



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**CUBIERTAS DE TECHO UTILIZANDO CAÑAS DE BAMBÚ
MAMPUESTAS DE 2,5 METROS DE LARGO**

Manuel Antonio Batz Cún

Asesorado por el Ing. Fredy Alexander Contreras Castañaza

Guatemala, enero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CUBIERTAS DE TECHO UTILIZANDO CAÑAS DE BAMBÚ
MAMPUESTAS DE 2,5 METROS DE LARGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MANUEL ANTONIO BATZ CÚN

ASESORADO POR EL ING. FREDY ALEXANDER CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|----------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Jorgen Andoni Ramírez Ramírez |
| VOCAL V | Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|---------------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Juan Ramón Ordoñez Hernández |
| EXAMINADOR | Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velásquez |
| EXAMINADORA | Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CUBIERTAS DE TECHO UTILIZANDO CAÑAS DE BAMBÚ MAMPUESTAS DE 2,5 METROS DE LARGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 01 de septiembre de 2015.

Manuel Antonio Batz Cún



Guatemala, 2 de septiembre de 2016.

Ingeniero:
José Gabriel Ordoñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Por este medio tengo el agrado de informar a usted que en calidad de asesor, he revisado el trabajo de graduación titulado: **“CUBIERTAS DE TECHO UTILIZANDO CAÑAS DE BAMBÚ MAMPUESTAS DE 2,5 METROS DE LARGO”** presentado por el estudiante universitario de Ingeniería Civil **Manuel Antonio Batz Cún** y habiéndose realizado las correcciones necesarias satisfactoriamente, hago de su conocimiento que me permito recomendar su aprobación.

Atentamente.

Ing. Fredy Alexander Contreras Castañaza

Asesor.

Fredy Alexander Contreras Castañaza
-Ingeniero Civil- Col: 10754



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
 07 de octubre de 2016

Ingeniero
 Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos


Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CUBIERTAS DE TECHO UTILIZANDO CAÑAS DE BAMBÚ MAMPUESTAS DE 2,5 METROS DE LARGO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Manuel Antonio Batz Cún quien contó con la asesoría del Ing. Fredy Alexander Contreras Castañaza.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


 Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
 Asesor y Coordinador del Área de Materiales y
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE MATERIALES Y
 CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua






USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



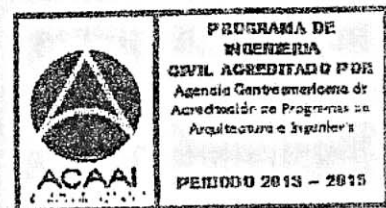
El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Fredy Alexander Contreras Castañaza y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Manuel Antonio Batz Cún, titulado **CUBIERTAS DE TECHO UTILIZANDO CAÑAS DE BAMBÚ MAMPUESTAS DE 2,5 METROS DE LARGO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2016
 /mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





Ref.DTG.D.016.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **CUBIERTAS DE TECHO UTILIZANDO CAÑAS DE BAMBÚ MAMPUESTAS DE 2,5 METROS DE LARGO**, presentado por el estudiante universitario: **Manuel Antonio Batz Cún**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, enero de 2017



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por brindarme la sabiduría para poder tomar decisiones correctas y así alcanzar esta meta trazada en mi vida.
- Mis padres** Antonio Batz y María Elena Cún, por brindarme en más de una ocasión el milagro de la vida y realizar el sacrificio de poder dejar a su hijo una educación, siendo esta la mejor herencia que un padre puede dar.
- Mis hermanos** Heidy Batz Cún y Jepsster Batz Cún, por permanecer siempre a mi lado brindándome su apoyo y comprensión incondicional aun en los momentos más difíciles de mi vida.
- Mis sobrinos** Keiry, Jepsster y Nicole, por ser mi motivación a ser un buen ejemplo para ellos.
- Mi familia** A cada uno de los miembros de mi familia, incluso a aquellos que no son por sangre, en especial a Carlos Cún, Álvaro Cún y Rutilia Cún.
- Bill Vasey** Who was the bridge between me and my new life.

My Chicago Family

For all the love they gave me even when I was a stranger and be faithful all the way the hardest time of my life.

Personas especiales

A todas esas personas que me han ayudado incluso de forma anónima a lo largo de mi vida sin esperar ningún reconocimiento y en especial el Dr. Guillermo Ponce y el Ing. Hernán Figueroa.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad San
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de estudio que me refugié durante esta etapa de mi vida.

Facultad de Ingeniería

Por ampliar mis conocimientos y brindarme las herramientas necesarias con las cuales poder alcanzar el éxito profesional.

Mi asesor

Ingeniero Fredy Contreras por su enseñanza y dedicación en el asesoramiento de mi trabajo de graduación de una manera desinteresada.

**Sección Tecnología
de la Madera, CII, Usac**

Por permitirme ser un miembro más de la sección y brindarme apoyo más allá del ámbito técnico y profesional.

**Sección de Tecnología
de Materiales, CII, Usac**

Al personal técnico, administrativo y practicantes de la sección durante el primer semestre de 2016 por su valioso apoyo brindado para que fuese posible la elaboración de este documento.

**Laboratorio de
Operaciones Unitarias,
Escuela de Ingeniería
Química**

Ingeniero Jorge Godínez por su amistad y colaboración en la realización del presente trabajo de graduación.

**Amigo y compañeros
de estudio**

Por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera
y todas esas horas interminables de estudio.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN..... | XV |
| OBJETIVOS..... | XVII |
| INTRODUCCIÓN | XIX |
| | |
| 1. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1. Variedades de bambú estudiadas en Guatemala..... | 1 |
| 1.2. Regiones en donde hay disponibilidad de bambú. | 6 |
| 1.3. Características físicas de las variedades de bambú estudiadas | 8 |
| 1.4. Propiedades mecánicas de las variedades de bambú estudiadas. | 11 |
| | |
| 2. GENERALIDADES PARA UNA CUBIERTA DE TECHO | 17 |
| 2.1. Definición de cubierta de techo | 17 |
| 2.2. Tipos de techos livianos | 18 |
| 2.3. Pendientes sugeridas | 20 |
| 2.4. Materiales utilizados para la construcción de cubierta de techo..... | 22 |
| 2.5. Elementos complementarios para la construcción de cubierta de techo | 26 |
| 2.6. Cubierta de techo elaborado con bambú..... | 26 |

| | | |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7. | Tratamiento preventivo para garantizar la durabilidad del bambú | 28 |
| 3. | METODOLOGIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CUBIERTA DE TECHO UTILIZANDO BAMBÚ..... | 33 |
| 3.1. | Características físicas y propiedades mecánicas del bambú seleccionado | 33 |
| 3.2. | Elementos de la cubierta de techo | 35 |
| 3.3. | Proceso de fabricación de los elementos utilizados en la cubierta de un techo..... | 39 |
| 3.4. | Estructura de soporte para una cubierta de techo utilizando con bambú como materia prima..... | 48 |
| 3.5. | Armado de cubierta y anclaje..... | 48 |
| 4. | METODOLOGIA DE ENSAYOS DE LABORATORIO | 51 |
| 4.1. | Impacto | 51 |
| 4.2. | Deflexión | 53 |
| 4.3. | Absorción | 55 |
| 4.4. | Permeabilidad | 57 |
| 4.5. | Características térmicas..... | 59 |
| 5. | DESARROLLO EXPERIMENTAL..... | 63 |
| 5.1. | Cálculos y resultados | 65 |
| 5.1.1. | Impacto..... | 65 |
| 5.1.2. | Deflexión | 67 |
| 5.1.3. | Absorción | 71 |
| 5.1.4. | Permeabilidad | 73 |
| 5.1.5. | Características térmicas..... | 76 |
| 5.2. | Presentación de resultados..... | 78 |
| 5.2.1. | Impacto..... | 78 |

| | | |
|--------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.2. | Deflexión..... | 80 |
| 5.2.3. | Absorción..... | 82 |
| 5.2.4. | Permeabilidad..... | 83 |
| 5.2.5. | Características térmicas | 85 |
| 5.3. | Análisis y discusión de resultados en los ensayos de laboratorio..... | 86 |
| 5.3.1. | Impacto | 86 |
| 5.3.2. | Deflexión..... | 87 |
| 5.3.3. | Absorción..... | 87 |
| 5.3.4. | Permeabilidad..... | 87 |
| 5.3.5. | Características térmicas | 88 |
| 6. | GUÍA PARA LA FABRICACION DE UNA CUBIERTA DE TECHO UTILIZANDO BAMBÚ | 89 |
| 6.1. | Corte y dimensionamiento | 89 |
| 6.2. | Manejo de bambú | 104 |
| 6.3. | Armado de cubierta | 105 |
| | CONCLUSIONES | 119 |
| | RECOMENDACIONES | 121 |
| | BIBLIOGRAFIA..... | 123 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | Distribución natural del bambú en el mundo | 7 |
| 2. | Clasificación del bambú y su origen por especie | 8 |
| 3. | Partes de un techo liviano | 19 |
| 4. | Bambusa vulgaris..... | 35 |
| 5. | Cañas de bambú cortadas por la mitad en su sección transversal | 36 |
| 6. | Pasadores elaborados con bambú..... | 37 |
| 7. | Ensamble de pasador | 38 |
| 8. | Sujeción a estructura de soporte de cubierta de techo | 39 |
| 9. | Cañas de bambú dimensionadas longitudinalmente | 41 |
| 10. | Armado de cañas de bambú con concavidad hacia arriba | 42 |
| 11. | Armado de cañas de bambú con concavidad hacia abajo | 43 |
| 12. | Remoción de nudos | 44 |
| 13. | Pasador elaborado con bambú visto en su sección transversal..... | 46 |
| 14. | Pasador elaborado con bambú visto en su sección longitudinal | 47 |
| 15. | Lote de alambre galvanizado | 48 |
| 16. | Armado de sistema para ensayo de impacto | 53 |
| 17. | Sistema de aplicación de carga distribuida utilizando agua | 55 |
| 18. | Armado de sistema para ensayo de absorción | 56 |
| 19. | Realización de ensayo de permeabilidad del sistema de cubierta de techo elaborado con bambú..... | 58 |
| 20. | Simulador de lluvia..... | 59 |
| 21. | Toma de temperatura con termómetro laser | 61 |
| 22. | Gráfica de comportamiento de probeta M0 en ensayo a impacto | 78 |

| | | |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 23. | Gráfica de comportamiento de probeta M2 en ensayo a impacto..... | 79 |
| 24. | Gráfica de comportamiento de probeta M3 en ensayo a impacto..... | 80 |
| 25. | Gráfica de carga distribuida en función de deformación permisible de probeta M0..... | 81 |
| 26. | Gráfica de carga distribuida en función de deformación permisible de probeta M2..... | 81 |
| 27. | Gráfica de carga distribuida en función de deformación permisible de probeta M3..... | 82 |
| 28. | Filtración por rajadura en nudo | 83 |
| 29. | Abertura por curvatura de la caña de bambú..... | 83 |
| 30. | Filtración por abertura entre cañas de bambú | 84 |
| 31. | Gráfica de diferencial térmico de probeta M0 | 85 |
| 32. | Gráfica de diferencial térmico de probeta M2 | 85 |
| 33. | Gráfica de diferencial térmico de probeta M3 | 86 |
| 34. | Acomodamiento de cañas de bambú según su curvatura | 91 |
| 35. | Lote de cañas de bambú previo a la debida selección | 92 |
| 36. | Acomodamiento de cañas de bambú..... | 94 |
| 37. | Numeración de cañas de bambú | 95 |
| 38. | Asignación de sentido de cañas de bambú | 95 |
| 39. | Esquema de longitud requerida para una cubierta de techo..... | 96 |
| 40. | Corte con sierra ingletadora..... | 97 |
| 41. | Bambú cortado con la misma longitud | 98 |
| 42. | Maquina latilladora..... | 99 |
| 43. | Bambú cortado por la mitad y sin nudos..... | 99 |
| 44. | Remoción de nudos | 100 |
| 45. | Ubicación de pasadores | 101 |
| 46. | Medición para ubicar el pasador | 102 |
| 47. | Corte para elaboración de muescas de pasador con maquina ingletadora | 103 |

| | | |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 48. | Elaboración de muescas | 103 |
| 49. | Lote de cañas de bambú debidamente acondicionadas para uso en cubierta de techo..... | 104 |
| 50. | Cañas de bambú en su forma acanalada..... | 107 |
| 51. | Ensamble de pasador | 108 |
| 52. | Colocación de alambre galvanizado para anclaje | 109 |
| 53. | Sujeción de pasador y estructura de soporte de cubierta de techo con alambre galvanizado | 109 |
| 54. | Fijación de anclaje..... | 110 |
| 55. | Anclaje de pasador..... | 110 |
| 56. | Ensamblado de cañas de bambú | 111 |
| 57. | Cañas de bambú ensambladas..... | 112 |
| 58. | Asignación de sentido de cañas de bambú | 112 |
| 59. | Sujeción de alambre galvanizado en uno de los extremos del pasador | 113 |
| 60. | Sujeción de caña de bambu con el pasador por medio de entretejido con alambre galvanizado..... | 114 |
| 61. | Caña de bambú debidamente ensamblada con pasador | 115 |
| 62. | Avance de entretejido..... | 115 |
| 63. | Entretejido en un extremo de una cubierta de techo elaborada con bambú | 116 |
| 64. | Cubierta de techo elaborada con bambú | 117 |

TABLAS

| | | |
|------|------------------------------------------------------------|----|
| I. | Características físicas de cuatro especies de bambú 1..... | 10 |
| II. | Características físicas de cuatro especies de bambú 2..... | 11 |
| III. | Características físicas de tres especies de bambú | 11 |
| IV. | Propiedades mecánicas de las especies de bambú..... | 15 |

| | | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| V. | Pendientes sugeridas según el material | 22 |
| VI. | Variables a considerar | 64 |
| VII. | Ensayos de laboratorio | 65 |
| VIII. | Toma de datos de laboratorio de ensayo a impacto de probeta M0 | 66 |
| IX. | Toma de datos de laboratorio de ensayo a impacto de probeta M2 | 66 |
| X. | Toma de datos de laboratorio de ensayo a impacto de probeta M3 | 67 |
| XI. | Toma de datos de laboratorio de ensayo de deflexión de probeta M0 | 68 |
| XII. | Diferencial de deformación de probeta M0 | 69 |
| XIII. | Toma de datos de laboratorio de ensayo de deflexión de probeta M2 | 69 |
| XIV. | Diferencial de deformación de probeta M2 | 70 |
| XV. | Toma de datos de laboratorio de ensayo de deflexión de probeta M3 | 70 |
| XVI. | Diferencial de deformación de probeta M3 | 71 |
| XVII. | Datos registrados para realización de aforo volumétrico | 72 |
| XVIII. | Toma de datos de laboratorio de ensayo de absorción | 73 |
| XIX. | Toma de datos de laboratorio de ensayo de características térmicas de probeta M0 | 76 |
| XX. | Toma de datos de laboratorio de ensayo de características térmicas de probeta M2 | 77 |
| XXI. | Toma de datos de laboratorio de ensayo de características térmicas de probeta M3 | 77 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Cm | Centímetros |
| Σ | Esfuerzo de tracción axial |
| σ_{\perp} | Esfuerzo de tracción perpendicular a las fibras |
| ° | Grados |
| °C | Grados Celsius |
| g/cm³ | Gramos por cada centímetro cúbico |
| J | Joules |
| Kg | Kilogramos |
| kg/cm² | Kilogramos por cada centímetro al cuadrado |
| kg/m² | Kilogramos por cada metro al cuadrado |
| kg.m | Kilogramos por metro |
| kWh | Kilowatts por hora |
| l | Litros |
| l/s | Litros por segundo |
| L | Longitud libre |
| m | Metros |
| m² | Metros al cuadrado |
| m/s² | Metros por segundo al cuadrado |
| mm | Milímetros |
| N/mm² | Newton sobre milímetro cuadrado |
| % | Porcentaje |
| " | Pulgadas |
| In | Pulgadas |

S

Segundos

X

GLOSARIO

| | |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acanalado | Que tiene forma de canal (hendidura cóncava y longitudinal). |
| Asbesto | Mineral de composición y caracteres semejantes a los del amianto, pero de fibras duras y rígidas, parecidas al cristal hilado, y de efectos nocivos para la salud |
| Aurículas | Prolongación de la parte inferior del limbo de las hojas. |
| Caulinar | Perteneiente o relativo al tallo. |
| Chapapote | Sustancia viscosa de cualquier tipo extendida por el suelo. |
| Concavidad | Parte o sitio cóncavo. |
| Electroquímico | Parte de la fisicoquímica que trata de las leyes referentes a la producción de la electricidad por combinaciones químicas y de su influencia en la composición de los cuerpos. |
| Entretejido | Trabar y enlazar algo con otra cosa. |

| | |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Formón | Instrumento de carpintería, semejante al escoplo, pero más ancho de boca y menos grueso. |
| Gubia | Formón de mediacaña, delgado, que usan los carpinteros y otros artífices para labrar superficies curvas. |
| Inherentes | Que por su naturaleza está de tal manera unido a algo, que no se puede separar de ello. Derechos inherentes a su cargo. |
| Longitudinal | Hecho o colocado en el sentido o dirección de la longitud. |
| Macolla | Conjunto de vástagos, flores o espigas que nacen de un mismo pie. |
| Mampuesto | Material sin labrar que se puede colocar en obra con la mano. |
| Muesca | Concavidad o hueco que hay o se hace en una cosa para encajar otra. |
| Nudo | En algunas plantas y en sus raíces, parte que sobresale algo y por donde parece que están unidas las partes de que se compone; como en las cañas, bejucos, etc. |

| | |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parénquima | Tejido vegetal constituido por células de forma aproximadamente esférica o cúbica y con espacios de separación. |
| Permisible | Que se puede permitir. |
| Probeta | Muestra de cualquier sustancia o material para probar su elasticidad, resistencia, etc. |
| Pubescencia | Cualidad de pubescente (velloso). |
| Rizoma | Tallo horizontal y subterráneo, como el del lirio común. |
| Voladizo | Dicho de un elemento: que vuela o sobresale en relación con el resto de la estructura. |

RESUMEN

A través del presente documento se describe de forma teórica y práctica el proceso para elaborar una cubierta de techo utilizando bambú como materia prima, así como el proceso que conlleva la realización de ensayos de laboratorio para conocer la funcionalidad que tiene este tipo de estructuras.

En el presente documento se muestra una recopilación bibliográfica de las diferentes especies de bambú presentes en Guatemala, así como sus características físicas y sus propiedades mecánicas. De esta manera se podrán conocer los beneficios que existen al trabajar con un material como el bambú: beneficios tanto económicos como para el medio ambiente.

Es necesario conocer que es una cubierta de techo y cuáles son cada una de sus partes, así como la estructura soportante de dicha cubierta. Por esa razón se realizó una descripción de los elementos utilizados en una cubierta de techo elaborada con bambú, así como otros aspectos que se deben de tomar en cuenta: pendientes mínimas sugeridas, estructuras soportantes de la cubierta de techo, anclajes, tratamiento preventivo, entre otros.

Para realizar la parte práctica de este documento, fue necesario construir varias unidades experimentales que fueron sometidas a diferentes ensayos de laboratorio para conocer: el esfuerzo de flexión máximo en relación a su deflexión permisible, la energía de impacto que absorbe, que tan permeable es como cubierta de techo, la porcentaje de agua que puede llegar a absorber ante las precipitaciones y sus características térmicas; todo para saber si estas cubiertas de techo elaboradas con bambú son funcionales y cumplen con los

requerimientos de habitabilidad, estética y clima que una cubierta de techo de este tipo debe poseer.

En la parte final del documento se presenta un manual con toda la información necesaria de cómo realizar el armado de una cubierta de techo utilizando bambú paso a paso de una manera rápida y sencilla para que cualquier persona que así lo desee pueda elaborar una cubierta de techo por su propia cuenta.

