Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Civil | Facultad de Ingeniería

9-2013

Calificación estructural de un módulo de puente para uso provisional en pasos peatonales construido con guadua angustifolia kunth

Juan Gabriel Rocha Galeano
Universidad de La Salle, Bogotá

Helber Yesid Quiroga Gutiérrez
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil

Part of the Civil Engineering Commons, and the Construction Engineering and Management Commons

Citación recomendada

Rocha Galeano, J. G., & Quiroga Gutiérrez, H. Y. (2013). Calificación estructural de un módulo de puente para uso provisional en pasos peatonales construido con guadua angustifolia kunth. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/441

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Civil by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE UN MÓDULO DE PUENTE PARA USO PROVISIONAL EN PASOS PEATONALES CONSTRUIDO CON GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

JUAN GABRIEL ROCHA GALEANO
HELBER YESID QUIROGA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2013

CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE UN MÓDULO DE PUENTE PARA USO PROVISIONAL EN PASOS PEATONALES CONSTRUIDO CON GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

JUAN GABRIEL ROCHA GALEANO
HELBER YESID QUIROGA GUTIÉRREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director Temático

Ing. Fabián Augusto Lamus Báez

Ingeniero Civil

Asesora Metodológica

Mag. Marlene Cubillos Romero

Universidad de La Salle

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Bogotá D.C.

2013

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Bogotá, Septiembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

El ingeniero civil, magister en Ingeniería en Estructuras Fabián Augusto Lamus director del trabajo de grado, fue la base temática, profesional y humana que nos permitió llevar a cabo este trabajo investigativo.

Marlene Cubillos Romero, magister en Lingüística Hispánica, por su motivación constante, sus palabras llenas de sabiduría y respeto, enfocada a la asesoría brindada para el desarrollo metodológico del trabajo investigativo.

El ingeniero civil, especialista en Gerencia Integral de Obras y Magister en métodos numéricos para el cálculo y diseño en ingeniería, Wilson Rodríguez Calderon, y el ingeniero civil, magister en Ingeniería civil, Carlos Mario Piscal, de la Universidad de La Salle, por todas las contribuciones intelectuales y humanas que nos brindaron para llevar a cabo el trabajo investigativo.

DEDICATORIA

Quiero dedicar todos mis éxitos a mis padres Martha Gutiérrez Torres y Pedro Quiroga Suárez, a mis hermanas Judy Quiroga Gutiérrez y Viviana Quiroga Gutiérrez y, por último, a la mujer que hizo de mí una mejor persona, a mi novia Marcela Velásquez Rodríguez; gracias a ellos este trabajo es un éxito más en mi vida y es el comienzo de una vida de dedicación, amor y pasión por la ingeniería. Su continuo apoyo y su amor sincero me dieron la energía para realizar este trabajo de grado.

Gracias.

Helber Yesid Quiroga Gutiérrez.

Dedico este proyecto a mi madre María Celia Galeano Flórez y a mi hermana Claudia Patricia Rocha Galeano, quienes de manera incansable y desinteresada apoyaron y siguieron mi proceso educativo con el fin de hacer de mí un mejor profesional y una mejor persona.

Gracias.

Juan Gabriel Rocha Galeano.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN 1

1. OBJETIVOS 3

1.1 OBJETIVO GENERAL 3

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

2. JUSTIFICACIÓN 4

3. MODULO DE PUENTE EN GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH 6

4. MATERIALES 7

4.1 GUADUA 7

4.1.1 Descripción 7

4.1.2 Origen 7

4.1.3 Caracterización 7

4.1.4 Propiedades mecánicas 7

4.2 PERNOS 8

4.2.1 Descripción 8

4.2.2 Origen 8

4.2.3 Caracterización 8

4.2.4 Propiedades mecánicas 8

5. DETERMINACIÓN DE CARGAS 10

6. MODELACIÓN DE TRES CASOS DE PUENTES 11

6.1 PUENTE SIMPLEMENTE APOYADO 12

6.2 PUENTE ATIRANTADO 13

6.3 PUENTE EN ARCO 15
6.4 PUENTE SIMPLEMENTE APOYADO LUZ MÁXIMA 17
7. MODELACIÓN DE UN MÓDULO 22
8. CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO A CALIFICAR 32
9. ENSAYOS EXPERIMENTALES 35
9.1 PRUEBA DE CARGA MÁXIMA 35
9.2 APLICACIÓN PRUEBA DE CARGA 35
10. RESULTADOS 40
10.1 ANÁLISIS DE DEFORMACIONES 40
10.2 MÓDULO 1 40
10.3 MÓDULO 2 43
10.4 COMPARACIÓN ENTRE DEFORMACIÓN DE AMBOS MÓDULOS 44
10.5 COMPARACIÓN: DEFORMÍMETROS Y MODELACIÓN NUMÉRICA 46
11. CONCLUSIONES 47
12. RECOMENDACIONES 50
REFERENCIAS 51

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. RESULTADOS PRUEBA DE CARGA 83

Anexo B. RESULTADO DE LAS MODELACIONES EN SAP 2000 V11 84

Anexo C. REGISTRO FOTOGRÁFICO 171

Anexo D. MANUAL CONSTRUCTIVO 117

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de la guadua 8
Tabla 2. Propiedades mecánicas de varilla roscada 9
Tabla 3. Valores estipulados por el CCDSP para carga de viento sobre la estructura y sobre la carga viva 10
Tabla 4. Resumen modelación puente simplemente apoyado 13
Tabla 5. Resumen resultados de modelaciones puente atirantado 15
Tabla 6. Resumen de resultados de modelación puente en arco 16
Tabla 7. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para cordones inferiores en puente simplemente apoyado 18
Tabla 8. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para elementos verticales en puente simplemente apoyado 19
Tabla 9. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para elementos diagonales en puente simplemente apoyado 20
Tabla 10. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para viguetas en puente simplemente apoyado 21
Tabla 11. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para cordones superiores en puente simplemente apoyado 21
Tabla 12. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para cordones exteriores en el modulo 24
Tabla 13. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para cordones interiores en el modulo 25

Tabla 14. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para elemento verticales en el modulo 27
Tabla 15. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para elemento diagonales en el módulo. 28
Tabla 16. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para vigas superiores en el modulo 30
Tabla 17. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para vigas inferiores en el modulo 31
Tabla 18. Cantidades de obra para construcción de un módulo 33
Tabla 19. Fases de carga del módulo 36
Tabla 20. Deformaciones por etapas en el módulo más antiguo 39
Tabla 21. Deformaciones por etapas en el módulo nuevo 39
Tabla 22. Carga aplicada al módulo 41

LISTA DE GRÁFICOS

pág.

Gráfico 1. Carga versus deformación de los deformímetros No. 1 y No. 2 42
Gráfico 2. Carga versus deformación de los deformímetros No. 1 y No.2 (Módulo nuevo) 43
Gráfico 3. Comparación de carga versus deformación para los Δ1. 44
Gráfico 4. Comparación de carga versus deformación para los deformímetros No. 2 45

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Puente de dos módulos simplemente apoyado luz libre de 4m 12
Figura 2. Puente de tres módulos simplemente apoyado luz libre de 8m 12
Figura 3. Puente de cuatro módulos simplemente apoyado luz libre de 12m 12
Figura 4. Puente de cinco módulos simplemente apoyado luz libre de 16m 12
Figura 5. Puente de seis módulos simplemente apoyado luz libre de 20m 13
Figura 6.Puente de siete módulos simplemente apoyado luz libre de 24m 13
Figura 7. Puente de ocho módulos simplemente apoyado luz libre 28m 13
Figura 8. Puente atirantado de dos módulos luz libre de 4m 14
Figura 9. Puente atirantado de tres módulos luz libre de 8m 14
Figura 10. Puente atirantado de cuatro módulos luz libre de 16m 14
Figura 11. Puente atirantado de cinco módulos luz libre de 20m 14
Figura 12. Puente en arco de dos módulos luz libre de 4m 15
Figura 13. Puente en arco de tres módulos luz libre de 8m 15
Figura 14. Puente en arco de cuatro módulos luz libre de 12m 16
Figura 15. Puente en arco de cinco módulos luz libre de 16m 16
Figura 16. Puente en arco de seis módulos luz libre de 20m 16
Figura 17. Modelación Puente simplemente apoyado (SAP 2000 V11) 17
Figura 18. Diagrama de cortante de cordones inferiores en puente simplemente apoyado 18
Figura 19. Diagrama de momento de cordones inferiores en puente simplemente apoyado 18

