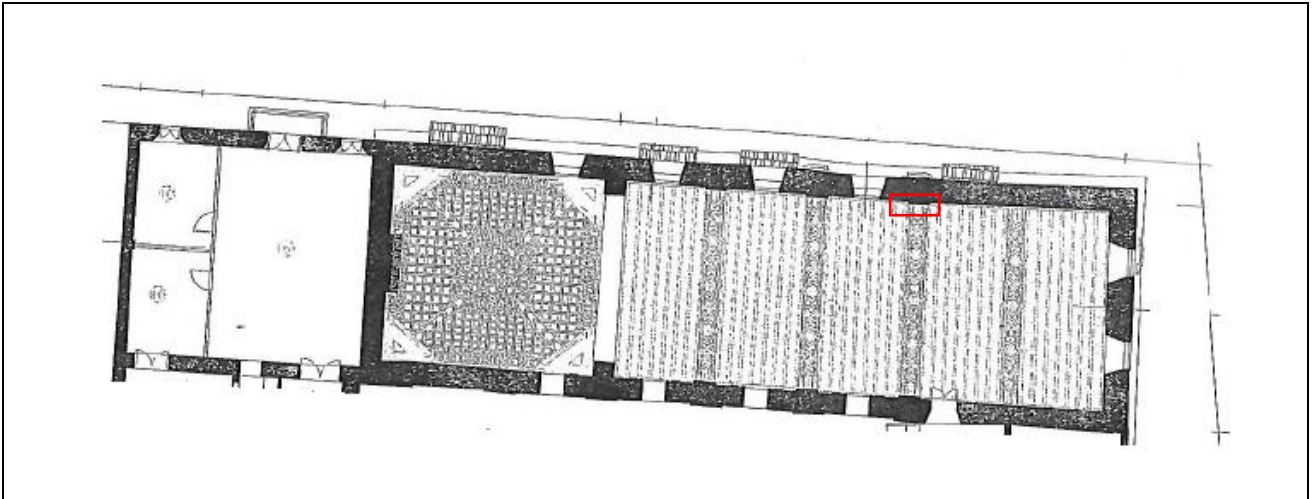
RECuento FOTOGRÁFICO No. 8. Parte del muro que presenta síntomas de humedad, la cual afecta la cabeza del tirante.(2017)

**Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila**

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10*





RECuento FOTOGRÁFICO No. 9. Rajaduras presentes en las cabezas del tirante, estas expuestas a la impregnación de insectos xilófagos. (2017)

<p>Leonardo Castillo Burgos Franluid Posada Arcila Director: Walberto Rivera M.</p>	<p><i>EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE ACUERDO A LA NSR-10</i></p>	
---	--	--