OBJETIVOS

General

Evaluar una cubierta de techo elaborada con cañas de bambú.

Específicos

1. Armar una cubierta de techo aprovechando el bambú cortado a media caña como materia prima.
2. Determinar el esfuerzo máximo a flexión que puede soportar una cubierta de techo elaborada con bambú.
3. Determinar las características físicas y propiedades mecánicas del bambú como cubierta de techo.
4. Desarrollar una guía de lineamientos específicos para la construcción de una cubierta de techo elaborado con bambú.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente en la construcción de cubiertas de techo se utilizan materiales como el concreto, vigas de madera y acero, láminas de zinc, entre otros; pero se hace evidente la necesidad de innovar en cuanto a materiales y utilizar algo económico y amigable con el medio ambiente y que pueda cubrir las necesidades de habitabilidad, estética y clima que una cubierta de techo exige. Por lo tanto una buena alternativa es el uso del bambú en este tipo de estructuras, ya que en Guatemala no se le da uso al bambú pese a que existen varias especies con buenas características físicas y propiedades mecánicas para el uso en la construcción; además de ser un material que posee una regeneración rápida en comparación con otro tipo de madera, lo cual es beneficioso al medio ambiente.

Como parte de este trabajo de graduación se realizan ensayos de laboratorio para recopilar datos sobre las características físicas y propiedades mecánicas de las cubiertas de techo elaboradas con bambú, para lo cual se elaboraron una serie de unidades experimentales o probetas las cuales fueron sometidas a esfuerzos de deflexión, energía potencial gravitacional de impacto, radiación solar y saturación con agua; con el fin de determinar si el bambú puede cumplir con los requerimientos necesarios de una cubierta de techo.

Como parte del trabajo de graduación también se propone un manual con los pasos a seguir para la elaboración de una cubierta de techo con bambú; con el fin de proporcionar a cualquier persona que lo desee, una forma rápida y sencilla de elaborar este tipo cubierta.

1. ANTECEDENTES

1.1. Variedades de bambú estudiadas en Guatemala

Las características de las especies de bambú encontradas en Guatemala aptas para la construcción son:

- Bambusa arundinacea

Bambú de rizoma paquimorfo, nativo de la India, se encuentra en macollas de tallos en crecimiento compacto arqueado, verde pálido. La longitud de la caña es de alrededor de 16 metros, diámetro exterior en promedio de 4,9 centímetros, con entrenudos de aproximadamente 32 centímetros, con grosor de pared en promedio de 13 milímetros. Los entrenudos son de longitud moderada, huecos; los basales son poco inflados, semilustrosos y semifinos; nudos prominentes y de pared gruesa. La hoja caulinar, cúpula beige, ligera cantidad de setas orales exteriormente, lisa en el interior con una fina franja color café oscura en la pared superior con pubescencia fina, lígula triangular, café oscuro. Las hojas verdes, lineal-lanceoladas de 12,6 x 1,9 centímetros de largo y ancho respectivamente, ligera pubescencia en el haz y ligera en la cara inferior, venación deprimida en el haz. Las ramas solitarias en la parte baja del tallo, con hojas reducidas a espinas en gran cantidad. En la parte media y apical del tallo se encuentran 3 ramas principales y 2 secundarias, con hojas reducidas a espinas en ángulo de 70 grados, respecto al culmo, filotaxia alterna-opuesta.

- *Bambusa textilis*

Se le considera nativa del sureste de China, son arqueadas apicalmente, verdes, algunas con pelusa blanca en los entrenudos. Alcanzan una altura aproximada de 17 metros y un diámetro exterior de aproximadamente 6,0 centímetros. Los entrenudos aproximadamente 55 centímetros de longitud, las paredes de los culmos hasta 7,0 milímetros. La hoja caulinar angostamente triangular, lígula cónica, sin aurículas, decidua, café claro, ligera cantidad de setas orales en el exterior. Las hojas verdes, lineal-lanceoladas, lisas en el haz, ligeramente pubescentes en el revés. Las ramas en número de 10 a 12 forman un abanico, en ángulo de 45 grados respecto a la caña.

- *Bambusa tulda*

Bambú nativo de la India. Se presenta en macollas compactas, arqueadas apicalmente, verde oscuro, algunas con pelusa verdosa en los entrenudos. Llegan a medir alrededor de 18 metros y con diámetros promedio de 9,0 centímetros. Los entrenudos alrededor de 58 centímetros de longitud, con paredes de hasta 13,0 milímetros. La hoja caulinar triangular, lígula esférica acumulada, aurículas esféricas, decidua, café claro, cubierta de setas orales en la parte exterior. Las hojas verdes, lineal-lanceoladas, ligera pubescencia blanca azulosa en el envés, lisas en el haz. Las ramas desiguales en número de 3 a 5, ángulo de 60 grados respecto a la caña.

- *Bambusa tuldooides*.

Considerada nativa del sureste de China. Se presenta en una macolla de cañas semi-compactadas, erectas, verde oscuras, pelusilla blanca azulosa en los entrenudos.

Alcanzan una altura de alrededor de 13 metros y un diámetro alrededor de 5,0 centímetros. Los entrenudos alrededor de 44,0 centímetros, poco inflados, las paredes de las cañas hasta de 11,3 milímetros. La hoja caulinar angostamente triangular de setas orales exteriormente. Las hojas verdes, lineal-lanceoladas, lisas en el haz, ligeramente pubescentes en el envés. Las ramas, una principal y dos laterales, en ángulo de 45 grados respecto a la caña.

- *Bambusa vulgaris*

Originaria de India y Madagascar. Se presenta en macollas de cañas abiertas, arqueadas apicalmente, amarillo oscuro con vetas o líneas verdes (1 a 2) en los entrenudos, algunos presentan pelusa café, tiesa, en los entrenudos. Alcanzan una altura de alrededor de 10,5 metros y un diámetro promedio de 6,3 centímetros. Entrenudos de alrededor de 44 centímetros. Las paredes de las cañas en promedio de 6,5 milímetros. La hoja caulinar triangular, lígula aguda, aurículas esféricas, bien desarrolladas, decidua, café oscuro, exteriormente fuerte cantidad de setas orales. Las hojas verde oscuro, lineal-lanceoladas, aproximadamente de 18 x 3 centímetros de largo y ancho respectivamente, lisas en el haz. Las ramas, una principal y de 4 a 5 laterales, en ángulo de 45 grados respecto a la caña.

- *Bambusa gigantochloa verticillata*

Nativo de Java. En Chócola es el cultivador más abundante, crece en macollas de cañas compactas, arqueadas apicalmente, verde oscuro, algunas con pelusa verdosa en los entrenudos, llegan a medir alrededor de 20 metros con diámetro promedio de 12,0 centímetros. Los entrenudos hasta de 53 centímetros de longitud y grosor en promedio de 13,0 milímetros.

La hoja caulinar triangular, lígula convexa y ondulada, aurículas esféricas, desiguales, café claro, fuerte cantidad de setas orales, en ángulo de 45 grados respecto a la caña. Las hojas verdes, lineal-lanceoladas, de 35 x 6,3 centímetros respectivamente de largo y ancho, lisas en el haz, ligeramente pubescencia blanquecina en la cara inferior.

- *Bambusa guadua angustifolia*

Bambú de rizoma paquimorfo, nativo del sureste suramericano, particularmente de Colombia y Ecuador. Se encuentra en grupos de tallos espaciados, arqueados apicalmente; los tallos presentan color verde oscuro a verde claro y una banda blanquecina de 1,0 a 1,5 centímetros de ancho en los nudos. Generalmente llega a medir 25 metros, con un diámetro de 15 centímetros y entrenudos que varían de 20 a 40 centímetros de largo, el espesor de la pared de hasta 30,0 milímetros. La hoja caulinar triangular, lígula cónica, sin aurículas, decidua, café oscuro, fuerte cantidad de setas orales exteriormente. Las ramas basalmente solitarias, en la parte media 2 a 3, anguladas a 60 grados respecto a las cañas. Hojas verdes pálido, oblongo-lanceoladas,

lisas en el haz, ligeramente pubescentes en el envés. Espinas en gran cantidad, principalmente en las ramas basales.

- *Bambusa melocana baccifera*

De rizoma paquimorfo, nativo de India y Burma. Se encuentra en grupos de tallos delgados y abiertos, arqueados apicalmente, verde pálido. Con longitud alrededor de 12,5 metros, con diámetro promedio de 4,4 centímetros. Los entrenudos alrededor de 57 centímetros, y grosor de pared en promedio de 4 milímetros.

Los entrenudos largos, huecos, lisos, lustrosos, verdes, finos, color naranja en la parte próxima superior al nudo y se presentan algunos tallos con moteado blanco. La hoja caulinar cuneiforme, beige claro, lisa, lancéola. Las hojas verdes, oblongo-lanceoladas, 33,1 x 5,4 centímetros de largo y ancho respectivamente, lisas en el haz, ligera pubescencia azulada en la cara inferior, venación deprimida en el haz. Las ramas, 3 principales y de 12 a 15 secundarias, presentes desde la parte baja del tallo, en ángulo de 30 grados con respecto a la caña y filotaxia alternopuesta.

- *Bambusa phyllostachys bambusoides*

De rizoma leptomorfo, nativo de China. Se presentan en grupos de tallos bastante abiertos, erectos, verde oscuro, pelusa blanca en los entrenudos. La longitud del tallo alrededor de 8,6 metros, diámetro promedio de 2,7 centímetros, longitud del entrenudo alrededor de 23,4 centímetros y espesor de pared promedio de 5,0 milímetros. Los entrenudos cortos, huecos, poco inflados, opacos, semifinos, algunos

tallos presentan entrenudos arqueados, nudos poco inflados. La hoja caulinar triangular café claro, con manchas café oscuro que gradúan cierta simetría, delgada, quebradiza, ninguna pubescencia, la lígula pequeña, triangular y generalmente de color oscuro. Las hojas verdes, oblongo-lanceoladas de 13,5 x 4,0 centímetros de largo y ancho respectivamente, ligera pubescencia en el haz y cara inferior, venación deprimida en el haz. Las ramas en número de 2, presentes en la parte superior de los tallos en ángulo de 40 grados con respecto a la caña y filotaxia alterna-opuesta.

- *Bambusa chusquea pittieri*

Bambú de sombra que tiende a tupir, son erectos o suberectos apicalmente pendulosos o trepadores, rizoma paquimorfo, los culmos llegan a medir alrededor de 18 metros, formando macollas relativamente abiertas, con longitud de entrenudos alrededor de 15 a 25 centímetros, con un diámetro alrededor de 3 a 5 centímetros y un espesor de hasta 7,0 milímetros. Compactos, opacos, semilisos, oscuramente surqueados arriba de la intersección de las ramas, nudos ligeramente inflados, todos germiníferos o sin yemas en nudos inferiores. Hoja caulinar decidua, mucho más grande que el entrenudo, parecida a papel fino cuando seca, oblonga triangular, con venación estriada de color café oscura en la parte superior de la vaina, en la base ciliada de color café.

1.2. Regiones en donde hay disponibilidad de bambú.

Naturalmente, las más de 1 400 especies reconocidas de bambúes son plantas que habitan las zonas tropicales como se ve en la figura 1; aunque pueden crecer en climas templados, viven silvestres desde el nivel del mar

hasta las altas montañas nevadas. La mayoría de los bambúes prefieren habitar en lugares húmedos y conservados donde la presencia de neblina es frecuente, o bien en las orillas de arroyos y ríos; también, existen especies que viven en lugares secos la mayor parte del año y que solo obtienen el agua en los pocos días de lluvia en determinada región. El bambú se encuentra naturalmente en todo el país.

Figura 1. **Distribución natural del bambú en el mundo**



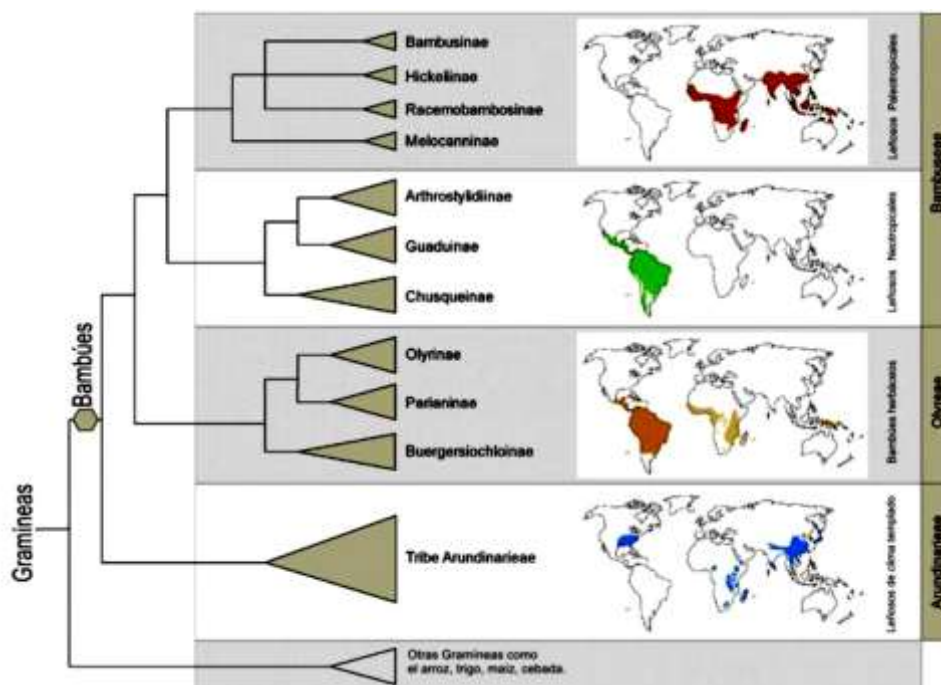
Fuente: Bambú. <https://bambumex.wordpress.com/introduccion/>. Consulta: septiembre de 2015.

En los países de Asia, al bambú es una planta bien conocida, pues ha sido utilizadas por el hombre desde tiempos remotos. Los hay silvestres en África y en casi todos los países de América. Pueden crecer en extensos territorios solitarios en el bosque o la selva.

Es importante mencionar que el bambú introducido en Guatemala es generalmente cultivado en plantaciones donde el hombre puede controlar sus condiciones de crecimiento. Algunas de estas especies, como cualquier planta cultivada, requieren de agua, suelo, temperatura y otros factores del medio,

específicos para su ideal crecimiento. Así que no es fácil determinar las áreas o regiones donde el bambú crece, sin embargo, la presencia de agua es un factor esencial, aunado a la riqueza de los suelos donde se suelen plantar. En la figura 2 se observan las distintas especies de bambúes y su región nativa.

Figura 2. **Clasificación del bambú y su origen por especie**



Fuente: Clasificación de bambú. <http://www.bambúemex.org/paginas/clasificacion.htm>.
Consulta: septiembre de 2015.

1.3. Características físicas de las variedades de bambú estudiadas

- Contenido de humedad

Los tallos vivos de bambú, como los árboles, contienen una cantidad considerable de humedad debido a la presencia de savia. En ella se

conducen los alimentos de la planta, obtenidos del suelo por medio de los rizomas, indispensable en el crecimiento y vida del bambú. El contenido de humedad en el bambú joven es casi igual en diversas partes del tallo; en cambio, en los tallos maduros el contenido de humedad decrece con su altura.

Los bambúes jóvenes contienen mayor humedad y exigen más tiempo para el secado, sin embargo, su secado es más rápido que el de los tallos maduros. Esto se atribuye a que la estructura de las paredes es diferente.

El contenido de humedad del bambú, como el de la madera, se expresa como un porcentaje de su peso seco al horno. Su determinación puede hacerse por el método de secado al horno o por medio de medidores eléctricos; aunque estos determinan la humedad de forma rápida, es menos preciso que el método al horno. Se realiza secando las muestras con el horno aproximadamente a una temperatura de 100 grados centígrados.

- Contracción

Conforme se va secando el tallo del bambú, este empieza a perder agua en sus paredes trayendo consigo contracciones volumétricas. Cuando la humedad del bambú se equilibra con la del ambiente, la retracción cesa, ya que su efecto es proporcional al contenido de humedad del tallo y del estado higrométrico del ambiente, existe una diversidad de factores que afectan el secado tales como: especie, condiciones de secado, posición de la muestra respecto al tallo, espesor de la pared del tallo y grado de madurez del mismo.

Los cambios volumétricos son mayores en el bambúe joven que en el de mayor edad. Durante el secado, los bambúes jóvenes de paredes delgadas se deforma invariablemente y sus paredes tratan de aplastarse. Los tallos maduros con paredes de espesores grandes tienen la tendencia a presentar fisuras en la superficie, particularmente cuando las condiciones de secado son severas. La contracción se produce desigualmente según el sentido que se considera y su efecto es mayor en los entrenudos del tallo.

- Densidad

Esta característica física resulta muy importante, pues indica el peso del bambú por unidad de volumen. La densidad difiere para cada especie y su valor también varía entre los culmos de una especie, en sus diversos tramos, así como en sus partes internas y externas. Tanto el peso como el volumen varían con la cantidad de humedad en la planta y, por ende, con el grado de madurez del tallo. El valor de la densidad carece de significado, a menos de que se especifiquen las condiciones para su cálculo.

Tabla I. **Características físicas de cuatro especies de bambú 1**

| No | Especie | Densidad (g/cm ³) | Contenido de humedad (%) |
|----|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1 | <i>Bambusa textilis</i> | 0,77 | 15,6 |
| 2 | <i>Bambusa tulda</i> | 0,87 | 14,8 |
| 3 | <i>Bambusa tuldoides</i> | 0,78 | 14,2 |
| 4 | <i>Bambusa vulgaris</i> | 0,69 | 16,6 |

Fuente: URRUTIA, Juan. *Propiedades físico-mecánicas del bambú*. p. 25.

Tabla II. **Características físicas de cuatro especies de bambú 2**

| No | Especie | Densidad (g/cm ³) | Contenido de humedad (%) |
|----|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 5 | Bambusa arundinacea | 0,56 | 14,9 |
| 6 | Bambusa melocana baccifera | 0,73 | 14,4 |
| 7 | Bambusa phyllostachys bambusoides | 0,60 | 14,6 |
| 8 | Bambusa chusquea pittieri | 0,95 | 15,5 |

Fuente: MORALES, Hernán. *Propiedades físico-mecánicas del bambú*. p. 32.

Tabla III. **Características físicas de tres especies de bambú**

| No | Especie | Densidad (g/cm ³) | Contenido de humedad (%) |
|----|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 9 | Giganteus apus | 0,96 | 37,3 |
| 10 | Bambusa giganteochloa verticillata | 0,63 | 16,2 |
| 11 | Bambusa guadua angustifolia | 0,62 | 14,3 |

Fuente: CANO, Ericka. *Evaluación tecnológica de 3 especies de bambú*. p. 64.

En las tablas I, II y III se muestran las características físicas de las especies estudiadas según la recopilación bibliográfica realizada.

1.4. **Propiedades mecánicas de las variedades de bambú estudiadas.**

- Tensión paralela a la fibra

Es la mejor propiedad que posee el bambú. No obstante, es poco común en la práctica ejercer tensión longitudinal a una especie de bambú e incluso madera. Esta radica en la dificultad de ajustar los extremos lo

suficiente para desarrollar un esfuerzo puramente de tensión al miembro. Debido a que la resistencia a la tensión supera la resistencia a la compresión y mucho más al esfuerzo cortante, resulta, por consiguiente, difícil efectuar ensayos satisfactorios con tensión paralela a la fibra.

- Compresión paralela a la fibra

Mucho del bambú empleado en la construcción está sometido a compresión paralela a la fibra; por ejemplo, en columnas, vigas y otros.