Figura 20. Diagrama de carga axial en cordones inferiores de puente simplemente apoyado 18
Figura 21. Diagrama de cortante en elementos verticales para puente simplemente apoyado 19
Figura 22. Diagrama de momento en elementos verticales para puente simplemente apoyado 19
Figura 23. Diagrama de carga axial en elementos verticales para puente simplemente apoyado 19
Figura 24. Diagrama de cortante para elementos diagonales en puente simplemente apoyado 19
Figura 25. Diagrama de momento para elementos diagonales en puente simplemente apoyado 20
Figura 26. Diagrama de carga axial en elementos diagonales en puente simplemente apoyado 20
Figura 27. Diagrama de cortante para viguetas en puente simplemente apoyado 20
Figura 28. Diagrama de momento para viguetas en puente simplemente apoyado 20
Figura 29. Diagrama de carga axial para viguetas en puente simplemente apoyado 20
Figura 30. Diagrama de cortante para cordones superiores en puente simplemente apoyado 21
Figura 31. Diagrama de momento para cordones superiores en puente simplemente apoyado 21
Figura 32. Diagrama de carga axial para cordones superiores en puente simplemente apoyado 21
Figura 48. Modelación módulo definitivo SAP 2000 V11 22
Figura 49. Diagrama de cortante de cordones exteriores del módulo 23
Figura 50. Diagrama de momento de cordones exteriores del módulo 23
Figura 51. Diagrama de carga axial de cordones exteriores del módulo 24
Figura 52. Diagrama de cortante de cordones interiores del módulo 24

Figura 53. Diagrama de momento de cordones interiores del módulo 25
Figura 54. Diagrama de carga axial de cordones interiores del módulo 25
Figura 55. Diagrama de cortante de elementos verticales del módulo 26
Figura 56. Diagrama de momento de elementos verticales del módulo 26
Figura 57. Diagrama de carga axial de elementos verticales del módulo 27
Figura 58. Diagrama de cortante de elementos diagonales del módulo 27
Figura 59. Diagrama de momento de elementos diagonales del módulo 28
Figura 60. Diagrama de carga axial de elementos diagonales del módulo 28
Figura 61. Diagrama de cortante de vigas superiores del módulo 29
Figura 62. Diagrama de momento de vigas superiores del módulo 29
Figura 63. Diagrama de carga axial de vigas superiores del módulo 30
Figura 64. Diagrama de cortante de vigas inferiores del módulo 30
Figura 65. Diagrama de momento de vigas inferiores del módulo 31
Figura 66. Diagrama de carga axial de vigas inferiores del módulo. 31
Figura 67. Proceso de carga fases 1-4 36
Figura 68. Proceso de carga fases 5 37
Figura 69. Ubicación de deformímetros para prueba de carga. 37
Figura 70. Esquema de ubicación de deformaciones evaluadas 41

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

pág.

Fotografía 1. Fase de carga 1 - 4 36
Fotografía 2. Proceso de carga fases 5 37
Fotografía 3. Deformimetro No. 2 38
Fotografía 4. Deformimetro No. 1 38
Fotografía 5. Deformimetro No. 4 38
Fotografía 6. Deformimetro No. 3 38
Fotografía 7. Deformimetro No. 6 38
Fotografía 8. Deformimetro No. 5 38

RESUMEN

En este documento se quiere mostrar el comportamiento estructural de una sección modular de un puente peatonal construido en guadua Angustifolia Kunth y calificarlo como alternativa para solucionar problemas de comunicación en poblaciones afectadas por el invierno. Se parte del problema invernal que afecta a Colombia en dos épocas del año, encontrando que la principal fuente de ayuda a las comunidades es el ejército, aportando variados puentes provisionales de estructura metálica que son remplazados por puentes definitivos, pero generaron sobrecostos en las poblaciones afectadas; por ello se indagó sobre las bondades de la construcción con guadua promovida en Colombia por Jörg Stamm y Simón Vélez, quienes han sido proponentes de diferentes estructuras, como casas y puentes.

Aunque el proceso de utilización de la guadua en Colombia nace hace unos pocos años atrás, se han encontrado grandes bondades en el material que ha permitido, por nombrar una de ellas, la reconstrucción de la zona cafetera, facilidades constructivas, baja o casi nula contaminación y un costo mucho menor en comparación con otros materiales utilizados para la construcción. Para comprobar las características de la guadua, mencionadas anteriormente, se realizaron ensayos que permitieron evaluar con mayor exactitud las propiedades constructivas del material, que se han determinado de forma experimental en investigaciones pasadas. Con estos valores establecidos se procedió a la modelación física de casos de puentes (3 casos), con el fin de determinar la envolvente de cargas; finalizada la parte de modelación numérica, se inició la modelación física a través de un manual guía diseñado con el fin que las poblaciones pudieran ser capacitadas para llevar a cabo la elaboración de la estructura; en la pruebas se usaron dos módulos equipados con deformímetros, con el fin de tener valores que permitieran observar el comportamiento estructural del módulo ante cargas de servicio; así se determinó que bajo una carga de servicio de 3.5 toneladas el módulo presenta una deformación de 0.02m, pero debido a que se estableció un valor de 0.05m como admisible se concluye que la estructura propuesta es apta si se utiliza con fines peatonales de carácter provisional.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado se refiere al diseño de un módulo en guadua Angustifolia Kunth que puede ser utilizado como puente peatonal provisional en poblaciones que se vean afectadas por las temporadas invernales. La investigación se enfocó en determinar algunas características básicas del material que permitieran calificarlo, con ello se creó un diseño amparado por las normas estipuladas en el Manual de Puentes en concreto reforzado y el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, hasta llegar al momento de su construcción y generar las pruebas de carga necesarias para determinar el uso estimado del mismo.

Debido a que Colombia es un país que no tiene un foco específico en las zonas de afectación por olas invernales, se decidió limitar la aplicación del modelo a la zona con mayor riesgo sísmico, lo cual permite diseñar el módulo ante las situaciones más extremas. Además de surgir como una solución rápida y confiable, los puentes modulares construidos en guadua son económicamente más atractivos que otras soluciones (puentes militares) y pueden ser construidos por las mismas comunidades, reduciendo el tiempo en el cual estas quedan incomunicadas, ya que por costos, algunas poblaciones no están en la capacidad de solventar estos problemas por medio de puentes definitivos o provisionales de otro tipo de material.

Aunque tiempo atrás se venía trabajando la guadua como uno de los materiales para la construcción de puentes, estos habían sido realizados como fuente arquitectónica y decorativa de ciertas zonas (puente Jenny Garzón), pero estos no

planteaban dentro de su construcción módulos para armar el mismo, sino que se realizaban por tramos completos que cubrieran la luz necesaria.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento estructural de una sección modular para puentes peatonales en guadua Angustifolia Kunth, a través de una modelación numérica en el software SAP 2000 V11 y una prueba de carga bajo parámetros del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, para calificar la estructura.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desarrollar modelaciones numéricas en el software SAP 2000 V11, que permitan establecer el comportamiento del módulo frente a diferentes alternativas de puentes y cargas (de servicio, sísmica y viento).

Determinar experimentalmente la capacidad de carga de un módulo, mediante una prueba de carga y así comprobar la funcionalidad del mismo.

Desarrollar un manual para la construcción de un módulo, identificando las etapas del proceso y así demostrar la facilidad de su construcción.