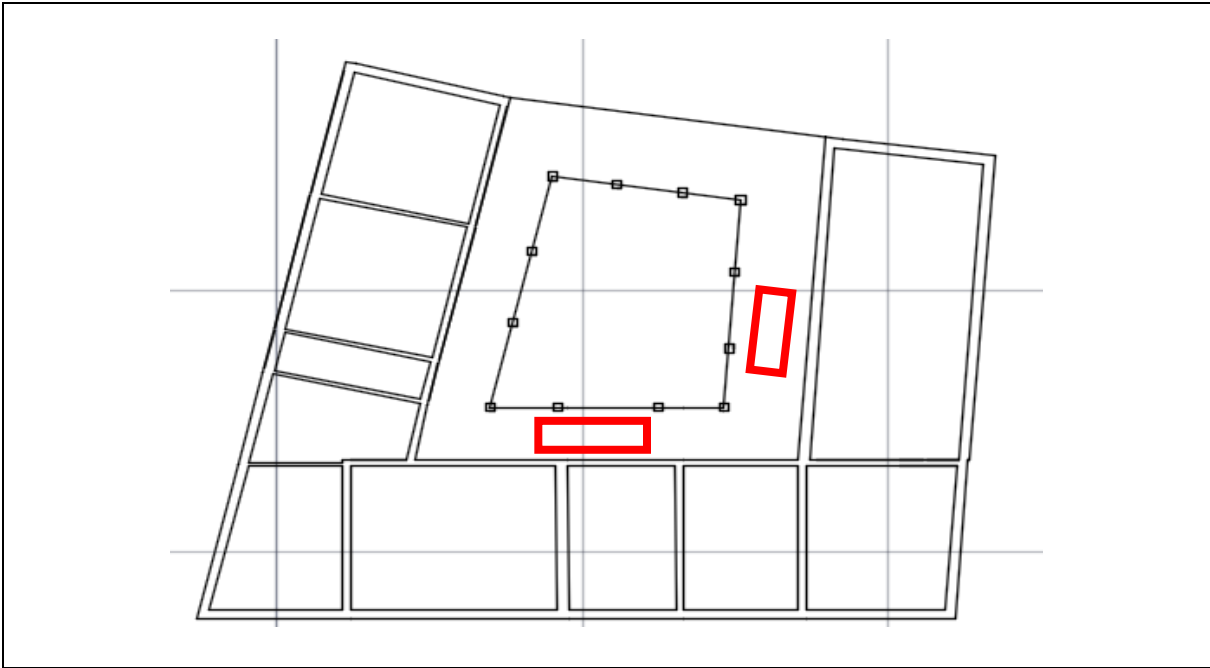


EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS CUBIERTAS DE LA CASA
DE TIPOLOGÍA COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE ACUERDO A LA NSR-10



ANEXOS 2. Ficha Patológica Corporación Unificada de Educación Superior (CUN)

DATOS GENERALES		CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN			
Departamento	Bolívar	Edificación Colonial	X		
Ciudad	Cartagena de Indias	Edificación Republicana			
Lugar	San Diego	Edificación Alta			
Dirección	Carrera 10 Numero 39-02 Calle Serrezuela	Edificación Baja			
Fecha	28 de Agosto 2017	Edificación Alta Con Entrepisos	X		
Edificio	CORPORACIÓN UNIFICADA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR (CUN)				
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA					
¿La Edificación Se Encuentra en Uso?		SI	X	NO	
UTILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA					
Familiar	Hotel	Institucional	Comercial	Hotel	Otros ¿Cuál?
		X			
ENTORNO (AMBIENTE EXTERIOR)			DIRECTOR	Walberto Rivera Martínez	
<i>Clima</i>			AUTORES	Leonardo Castillo Burgos Franluid Posada Arcila	
Seco	X				
Lluvioso					
VALORACIÓN VISUAL					
ELEMENTO	<i>Cubierta en Par e Hilera y Plana en Terraza</i>		LESIONES ENCONTRADAS		
AFECCIÓN DE LAS LESIONES	Seguridad	X	Humedades	X	
	Funcionalidad	X	Desprendimientos		
	Aspecto	X	Grietas - Rajaduras	X	
NIVEL DE INTERVENSIÓN	Imprescindible	X	Fisuras		
	Necesaria		Erosión		
	Conveniente		Suciedad	X	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Desgaste		
	Moderado	X	Hongos – Moho	X	
	Fuerte		Perdida de Material	X	
	Severo				



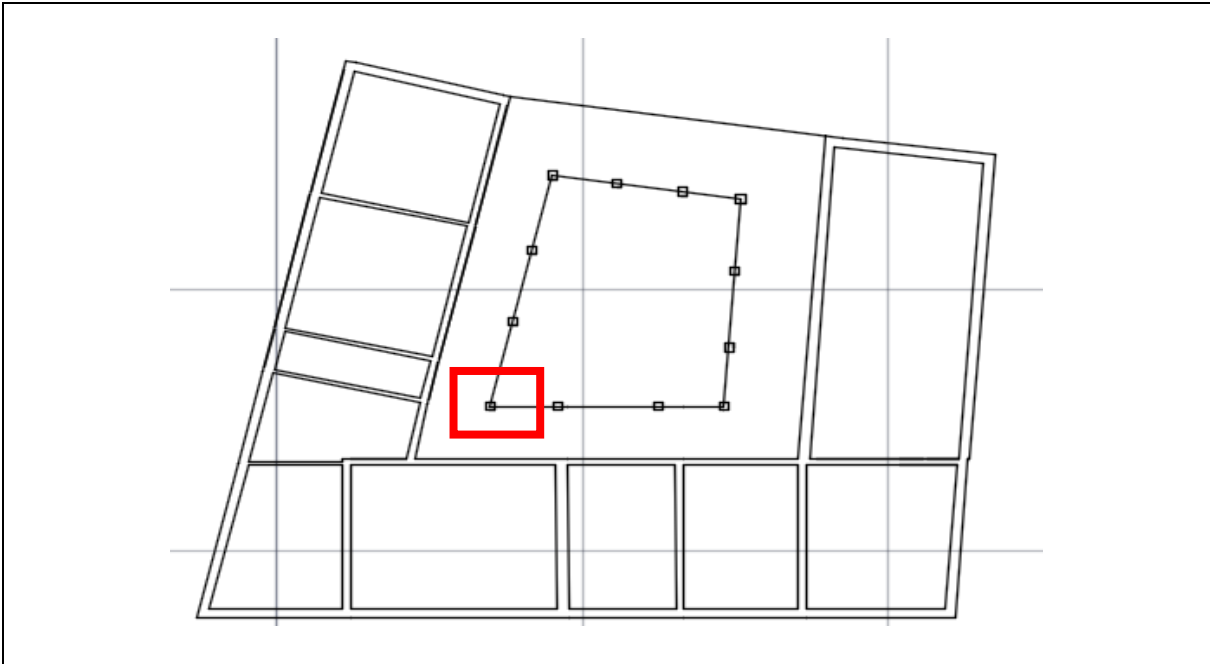
RECUESTO FOTOGRÁFICO No. 1. Presencia de xilófagos del tipo “termitas o comejenes”, se evidencia la pérdida de material en las vigas generado por los xilófagos.

Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10*





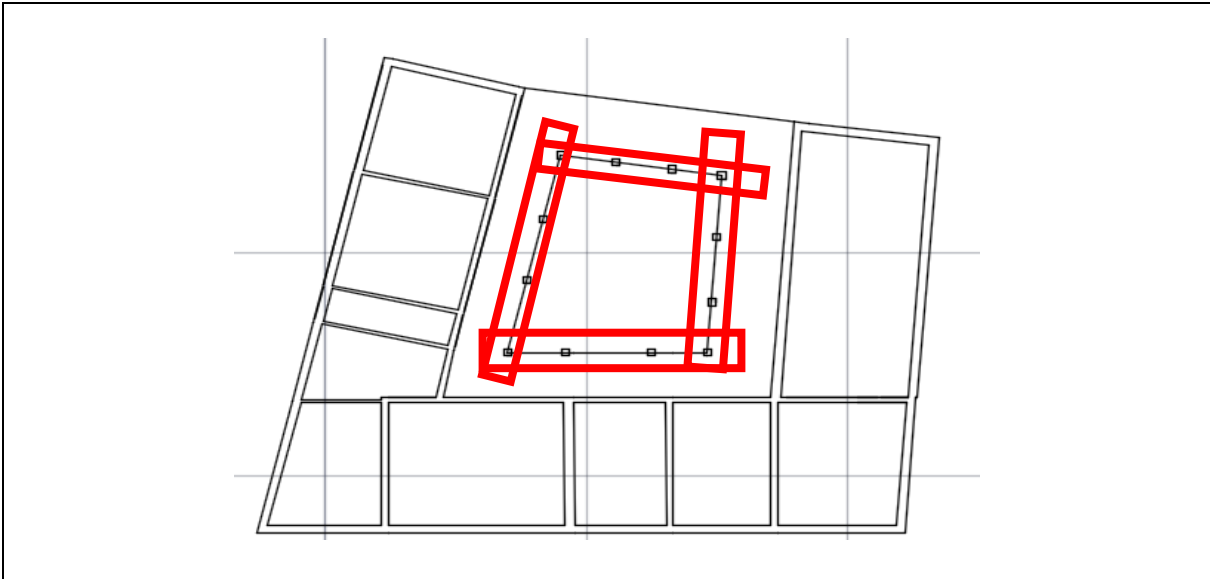
RECuento FOTOGRÁFICO No. 2. Filtraciones de agua en la cubierta plana, por consiguiente permitieron la aparición de hongos, que se evidencian por las manchas blancas en la madera.

**Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila**

Director: Walberto Rivera M.

***EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10***





RECuento FOTOGRÁFICO No. 3. La humedad generada por el escurrimiento del agua en el borde de la cubierta plana permitió la aparición de moho y también comenzó un proceso de pudrición de la madera.

Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10*





RECuento FOTOGRÁFICO No. 4. La rotura de algunas tejas permite que se filtre el agua generando daño a la madera.