Los cuales están sujetos a cargas que tienden a aplastar y acortar los miembros longitudinalmente. Los ensayos estáticos de compresión pueden ser valiosos para indicar directamente el desempeño de tales partes bajo cargas de servicio.

La resistencia a compresión del bambú es relativamente alta, pero carece de significado sino se especifica el grado de sazónamiento y la relación entre la longitud y el diámetro de la pieza. Es importante definir el grado de sazónamiento puesto que, como en la madera, la humedad disminuye la rigidez de las células fibrosas, trayendo consigo una disminución en las propiedades mecánicas, sobre todo en compresión y flexión.

Asimismo, se tiene que considerar la relación entre la longitud y el diámetro. Si la longitud de un tallo es suficientemente grande con respecto a la mínima sección transversal, la resistencia bajo carga compresiva disminuye considerablemente por el efecto de flambeo. Una falla por flambeo lateral o flexión se produce antes de que se desarrolle por completo la resistencia a compresión.

- Corte paralelo a la fibra

El esfuerzo cortante es una medida de la capacidad del bambú a resistir fuerzas que tienden a producir deslizamiento de una porción del material con relación a otra porción adyacente. El corte es una fuerza que actúa paralelamente a un plano, en contraste a la tensión y compresión que son normales al área considerada.

La fractura por corte es muy diferente de la tensión o compresión, puesto que no hay reducción localizada del área ni alargamiento. El empleo del bambú en la construcción involucra la presencia de esfuerzos cortantes en mayor o menor grado y las fuerzas que los producen pueden actuar a lo largo de la fibra, o a través de la fibra y en forma inclinada o en diagonal a la misma.

Muchos de los detalles de uniones de elementos de bambú están sujetos a corte paralelo a la fibra. Para corte perpendicular a la fibra no ocurre falla directa en el plano de la sección transversal, en vista de que las otras propiedades hacen que la falla ocurra en una u otra forma, causada por aplastamiento a través de la fibra. El efecto del corte oblicuo o en diagonal se puede observar en los planos inclinados de falla en columnas cortas ensayadas a compresión.

- Tensión perpendicular a la fibra

Es la disgregación de las fibras por fuerzas que actúan perpendicularmente a las mismas. Se relaciona estrechamente al clivaje por la actuación de separar el bambú a lo largo de la fibra. También está vinculado al fenómeno del agrietamiento superficial que durante el

secado todas las especies de bambú son más o menos propensas. Por lo general, las grietas o rajaduras en la superficie se presentan cuando los esfuerzos que se crean durante el secado exceden a la resistencia del bambú en tensión perpendicular a la fibra. Por esta razón, la tendencia que el bambú tiene de rajarse limita el uso de clavos o pernos para asegurar las uniones.

- Clivaje

Esta se utiliza para denotar la resistencia que ofrece el bambú al desgarramiento. Se expresa como la fuerza necesaria para provocar la falla por unidad de longitud. En esta prueba las fuerzas actúan en forma de cuña para hender el bambú a lo largo de la fibra. Una baja resistencia al clivaje favorece cortar longitudinalmente las cañas de bambú, mientras que una alta resistencia es requerida para uniones con pernos, clavos, clivajes y otros tipos.

La tabla IV muestra las propiedades mecánicas de las diferentes especies de bambú estudiadas anteriormente, estos datos fueron recopilados bibliográficamente.

Tabla IV. **Propiedades mecánicas de las especies de bambú**

| No. | Especie | | Tensión paralela | Tensión \perp | Compresión paralela | Corte paralela | Clivaje |
|-----|----------------------------------|----------|----------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| | | | $\sigma_{\text{máx.}}$ (kg/cm ²) | σ_{\perp} (kg/cm ²) | $\sigma_{\text{máx.}}$ (kg/cm ²) | $\sigma_{\text{máx.}}$ (kg/cm ²) | $\sigma_{\text{máx.}}$ (kg/cm ²) |
| 1 | <i>Textilis</i> | con nudo | 1 230,00 | 27 | 645,00 | 124,00 | 50 |
| | | sin nudo | 2 844,00 | | 701,00 | | |
| 2 | <i>Tulda</i> | con nudo | 1 554,00 | 40 | 788,00 | 126,00 | 48 |
| | | sin nudo | 2 280,00 | | 758,00 | | |
| 3 | <i>Tuldoides</i> | con nudo | 1 506,00 | 22 | 601,00 | 117,00 | 46 |
| | | sin nudo | 2 108,00 | | 554,00 | | |
| 4 | <i>Vulgaris</i> | con nudo | 1 323,00 | 29 | 394,00 | 66,00 | 46 |
| | | sin nudo | 1 872,00 | | 402,00 | | |
| 5 | <i>Arundinacea</i> | con nudo | xx | xx | 829,00 | xx | xx |
| | | sin nudo | xx | | 479,00 | | |
| 6 | <i>Melocana baccifera</i> | con nudo | 1 079,00 | xx | 577,00 | xx | xx |
| | | sin nudo | 2 469,00 | | 831,00 | | |
| 7 | <i>Phyllostachys bambusoides</i> | con nudo | 1 398,00 | xx | 780,00 | xx | xx |
| | | sin nudo | 2 001,00 | | 798,00 | | |
| 8 | <i>Chusquea pittieri</i> | con nudo | 1 254,00 | xx | 1 173,00 | xx | xx |
| | | sin nudo | 1 436,00 | | 1 007,00 | | |
| 9 | <i>Gigantochloa verticillata</i> | con nudo | xx | 19.84 | xx | 118,35 | 25 |
| | | sin nudo | 2 551,26 | | 410,27 | | |
| 10 | <i>Guadua angustifolia</i> | con nudo | xx | 21.86 | xx | 109,22 | 10 |
| | | sin nudo | 2 522,20 | | 422,76 | | |
| 11 | <i>Giganteus apus</i> | con nudo | xx | 18.29 | xx | 126,84 | xx |
| | | sin nudo | 1 530,12 | | 410,73 | | |

Fuente: MONTERROSO, Josué. *Diseño y evaluación de vigas joist para estructuras de techos livianos, fabricadas con bambú.* p. 30.

2. GENERALIDADES PARA UNA CUBIERTA DE TECHO

2.1. Definición de cubierta de techo

Se denomina cubierta o techo a la superficie entramada que cierra una edificación por su parte superior, destinada a proteger su interior de los agentes climatológicos dando una adecuada evacuación, a la vez que se asegura del agua de lluvia, proporcionando al mismo tiempo un aislamiento térmico acústico al conjunto así obtenido.

Las cubiertas de techo pueden ser permanentes o provisionales, dependiendo de los materiales de lo que estén elaborados. Para la elaboración de los techos existen desde: paja, sácate, tablas, piedras, entre otros; hasta materiales de ladrillo, madera, plástico, asbesto, acrílico, lámina, concreto, entre otros.

Los techos en cuanto a su forma son: planos horizontales, planos inclinados y curvos. Los planos inclinados se manufacturan con una gran variedad de materiales y pueden ser de varias vertientes.

Por su exposición directa a la intemperie necesita estar formada por materiales de gran resistencia a las variaciones térmicas; además, de impermeabilidad y capacidad hidráulica para el drenado adecuado de las aguas de lluvia.

En el país existe una gran variedad de ofertas en cubiertas de distintos materiales y formas que se acoplan a la necesidad de cada tipo de edificación y

a sus requerimientos arquitectónicos. Para una selección adecuada se tendrá que tomar en cuenta la pendiente mínima necesaria para un drenado adecuado de las aguas de lluvia, además del peso por metro cuadrado, el cual será de ayuda para determinar las cargas que las cubiertas transmitirán por peso propio a los largueros. En la distribución de los largueros en el techo se deberá tomar en cuenta la resistencia de la cubierta a esfuerzos de presión.

2.2. Tipos de techos livianos

Entre los techos livianos se tienen varios tipos: techos de chapa, de madera, de tejas. Básicamente todos se apoyan en un sistema de correas y tirantes que pueden ser de madera o hierro, todo depende de la luz a cubrir y lo que se pueda gastar.

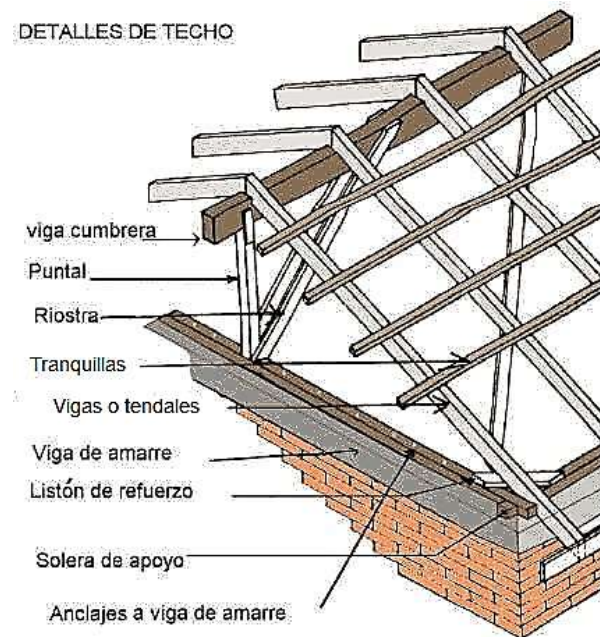
- Ventajas de un techo liviano
 - Rápida colocación.
 - Dependiendo del diseño y estructura que se elija, puede salvar distancias grandes casi sin apoyos intermedios.
 - No es obligatorio el uso de un impermeabilizante.
 - Es de fácil recambio, sobre todo si se realiza con chapa galvanizada.

- Desventajas de un techo liviano
 - Si la aislación térmica es mala o no tiene, genera locales muy calurosos en verano y fríos en invierno.

- Al ser un techo liviano corre el riesgo de ser levantado por fuertes vientos, por eso debe estar todo correctamente sujetado. Lo mismo sucede para el caso de lluvias.

Los techos livianos se hacen con pendiente (no planos), lo cual permite que el agua de la lluvia escurra de manera más fácil, se pueden dejar en caída libre o colocar un canal que recoja el agua y la canalice mediante cañerías. Si se deja en caída libre hay que tener en cuenta algunos puntos: que el agua no escurra a la casa vecina, ni sobre la puerta de entrada, ni sobre tierra ya que podrá socavar el área.

Figura 3. Partes de un techo liviano



Fuente: Techos livianos. <http://comoconstruirtuvivienda.blogspot.com/2013/05/techos-livianos.html> Consulta: octubre de 2015.

Las tranquilas serán los apoyos principales del techo liviano. Se pueden colocar con una luz de hasta 3 metros; si las paredes estuvieran más alejadas, se tendrá que colocar una viga en medio. Existen distintos tipos de tranquilas: de madera, perfil de hierro, reticuladas de hierro, perfil de chapa, etc. Para vivienda lo normal es usar de madera, ya que son de menor costo y de fácil manejo. La madera no debe ser verde, de lo contrario al secar se puede arquear. También hay que cuidar el buen estado, que no esté apolillada o con muchos nudos.

Sobre las tranquilas, se colocaran los tirantes que serán los apoyos del sistema elegido (chapa, tejas, etc). Los tirantes se colocarán cada 1 metro como máximo.

Si el sistema elegido es la chapa, ésta deberá solaparse unos 30 cm. El sujetador se colocará siempre en la parte alta de la chapa para evitar que el agua se filtre cuando llueve.

2.3. Pendientes sugeridas

La mejor pendiente o inclinación de un techo depende de varios factores: incluye viento, lluvia, nieve, arena en áreas volcánicas, composición y diseño del techo. En general, mientras mayor sea la pendiente de un techo, mejor será el deslizamiento de cualquier precipitación y la carga en el techo disminuye. Un techo con una pendiente igual o menor a 10° se considera como un techo plano. A continuación, se describen algunos aspectos que se deben de tomar en cuenta en la pendiente de un techo:

- Estos pueden ser techos con una sola vertiente, de dos vertientes y de cuatro vertientes; ya sea de lámina losa monolítica o con un sistema de viguetas, vigas, cerchas o estructuras espaciales.
- Los techos con pendiente son más comunes en regiones predominantemente cálidas húmedas con fuertes lluvias.
- Los de menor pendiente son más baratos, requieren menos construcción de muros y menos material para el techado (menor superficie de techo), pero las fuerzas de succión son más fuertes con pendientes de 10° . En áreas de huracanes, las mínimas pendientes de techo deben ser de 30° (aprox. 1:1.7 o 58 %) y deben evitarse aleros anchos (necesarios para dar sombra y proteger contra la lluvia).
- Los techos de dos vertientes dejan los muros extremos expuestos; los techos a cuatro vértices protegen todos los muros, ahorran costos y área de muro; son menos susceptibles a ser dañados por el viento, pero son más difíciles de construir.
- Los techos de las casas con patio deben tener pendiente hacia el interior para un mejor clima en los interiores y para facilitar la recolección del agua de la lluvia.
- Aunque la pendiente del techo se da en grados, los ángulos son difíciles de medir en el lugar de la obra. Por lo tanto, las pendientes de techos deberían ser expresadas en relaciones simples entre la altura y la luz (1:1; 1:2.5; 1:10), preferiblemente en números redondos.

- Ya que la principal función de las pendientes de techo es drenar el agua de la lluvia, mientras menor es la permeabilidad del material del techo, menor pendiente es requerida. Por esa razón, cada material tiene su propia pendiente apropiada, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla V. **Pendientes sugeridas según el material**

| Material para cubrir techos | Pendiente mínima ratio | Requerida ángulo |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Techo de paja y hierba | 1:01.0 | 45° |
| <i>Bardas de madera</i> | | |
| Madera no tratada | 1:01.0 | 45° |
| Madera impregnada a presión | 1:01.5 | 33° |
| <i>Tejas de techo de fibro concreto y arcilla cocida</i> | | |
| Tejas planas y tipo Españolas | 1:01.5 | 33° |
| Tipo romanas (sin membrana impermeable) | 1:02.0 | 26° |
| Tipo romanas (con membrana impermeable) | 1:03.0 | 18° |
| <i>Láminas corrugadas de hierro galvanizado</i> | | |
| Con extremos salientes (esto es, más de una lámina en la dirección de la caída) | 1:03.0 | 18° |
| Sin extremos salientes (esto es, una lámina entre la cumbrera y los aleros) | 1:05.0 | 11° |
| Canaletas (elementos en forma de artesa, sin extremos salientes) | 1:10.0 | 05° |

Fuente: <http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms0e.htm>. Consulta: octubre de 2015.

2.4. Materiales utilizados para la construcción de cubierta de techo

En la actualidad existe una gran variedad de materiales que son utilizados para la elaboración de cubiertas de techos, de los cuales a continuación se mencionan algunos:

- Techos de concreto

Los techos de concreto reforzado se construyen de manera similar a los pisos de concreto reforzado y pueden ser sólidos, aligerados. Las losas para los techos se refuerzan frecuentemente con varillas de acero en ambas direcciones, las varillas más largas siguen el claro y deben empotrarse en los muros cuando menos 100 mm. Por lo general, la losa tiene un acabado horizontal y el declive se obtiene con una plantilla, posiblemente una con un agregado ligero para mejorar el aislamiento térmico. Se pueden instalar respiraderos para eliminar el aire atrapado y la humedad proveniente de abajo de la cubierta del techo.

- Techos hechos a base de vigas y tablas de madera

Para lograr este tipo de techumbre se utilizan, por lo general, vigas de madera de ocote y oyamel de 10 x 20 cm como base para recibir tabla de $\frac{3}{4}$ " x 4" x 6" traslapados 2" y clavados con clavos de 1 $\frac{1}{2}$ ", como impermeabilizante se utiliza chapapote líquido.

- Techo tierra-cemento

La construcción de esta techumbre es muy económica y práctica para lugares rurales; además, presenta la ventaja de ser muy fresca y mantener temperaturas muy agradables en lugares calurosos, se emplean vigas de madera de escuadras variables con separación aproximada de 40 a 60 cm centro a centro. Una vez colocadas se clavan o se amarran sobre tablas, varas o carrizos en sentido contrario de las vigas, para posteriormente sobre estas hacer una cama con varas o

bambú delgado lo más cerrado posible, para tender sobre esta cama una capa con una mezcla de tierra-cemento con un espesor de 5 a 10 cm.

- Techo de teja de barro

Este tipo de cubierta de techo es muy recomendable para climas templados y calientes, ya sean húmedos o secos. Su construcción es sencilla y barata; los materiales que se utilizan son las tejas de barro recocido los cuales deberán ser de aspecto uniforme y homogéneo, no deberán presentar grietas ni chipotes y pueden ser naturales, vibradas o pintadas.

- Techo de bóveda

Se construye colocando vigas de madera sobre dos muros extremos con la pendiente adecuada y con separaciones variables entre la viga de 50 a 80 cm según el tamaño del ladrillo por colocar. La escuadra de las vigas está en razón directa al claro que van a cubrir. Las vigas quedarán bien asentadas y fijas en su lugar rellenando los huecos entre ellas con el material del muro y una mezcla de cemento, cal y arena.

- Techo de teja de asbesto-cemento

La colocación de este tipo de material se hace, por lo regular, sobre una cubierta de madera con pendiente con respecto a la horizontal de 30° a 45° según el lugar. Deberá empezarse de abajo hacia arriba cortando con serrote a la mitad la primera hilada de tejas, se cuidará el recto cuatrapeo de acuerdo con las indicaciones del fabricante, de tal manera

que en un metro cuadrado entren 9 tejas de 40 x 40 cm y 16 de 30 x 30 cm. Para su fijación se emplean clavos o arpones especiales.

- Techo de lámina de metal

Es importante señalar, que corporativamente con el asbesto, aunque ya se determinó claramente lo nocivo que este es para la salud, estas láminas no sufren fracturas ni grietas, pero no presentan aislamiento contra el frío y el calor, conviene su uso en naves de uso industrial y climas templados.

- Techos de estructura mixtas

Primero, se colocan láminas de metal siguiendo las indicaciones para techumbres de asbesto. Las canaletas de las láminas deben colocarse en sentido perpendicular en los apoyos que descansan, pues el objetivo de las canaletas es mejorar la resistencia de las láminas.

Las cubiertas o techos, pueden ser simples; es decir, cuando están formadas por elementos sustentantes de una sola clase, como son los pares de igual longitud, apoyados convenientemente y siguiendo la línea de máxima pendiente del techo.

Se denominan compuestas, cuando los elementos planos de las cubiertas o techos no son resistentes de por sí para su sustentación; es, por tanto, preciso el empleo de las cerchas o armaduras.

2.5. Elementos complementarios para la construcción de cubierta de techo

En cada proyecto existen condiciones particulares que requieren de una solución específica, para lo cual es necesario tomar en cuenta cada uno de los factores que puedan afectar al correcto funcionamiento que una cubierta de techo debe poseer. Los elementos complementarios que se utilizarán en cada uno de los casos, dependerá principalmente del dimensionamiento de la cubierta de techo en la cual se esté trabajando, de los materiales que se utilicen para la elaboración de dicha cubierta y de las condiciones climáticas que tenga el lugar en donde se desarrolle el proyecto.

En general, algunos de los elementos complementarios para una cubierta de techo podrían ser: clavos, tornillos, alambre de amarre, alambre galvanizado, lañas, soldadura, placas de unión, conectores, fijaciones, anclajes, etc. La variedad de elementos utilizados en la construcción de cubiertas de techo es muy amplia por lo que no sería posible nombrar toda la gama que existe ya que, según sea el caso y dependiendo de las condiciones del proyecto, sea necesario elaborar uno o varios elementos en específico para satisfacer los requerimientos de dicho proyecto.