2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, el invierno en Colombia ha generado problemas en los pasos peatonales, específicamente por el colapso de puentes. Según el artículo Socavación de Puentes, escrito por los ingenieros Edgar Muñoz y Edgar Valbuena, publicado en la revista “Infraestructura vial” de la Pontificia Universidad Javeriana, las principales causas de colapso de puentes en épocas invernales son la socavación y las crecientes avalanchas. De esta situación resulta la interrupción de comunicación entre las poblaciones; de tal circunstancia surge la propuesta de este proyecto que tiene como finalidad encontrar una solución fácil y rápida a este problema del colapso de puentes que se ven afectados durante las dos temporadas de lluvia que se presentan en el año en una zona tropical como lo es Colombia. Aunque actualmente existen distintas posibilidades para solucionar este problema como lo son puentes militares y puentes colgantes en madera, el planteamiento de un puente modular construido con guadua generaría una ventaja constructiva, debido a que los módulos pueden ser armados e instalados in situ por los habitantes de las poblaciones afectadas.

Debido a que las emergencias invernales no dan tiempo para realizar la construcción de un puente definitivo; los módulos de guadua permitirán disminuir el tiempo de construcción y por lo tanto el restablecimiento de la comunicación entre poblaciones afectadas será menor comparado con los puentes militares utilizados actualmente en este tipo de situaciones.

De esta forma será posible mejorar la calidad de vida de los pobladores de los lugares donde este problema se presenta con mayor frecuencia de manera efectivamente y económica.

3. MODULO DE PUENTE EN GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

Los módulos construidos fueron realizados en escala real (1:1), siendo así sus dimensiones finales de 4,20m de largo y 2,70m de alto y de ancho. Estos constan de cinco elementos principales (cordones horizontales, elementos verticales, elementos diagonales, viguetas y separadores) que a través de dos fases de ensamblado constituyen la totalidad de los mismos.

Los elementos de los módulos fueron unidos a través de pernos de ½”, y asegurados por medio de tuercas metálicas, arandelas circulares metálicas y arandelas cuadradas de neolite. Para darle estabilidad al módulo, se crearon y diseñaron 4 apoyos en concreto reforzado, los cuales alejaron a la estructura del suelo y permitieron un comportamiento de puente simplemente apoyado.

Para el entramado que conformó el piso provisional del módulo se colocaron, sobrepuestas en las viguetas inferiores, planchones traslapados; se aclara que la estructura realizada no estipulada acabados (piso, techo, entre otras).

4. MATERIALES

4.1 GUADUA

4.1.1 Descripción. La guadua utilizada en la construcción de los módulos es de la familia de las Angustifolia Kunth, no se encontraba inmunizada y contaba con longitud de 6m por cada vara.

4.1.2 Origen. Este material es proveniente de cultivos realizados en la ciudad de Armenia, donde es cortada, limpiada e inmunizada (opcionalmente) y luego es enviada a Soacha donde se realiza su venta.

4.1.3 Caracterización. La guadua utilizada para la construcción de los módulos tiene un comportamiento de un material isotrópico; éste contaba con diámetros variables desde los 9 cm hasta los 12cm, la distancia promedio entre los nodos era de 25cm y su espesor promedio de 2cm.

4.1.4 Propiedades mecánicas. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de carga se realizó un análisis de pendientes con las cuales se determinó la rigidez de cada una de las secciones modulares, a parte se

obtuvo la deformación en el centro de la luz a través de un deformímetro digital, como se muestra a continuación:

Tabla 1. Propiedades mecánicas de la guadua

Propiedad Mecánica	Valor
Constante de rigidez “Módulo 1” (K)	64,1 KN/m^2
Constante de rigidez “Módulo 2” (K)	75,75 KN/m^2
Constante de rigidez promedio (K)	69,9 KN/m^2
Deformación promedio en el centro de la luz (δ)	0,0182 m

4.2 PERNOS

4.2.1 Descripción. Los pernos son elementos de longitud de 40cm conformados por varilla roscada de ½”, dos tuercas de ½”, dos arandelas metálicas de ½” y dos arandelas cuadradas de neolite de 4cm x 4cm.

4.2.2 Origen. Estos elementos fueron fabricados por la empresa Mundial de Tornillos.

4.2.3 Caracterización. La varilla roscada viene por 3m de longitud, es de grado 2, con acabado sencillo y rosca tipo UNC hacia la derecha. Las anteriores especificaciones están dadas por la ASTM-A307.

4.2.4 Propiedades mecánicas. Las siguientes son las propiedades mecánicas estimadas en la ficha técnica:

Tabla 2. Propiedades mecánicas de varilla roscada

Propiedad Mecánica	**Valor**
Resistencia a la tracción	420000 KPa
Dureza	B100
Torque	0,0622 KN/m

5. DETERMINACIÓN DE CARGAS

Para establecer las cargas de servicio a las cuales se someterán las modelaciones numéricas (puente atirantado, puente en arco y puente simplemente apoyado) se siguieron los parámetros establecidos en el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, donde se establece en la sección A.3.4.8.1.3: Los puentes peatonales o para bicicletas deben diseñarse para una carga viva de 450 kg-f/m^2. Además de la carga viva se establece en la sección A.3.6.2.1.3: Para los puentes comunes de vigas y placas que tengan luces máximo de 40 m se pueden utilizar las siguientes cargas en lugar de las que se especificaron anteriormente:

Tabla 3. Valores estipulados por el CCDSP para carga de viento sobre la estructura y sobre la carga viva

Carga de Viento Sobre la Estructura	Valor
Sentido transversal	250 kg-f/m^2
Sentido longitudinal	60 kg-f/m^2

Carga de Viento Sobre la Carga Viva	Valor
Sentido transversal	150 kg-f/m
Sentido longitudinal	60 kg-f/m

Debido a que dentro del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes no están establecidos otros parámetros adicionales para puentes peatonales en guadua, no se tendrán en cuenta más valores para analizar dentro de las modelaciones numéricas.

6. MODELACIÓN DE TRES CASOS DE PUENTES

Para poder obtener la envolvente de cargas que actuará en el módulo final, es necesario realizar una modelación numérica con las posibles opciones tomadas para desarrollar un puente modular. Para las tres modelaciones se tiene los siguientes parámetros:

Espesor: 0,02 m

Peso específico: 6,5 KN/m^3

Módulo de elasticidad: 19000 MPa

Diámetro externo: 0.11m

Carga viva: 450 $kg\text{-}f/m^2$

Carga de viento: Longitudinal de 400 $Kg\text{-}f/m^2$

Transversal de 120 $Kg\text{-}f/m^2$

Nodos: En la modelación fue necesario restringir los movimientos de los nodos; esto con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del módulo.

Estos parámetros y otros específicos de cada caso, fueron ingresados en el programa SAP 2000 V11, con el propósito de verificar el comportamiento de los mismos en el proceso de ser sometidos a cargas, y así dar un primer calificativo estructural general al módulo.

6.1 PUENTE SIMPLEMENTE APOYADO

De acuerdo a los parámetros mencionados anteriormente, se realizaron 5 modelaciones (como se muestran en las siguientes figuras) para luces de 4m, 8m, 12m, 16m y 20m.