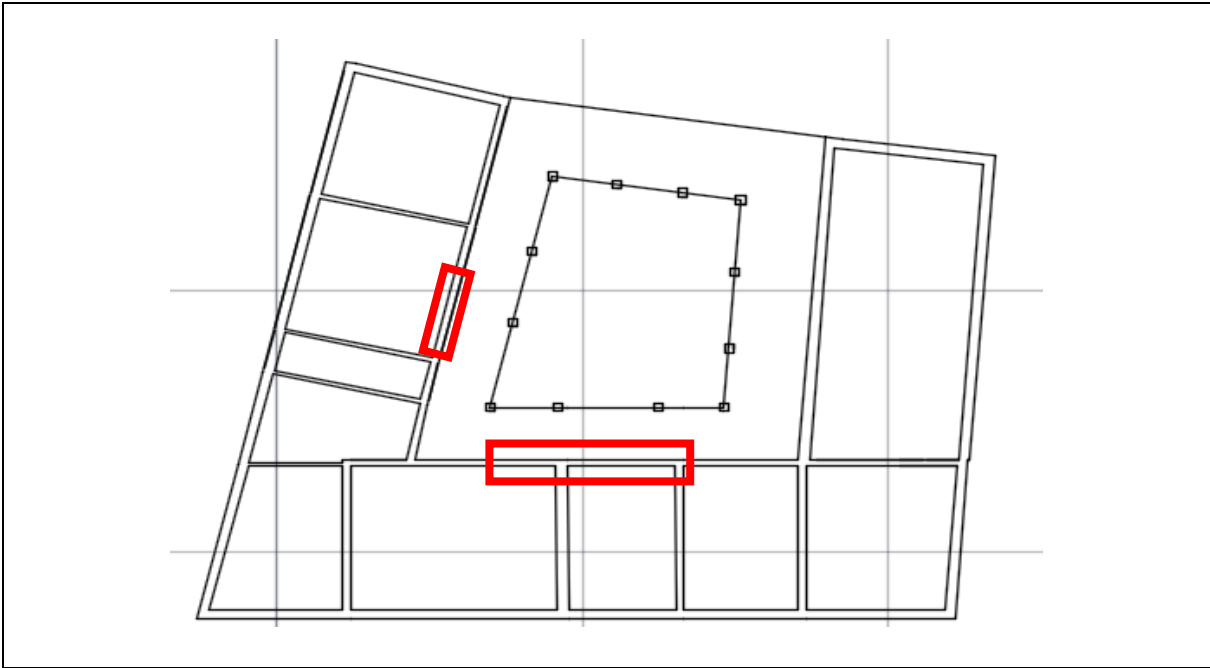
La suciedad presente en las tejas permite que se mantenga la humedad necesaria para la aparición de moho que ayuda al deterioro de estas.

Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10*





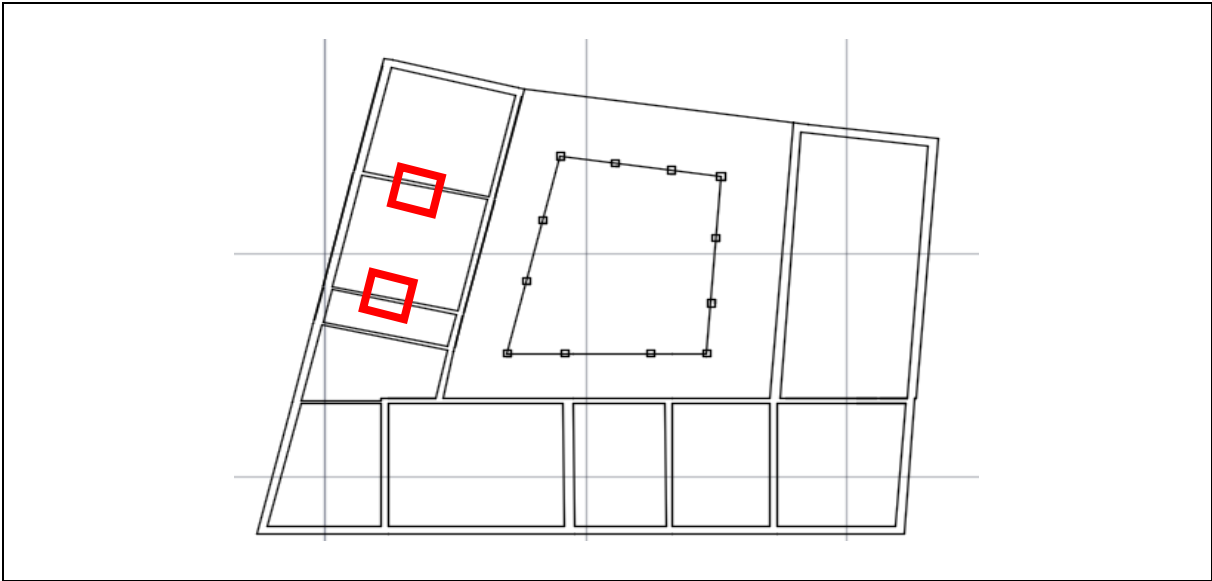
RECuento FOTOGRÁFICO No. 5. Presencia de xilófagos del tipo “termitas o comejenes” en los pares del faldón exterior de la cubierta en Par e Hilera.

Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10*





RECUESTO FOTOGRÁFICO No. 6. Rajaduras presentes en las cabezas del tirante, estas expuestas a la impregnación de insectos xilófagos.

Leonardo Castillo Burgos
Franluid Posada Arcila

Director: Walberto Rivera M.

*EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS
CUBIERTAS DE LA CASA DE TIPOLOGÍA
COLONIAL EN CARTAGENA DE INDIAS DE
ACUERDO A LA NSR-10*





ANEXOS 3. Glosario

- Almizate. Harneruelo. Paño horizontal construido sobre los nudillos.
- Apeinado. Armadura trabada con peinaos. (En las lacerías apeinadas el trabajo ornamental es estructural al mismo tiempo).
- Argamasa. Mezcla de pega hecha a base de cal y arena.
- Armadura en par y nudillo. Armadura similar a la armadura en par e hilera pero con una riostra horizontal en su parte superior llamada nudillo.
- Armadura en par e hilera. Armadura sencilla a dos aguas hecha con una serie de pares apoyados en la parte superior en una viga llamada hilera y en la parte inferior en una viga solera o en un estribo.
- Arrocabe. Conjuntos de las tabicas, tocaduras y de-más elementos que en una armadura de cubierta desde la solera o bocelón, en la parte inferior, hasta la cinta del almarbate en el arranque de los pares, sirven de tapajuntas y remate a las piezas estructurales que no van a la vista.
- Artesón. Elemento ornamental dispuesto en la retícula de una armadura el cual recuerda la forma de una artesa.
- Artesonado. Ornamentación de la estructura interior visible en una cubierta
- Can. Parte saliente en voladizo de una viga.
- Cubierta. Elemento superior de una edificación que la protege de la intemperie.
- Cumbreira. Caballete del tejado. Se dice también de la viga superior de este tejado (Viga cumbreira).
- Durmiente. Viga horizontal que reposa sobre el muro y que recibe los pares.
- Entablado. Superficie de tablas de madera que se apoyan sobre los pares en una cubierta y que recibe la teja. O como las tablas que se apoyan en las vigas del forjado en un alfarje.
- Estribo. Viga inferior de la cubierta que recibe los pares.
- Lacería. El conjunto del trabajo de lazo.
- Lazo. En la carpintería de armar, la labor que se obtiene entretejiendo cintas de madera



- Nudillo. Pieza horizontal que arriostra los pares en la parte superior de una armadura en las cubiertas en par y nudillo. Pieza conectora. Anclajes de madera en el muro para recibir la estructura de la cubierta.
- Par y nudillo. Sistema similar al en par e hilera pero con una especie de tirante adicional a dos tercios de la altura de la cubierta llamado nudillo que ayuda a arriostrar los pares. Sobre los nudillos suele armarse el almizate o harneruelo.
- Par. Elemento estructural inclinado de la cubierta que recibe el entablado o las correas de una cubierta.
- Peinazo. E. Nuere dice. “Madero que se ensambla a otro para formar una trama determinada, ya sea una puerta o ventana, o la armadura de una techumbre con o sin lazo”.
- Riostra. Elemento que evita el volcamiento o la deformación de un elemento estructural.
- Sino. Signo. Figura central en la labor de lacería generalmente con forma de estrella.
- Solera. Viga durmiente.
- Teja. Elemento de acabado de una cubierta.
- Tipología. Conjunto de características físicas y espaciales comunes de una serie de edificaciones que hacen que se las pueda catalogar dentro de una categoría unificada en la ordenación que se pretenda realizar.
- Tirante. Viga que arriostra la armadura contra el empuje de los pares.