2.6. Cubierta de techo elaborado con bambú

Dentro de la gama de cubiertas de bambú existen diferentes tipos de configuraciones que se le pueden dar a dicho material; la cubierta de techo más simple está formada de tejas de bambú, tan largas como la distancia que exista entre los apoyos que soportan dicha cubierta. Para producir las tejas de las cañas de bambú se deben cortar por la mitad en su sección transversal y a lo largo de toda su longitud para luego remover todos los diafragmas que estas

posean; deben fijarse tanto en la cumbrera como en los aleros y colocarse en forma de baldosas romana, estas tejas dado a su configuración se mantienen en posición por su propio peso.

Los elementos típicos del bambú son cañas partidas por la mitad, listones, tableros de bambú y lazos de cuerda. Este modo de construcción ofrece ventajas de prefabricación, montaje sencillo y simple sustitución de las partes estructurales; los elementos del bambú se pueden desmontar y volver a utilizar fácilmente.

Las principales ventajas del uso de bambú para construcciones de techos son:

- Es una tecnología tradicional que no requiere herramientas especiales.
- La utilización a gran escala del bambú no tiene consecuencias ambientales desastrosas (como en el caso de la madera) a causa de su rápida sustitución dentro de 4 o 5 años.
- Las propiedades físicas del bambú lo convierten en un material de construcción ideal para zonas sísmicas.
- En comparación con la mayoría de otros materiales de construcción, el bambú es barato para comprar, procesar y mantener.
- Pueden ser fabricados con poca experiencia en comunidades que posean bambú.

Sin embargo, hay inconvenientes que deben superarse:

- Durabilidad limitada, principalmente a causa de humectación excesiva y secado, insectos y hongos, impacto físico y el desgaste.
- Limitada aceptabilidad social como consecuencia de la limitada durabilidad de bambú.

2.7. Tratamiento preventivo para garantizar la durabilidad del bambú

Entre los mayores enemigos del bambú se encuentran los insectos xilófagos (que atacan únicamente el área libre de cáscara) la humedad y el sol los azúcares y almidones del bambú son el principal alimento de los insectos y hongos cromógenos o manchadores. Por lo tanto, el bambú que se utiliza en la construcción debe tratarse, después del corte, de manera que no se deteriore y se prolongue así su vida útil, la cual puede alcanzar más de cuarenta años. De hecho, si no se cura ni se protege, a lo sumo podrá llegar a durar hasta diez años. Para reducir el contenido de estos carbohidratos se debe cortar el bambú durante la estación en la cual el contenido de estos sea más bajo, es decir, en la estación más seca y cortar el bambú a la edad madura. Generalmente, el bambú madura a los 3 o 4 años. Los tratamientos que se le pueden aplicar a los culmos de bambú son:

- Curado

Los culmos se cortan en la base y se dejan de 1 a 3 semanas dentro del bambudal con sus ramas y sus hojas adheridas; durante este tiempo el contenido de almidón en el culmo se reduce. Como resultado de este

tratamiento, la resistencia al ataque de insectos perforadores se incrementa, pero no la resistencia a ataque de otros insectos y hongos.

- Ahumado

Los culmos se almacenan en sitios cerrados expuestos al humo, lo cual ocasiona un cambio de coloración, con tendencia al color oscuro. Durante este tratamiento, algunas sustancias tóxicas se depositan en el interior del culmo y contribuyen a que adquiera alguna resistencia. Por el calor, el almidón depositado dentro de las células del parénquima puede destruirse. En Japón, los culmos de bambú se colocan en cámaras de calor a 120-150 grados centígrados durante 20 minutos lo que se considera efectivo para la protección contra el ataque de insectos. Con este método se pueden presentar fisuras que facilita el ataque posterior.

- Inmersión

Los culmos frescos se colocan en agua estancada o corriente durante varias semanas, y debido a que la gravedad específica del bambú es menor a 1 se deben colocar piedras encima para mantenerlos sumergidos en el agua, durante la inmersión, los almidones y azúcares de las células de parénquima son expulsados o degradados por bacterias de ahí que la resistencia contra insectos se incrementa.

Este método no incrementa la durabilidad contra hongos y el agua estancada quizás tenga efectos negativos sobre el culmo. Algunos trabajos han recomendado que un período de inmersión de 4 a 12 semanas sea suficiente.

- Secado

Los tallos de bambú se pueden secar naturalmente, apilándolos horizontalmente bajo cubierta protegidos del sol y la lluvia por un lapso de dos meses con el fin de alcanzar la humedad requerida. El secado artificial puede realizarse en estufas o cámaras cerradas; o a fuego abierto cuidando de girar continuamente los tallos a fin de conseguir un secado uniforme.

- Métodos químicos

Son más efectivos que los no químicos, pero no siempre son aplicables y económicos; los preservantes no deben contener sustancias tóxicas tanto para hombres como para animales y el secado es una parte esencial de estos métodos.

- Método del tanque abierto

Este tratamiento es económico y simple con un buen efecto protector. Los culmos previamente dimensionados se sumergen en una solución de agua y preservante por varios días. La solución penetra el culmo a través de los extremos y parcialmente hacia los lados por efecto de difusión.

- Tratamiento con presión

Se emplea en la industria de la madera. Requiere del uso de autoclave, aplicando presiones entre 0,5 y 1,5 Newton sobre milímetro cuadrado (N/mm²). Este método da los mejores resultados en cuanto a la penetración del preservante, pero necesita instalaciones especiales y

costosas, no es económico para un material de bajo costo como el bambú.

3. METODOLOGIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CUBIERTA DE TECHO UTILIZANDO BAMBÚ

3.1. Características físicas y propiedades mecánicas del bambú seleccionado

Para la realización de las pruebas experimentales del presente documento se ha seleccionado el bambusa vulgaris, una de las especies cultivados en Guatemala, la cual posee características y propiedades enumeradas por el ingeniero Josué Jonattan Monterroso Salazar en su trabajo de graduación titulado *Diseño y evaluación de vigas joist para estructuras de techos livianos, fabricadas con bambú*, las cuales se describen a continuación:

- Características físicas del bambusa vulgaris
 - Densidad: 0,69 g/cm³
 - Contenido de humedad: 16,6 %
- Propiedades mecánicas del bambusa vulgaris
 - Tensión paralela a la fibra
 - Esfuerzo máximo con nudo: 1 323,00 kg/cm²
 - Esfuerzo máximo sin nudo: 1 872,00 kg/cm²

- Tensión perpendicular a la fibra
 - Esfuerzo máximo: 29,00 kg/cm²

- Compresión paralela a la fibra
 - Esfuerzo máximo con nudo: 394,00 kg/cm²
 - Esfuerzo máximo sin nudo: 402,00 kg/cm²

- Corte paralelo a la fibra
 - Esfuerzo máximo: 66,00 kg/cm²

- Clivaje
 - Esfuerzo máximo: 46,00 kg/cm²

A continuación, en la figura 4 se muestra el bambusa Vulgaris.

Figura 4. **Bambusa vulgaris**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Elementos de la cubierta de techo

- Cañas de bambú

Las cañas de bambú son elementos huecos alargados con una sección transversal circular y dividido en culmos en toda su longitud. Dado a que es un elemento hueco es un elemento sumamente ligero pero con una muy buena resistencia como material utilizado para la construcción. En el caso particular de la elaboración de cubiertas de techo utilizando bambú, las cañas podrán ser tan largas como lo exija el proyecto; además, estos elementos deberán de cortarse por la mitad en su sección transversal y a todo lo largo de la caña y de esta manera formar elementos acanalados, los cuales se colocarán de forma mampuesta para poder elaborar así

una cubierta de techo utilizando bambú. En la figura 5 se muestran algunas cañas de bambú cortadas por la mitad.

Figura 5. **Cañas de bambú cortadas por la mitad en su sección transversal**



Fuente: elaboración propia.

- Pasador

El pasador es una pieza alargada con una sección transversal con forma cuadrada o rectangular la cual puede medir alrededor de una pulgada en cada uno de sus lados; puede ser elaborado con el mismo material con se hace la cubierta de techo, en este caso en particular sería de bambú; aunque puede ser elaborado con cualquier otro tipo de madera si lo requiere el proyecto que se esté realizando siempre y cuando se utilice

un material que posea características de resistencia similares o de mayor resistencia a las que posee el tipo de bambú utilizado.

El pasador deberá ser ubicado en el extremo superior y en el extremo inferior de cada una de las vertientes que posea la cubierta de techo y servirá para restringir el movimiento de las cañas de bambú y de esta manera conseguir una mejor fijación a la estructura que esté soportando dicha cubierta de techo. En la figura 6 se muestran pasadores elaborados con bambú y en la figura 7 se muestra un pasador colocado en un extremo de una de las vertientes de una cubierta de techo.

Figura 6. **Pasadores elaborados con bambú**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Ensamble de pasador**



Fuente: elaboración propia.

- **Alambre galvanizado**

Es un hilo delgado de acero que ha sido expuesto a un proceso de recubrimiento electroquímico, lo cual se realiza comúnmente con una capa de zinc para proteger al acero de la oxidación que pueda tener al estar expuesto al oxígeno que posee el aire o la corrosión provocada por el agua; este tipo de tratamiento para el acero es importante ya que, en el caso particular de las cubiertas de techo, el alambre estará en contacto directo con las inclemencias del clima.

En las cubiertas de techo elaboradas con bambú, el alambre galvanizado juega un papel muy importante, ya que es el encargado de sujetar las cañas de bambú con el pasador y asimismo de sujetar la cubierta de techo con la estructura de soporte de dicha cubierta de techo. En la

figura 8 se muestra una cubierta de techo sujeta con alambre galvanizado.

Figura 8. **Sujeción a estructura de soporte de cubierta de techo**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Proceso de fabricación de los elementos utilizados en la cubierta de un techo

- Cañas de bambú

Antes de poder utilizar cada una de las cañas de bambú para una cubierta de techo, es necesario que cada una de estas sufran un proceso de adecuación, ya que en cada proyecto se establecerán condiciones específicas para llevar a cabo la elaboración de la cubierta de techo de dicho proyecto.

En términos generales, la adecuación de las cañas de bambú consiste en los siguientes pasos:

- Dimensionamiento longitudinal

El dimensionamiento longitudinal de las cañas de bambú consistirá en realizar la medición de los lados del área que se desee cubrir; elegir el lado más corto y sumarle la distancia del voladizo que se desee tener; y de esa forma tener la longitud total para las cañas de bambú que se utilizarán en la cubierta de techo.

Una vez que se tenga la longitud requerida para la cubierta de techo, se procede a cortar las cañas de bambú a utilizar en dicho proyecto, asegurándose de que todas tengan la misma longitud si la cubierta de techo tuviese una forma regular; de lo contrario, se deben tomar todas las mediciones necesarias para asegurar que la longitud de las cañas de bambú vayan cambiando conforme las dimensiones del proyecto lo exija para elaborar la cubierta de techo utilizando bambú. En la figura 9 se pueden observar algunas cañas de bambú que poseen la misma longitud, las cuales pueden ser utilizadas para una cubierta de techo con una forma regular.

Figura 9. **Cañas de bambú dimensionadas longitudinalmente**



Fuente: elaboración propia.

- **Corte transversal**

Este procedimiento consiste en realizar un corte por la mitad en la sección transversal de cada una de las cañas de bambú que se utilicen en la elaboración de una cubierta de techo. El objetivo principal al realizar dicho corte es poder obtener elementos largos en forma de teja o canal alargado y de esta forma poder utilizarlos para realizar un armado de cubierta de techo en dos capas de cañas de bambú. La primer capa se colocará con la concavidad de los canales de bambú hacia arriba, lo cual será de utilidad para una adecuada evacuación del agua de lluvia; la segunda capa se colocará con la concavidad de los canales de bambú hacia abajo para poder recolectar el agua y así llevarla hacia la primer capa con los canales con la concavidad hacia arriba para que se pueda evacuar el agua adecuadamente. En la figura 10 se muestra de

una forma más clara el armado de la primera capa de cañas de bambú para la elaboración de una cubierta de techo.

Figura 10. **Armado de cañas de bambú con concavidad hacia arriba**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 11 se muestra como se debe realizar el armado de la segunda capa de cañas de bambú para la elaboración de una cubierta de techo.

Figura 11. **Armado de cañas de bambú con concavidad hacia abajo**



Fuente: elaboración propia.

- Remoción de diafragmas

Luego de realizar el dimensionamiento longitudinal y el corte transversal a cada una de las cañas de bambú que se utilizarán al elaborar una cubierta de techo, se deben remover todos los diafragmas que cada una de las cañas de bambú posea; esto tiene como principal objetivo formar canales largos sin obstáculos y así poder evitar que el agua de lluvia tenga alguna interrupción para ser evacuada eficientemente.

Para la remoción de los diafragmas de las cañas de bambú se puede utilizar un formón o una gubia; el segundo tiene una forma cóncava que se ajusta mejor a la forma que poseen las cañas de bambú, asistido por un martillo, simplemente se van quitando todos los diafragmas teniendo cuidado de no dañar la caña del

bambú con la que se esté trabajando, dado que si por alguna razón la caña de bambú estuviese rajada esta deberá ser descartada para el uso en la cubierta de techo, ya que podría ser un punto de filtración de agua. En la figura 12 se muestra el uso de una gubia y martillo para realizar la remoción de los diafragmas en las cañas de bambú.

Figura 12. **Remoción de nudos**



Fuente: elaboración propia.

- Pasador

El pasador es un elemento alargado con una sección transversal de forma rectangular o cuadrada que puede ser elaborada con bambú, recomendablemente con la misma especie de bambú al igual que con madera; si se utiliza madera para elaborar el pasador, es recomendable utilizar madera de buena calidad con propiedades similares al bambú en

relación a la resistencia a esfuerzos de corte, dado que este elemento estará expuesto mayormente a este tipo de esfuerzos.

Para elaborar el pasador con bambú, se debe buscar una caña de pared gruesa, ya que esta definirá las dimensiones que tendrá el pasador en sus lados. Con una de banco se podrá cortar la vara de bambú a lo largo, obteniendo así tiras largas de bambú, a estas tiras se les dará una forma rectangular por medio de una máquina canteadora.

Para elaborar el pasador utilizando madera, el proceso es un poco más simple ya que solo se debe buscar una tabla o tablón con el grosor que se desea que posea el pasador. Con una cierra de banco cortamos tiras del grosor que deseamos a lo largo de la tabla y se obtiene el pasador para utilizarlo en una cubierta de techo elaborada con bambú. En la figura 13 se muestran las secciones transversales de dos pasadores elaborados con bambú.

Figura 13. **Pasador elaborado con bambú visto en su sección transversal**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede notar en la figura 13 la sección transversal de los pasadores no es totalmente cuadrada o rectangular debido a la forma curva que posee el bambú. En la figura 14 se muestran los mismos pasadores en su lado longitudinal.

Figura 14. **Pasador elaborado con bambú visto en su sección longitudinal**



Fuente: elaboración propia.

- **Alambre galvanizado**

Es un hilo delgado de acero que ha sido expuesto a un proceso de recubrimiento electroquímico, lo cual se realiza comúnmente con una capa de zinc para proteger al acero de la oxidación que pueda tener al estar expuesto al oxígeno que posee el aire o la corrosión provocada por el agua; este tipo de tratamiento para el acero es importante ya que, en el caso particular de las cubiertas de techo, el alambre estará en contacto directo con las inclemencias del clima. En la figura 15 se ilustra el alambre galvanizado.

Figura 15. **Lote de alambre galvanizado**



Fuente: <http://www.alambre.com.ar/img/productos/17/carousel/albe.galgag>

3.4. Estructura de soporte para una cubierta de techo utilizando con bambú como materia prima

Gracias a que las cubiertas de techo elaboradas con bambú poseen una gran versatilidad en cuanto a su ensamble y que además son de peso ligero, este tipo de cubiertas pueden ser armadas y ancladas sobre cualquier estructura liviana para su soporte, ya sean perfiles metálicos, vigas de madera o joist de bambú. Estos joist diseñados de acuerdo como lo establece el ingeniero Josué Jonattan Monterroso Salazar en su trabajo de graduación *Diseño y evaluación de vigas joist para estructuras de techos livianos, fabricadas con bambú.*

3.5. Armado de cubierta y anclaje

El armado de una cubierta de techo elaborada con bambú se realiza de una forma simultánea a su debido anclaje utilizando alambre galvanizado, ya

que de esta manera, con cada avance en el armado de la cubierta de techo, esta queda anclada con la estructura de soporte.

Al elaborar una cubierta de techo utilizando bambú como materia prima, el bambú se debe adecuar como se especifica en la sección 3.3 de este trabajo de graduación antes de proceder a armar o anclar la cubierta que se desee ensamblar.

El armado de la cubierta de techo consiste en colocar una capa de cañas de bambú en su forma acanalada y con la concavidad hacia arriba, luego se ensambla el pasador en cada uno de los extremos de las cañas de bambú y se realiza el anclaje a la estructura de soporte colocando alambre galvanizado entre cada una de las cañas de bambú de manera que sujete el pasador con la estructura de soporte; como siguiente paso se coloca una segunda capa de cañas de bambú en su forma acanalada pero esta vez con la concavidad hacia abajo, una vez que cada una de las cañas encaje en ambos pasadores, se realiza un entretejido con alambre galvanizado que pasa por el lado inferior del pasador y luego por el lado superior de la caña de bambú siguiente hasta que todas las cañas de bambú queden aseguradas al pasador y de esta manera debidamente ancladas a la estructura que soporta la cubierta de techo.

4. METODOLOGIA DE ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1. Impacto

Para la realización del ensayo de impacto de las cubiertas de techo utilizando como materia prima cañas de bambú, es necesaria la elaboración de tres probetas, las cuales se evalúan haciendo referencia a la norma ASTM E-695-03 que proporcionará datos que se pueden utilizar para evaluar el rendimiento relativo de pared, suelo y techo en condiciones representativas de las sufridas en el servicio real cuando se someten a impacto de un objeto contundente.

Los ensayos se realizarán en un mínimo de tres probetas, sin embargo, más pruebas pueden ser necesarias dependiendo de la información y la precisión deseada.

Las muestras deberán ser representativas de la construcción real en cuanto a material, procedimiento de montaje, mano de obra e incluso, es necesario que las dimensiones de las probetas sean representativas a las reales del proyecto, en el caso de las probetas de cubiertas de techo utilizando bambú, el ancho está comprendido desde 75 centímetros hasta 85 centímetros debido a que las cañas de bambú varían en las dimensiones con relación a sus diámetros, mientras que el largo se estandarizó a 2,50 metros en todas la probetas.

Antes de iniciar con el procedimiento del ensayo, es necesario asegurar las probetas en posición horizontal sobre la estructura de fijación, debido a las

diferencias inherentes en el método de aplicación de carga, las mediciones obtenidas a partir de pruebas en un modo horizontal no son comparables con las mediciones obtenidas a partir de pruebas en el modo vertical.

Es necesario ubicar el centro geométrico de cada una de las probetas, el cual será el punto donde será el impacto.

Para medir la deformación de la probeta con cada impacto que recibe, se debe colocar un deflectómetro instantáneo en la parte inferior de la probeta y ubicarlo en el centro geométrico de la misma.

El ensayo consiste en dejar caer una bolsa de cuero como lo especifica la norma ASTM E-695-03 de diez kilogramos sobre cada una de las probetas y en el centro geométrico de la superficie superior de cada probeta, la bolsa se deja caer tantas veces como sea necesario o según sea la información que se desee.

La altura de donde se deja caer la bolsa de diez kilogramos será variable y irá aumentando en 20 centímetros luego de cada impacto.

La ubicación del deflectómetro instantáneo debe ser en la parte inferior de la probeta y el centro geométrico de la superficie inferior de la misma, se deberá de tomar lectura del deflectómetro instantáneo antes y después de cada impacto. En la figura 16 se muestra la configuración necesaria para realizar el ensayo de impacto.