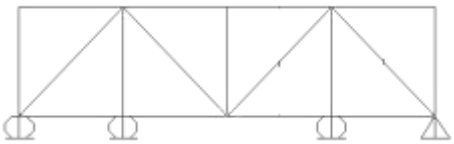


Figura 1. Puente de dos módulos simplemente apoyado luz libre de 4m

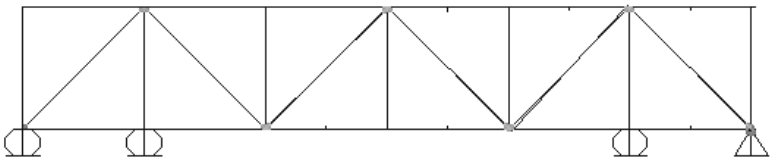


Figura 2. Puente de tres módulos simplemente apoyado luz libre de 8m

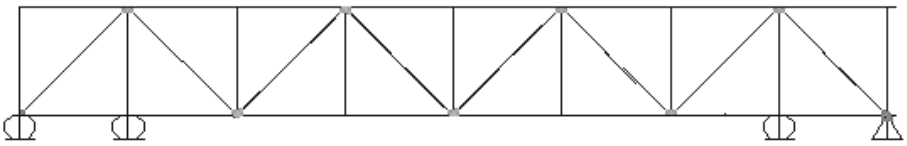


Figura 3. Puente de cuatro módulos simplemente apoyado luz libre de 12m

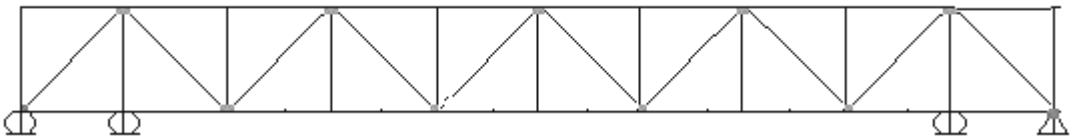


Figura 4. Puente de cinco módulos simplemente apoyado luz libre de 16m

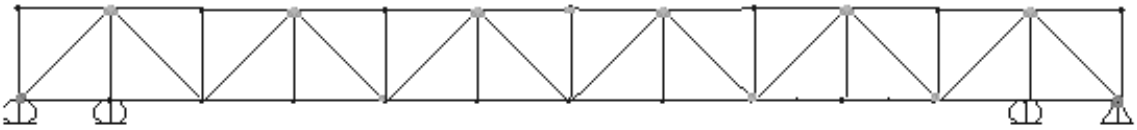


Figura 5. Puente de seis módulos simplemente apoyado luz libre de 20m

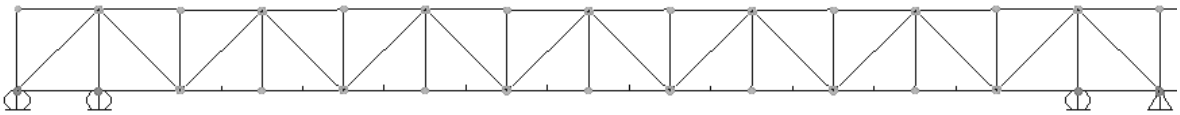


Figura 6.Puente de siete módulos simplemente apoyado luz libre de 24m

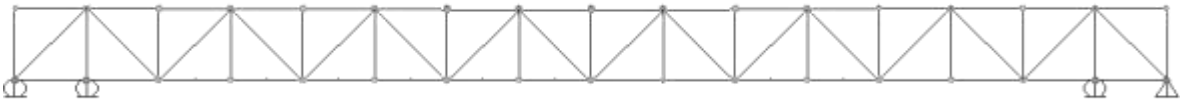


Figura 7. Puente de ocho módulos simplemente apoyado luz libre 28m

De las anteriores modelaciones se obtuvo la siguiente tabla, donde se presenta un resumen de los valores de cortante, momento y carga axial obtenidos en los elementos del módulo.

Tabla 4. Resumen modelación puente simplemente apoyado

No. De Módulos	Luz	CORDON INFERIOR			CORDON SUPERIOR			DIAGONAL			VERTICAL		
		V (KN)	M (KNm)	A (KN)	V (KN)	M (KNm)	A (KN)	V (KN)	M (KNm)	A (KN)	V (KN)	M (KNm)	A (KN)
2	4	12,2	4,3	0,7	0,3	0,4	-11	0,03	0,05	-15	0,18	0,22	1,15
3	8	11,5	3,8	39	0,2	0,08	-27	0,2	0,15	-51	0,16	0,21	4,7
4	12	11,5	3,8	63	0,3	0,1	-75	0,2	0,19	-84	0,2	0,2	9,5
5	16	11,5	3,8	121	0,2	0,1	-108	0,2	0,3	-118	0,14	0,24	14,5
6	20	11,4	3,8	151	0,09	0,2	-162	0,6	0,9	-166	0,3	0,2	21,8
7	24	11,3	3,6	120	0,03	0,2	-209	0,09	0,3	-171	0,2	0,2	22,3
8	28	11,4	3,68	274	0,09	0,3	-286	0,14	0,25	-174	0,3	0,3	22,3

6.2 PUENTE ATIRANTADO

Para esta modelación se implementó el uso de cables que permitieran atirantar el puente.

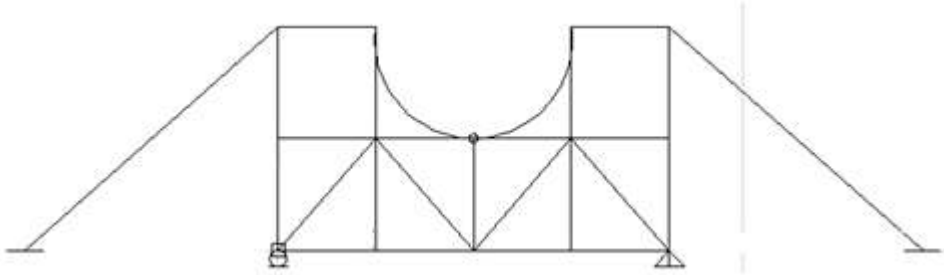


Figura 8. Puente atirantado de dos módulos luz libre de 4m

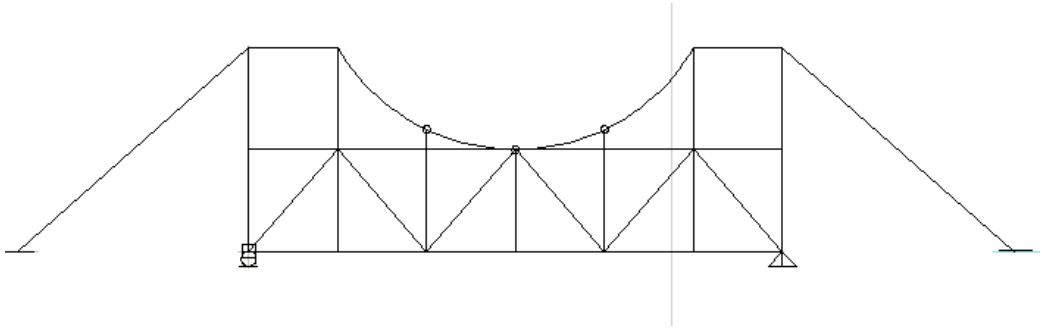


Figura 9. Puente atirantado de tres módulos luz libre de 8m

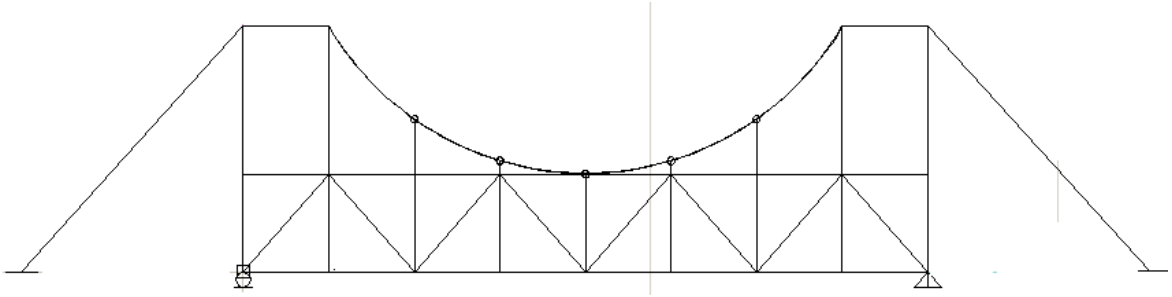


Figura 10. Puente atirantado de cuatro módulos luz libre de 16m

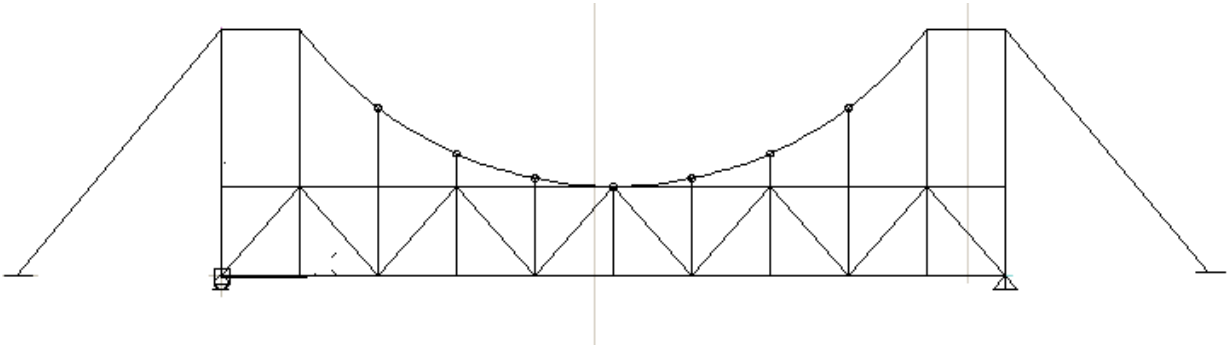


Figura 11. Puente atirantado de cinco módulos luz libre de 20m

En la siguiente taba se resumen los valores de cortante, momento y carga axial para cada una de las modelaciones realizadas.