Figura 16. **Armado de sistema para ensayo de impacto**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Deflexión

Este ensayo pretende establecer una carga máxima permisible en función de la deflexión máxima que puede tener una cubierta de techo elaborada con bambú mampuesto según lo establece la norma técnica peruana E-100 bambú, la cual propone que, para conocer la deflexión máxima admisible de un techo inclinado elaborado con bambú, se debe dividir la longitud libre entre los apoyos (L) que soporta el techo dentro de un valor constante de 200 para elementos flexibles, dicho de otra manera, $L/200$.

Para realizar este ensayo se debe contar con tres probetas elaboradas con bambú colocado de forma mampuesta las cuales deben de identificarse

como primer paso; luego de estar debidamente identificadas, se deberá colocar cada una de las probetas sobre un apoyo en cada uno de sus extremos asegurado fuertemente para que sea estable y así poder aplicar de manera correcta las cargas que sean necesarias.

Al estar correctamente colocadas cada una de las probetas en los apoyos soportantes, se procede a tomar la medida correspondiente que existe entre cada uno de los apoyos de cada una de las probetas y de esa forma, poder realizar los cálculos correspondientes para determinar cuál será la deflexión máxima permisible para cada una de las probetas a ensayar.

Con el cálculo de la deflexión máxima admisible para cada una de las probetas de bambú a ensayar, se procederá a colocar los deformómetros que indicarán la manera en que cada una de las probetas se estará deformando al aplicarle carga; dicha carga se aplicará de forma distribuida sobre toda la probeta elaborada con bambú. La aplicación de la carga consistirá en una estructura de madera que servirá como apoyo a un material impermeable que a su vez será una especie de contenedor, sobre el cual estará apoyado de manera independiente a las probetas de bambú y se llenará con agua de una forma controlada para simular una carga distribuida en toda la probeta elaborada con bambú de forma mampuesta; al mismo tiempo que se coloque la carga sobre cada una de las probetas, se deberán tomar lecturas de los deformómetros los cuales deberán llegar hasta la deflexión que se calculó con referencia a la norma técnica peruana E 100. En la figura 17 se puede apreciar el sistema de carga distribuida utilizando agua.

Figura 17. **Sistema de aplicación de carga distribuida utilizando agua**



Fuente: elaboración propia.

Por último, se toma el dato de la carga máxima de cada uno de los módulos.

4.3. Absorción

Este ensayo tuvo lugar en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química en el cual se tomó la lectura del peso inicial que posee cada una de las tres probetas elaboradas con bambú para conocer la cantidad de agua que puedan retener al utilizar dicho material en una cubierta de techo; al tener la lectura en la balanza del peso inicial de cada una de las probetas previamente identificadas, se procede a colocarlas sobre una estructura similar a la que se encontraría en una vivienda. La probeta a ensayar debe estar de manera inclinada, con un ángulo de 45° para que el agua pueda escurrir de manera apropiada y que el bambú retenga lo menos posible de agua para no comprometer la integridad del material.

Se debe colocar un artefacto con una forma de cuadrícula elaborado con tubos PVC perforados que simula lluvia sobre cada una de las probetas a ensayar; dicho simulador de lluvia debe estar conectado a una toma de agua; una vez colocado dicho simulador de lluvia sobre la probeta, se dará paso a que el agua fluya a través de él y permanezca de esa manera por un tiempo de 15 minutos para que la probeta pueda saturarse de agua.

Una vez que haya transcurrido el tiempo establecido para el ensayo, se debe remover el simulador de lluvia para poder pesar cada una de las probetas y así poder conocer la cantidad de agua que retuvo cada una por una simple diferencia de peso. En la figura 18 se muestra una probeta elaborada con bambú y la colocación del simulador de lluvia.

Figura 18. **Armado de sistema para ensayo de absorción**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Permeabilidad

Este ensayo fue realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química y su finalidad es corroborar que las cubiertas de techos elaboradas con bambú mampuesto evacuen adecuadamente el agua de lluvia que pueda caer sobre él; esto se logra a través de una inspección visual que se realiza en puntos estratégicos, los cuales son:

- Nudos
- Pasador
- Traslape entre cañas

Para realizar el ensayo es necesario poseer tres probetas elaboradas con bambú mampuesto las cuales se deben colocar de forma inclinada un un ángulo de 45°, lo recomendable para este tipo de cubiertas de techos para que el agua pueda ser evacuada apropiadamente

Para simular lluvia es necesario un artefacto hecho con tubería de PVC de ½" perforados. El simulador de lluvia se debe colocar sobre cada una de las probetas elaboradas con bambú que a su vez estará conectado a una toma de agua, la cual debe ser aforada previamente para conocer el caudal de dicha toma de agua, para luego darle paso al flujo de agua que se esparcirá sobre la probeta a ensayar. Es necesario medir el tiempo al cual están expuestas las probetas; se deben realizar inspecciones visuales constantemente de las filtraciones que se pudieran tener durante el lapso de tiempo en que estarán expuestas dichas probetas al simulador de lluvia. En la figura 19 se muestra una probeta de cubierta de techo elaborado con bambú al ser ensayada y en la figura 20 se ilustra el simulador de lluvia.

Figura 19. **Realización de ensayo de permeabilidad del sistema de cubierta de techo elaborado con bambú**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Simulador de lluvia**



Fuente: elaboración propia.

4.5. Características térmicas

Este ensayo consiste en dar a conocer la cantidad de temperatura que una cubierta de techo elaborada con bambú de manera mampuesta puede transmitir desde el exterior de la cubierta hacia su lado interno. El ensayo consiste en dejar tres probetas elaboradas con bambú de forma mampuesta expuestas a la radiación solar; la cual, algunos estudios sugieren, en Guatemala tiene un valor anual de radiación global solar promedio para todo el país de $5,3 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, por un lapso de dos horas y 30 minutos tomando en cuenta las horas en que más se percibe la radiación solar durante el día.

Como primer paso se deben realizar mediciones de la temperatura inicial de cada una de las probetas previamente identificadas, tanto en su lado exterior como en su lado interno. Una vez tomado los datos iniciales necesarios, se procede a dejar a la exposición solar las probetas a ensayar; se deberán realizar mediciones de temperatura con el termómetro laser en lapsos de tiempo de 15 minutos hasta completar un lapso de tiempo de dos horas y 30 minutos.

Dichas mediciones se realizarán en la superficie externa de cada una de las probetas, así como en la superficie interna de cada una de las probetas, luego con una diferencia de temperatura se obtendrán los resultados de la cantidad del diferencial de temperatura que transmiten las cubiertas de bambú elaboradas de forma mampuesta. Al realizar las mediciones de temperatura es necesario que estas sean siempre en el mismo punto de la probeta, ya que por la naturaleza del bambú las mediciones pueden variar de un punto a otro; en la figura 21 se observa una probeta de techo de bambú marcada para realizar la medición de temperatura en el mismo punto.

Figura 21. **Toma de temperatura con termómetro laser**



Fuente: elaboración propia.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el desarrollo experimental de los ensayos para una cubierta de techo con bambú, se utilizó como materia prima cañas de bambú cortadas a la mitad con una longitud de 2,50 metros de largo, con las cuales se elaboran varias unidades experimentales que actúan de forma representativa para los ensayos de impacto, deflexión, permeabilidad, absorción y características térmicas de una cubierta de techo.

Las unidades experimentales o probetas utilizadas para los ensayos deben estar libres de nudos. El ancho es variable debido a que las cañas de bambú no tienen un diámetro exactamente igual entre ellas; los diámetros de las cañas de bambú varían entre siete centímetros y diez centímetros, lo cual hace que el ancho de cada una de las probetas aumente o disminuya. Aproximadamente cada probeta es de dos metros cuadrados de cubierta de techo.

Cada probeta debe tener un soporte en cada uno de sus extremos, el cual se encontrará asegurado con alambre galvanizado para proporcionar estabilidad a las cañas de bambú cuando se realice cada uno de los ensayos.

Al elaborar las probetas se debe contemplar una sola especie de bambú. En el caso particular del bambusa vulgaris es una de las especies más comunes del país que por lo general no tiene mayor influencia humana en su crecimiento; es una especie con la cual cualquier persona puede ser capaz de manufacturar una cubierta de techo de esta naturaleza.

En la tabla a continuación se presentan algunas de las variables a considerar en los ensayos a realizarse para dichas probetas elaboradas con bambú de forma mampuesta:

Tabla VI. **Variables a considerar**

| Variable | Recolección de datos | Instrumento | Dimensionales |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Peso | Medición directa | Balanza analógica | Kilogramo |
| Deflexión | Medición directa | Deformómetro de aguja | Milímetro |
| Dimensiones de probetas | Medición directa | Cinta métrica | Metro |
| % de absorción | Medición indirecta | - | Porcentaje |
| Temperatura | Medición directa | Termómetro laser | Grados centígrados |
| Cargas distribuidas | Medición indirecta | - | Kilogramo por metro cuadrado |
| Permeabilidad | Inspección visual | - | - |
| Área | Medición indirecta | - | Metro cuadrado |
| Deformación por impacto | Medición directa | Deflectometro instantáneo | Centímetros |

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VII se presentan los ensayos a realizar para la determinación de la funcionalidad del bambú utilizado como cubierta de techo.

Tabla VII. **Ensayos de laboratorio**

| Ensayo | Naturaleza del ensayo | No. De Ensayos |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Impacto | No destructivo | 3 |
| Deflexión | No destructivo | 3 |
| Absorción | No destructivo | 3 |
| Permeabilidad | No destructivo | 3 |
| Características Térmicas | No destructivo | 3 |

Fuente: elaboración propia.

5.1. Cálculos y resultados

5.1.1. Impacto

Energía potencial: es importante conocer la energía que la probeta a ensayar puede absorber ante un impacto de objetos contundentes, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$U_g = m \cdot g \cdot h$$

Donde:

U_g = energía potencial gravitacional (J)

m = masa del objeto (kg)

g = gravedad de la tierra (9,81 m/s²)

h = altura de la cual se suelta el objeto (m)

Tabla VIII. Toma de datos de laboratorio de ensayo a impacto de probeta M0

| Peso de bolsa: 10 kg | | Intervalo de altura: 20 cm. | | Longitud entre soportes: 2,30 m | | |
|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------|
| No. de intervalo | Altura acumulada (m) | Probeta M 0 | | | | |
| | | Lectura inicial (cm) | Lectura de deformación instantánea (cm) | Recuperación (cm) | Deformación (cm) | Energía potencial (j) |
| 1 | 0,20 | 7,50 | 9,50 | 7,60 | 2,00 | 19,62 |
| 2 | 0,40 | 7,60 | 10,60 | 7,60 | 3,00 | 39,24 |
| 3 | 0,60 | 7,60 | 10,80 | 7,60 | 3,20 | 58,86 |
| 4 | 0,80 | 7,60 | 11,20 | 7,60 | 3,60 | 78,48 |
| 5 | 1,00 | 7,60 | 14,00 | 7,60 | 6,40 | 98,10 |
| 6 | 1,20 | 7,60 | 13,60 | 7,60 | 6,00 | 117,72 |
| 7 | 1,40 | 7,60 | 13,00 | 7,60 | 5,00 | 137,34 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Toma de datos de laboratorio de ensayo a impacto de probeta M2

| Peso de bolsa: 10 kg | | Intervalo de altura: 20 cm. | | Longitud entre soportes: 2,30 m. | | |
|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|------------------|-----------------------|
| No. de intervalo | Altura acumulada (m) | Probeta M2 | | | | |
| | | Lectura inicial (cm) | Lectura de deformación instantánea (cm) | Recuperación (cm) | Deformación (cm) | Energía potencial (j) |
| 1 | 0,20 | 7,90 | 9,40 | 7,90 | 1,50 | 19,62 |
| 2 | 0,40 | 7,90 | 11,40 | 8,00 | 3,50 | 39,24 |
| 3 | 0,60 | 8,00 | 13,60 | 8,00 | 5,60 | 58,86 |
| 4 | 0,80 | 8,00 | 16,10 | 8,00 | 8,10 | 78,48 |
| 5 | 1,00 | 8,00 | 17,60 | 8,00 | 9,60 | 98,10 |
| 6 | 1,20 | 8,00 | 18,90 | 8,00 | 10,90 | 117,72 |
| 7 | 1,40 | 8,00 | 18,00 | 8,00 | 10,00 | 137,34 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Toma de datos de laboratorio de ensayo a impacto de probeta M3**

| Peso de bolsa: 10 kg | | Intervalo de altura: 20 cm | | Longitud entre soportes: 2,30 m | | |
|----------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------|
| No. de intervalo | Altura acumulada (m) | Probeta M3 | | | | |
| | | Lectura inicial (cm) | Lectura de deformación instantánea (cm) | Recuperación (cm) | Deformación (cm) | Energía potencial (j) |
| 1 | 0,20 | 8,60 | 10,30 | 8,60 | 1,70 | 19,62 |
| 2 | 0,40 | 8,60 | 10,80 | 8,60 | 2,20 | 39,24 |
| 3 | 0,60 | 8,60 | 11,20 | 8,50 | 2,60 | 58,86 |
| 4 | 0,80 | 8,50 | 12,30 | 8,50 | 3,80 | 78,48 |
| 5 | 1,00 | 8,50 | 12,90 | 8,50 | 4,40 | 98,10 |
| 6 | 1,20 | 8,50 | 14,50 | 8,50 | 6,00 | 117,72 |
| 7 | 1,40 | 8,50 | 14,60 | 8,50 | 6,10 | 137,34 |

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Deflexión

Deformación permisible: para el cálculo de la deformación permisible para una cubierta de techo elaborada con bambú es recomendable cumplir con los parámetros establecidos por la norma peruana E-100: norma técnica para construcción con bambú por medio de la siguiente expresión:

$$D_p = L/200$$

Donde:

Dp*: deformación permisible (m)

L: longitud entre apoyos (m)

200: constante para elementos flexibles

* Se reportará en milímetros para su mejor comprensión.

Cargas distribuidas:

Para realizar el cálculo de la carga distribuida en las probetas, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Carga distribuida} = \frac{P}{L * A}$$

Donde:

Carga distribuida en kg/m²

P = carga (kg)

L = largo de la probeta (m)

A = ancho de la probeta (m)

Tabla XI. **Toma de datos de laboratorio de ensayo de deflexión de probeta M0**

| Longitud entre apoyos: 2,30 m. | | Largo L: 2,50 m. | | | Ancho A: 0,81 m. | | | |
|---------------------------------|------------|----------------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Incremento de carga distribuida | | 24kg | Probeta M 0 | | Deformación permisible 11,5 mm | | | |
| No. de incrementos | Carga (kg) | Carga distribuida (kg/m ²) | Deformómetro D1 | | Deformómetro D2 | | Deformómetro D3 | |
| | | | Lectura (in) | Posición de D1 | Lectura (mm) | Posición de D2 | Lectura (mm) | Posición de D3 |
| Inicial | 0 | 0 | 3,92 | 1/3 L | 16,40 | 1/2 L | 8,87 | 1/3 L |
| 1 | 24 | 11,85 | 4,33 | 1/3 L | 17,66 | 1/2 L | 9,01 | 1/3 L |
| 2 | 48 | 23,70 | 4,80 | 1/3 L | 19,03 | 1/2 L | 10,26 | 1/3 L |
| 3 | 72 | 35,56 | 5,21 | 1/3 L | 20,22 | 1/2 L | 11,33 | 1/3 L |
| 4 | 96 | 47,41 | 5,67 | 1/3 L | 21,57 | 1/2 L | 12,56 | 1/3 L |
| 5 | 120 | 59,26 | 6,17 | 1/3 L | 23,07 | 1/2 L | 13,93 | 1/3 L |
| 6 | 144 | 71,11 | 6,69 | 1/3 L | 24,62 | 1/2 L | 15,30 | 1/3 L |
| 7 | 168 | 82,96 | 7,20 | 1/3 L | 26,08 | 1/2 L | 17,59 | 1/3 L |
| 8 | 192 | 94,81 | 7,76 | 1/3 L | 27,75 | 1/2 L | 19,16 | 1/3 L |
| 9 | 216 | 106,67 | 8,30 | 1/3 L | 29,33 | 1/2 L | 20,57 | 1/3 L |
| Deformación total | | | 4,38 | | 12,93 | | 11,70 | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Diferencial de deformación de probeta M0**

| | Lectura anterior (in) | Lectura actual (in) | Deformación (in) | Lectura anterior (mm) | Lectura actual (mm) | Deformación (mm) | Lectura anterior (mm) | Lectura actual (mm) | Deformación (mm) |
|------------------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|---------------------|------------------|
| 24 hrs con carga | 8,30 | 9,01 | 0,71 | 29,33 | 29,92 | 0,59 | 20,57 | 21,8 | 1,23 |
| Descarga | 3,92 | 3,30 | -0,62 | 16,40 | 17,04 | 0,64 | 8,87 | 8,45 | -0,42 |
| 24 hrs sin carga | 3,92 | 3,10 | - 0,82 | 16,40 | 16,85 | 0,45 | 8,87 | 8,30 | -0,57 |