Tabla 5. Resumen resultados de modelaciones puente atirantado

		CORDON INFERIOR			CORDON SUPERIOR			DIAGONAL			VERTICAL		
No. De Módulos	**Luz**	**V (KN)**	**M (KNm)**	**A (KN)**	**V (KN)**	**M (KNm)**	**A (KN)**	**V (KN)**	**M (KNm)**	**A (KN)**	**V (KN)**	**M (KNm)**	**A (KN)**
2	4	0,12	0,04	0,9	0,14	0,04	1,2	0,12	0,04	1,6	0,01	0,0017	0,3
3	8	0,2	0,07	1,5	0,2	0,7	4	0,17	0,07	2,2	0,02	0,002	0,4
4	12	0,2	0,06	4,3	0,2	0,06	5,2	0,19	0,09	5,9	0,06	0,006	0,48
5	16	0,2	0,09	4,9	0,2	0,1	6,3	0,2	0,1	6,2	0,02	0,03	0,8
6	20	0,2	0,06	5,1	0,2	0,07	7,8	0,2	0,1	7,4	0,01	0,01	1,1

6.3 PUENTE EN ARCO

La modelación del puente en arco preserva la forma que presenta una parábola de segundo orden.

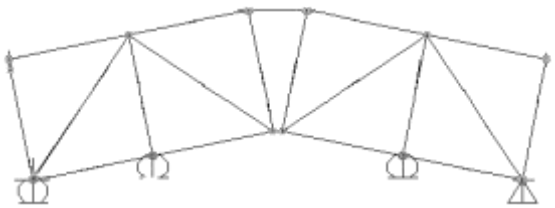


Figura 12. Puente en arco de dos módulos luz libre de 4m

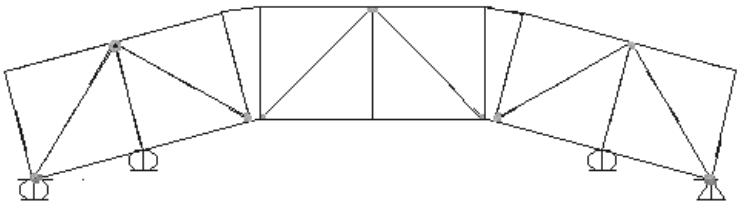


Figura 13. Puente en arco de tres módulos luz libre de 8m

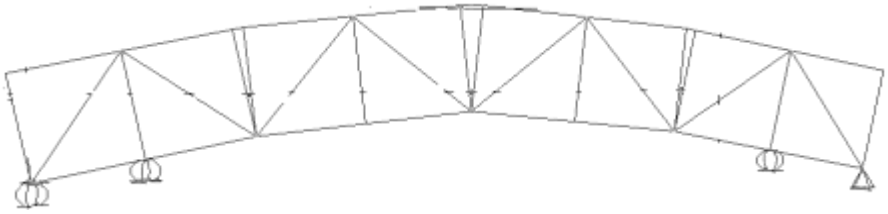


Figura 14. Puente en arco de cuatro módulos luz libre de 12m

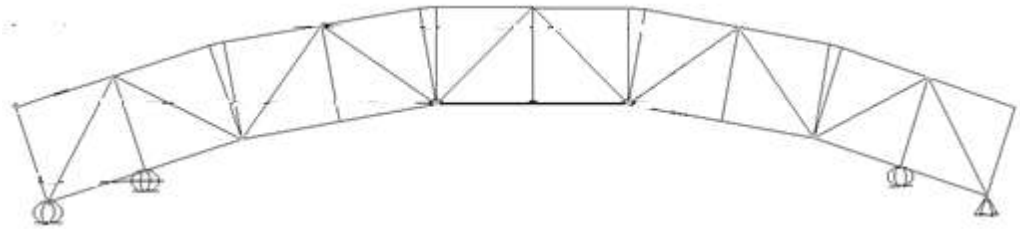


Figura 15. Puente en arco de cinco módulos luz libre de 16m

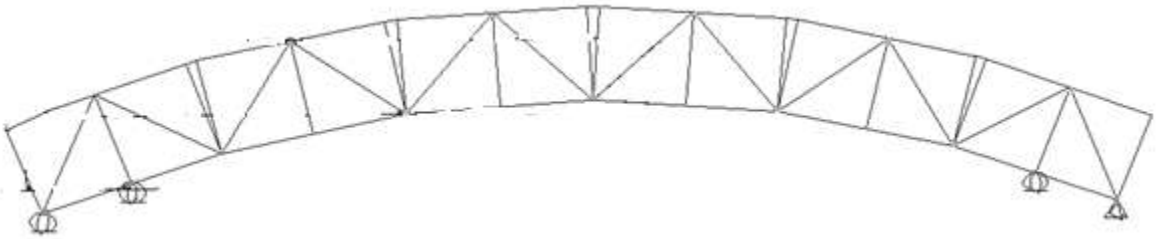


Figura 16. Puente en arco de seis módulos luz libre de 20m

De las anteriores modelaciones se realizó la siguiente tabla resumen con los valores de cortante, momento y carga axial.

Tabla 6. Resumen de resultados de modelación puente en arco

		CORDON INFERIOR			CORDON SUPERIOR			DIAGONAL			VERTICAL		
No. De Módulos	**Luz**	**V (KN)**	**M (KNm)**	**A (KN)**	**V (KN)**	**M (KNm)**	**A (KN)**	**V (KN)**	**M (KNm)**	**A (KN)**	**V (KN)**	**M (KNm)**	**A (KN)**
2	4	0,4	0,15	1,8	0,4	0,23	2,8	0,5	0,2	5,4	0,3	0,2	1
3	8	0,4	0,19	3,9	0,4	0,14	6,2	0,5	0,3	6,1	0,12	0,4	7,4
4	12	0,4	0,15	6	0,4	0,13	7,7	0,5	0,2	9,2	0,11	0,05	11,3
5	16	0,4	0,14	11,5	0,4	0,12	10,5	0,5	0,2	12,3	0,17	0,07	17,7
6	20	0,4	0,16	15,5	0,4	0,12	17,1	0,5	0,3	15,6	0,16	0,06	25,6

6.4 PUENTE SIMPLEMENTE APOYADO LUZ MÁXIMA

A través de los parámetros establecidos en el “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10” en el Título G, se obtiene que los valores máximos que podrá soportar cada elemento del módulo son: 87,9KN a compresión y 113,1KN a tracción en los elementos verticales, 175,8KN a compresión y 226,1KN a tracción para los elementos diagonales, 352KN a compresión y 452,3KN a tracción en los cordones superiores e inferiores y 87,9KN a compresión y 113,1KN a tracción en las viguetas; de acuerdo a lo mencionado anteriormente a luz máxima utilizable para construir en un puente simplemente apoyado será de 24m, ya que al superar este valor los elementos diagonales se acercan mucho a la falla por compresión por lo cual se decidió asegurar a estabilidad del puente trabajando con una luz máxima utilizable de 24m.

En relación a lo mencionado anteriormente el puente simplemente apoyado será como lo muestra la Figura 17.

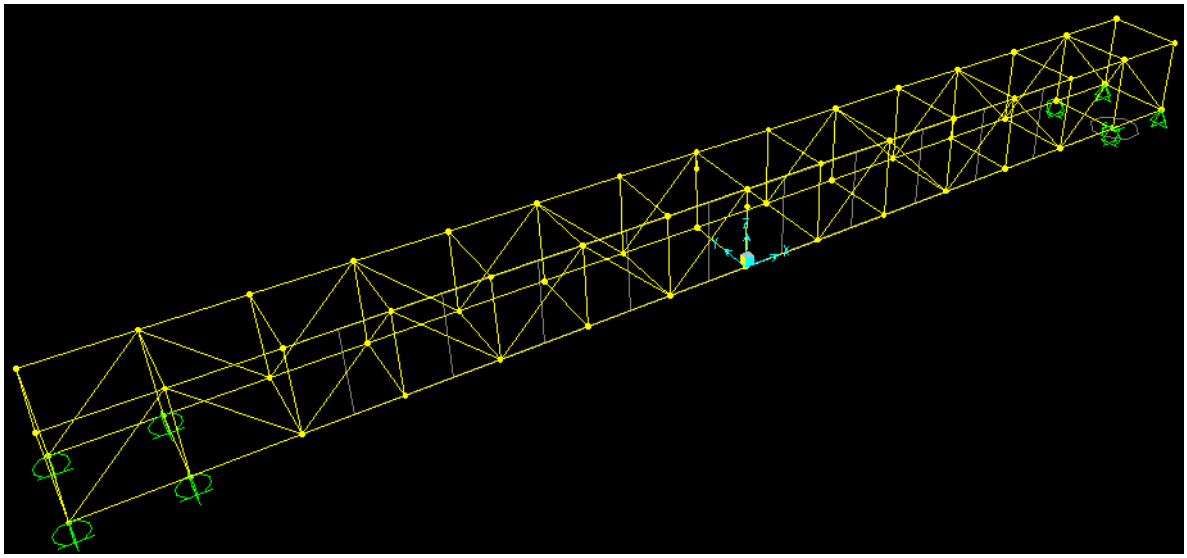


Figura 17. Modelación Puente simplemente apoyado (SAP 2000 V11)

De este modelo se obtuvieron los siguientes diagramas:

Cordones Inferiores:

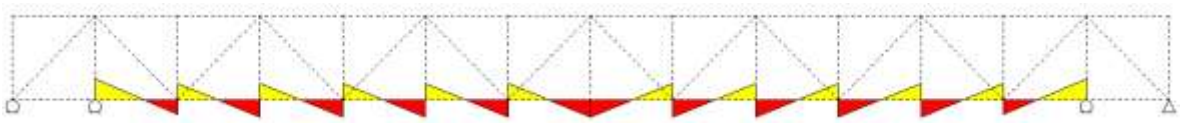


Figura 18. Diagrama de cortante de cordones inferiores en puente simplemente apoyado

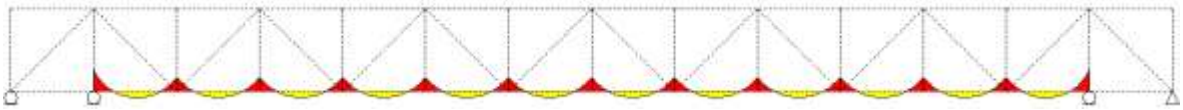


Figura 19. Diagrama de momento de cordones inferiores en puente simplemente apoyado

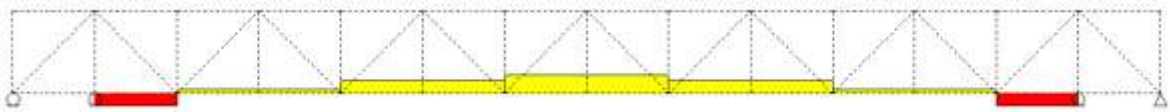


Figura 20. Diagrama de carga axial en cordones inferiores de puente simplemente apoyado

De los diagramas de cortante, momento y fuerza axial, se encontraron los siguientes resultados máximos para los cordones inferiores.

Tabla 7. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para cordones inferiores en puente simplemente apoyado

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
13.94KN	6.13KNm	196KN	235KN

Elementos Verticales:

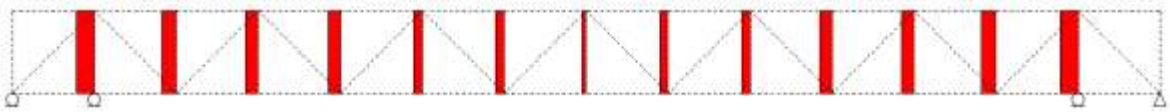


Figura 21. Diagrama de cortante en elementos verticales para puente simplemente apoyado

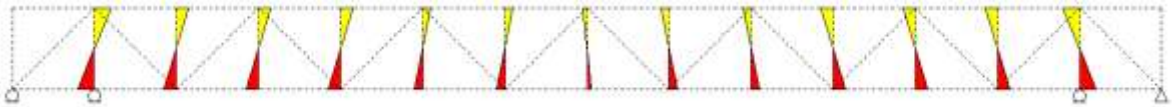


Figura 22. Diagrama de momento en elementos verticales para puente simplemente apoyado

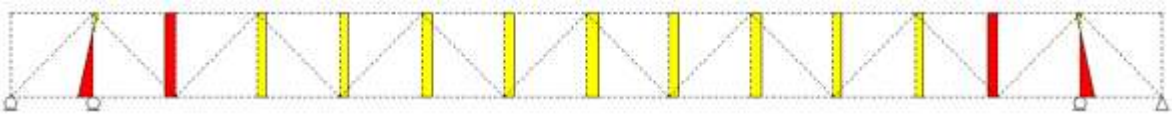


Figura 23. Diagrama de carga axial en elementos verticales para puente simplemente apoyado

Tabla 8. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para elementos verticales en puente simplemente apoyado

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
0.005KN	0.0018KNm	0.265KN	23KN

Elementos Diagonales:

Figura 24. Diagrama de cortante para elementos diagonales en puente simplemente apoyado

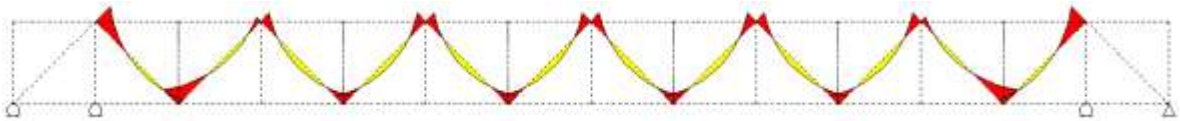


Figura 25. Diagrama de momento para elementos diagonales en puente simplemente apoyado

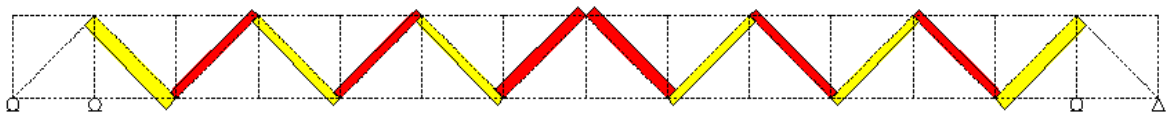


Figura 26. Diagrama de carga axial en elementos diagonales en puente simplemente apoyado

Tabla 9. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para elementos diagonales en puente simplemente apoyado

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
0.291KN	0.46KNm	153KN	186KN

Viguetas:

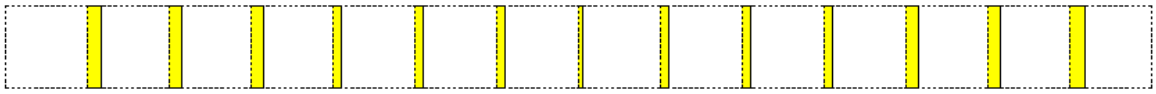


Figura 27. Diagrama de cortante para viguetas en puente simplemente apoyado

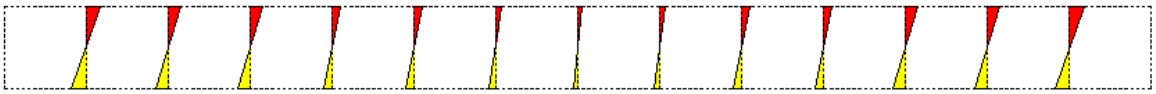


Figura 28. Diagrama de momento para viguetas en puente simplemente apoyado

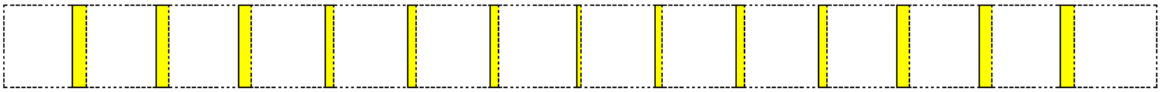


Figura 29. Diagrama de carga axial para viguetas en puente simplemente apoyado

Tabla 10. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para viguetas en puente simplemente apoyado