Fuente: elaboración propia

Tabla XIII. **Toma de datos de laboratorio de ensayo de deflexión de probeta M2**

| Longitud entre apoyos: 2,30 m. | | | Largo L: 2,50 m. | | Ancho: 0,76 m. | | | |
|---------------------------------|------------|----------------------------------------|------------------|----------------|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Incremento de carga distribuida | | | 24Kg | Probeta M 2 | Deformación permisible 11,5 mm | | | |
| No de incrementos | Carga (kg) | Carga distribuida (kg/m ²) | Deformómetro D1 | | Deformómetro D2 | | Deformómetro D3 | |
| | | | Lectura (in) | Posición de D1 | Lectura (mm) | Posición de D2 | Lectura (mm) | Posición de D3 |
| Inicial | 0 | 0 | 3,38 | 1/3 L | 1,15 | 1/2 L | 7,23 | 1/3 L |
| 1 | 24 | 12,63 | 3,85 | 1/3 L | 2,43 | 1/2 L | 8,31 | 1/3 L |
| 2 | 48 | 25,26 | 4,43 | 1/3 L | 4,05 | 1/2 L | 9,69 | 1/3 L |
| 3 | 72 | 37,89 | 5,05 | 1/3 L | 5,80 | 1/2 L | 10,13 | 1/3 L |
| 4 | 96 | 50,53 | 5,67 | 1/3 L | 7,55 | 1/2 L | 12,65 | 1/3 L |
| 5 | 120 | 63,16 | 6,27 | 1/3 L | 9,23 | 1/2 L | 13,10 | 1/3 L |
| 6 | 144 | 75,79 | 6,85 | 1/3 L | 10,87 | 1/2 L | 15,48 | 1/3 L |
| 7 | 168 | 88,42 | 7,45 | 1/3 L | 12,66 | 1/2 L | 16,89 | 1/3 L |
| Deformación total | | | 4,07 | | 11,51 | | 9,66 | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Diferencial de deformación de probeta M2**

| | Lectura anterior (in) | Lectura actual (in) | Deformación (in) | Lectura anterior (mm) | Lectura actual (mm) | Deformación (mm) | Lectura anterior (mm) | Lectura actual (mm) | Deformación (mm) |
|------------------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|---------------------|------------------|
| 24 hrs con carga | 7,45 | 8,09 | 0,64 | 12,66 | 14,11 | 1,45 | 16,89 | 17,37 | 0,48 |
| Descarga | 3,38 | 3,31 | -0,07 | 1,15 | 3,59 | 2,44 | 7,23 | 9,50 | 2,27 |
| 24 hrs sin carga | 3,38 | 3,08 | -0,30 | 1,15 | 2,95 | 1,8 | 7,23 | 8,90 | 1,67 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Toma de datos de laboratorio de ensayo de deflexión de probeta M3**

| Longitud entre apoyos: 2,30 m. | | | Largo L: 2,50 m. | | | Ancho: 0,84 m. | | |
|---------------------------------|------------|----------------------------------------|------------------|----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|----------------|
| Incremento de carga distribuida | | | 24Kg | Probeta | M 3 | Deformación permisible 11,5 mm | | |
| No de incrementos | Carga (kg) | Carga distribuida (kg/m ²) | Deformómetro D1 | | Deformómetro D2 | | Deformómetro D3 | |
| | | | Lectura (in) | Posición de D1 | Lectura (mm) | Posición de D2 | Lectura (mm) | Posición de D3 |
| Inicial | 0 | 0 | 2,75 | 1/3 L | 8,75 | 1/2 L | 9,05 | 1/3 L |
| 1 | 24 | 11,43 | 3,38 | 1/3 L | 10,32 | 1/2 L | 10,15 | 1/3 L |
| 2 | 48 | 22,86 | 3,87 | 1/3 L | 11,68 | 1/2 L | 11,07 | 1/3 L |
| 3 | 72 | 34,29 | 4,30 | 1/3 L | 12,89 | 1/2 L | 11,88 | 1/3 L |
| 4 | 96 | 45,71 | 4,72 | 1/3 L | 13,01 | 1/2 L | 12,62 | 1/3 L |
| 5 | 120 | 57,14 | 5,15 | 1/3 L | 14,11 | 1/2 L | 13,32 | 1/3 L |
| 6 | 144 | 68,57 | 5,55 | 1/3 L | 16,17 | 1/2 L | 14,01 | 1/3 L |
| 7 | 168 | 80,00 | 5,93 | 1/3 L | 17,20 | 1/2 L | 14,70 | 1/3 L |
| 8 | 192 | 91,43 | 6,29 | 1/3 L | 18,17 | 1/2 L | 15,38 | 1/3 L |
| 9 | 216 | 102,86 | 6,73 | 1/3 L | 19,32 | 1/2 L | 16,16 | 1/3 L |
| 10 | 240 | 114,29 | 7,10 | 1/3 L | 20,34 | 1/2 L | 17,92 | 1/3 L |
| 11 | 264 | 125,71 | 7,45 | 1/3 L | 21,35 | 1/2 L | 18,69 | 1/3 L |
| Deformación total | | | 4,7 | | 12,6 | | 9,64 | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Diferencial de deformación de probeta M3**

| | Lectura anterior (in) | Lectura actual (in) | Deformación (in) | Lectura anterior (mm) | Lectura actual (mm) | Deformación (mm) | Lectura anterior (mm) | Lectura actual (mm) | Deformación (mm) |
|------------------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|---------------------|------------------|
| 24 hrs con carga | 7,45 | 7,87 | 0,42 | 21,35 | 22,42 | 1,07 | 18,69 | 19,85 | 1,16 |
| Descarga | 2,75 | 3,03 | 0,28 | 8,75 | 11,41 | 2,66 | 9,05 | 11,57 | 2,52 |
| 24 hrs sin carga | 2,75 | 3,63 | 0,88 | 8,75 | 10,53 | 1,78 | 9,05 | 10,00 | 0,95 |

Fuente: elaboración propia.

5.1.3. Absorción

Aforo: para realizar el cálculo del aforo volumétrico se utilizan las siguientes expresiones:

$$P = P_t - P_r$$

Donde:

P: peso sin recipiente (kg)

P_t: peso total (kg)

P_r: peso del recipiente (kg)

$$Q = \frac{PL}{T}$$

Donde:

Q: caudal (l/s)

PL: peso equivalente en litros

T: tiempo (s)

Tabla XVII. **Datos registrados para realización de aforo volumétrico**

| Peso del recipiente Pr: 0,453 kg | Peso total Pt (kg) | Tiempo T (s) | Peso sin recipiente P (kg) | Peso equivalente en litros PL (l) | Caudal Q (l/s) |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Corrida | | | | | |
| 1 | 15,646 | 25,68 | 15,193 | 15,193 | 0,592 |
| 2 | 10,431 | 16,77 | 9,978 | 9,978 | 0,595 |
| 3 | 9,410 | 15,04 | 8,957 | 8,957 | 0,596 |
| Caudal promedio | | | | | 0,594 |

Fuente: elaboración propia.

Porcentaje de absorción: para realizar el cálculo del porcentaje de absorción se utilizan la siguiente expresión:

$$\% = \frac{Psat - P}{P}$$

Donde:

Psat: peso saturado (kg)

P: peso seco (kg)

?: porcentaje de absorción

Agua de precipitación: para calcular el agua precipitada se multiplica el caudal por el tiempo de exposición en segundo como se muestra a continuación:

$$\text{Agua precipitada} = 0,594 \text{ l/s} * 900 \text{ s} = 534,6 \text{ litros}$$

Porcentaje de agua absorbida: para calcular el porcentaje de agua que absorbió cada probeta se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{Psat - P}{Ap}$$

Donde

Psat: peso saturado (kg)

P: peso seco (kg)

Ap: agua precipitada (l), sabiendo que 1 l = 1 kg

?: porcentaje de absorción

Tabla XVIII. **Toma de datos de laboratorio de ensayo de absorción**

| Caudal: 0,594 l/s | | Tiempo de exposición: 15 min | | |
|-------------------|----------------|------------------------------|-----------------------------|------|
| Probeta | Peso seco (kg) | Peso saturado (kg) | Porcentaje de absorción (%) | |
| | | | probeta | agua |
| M0 | 37,00 | 38,00 | 2,70 | 0,19 |
| M2 | 37,00 | 38,00 | 2,70 | 0,19 |
| M3 | 36,00 | 37,00 | 2,78 | 0,19 |

Fuente: elaboración propia.

5.1.4. Permeabilidad

Para la evaluación de la permeabilidad es necesario considerar la cubierta de techo como un todo y por medio de la inspección visual analizar los factores que pueden comprometer la funcionalidad de una cubierta de techo utilizando bambú.

Entre los factores más importantes que se deben tomar en cuenta cuando se evalúa o ensaya una probeta de cubierta de techo a través una inspección visual están los siguientes:

- Defectos del bambú

Esto es concerniente totalmente a la materia prima, en este caso el bambú, ya que existen cuidados que se deben tener a la hora de realizar la inspección visual.

- Crecimiento

Durante el crecimiento se pueden dar malformaciones en el bambú por lo que es necesario inspeccionar lugares donde el bambú tuviese alguna curvatura para corroborar que debido a esto no hubiese alguna filtración.

- Manejo y secado

Es importante que durante la inspección visual se tome en cuenta que debido al mal manejo del bambú, este puede tener alguna rajadura por algún mal corte o cualquier impacto que este pudiese haber recibido, incluso pudiese tener alguna rajadura a causa de un secado muy rápido, ya que esto puede ocasionar filtraciones.

- Sistema constructivo

En el sistema constructivo existen ciertos aspectos que se deben tomar en cuenta cuando se realiza la inspección visual, entre los más importantes están:

- Perforaciones

Durante la inspección visual se debe buscar cualquier tipo de perforación que pueda ocasionar filtraciones en la cubierta de techo, dado que durante el corte o dimensionamiento se puede lastimar el bambú cuando se utiliza herramienta.

- Traslapes

Las filtraciones son muy probables a darse en los traslapes de las cañas de bambú, dado que si no se tienen cañas suficientemente rectas, estas tienden a dejar espacios donde se pueden dar las filtraciones.

- Geometría

El factor geométrico también tiene mucho que ver a la hora de realizar una inspección visual en un ensayo de permeabilidad para una cubierta de techo elaborada con bambú, ya que si la cubierta posee una forma muy irregular, esta será más propensa a poseer filtraciones o si las cañas de bambú no posee diámetros parecidos entre ellas, estas no encajarán bien a la hora de su armado, dejando puntos probables de filtración.

- Pendiente

La pendiente en el armado de una cubierta de techo elaborada con bambú es un aspecto muy importante para la correcta evacuación de agua, de lo contrario, esto daría lugar a que exista acumulación de agua y una posible filtración.

5.1.5. Características térmicas

Tabla XIX. **Toma de datos de laboratorio de ensayo de características térmicas de probeta M0**

| Temperatura ambiental: 33,50 °C | | Fecha de realización: 11 de abril de 2016 | | |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|---------------|--------------|
| Probeta: M0 | Temperatura en cara externa (°C) | Temperatura en cara interna (°C) | Variación | |
| Hora | | | Absoluta (°C) | Relativa (%) |
| 10:00:00 | 15,80 | 15,60 | 0,20 | 1,26 |
| 10:15:00 | 31,30 | 27,40 | 3,90 | 12,46 |
| 10:30:00 | 37,80 | 33,30 | 4,50 | 11,90 |
| 10:45:00 | 39,60 | 35,00 | 4,60 | 11,62 |
| 11:00:00 | 43,50 | 39,70 | 3,80 | 8,74 |
| 11:15:00 | 45,40 | 38,10 | 7,30 | 16,08 |
| 11:30:00 | 44,20 | 38,70 | 5,50 | 12,44 |
| 11:45:00 | 43,30 | 37,90 | 5,40 | 12,47 |
| 12:00:00 | 44,30 | 39,80 | 4,50 | 10,16 |
| 12:15:00 | 48,10 | 43,60 | 4,50 | 9,36 |
| 12:30:00 | 45,20 | 40,00 | 5,20 | 11,50 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Toma de datos de laboratorio de ensayo de características térmicas de probeta M2

| Temperatura ambiental: 33,50 °C | | Fecha de realización: 11 de abril de 2016 | | |
|---------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|---------------|--------------|
| Probeta: M2 | Temperatura en superficie externa (°C) | Temperatura en superficie interna (°C) | Variación | |
| Hora | | | Absoluta (°C) | Relativa (%) |
| 10:00:00 | 15,40 | 15,20 | 0,20 | 1,29 |
| 10:15:00 | 33,10 | 26,30 | 0,20 | 0,62 |
| 10:30:00 | 41,70 | 32,20 | 9,50 | 22,78 |
| 10:45:00 | 38,00 | 29,00 | 9,00 | 23,68 |
| 11:00:00 | 42,10 | 33,30 | 8,80 | 20,90 |
| 11:15:00 | 44,30 | 36,80 | 7,50 | 16,93 |
| 11:30:00 | 45,10 | 36,90 | 8,20 | 18,18 |
| 11:45:00 | 43,10 | 35,10 | 8,00 | 18,56 |
| 12:00:00 | 41,30 | 36,00 | 5,30 | 12,83 |
| 12:15:00 | 49,10 | 42,40 | 6,70 | 13,64 |
| 12:30:00 | 40,70 | 35,80 | 4,90 | 12,04 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Toma de datos de laboratorio de ensayo de características térmicas de probeta M3

| Temperatura ambiental: 33,50 °C | | Fecha de realización: 11 de abril de 2016 | | |
|---------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|---------------|--------------|
| Probeta: M3 | Temperatura en superficie externa (°C) | Temperatura en superficie interna (°C) | Variación | |
| Hora | | | Absoluta (°C) | Relativa (%) |
| 10:00:00 | 16,30 | 16,40 | 0,10 | 0,61 |
| 10:15:00 | 33,80 | 21,50 | 12,30 | 36,39 |
| 10:30:00 | 40,20 | 26,20 | 14,00 | 34,83 |
| 10:45:00 | 38,20 | 24,50 | 13,70 | 35,86 |
| 11:00:00 | 41,60 | 28,00 | 13,60 | 32,69 |
| 11:15:00 | 44,20 | 31,30 | 12,90 | 29,18 |
| 11:30:00 | 44,00 | 31,40 | 12,60 | 28,64 |
| 11:45:00 | 40,60 | 27,10 | 13,50 | 33,25 |
| 12:00:00 | 41,30 | 30,80 | 10,50 | 25,42 |
| 12:15:00 | 46,10 | 32,70 | 13,40 | 29,07 |
| 12:30:00 | 43,00 | 32,40 | 10,60 | 24,65 |

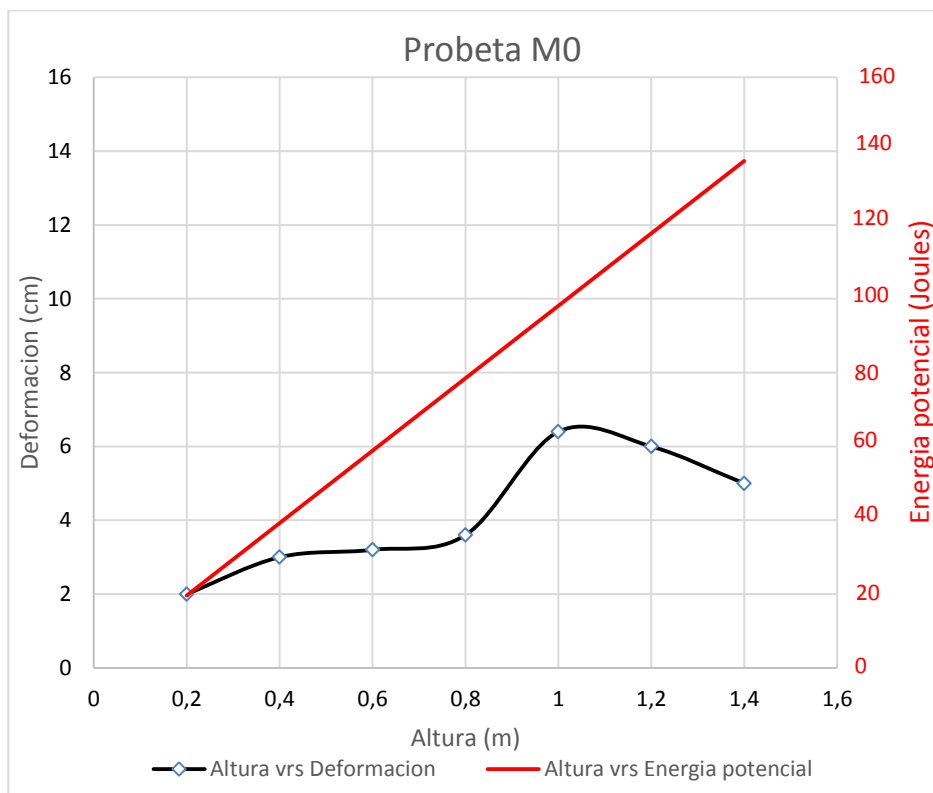
Fuente: elaboración propia.

5.2. Presentación de resultados

5.2.1. Impacto

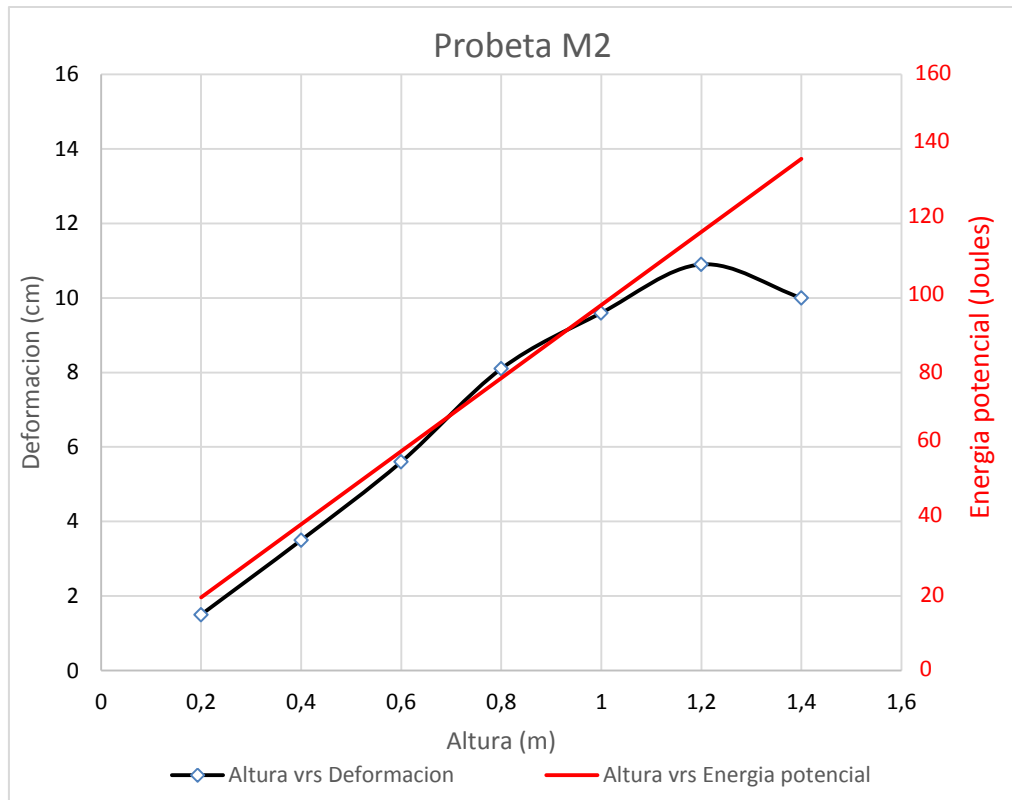
En las gráficas 22, 23 y 24 se muestran los resultados obtenidos del ensayo a impacto de las probetas M0, M2 y M3.

Figura 22. **Gráfica de comportamiento de probeta M0 en ensayo a impacto**



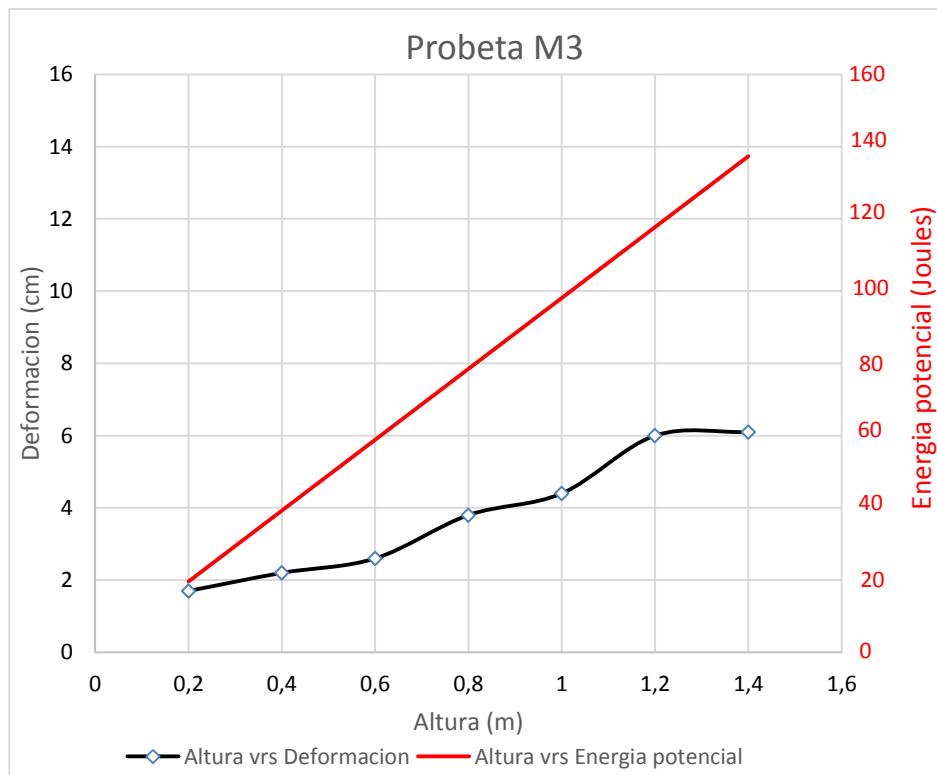
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Gráfica de comportamiento de probeta M2 en ensayo a impacto



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Gráfica de comportamiento de probeta M3 en ensayo a impacto**

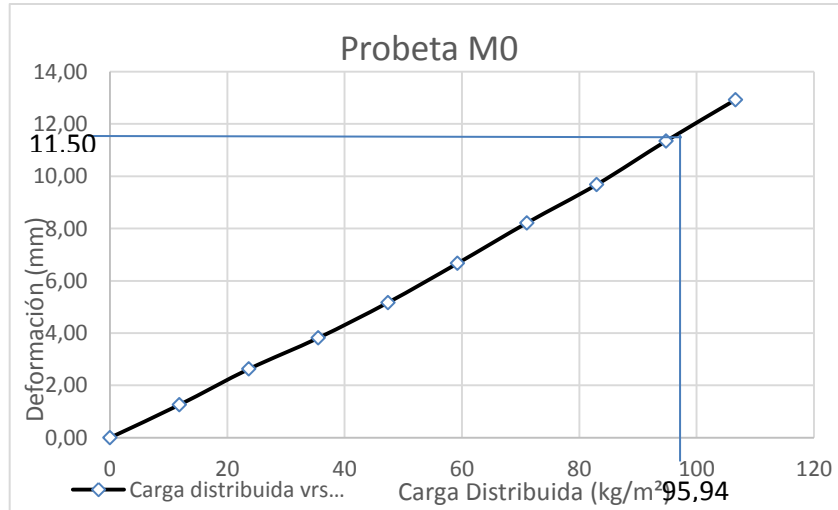


Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Deflexión

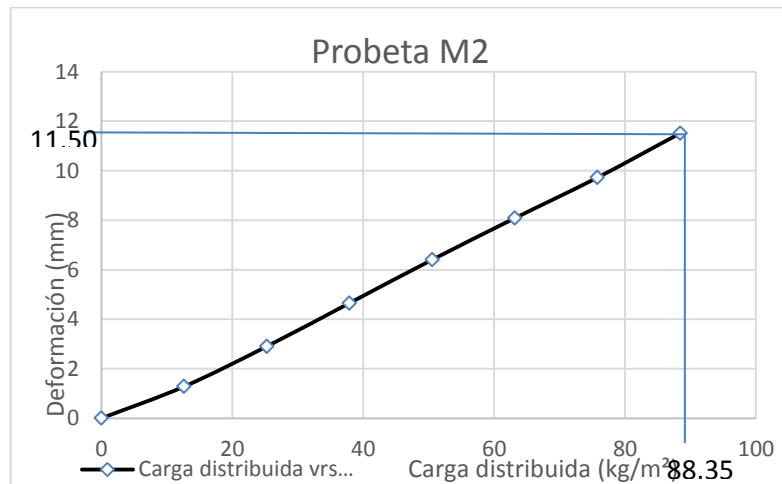
En las gráficas 25 – 27 se muestran los resultados obtenidos del ensayo de deflexión realizados a las probetas M0, M2 y M3.