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
0.18KN	0.14KNm	2.5KN	0.9KN

Cordones Superiores:

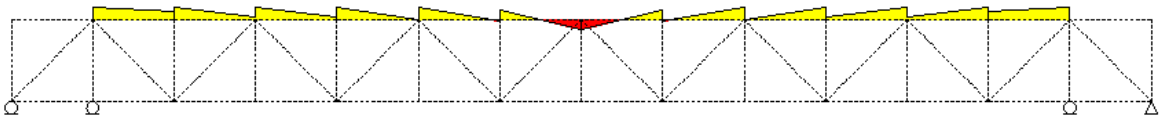


Figura 30. Diagrama de cortante para cordones superiores en puente simplemente apoyado

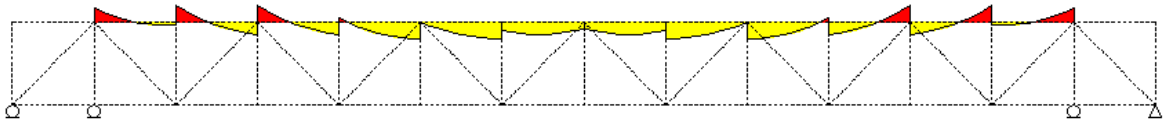


Figura 31. Diagrama de momento para cordones superiores en puente simplemente apoyado

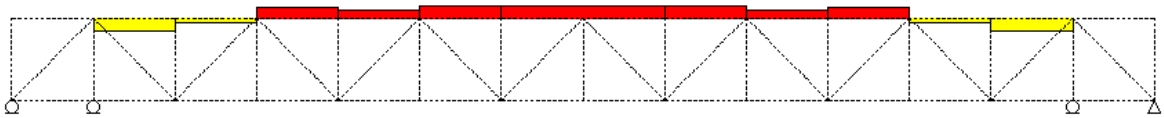


Figura 32. Diagrama de carga axial para cordones superiores en puente simplemente apoyado

Tabla 11. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para cordones superiores en puente simplemente apoyado

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
0.22KN	0.23KNm	225.15KN	65.8KN

7. MODELACIÓN DE UN MÓDULO

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los numerales 5.1, 5.2 y 5.3, se determinó que un elemento diagonal, compuesto por una guadua deberá soportar más de su carga admisible, por lo tanto se decide aumentar la cantidad de elementos (de uno a dos elementos) con el fin de aumentar la sección y así generar una mayor absorción y resistencia de los elementos diagonales.

De acuerdo con lo establecido en el numeral 5, se realizó la modelación numérica del módulo definitivo (figura No. 48).

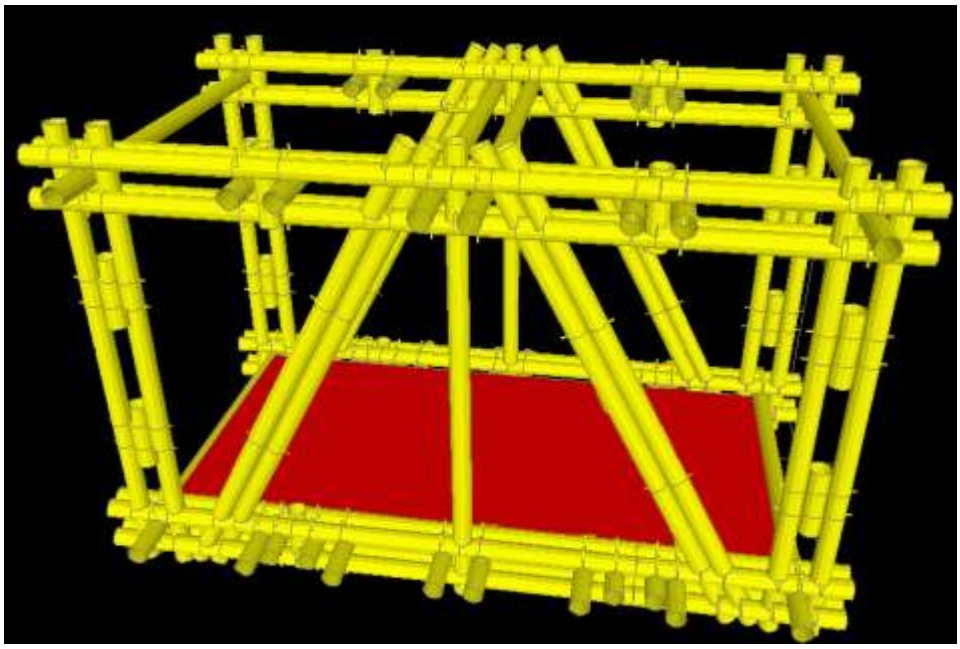


Figura 33. Modelación módulo definitivo SAP 2000 V11

Para determinar el comportamiento del módulo se hace el análisis de cada uno de los elementos que lo conforman a través de diagramas de cortante, momento, carga axial de compresión y tracción.

Cordones Exteriores:

Los diagramas de cortante, momento y cargas axiales se muestran a continuación.

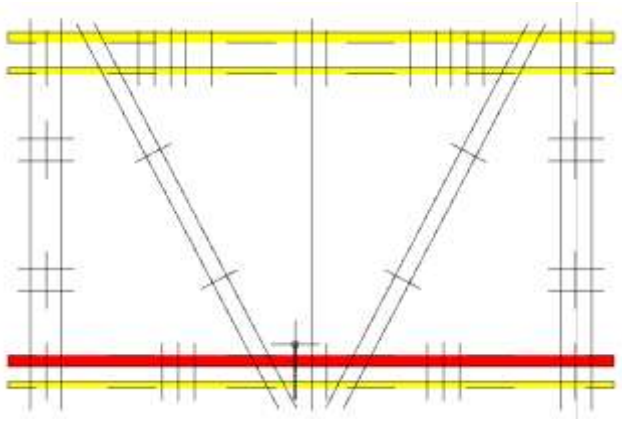


Figura 34. Diagrama de cortante de cordones exteriores del módulo

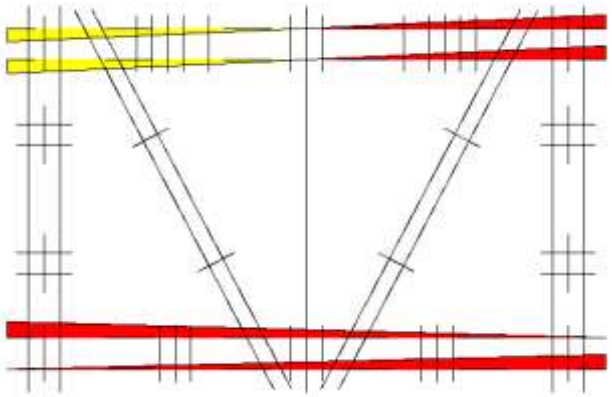


Figura 35. Diagrama de momento de cordones exteriores del módulo

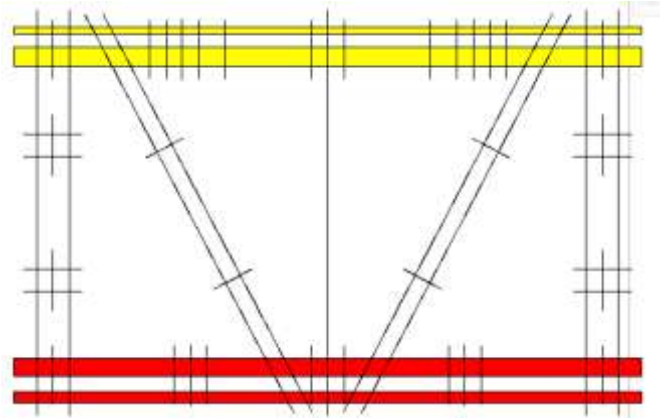


Figura 36. Diagrama de carga axial de cordones exteriores del módulo

Con los resultados de los diagramas se realizó la siguiente tabla donde se resumen los valores máximos actuantes en el cordón superior.