Figura 25. **Gráfica de carga distribuida en función de deformación permisible de probeta M0**



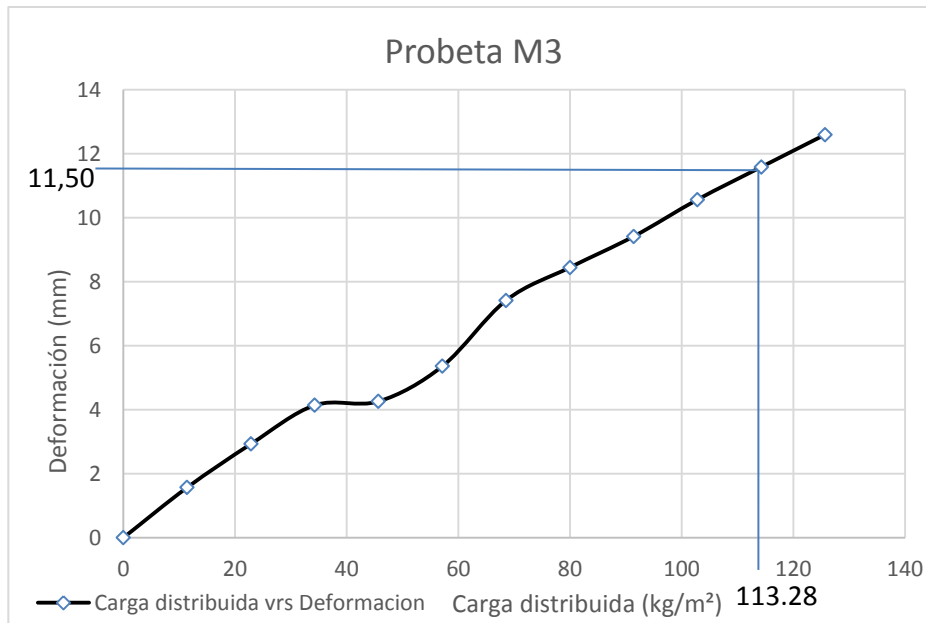
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Gráfica de carga distribuida en función de deformación permisible de probeta M2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Gráfica de carga distribuida en función de deformación permisible de probeta M3**



Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Absorción

Las probetas ensayadas mostraron una tendencia de absorción del 2,70 % en función del peso de la probeta y el agua retenida y una absorción del 0,19 % en relación a la cantidad de agua que se esparció sobre cada una de las probetas.

5.2.4. Permeabilidad

Figura 28. **Filtración por rajadura en nudo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Abertura por curvatura de la caña de bambú**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Filtración por abertura entre cañas de bambú**

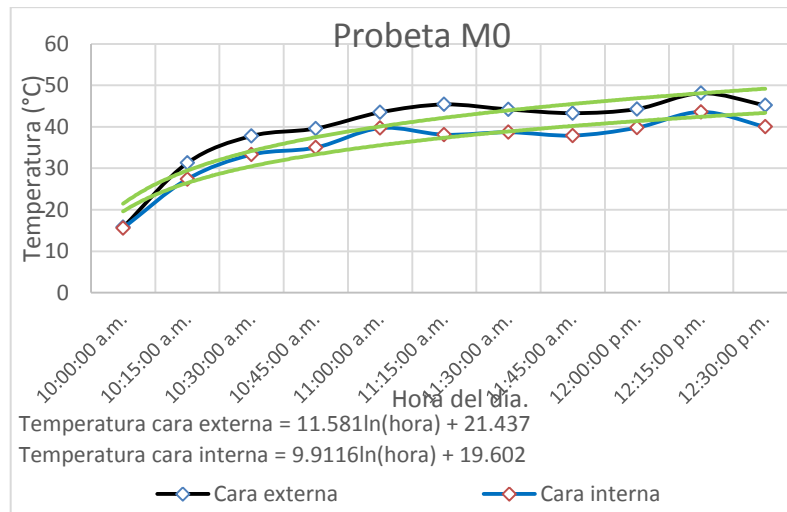


Fuente: elaboración propia.

La cantidad de agua filtrada en las probetas de cubierta de techo no es significativa ante la cantidad de agua que se esparció sobre cada probeta, como se puede observar en las figuras 28, 29 y 30 son filtraciones muy pequeñas, mayormente son por imperfecciones del material.

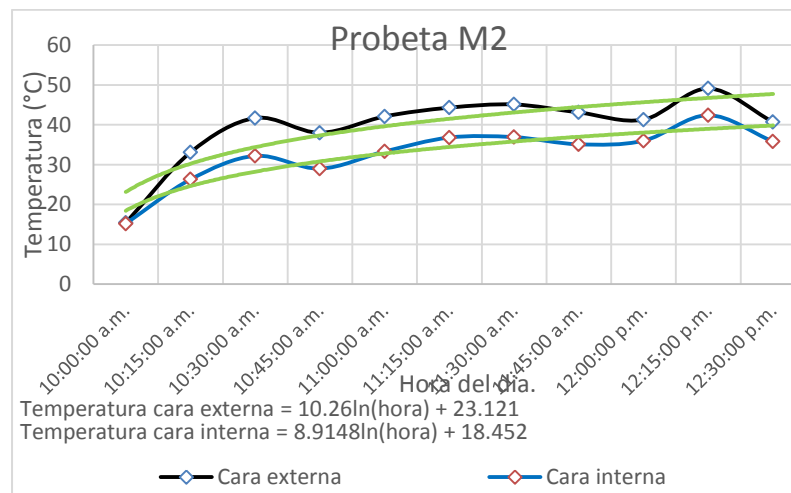
5.2.5. Características térmicas

Figura 31. Gráfica de diferencial térmico de probeta M0



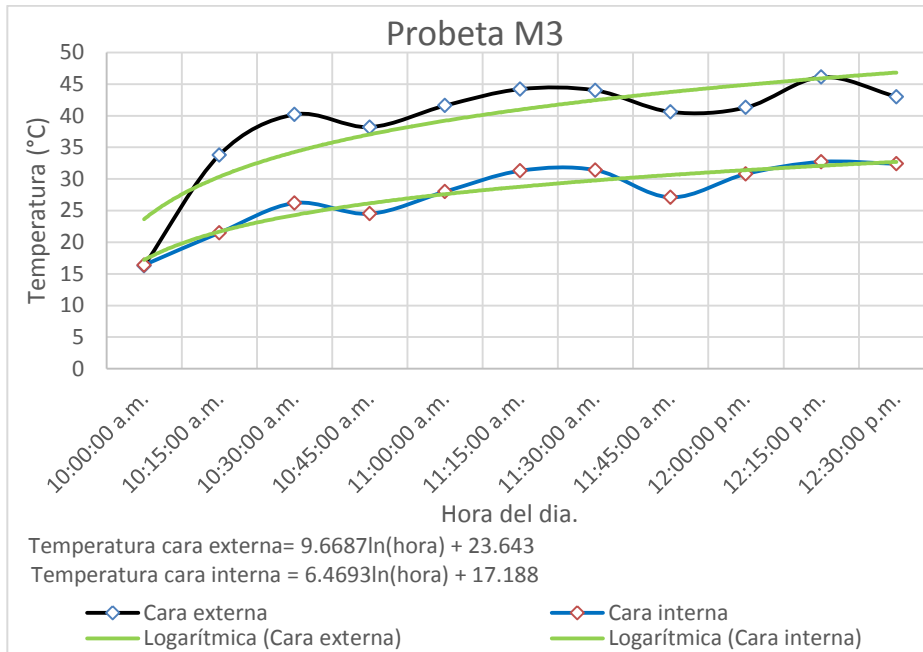
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Gráfica de diferencial térmico de probeta M2



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Gráfica de diferencial térmico de probeta M3



Fuente: elaboración propia.

5.3. Análisis y discusión de resultados en los ensayos de laboratorio.

5.3.1. Impacto

En los ensayos de impacto de las probetas de cubiertas de techo elaboradas con bambú se observa la capacidad de recuperación que poseen, ya que luego de cada impacto estas vuelven a su estado inicial, como se observa en las tablas VIII, IX y X la recuperación en casi en todos los casos es igual a la lectura inicial antes del impacto; aunque en algunos casos se nota que la recuperación difiere en algunos milímetros, pero esto se puede adjudicar al acomodamiento entre cañas que puede existir entre cada impacto.

5.3.2. Deflexión

En las gráficas 25, 26 y 27 se muestra el comportamiento del ensayo de deflexión que sugiere que las probetas de techo elaboradas con bambú trabajan bajo su límite elástico bajo las condiciones que dicta la norma Técnica Peruana E-100 Bambú, ya que se puede observar en las tablas XII, XIV y XVI que al quitar la carga que estuvo por 24 horas sobre las probetas puede existir una deformación hasta de 2,6 milímetros y luego de una recuperación de 24 horas sin carga, esta deformación se reduce en más de un milímetro he incluso puede llegar hasta su estado inicial.

5.3.3. Absorción

A pesar que el porcentaje de absorción de agua fue bajo en relación a la cantidad de agua esparcida sobre las probetas, este porcentaje de absorción pudo haber sido menor si el bambú que se utilizó para las probetas de cubiertas de techo hubiesen tenido algún tipo de impermeabilizante o cualquier otro recubrimiento que se le pueda aplicar, como se muestra en la tabla XVIII es de 0,19 % en relación a el agua total y 2,70 % en relación al peso de las probetas

5.3.4. Permeabilidad

No es un factor representativo en relación a los 534,60 litros esparcidos en cada probeta, pues el volumen infiltrado es del orden de los cinco mililitros, esto debido principalmente a la pendiente, geometría y morfología del bambú.

5.3.5. Características térmicas

En las gráficas 31, 32 y 33 se puede notar que en el comportamiento de las curvas existe un diferencial de temperatura entre la cara interior y la cara exterior de cada una de las probetas este diferencial de temperatura no es el mismo en cada una ya que este comportamiento se debe al diámetro y grosor de pared que poseen las cañas de bambú, ya que estos por su naturaleza difieren entre sí. Esto no influye en la capacidad de carga de la cubierta de techo trabajando como un todo; ya que como bien se sabe, una o un grupo de cañas de bambú puede ser más gruesa o más delgada en el punto de referencia donde se registró la temperatura en el ensayo de características térmicas.

6. GUÍA PARA LA FABRICACION DE UNA CUBIERTA DE TECHO UTILIZANDO BAMBÚ

Esta guía tiene como objetivo principal proveer a cualquier persona o entidad, la información necesaria para poder fabricar una cubierta de techo elaborada con bambú utilizado como materia prima de una manera fácil, rápida y relativamente económica; de igual manera, existen métodos alternativos que pueden llegar a ser mucho más complejos. A continuación, se mencionan los aspectos más importantes que se deben tomar en cuenta a la hora de construir una cubierta de techo con bambú:

- Corte y dimensionamiento
- Manejo del bambú
- Armado de cubierta

6.1. Corte y dimensionamiento

Es importante que este proceso se realice cuidando aspectos concernientes directamente al bambú ya que su calidad se reflejará en el resultado final del proyecto que se esté realizando.

- Corte

Al realizar el corte de bambú es necesario tomar muy en cuenta las siguientes consideraciones:

- Es de gran importancia que cuando se lleve a cabo la elaboración de una cubierta de techo utilizando bambú como materia prima, se utilice una sola especie de bambú, ya que de esta manera se obtendrán las mismas características: la resistencia, los diámetros de las cañas, las longitudes, entre otros; si no fuese posible obtener la cantidad de bambú que requiere el proyecto en una sola plantación y se tuviese que buscar una o más plantaciones, se debe tener especial cuidado que todas las plantaciones sean de la misma especie y que su cultivo sea en condiciones similares para que el proyecto tenga propiedades y características similares.

- Cuando se construye una cubierta de techo utilizando bambú como materia prima, la edad de dicho bambú es un factor muy importante, ya que si este no posee la misma edad, habrán irregularidades en la estructura: diferentes diámetros, diferentes grosores de pared en las cañas de bambú, longitudes variables, conicidad, entre otros; por lo que es recomendable tratar de buscar plantaciones que lleven un registro de las características del bambú y de preferencia que sean plantaciones manejadas para aprovechamiento comercial.

- Cuando se seleccione el bambú que se utilizará para elaborar una cubierta de techo, es necesario que el bambú a utilizar sea lo más recto posible, ya que esto facilitará el manejo del mismo cuando se esté ensamblando ya que en el caso de las plantaciones silvestres no se tiene un control del crecimiento del bambú. Este por lo regular crece con ciertas curvaturas o deformaciones, por lo que si no se tuviese acceso a bambú de plantaciones de crecimiento controlado; las cuales cultivan bambú relativamente

recto, se debe de buscar que el bambú con el que se esté trabajando coincida con la curvatura de las cañas, tanto en la cara superior como en la inferior como se muestra en la figura 34.

Figura 34. **Acomodamiento de cañas de bambú según su curvatura**



Fuente: elaboración propia.

- Es preciso que cuando se seleccione el bambú, se realice esta actividad buscando que los diámetros y el grosor de pared de las cañas sean similares; la selección de diámetros de las cañas se hace con el objetivo facilitar el ensamble entre una y otra caña de la cubierta de techo. La selección del grosor de pared de las cañas es para que dicha cubierta posea una resistencia parecida en cualquiera de sus puntos. En la figura 35 se muestra un lote de cañas de bambú donde se nota que cada una posee diferente

diámetro, pero pese a esto existe una similitud de dimensiones entre algunas.

Figura 35. **Lote de cañas de bambú previo a la debida selección**



Fuente: elaboración propia.

- La buena condición del bambú es fundamental para garantizar el buen funcionamiento y la durabilidad de una cubierta de techo elaborada con bambú, por lo que se debe de realizar una inspección visual para que el bambú que se utilice en el proyecto no se encuentre podrido, con perforaciones hechas por insectos o con rajaduras, si presenta algunos de estos defectos dicho bambú no será recomendable para ser utilizado en una cubierta de techo ya que estas imperfecciones comprometerán la resistencia del bambú, así como la permeabilidad que una cubierta de techo debe poseer, con consecuencia de una cubierta que no es funcional.

- Dimensionamiento

A continuación, se mencionan los aspectos que se deben tomar en cuenta cuando se realiza el dimensionamiento de las cañas de bambú a utilizar en la elaboración de una cubierta de techo.

- Acomodamiento e identificación

Antes de realizar cualquier tipo de actividad de corte en el bambú que se utilizará para la elaboración de una cubierta de techo, es necesario recordar que el bambú por naturaleza posee algunas deformaciones o curvaturas longitudinalmente; por lo que se debe realizar cierto tipo de ordenamiento o acomodamiento de las cañas de bambú que se utilizarán; esto quiere decir que se deberán de seleccionar las cañas de bambú que posean una forma similar entre ellas y que de esta manera se puedan acomodar; de tal forma que no existan espacios muy grandes entre ellas y que esto pueda ocasionar algún tipo de abertura y, por consiguiente, alguna filtración en la cubierta de techo que se esté elaborando. En la figura 36 se muestran algunas cañas de bambú que poseen cierta curvatura pero que se han podido acomodar de tal manera que puedan cumplir su propósito.

Figura 36. **Acomodamiento de cañas de bambú**



Fuente: elaboración propia.

Una vez que todas las cañas de bambú hayan sido acomodadas y alineadas, es necesario identificar a cada una con números, letras o cualquier otro tipo de símbolo para saber cuál será su posición cuando se ensamble la cubierta de techo; de igual manera se deberá de marcar el sentido que cada una de las cañas de bambú tendrá para facilitar los trabajos requeridos para elaborar una cubierta de techo. En la figura 37 se muestra la numeración utilizada para proporcionarle un lugar a cada una de las cañas de bambú que se puedan utilizar en la elaboración de una cubierta de techo y en la figura 38 se muestran los símbolos utilizados para darle un sentido a las cañas de bambú.

Figura 37. **Numeración de cañas de bambú**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Asignación de sentido de cañas de bambú**

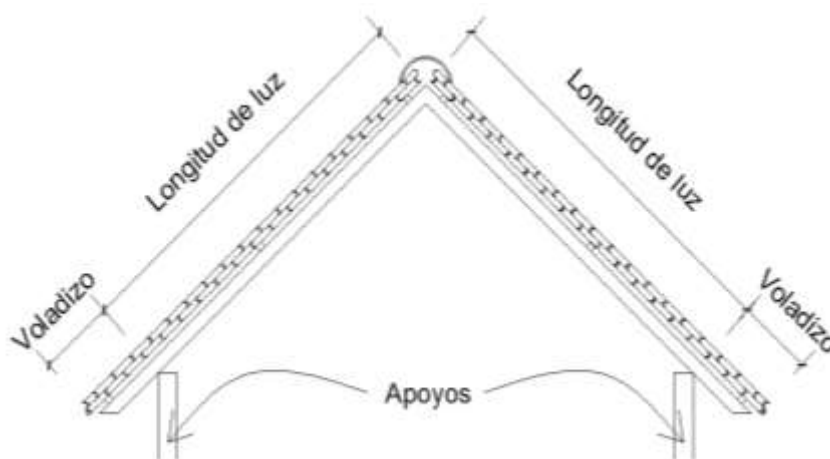


Fuente: elaboración propia.

- Longitud requerida

Para proporcionarle la longitud necesaria a las cañas de bambú que se utilizarán en la elaboración de la cubierta de techo, se deberá realizar la medición de la longitud de la luz que se desee techar con dicha cubierta; además, se le deberá sumar la distancia del voladizo que se desee dejar en la cubierta. Es importante recordar que la medida que se desea es de la parte inclinada del área que se desee cubrir y a esto se le añadirá la distancia del voladizo. En la figura 39 se muestra que la longitud requerida es la longitud de la luz más el voladizo.

Figura 39. **Esquema de longitud requerida para una cubierta de techo**



Fuente: elaboración propia.

Una vez realizadas las mediciones necesarias, se marcará dicha distancia en cada una de las cañas del bambú a utilizar; si el área a cubrir posee las mismas dimensiones, se podrá utilizar una sola medida para cada una de las cañas del bambú a utilizar. Si el área a cubrir posee dimensiones distintas en

alguno de sus lados, la medida de las cañas de bambú deberá de ir cambiando de acuerdo a lo requerido al proyecto, para realizar el corte longitudinal se podrá utilizar una sierra ingletadora o cualquier sierra de mano.

En la figura 40 se muestra el corte de una vara de bambú con una sierra ingletadora y en la figura 41 se muestra un lote de bambú cortado longitudinalmente con una misma medida.

Figura 40. **Corte con sierra ingletadora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Bambú cortado con la misma longitud**



Fuente: elaboración propia.

- Corte por la mitad y limpieza de nudos

El corte por la mitad consiste en realizar un corte en la sección transversal y por toda la longitud de cada una de las cañas de bambú que se utilicen en la elaboración de una cubierta de techo; el objetivo principal al realizar dicho corte es poder obtener elementos largos en forma de teja o canal alargado, esta actividad puede ser realizada con la asistencia de una máquina latilladora que permite realizar de forma fácil y rápida el corte requerido. En la figura 42 se muestra una máquina latilladora y en la figura 43 se muestran algunas cañas de bambú cortadas por la mitad.

Figura 42. **Maquina latilladora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Bambú cortado por la mitad y sin nudos**



Fuente: elaboración propia.

La limpieza de nudos tiene como principal objetivo formar canales largos sin obstáculos y así evitar que el agua de lluvia tenga alguna interrupción para ser evacuada eficientemente.

Para la remoción de los nudos de las cañas de bambú se puede utilizar un formón o una gubia, el segundo tiene una forma cóncava que se ajusta mejor a la forma que poseen las cañas de bambú; asistido por un martillo, simplemente se van quitando todos los nudos teniendo cuidado de no dañar la pared de la caña de bambú con la que se esté trabajando, dado que si por alguna razón la vara de bambú estuviese rajada esta deberá ser descartada para el uso en la cubierta de techo, ya que podría ser un punto de filtración de agua. En la figura 44 se muestra una vara de bambú a la cual se le realiza la remoción de nudos.

Figura 44. **Remoción de nudos**

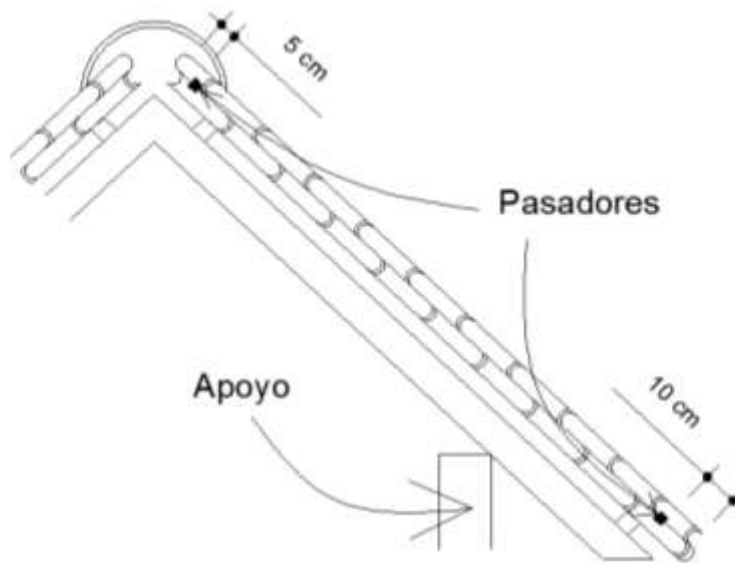


Fuente: elaboración propia.

- Muestras de pasador

Las muescas de pasador son unos pequeños cortes que se deben de realizar en ambos extremos de las cañas de bambú, dichos cortes poseerán a las mismas dimensiones del pasador ya que este deberá de ser insertado en dichos cortes. El corte de pasador se deberá realizar a unos cinco centímetros del extremo de la vara de bambú que estará en la parte de la cumbrera de la cubierta de techo y a unos diez centímetros del extremo de la misma vara de bambú que estará en la parte del voladizo de la cubierta de techo como se muestra en la figura 45.

Figura 45. **Ubicación de pasadores**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 46 se muestra como se debe realizar la medición desde los extremos de cada una de las cañas de bambú que conformarán la cubierta de techo.

Figura 46. **Medición para ubicar el pasador**



Fuente: elaboración propia.

Una vez que se realice la medición para definir la posición del pasador en todas las cañas de bambú a utilizar, se procede a realizar el corte correspondiente para elaborar la muesca de pasador, el cual se puede realizar con una sierra ingletadora o cualquier sierra o serrucho de mano. En la figura 47 se muestra como se realiza el corte de una de las muescas en una vara de bambú con una sierra ingletadora.

Figura 47. **Corte para elaboración de muescas de pasador con maquina ingletadora**



Fuente: elaboración propia.

Para remover los pequeños trozos de bambú que no se desean en la muesca, se puede utilizar un formón y un martillo; con unos pequeños golpes se podrá quitar el material no deseado, tal y como se muestra en la figura 48.

Figura 48. **Elaboración de muescas**



Fuente: elaboración propia.

Es importante que todas las cañas del bambú que se utilicen para elaborar una cubierta de techo posean las muescas de pasador en ambos extremos de cada una de dichas cañas. En la figura 49 se muestran algunas cañas de bambú que poseen las muescas de pasador.

Figura 49. **Lote de cañas de bambú debidamente acondicionadas para uso en cubierta de techo**



Fuente: elaboración propia.

6.2. Manejo de bambú

Existen algunas consideraciones que pueden ayudar en la manipulación del bambú cuando se elabora una cubierta de techo, las cuales se mencionan a continuación:

- **Equipo de protección:** el equipo de protección que se debe utilizar cuando se trabaja con bambú no varía mucho con el equipo utilizado en cualquier carpintería: cual anteojos para evitar que las virutas puedan

lastimar los ojos, guantes para evitar cortadas, botas de punta de acero y camisa de manga larga ya que, por la naturaleza del material, el aserrín del bambú tiende a provocar irritación en la piel.

- La humedad óptima: debido a que el bambú es un material que por su naturaleza absorbe mucha agua, es necesario, antes de cortarlo o manipularlo de alguna manera, dejarlo secar hasta obtener un 15 % o menos de humedad en el bambú para poder trabajarlo.
- Almacenamiento: para poder almacenar bambú, es preciso poseer un lugar donde no exista humedad excesiva ya que el bambú puede absorber fácilmente dicha humedad; además, debe ser un lugar aislado de insectos, ya que por el almidón que el bambú posee, estos insectos podrían dañar el bambú. Es importante cuidar estos aspectos ya que en algunas ocasiones puede tomar algún tiempo para que el bambú adquiera la humedad óptima para su corte y manipulación.
- Sujeción y soportes para el manejo del bambú: cuando se trabaja con bambú se debe tener mucho cuidado al manipular las cañas, ya que es muy difícil manejarlas a la hora de cortar, debido a su longitud se deben buscar como auxilio herramientas para su sujeción: sargentos cuando se remuevan los nudos, banco de soporte de carpintería cuando se corte o en su defecto que sea manipulado por dos personas.

6.3. Armado de cubierta

Uno de los principales objetivos del presente trabajo de graduación es el de proporcionar una forma rápida y sencilla de armar una cubierta de techo utilizando bambú como materia prima, por lo cual, a continuación se

proporcionan los pasos a seguir para la elaboración de este tipo de cubiertas de techo.

- Estructura de soporte adecuada

La estructura de soporte para una cubierta de techo elaborada con bambú puede ser una estructura liviana la cual puede estar elaborada con vigas de madera, perfiles de acero o joist los cuales pueden ser de acero o incluso de bambú tal como lo menciona el ingeniero Josué Jonattan Monterroso Salazar en su trabajo de graduación *Diseño y evaluación de vigas joist para estructuras de techos livianos, fabricadas con bambú.*

Colocación de primera capa de canales de bambú

Luego de adecuar cada una de las cañas de bambú como se menciona en la sección 6.1 de este documento, se tienen unos elementos en forma de canales alargados los cuales se deberán de ordenar debidamente sobre la estructura soportante para la cubierta de techo según a la numeración y sentido que se les asignó, con el cuidado de que cada uno de los canales esté en la posición correcta. En la figura 50 se puede apreciar cómo se deben de colocar los canales de bambú.

Figura 50. **Cañas de bambú en su forma acanalada**



Fuente: elaboración propia.

Para fines ilustrativos, los canales de bambú están ordenados sobre una superficie plana, pero se tiene que tomar en cuenta que estos se deben de ordenar uno a uno sobre la estructura que soportará la cubierta de techo.

- Colocación de pasador

El pasador es un elemento alargado que posee una sección transversal cuadrada o rectangular que se debe colocar en ambos extremos de las cañas de bambú. El pasador también tiene la función de servir de soporte principal para que dichas cañas no se muevan, el pasador debe de encajarse en las muescas que se elaboraron en cada una de las cañas de bambú, tal y como se muestra en la figura 51.

Figura 51. **Ensamble de pasador**



Fuente: elaboración propia.

- Anclaje con alambre galvanizado

El alambre galvanizado juega un papel muy importante cuando se ensambla una cubierta de techo elaborada con bambú, ya que sirve como anclaje y sujeción de dicha cubierta con la estructura que soportará el techo. Cuando todas las cañas de bambú se encuentren ordenadas y cada una en el lugar que les corresponde y el pasador debidamente encajado en todas las cañas de bambú, se debe de anclar con alambre galvanizado el pasador con la estructura soportante, pasando el alambre galvanizado entre cada una de las cañas como se muestra en la figura 52.

Figura 52. **Colocación de alambre galvanizado para anclaje**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 53 se puede observar de forma clara la manera en que el alambre galvanizado sujeta el pasador con la estructura que soportará la cubierta de techo.

Figura 53. **Sujeción de pasador y estructura de soporte de cubierta de techo con alambre galvanizado**



Fuente: elaboración propia.

Con la ayuda de unas tenazas se debe amarrar el alambre galvanizado de la manera como se puede observar en la figura 54.

Figura 54. **Fijación de anclaje**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 55 se puede observar que todas las cañas de bambú se encuentran debidamente aseguradas.

Figura 55. **Anclaje de pasador**



Fuente: elaboración propia.

Este procedimiento se debe realizar en ambos extremos de las cañas de bambú.

- Segunda capa de canales de bambú

Una vez que se tenga la primera capa de canales de bambú asegurada con el pasador y debidamente anclada a la estructura soportante con el alambre galvanizado, se procede a colocar la segunda capa de canales de bambú teniendo en cuenta que esta debe de colocarse con la concavidad de los canales hacia abajo, tal y como se muestra en la figura 56.

Figura 56. **Ensamblado de cañas de bambú**



Fuente: elaboración propia.

Se deben de ir colocando una por una con el cuidado de colocarlas en la posición y sentido que les fue asignada previamente hasta cubrir el área deseada como se muestra a continuación en la figura 57.

Figura 57. **Cañas de bambú ensambladas**



Fuente: elaboración propia.

Se debe de tener siempre el cuidado de respetar el sentido que se le asignó a cada una de las cañas de bambú, como lo muestra la figura 58.

Figura 58. **Asignación de sentido de cañas de bambú**



Fuente: elaboración propia.

- Entretejido con alambre galvanizado

Una vez que todas las cañas de bambú se encuentren debidamente ensambladas respetando la posición y sentido que a cada una se le asignó y se encuentren debidamente encajadas al pasador, el cual debe de estar debidamente anclado a la estructura soportante, se procede a realizar un entretejido con alambre galvanizado para fijar las cañas acanaladas de bambú de la parte superior de la cubierta de techo con el pasador, para lo cual se inicia desde cualquiera de los extremos del pasador fijando el alambre galvanizado a este tal y como se señala a continuación en la figura 59.

Figura 59. **Sujeción de alambre galvanizado en uno de los extremos del pasador**



Fuente: elaboración propia.

Al estar fijado el alambre galvanizado en uno de los extremos del pasador, este debe de pasar sobre la caña de bambú próxima y por debajo de la sección del pasador donde se encuentra ensamblada dicha caña como se observa en la figura 60.

Figura 60. **Sujeción de caña de bambu con el pasador por medio de entretejido con alambre galvanizado**



Fuente: elaboración propia.

Se debe de halar fuertemente del alambre galvanizado hasta que las muescas en la caña de bambú encajen en el pasador ya que este procedimiento sera el que servirá de fijación para la cubierta de techo, tal y como se observa en la figura 61.

Figura 61. **Caña de bambú debidamente ensamblada con pasador**



Fuente: elaboracion propia.

El procedimiento de entretejido con alambre galvanizado se debe repetir con la caña de bambú siguiente tal como en la figura 62.

Figura 62. **Avance de entretejido**



Fuente: elaboración propia.

El procedimiento de entretejido con alambre galvanizado se debe repetir en cada una de las cañas de bambú que posea la cubierta de techo hasta tener una estructura como la que se observa en la figura 63.

Figura 63. **Entretejido en un extremo de una cubierta de techo elaborada con bambú**



Fuente: elaboración propia.

El entretejido con alambre galvanizado se debe realizar en ambos extremos de las cañas de bambú para que estas puedan quedar fijas a la estructura de soporte, al finalizar los procedimientos antes descritos se tendrá una cubierta de techo utilizando bambú como materia prima como se observa en la figura 64.

Figura 64. **Cubierta de techo elaborada con bambú**



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se logró elaborar una cubierta de techo utilizando cañas de bambú de acuerdo a las características definidas en este trabajo. Se confirmó que se puede aprovechar el bambú en una cubierta de techo.
2. Durante la realización de los ensayos en las probetas de cubierta de techo elaboradas con bambú, se pudo notar un comportamiento de dependencia relativa a la hora de la aplicación de las cargas ya que la energía se iba disipando entre las cañas debido al tipo de ensamble que tenían, funcionando como un diafragma semirrígido capaz de absorber energía de una muy buena forma como se muestra en las figuras 22, 23 y 24.
3. Los valores máximos de carga registrados se muestran en las tablas 25, 26 y 27 con una carga máxima promedio $99,19 \text{ kg/m}^2$ para la deformación máxima permisible de 11,5 milímetros, dando como resultado un esfuerzo máximo a flexión promedio de $11,88 \text{ kg/cm}^2$.
4. Luego de realizar los ensayos propuestos para una cubierta de techo elaborado con bambú, se obtuvieron los siguientes resultados promedio: características físicas: porcentaje de absorción de 2,70 %; baja permeabilidad; comportamiento térmico temperatura cara externa = $10,26\ln(\text{hora}) + 23,121$ y temperatura cara interna = $8,9148\ln(\text{hora}) + 18,452$; propiedades mecánicas: absorción de energía potencial $117,72 \text{ J}$ en su deformación máxima; esfuerzo de flexión: $11,88 \text{ kg/cm}^2$.

5. Con la intención de brindar una metodología fácil y rápida para la elaboración de cubiertas de techo, se elaboró una guía con lineamientos específicos para la elaboración de una cubierta de techo utilizando cañas de bambú cortadas a media caña como materia prima, la cual se incluye en este documento, como se observa en la sección 6 del presente trabajo de graduación: Guía para la fabricación de una cubierta de techo utilizando Bambú.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar una sola especie de bambú para obtener buenos resultados cuando se elabore una cubierta de techo. Esto se aconseja debido a que se mantendrán las mismas características en toda la cubierta y que no existan inconvenientes cuando se ensamble la cubierta, ya que existen muchas diferencias como grosores de pared, diámetros, rectitud en las cañas, resistencia, etc., entre una especie y otra.
2. Al realizar la limpieza de nudos en las cañas de bambú, se recomienda tener mucho cuidado cuando se remuevan ya que se puede realizar alguna perforación accidental mientras se manipulan las cañas con la herramienta utilizada para la remoción de los nudos.
3. Si existiese alguna rajadura o perforación en alguna de las cañas de bambú y es imperativo utilizar dicha caña, esta debe de ir con la concavidad hacia abajo; además se recomienda utilizar algún tipo de masilla o algún otro producto que pueda servir para sellar cualquier perforación que posea y de esa manera, minimizar la posibilidad de alguna filtración en la cubierta de techo.
4. Se recomienda que cuando se realicen las muescas de pasador en las cañas de bambú, estas no sean demasiado grandes, ya que pueden convertirse en un punto de filtración en la cubierta del techo y así comprometer su funcionalidad y permeabilidad.

5. Se sugiere contar con cañas de bambú que posean un diámetro muy similar, ya que de no ser así, pueden existir inconvenientes cuando se ensamble la cubierta de techo, haciendo que las cañas no encajen una con la otra por la diferencia de diámetros.
6. Se recomienda un tratamiento previo al bambú ya que el bambú es un material que puede ser vulnerable ante insectos y hongos, lo cual puede comprometer la durabilidad y la resistencia de la cubierta de techo elaborada con este material.
7. Es recomendable el uso de impermeabilizantes en las cubiertas de techo utilizando bambú una vez este instalada, ya que esto puede ayudar a reducir la permeabilidad y que la vida útil de la cubierta de techo se prolongue.
8. Debido a la capacidad que posee el bambú de absorber agua, no es recomendable utilizarlo como cubierta de techo en lugares donde exista una precipitación excesiva de agua de lluvia, dado que esta necesitará mantenimiento en un corto plazo de tiempo.

BIBLIOGRAFIA

1. American Society for Testing and Materials. *Annual book of ASTM standards*. Volume 04.02. E.E.U.U. 1990.
2. ARRIOLA, Leticia. *Construir tu Vivienda. Techos Livianos*. [en línea]. 2013.
<http://comoconstruirtuvivienda.blogspot.com/2013/05/techos-livianos.html>. [Consulta: 20 de octubre de 2015].
3. Bamboo as a building material. [en línea]. [fecha de consulta: 10 noviembre 2015]. Disponible en: <http://bambus.rwth-aachen.de/eng/reports/buildingmaterial/buildingmaterial.html>
4. CRUZ ROVIRA, Carlos Alberto; FIGUEROA CATALAN, Paolo Roberto; HERNANDEZ CASTILLO, Carlos Leonardo. *Estructuración, análisis y diseño estructural de elementos de techo con perfiles metálicos utilizando el método LRFD*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil. 2012.
5. HERNANDEZ, Leonilo Santiago. *Diseño de armaduras para techo*. Trabajo de graduación de Ing. En Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación. 2005. 315 p.
6. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú. *Norma Técnica Peruana E-100, Bambú*. Lima, 2000. 38 p.

7. MONTERROSO SALAZAR, Josué Jonattan. *Diseño y evaluación de vigas joist para estructuras de techos livianos, fabricadas con bambú*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 185p.
8. Real Academia de Lenguas. [en línea]. <<http://rae.es/>>. [Consulta: 05 noviembre 2015].
9. STULZ, Roland y MUKERJI, Kiran. *Appropriate Building Materials*. 3ra. Edición. 1988. 456 p.
10. Techos. [en línea]. <<http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms0e.htm>>. [Consulta: 05 noviembre 2015].