Tabla 12. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para cordones exteriores en el modulo

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
39.6KN	8.74KNm	120.5KN	0

Cordones Interiores:

Los diagramas de cortante, momento y cargas axiales se muestran a continuación.

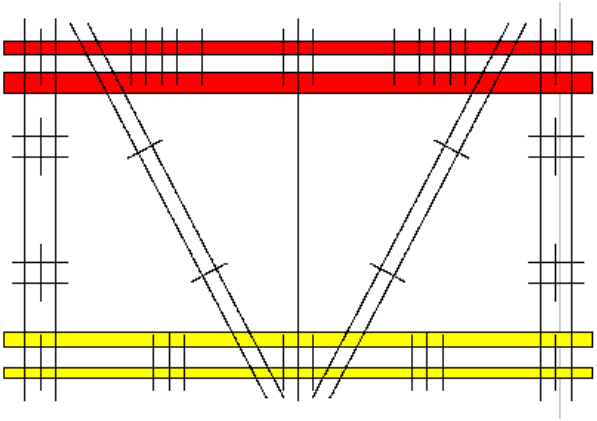


Figura 37. Diagrama de cortante de cordones interiores del módulo

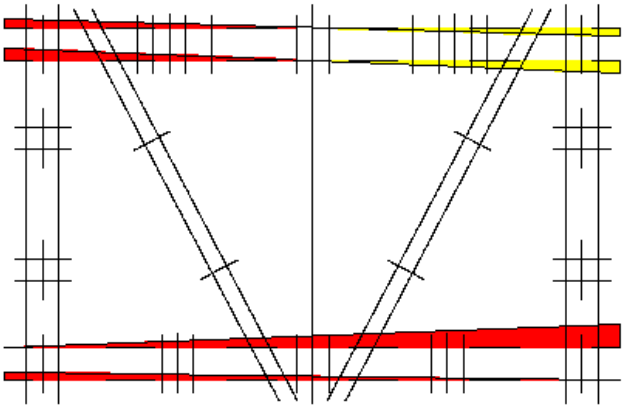


Figura 38. Diagrama de momento de cordones interiores del módulo

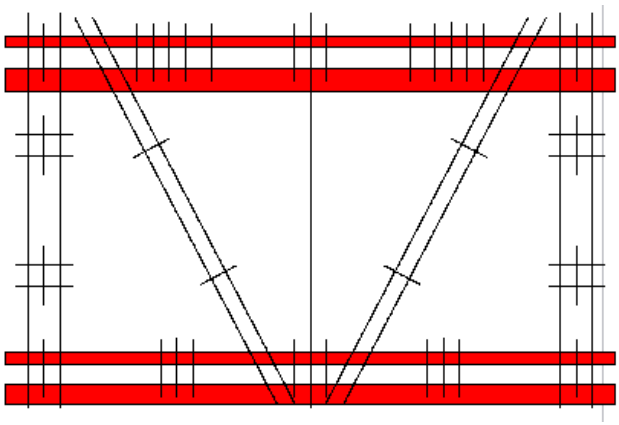


Figura 39. Diagrama de carga axial de cordones interiores del módulo

Con los resultados de los diagramas se realizó la siguiente tabla donde se resumen los valores máximos actuantes en el cordón inferior.

Tabla 13. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para cordones interiores en el modulo

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
19.8KN	9.62KNm	95KN	144KN

Elementos Verticales:

Los diagramas de cortante, momento y cargas axiales se muestran a continuación.

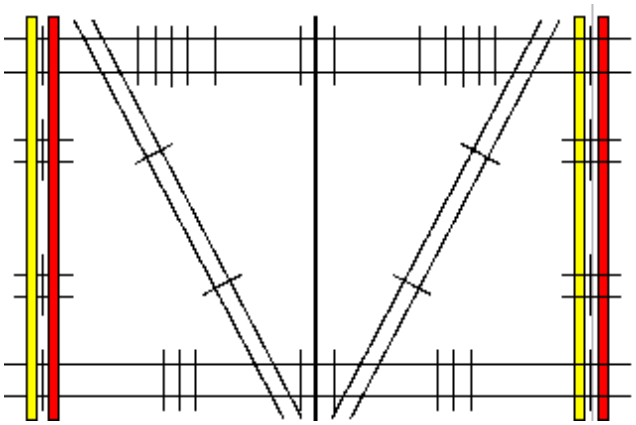


Figura 40. Diagrama de cortante de elementos verticales del módulo

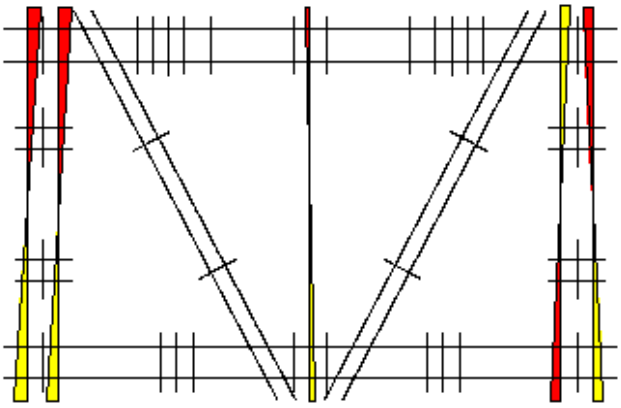


Figura 41. Diagrama de momento de elementos verticales del módulo

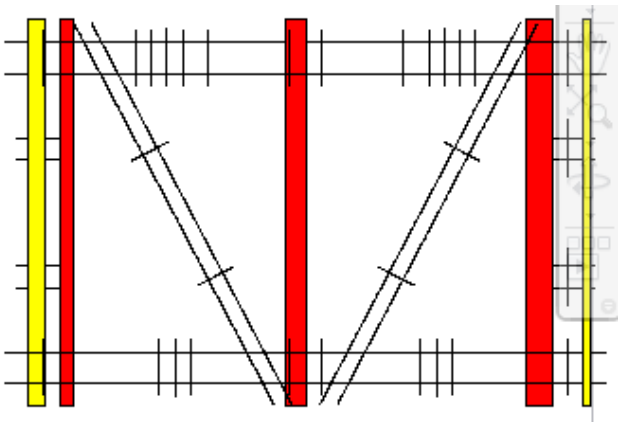


Figura 42. Diagrama de carga axial de elementos verticales del módulo

Con los resultados de los diagramas se realizó la siguiente tabla donde se resumen los valores máximos actuantes en los elementos verticales.

Tabla 14. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para elemento verticales en el modulo

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
45.9KN	12.2KNm	143KN	82.4KN

Elementos Diagonales:

Los diagramas de cortante, momento y cargas axiales se muestran a continuación.

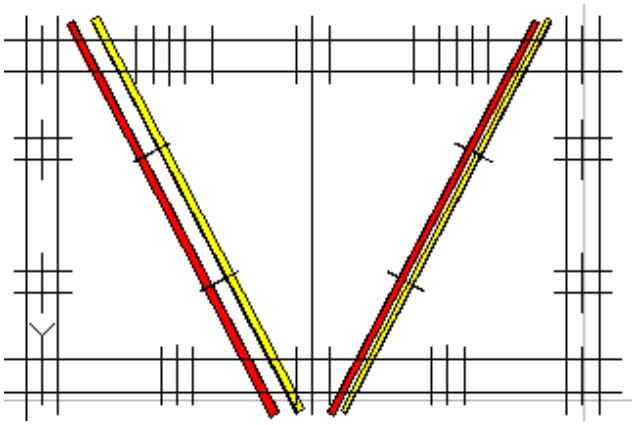


Figura 43. Diagrama de cortante de elementos diagonales del módulo

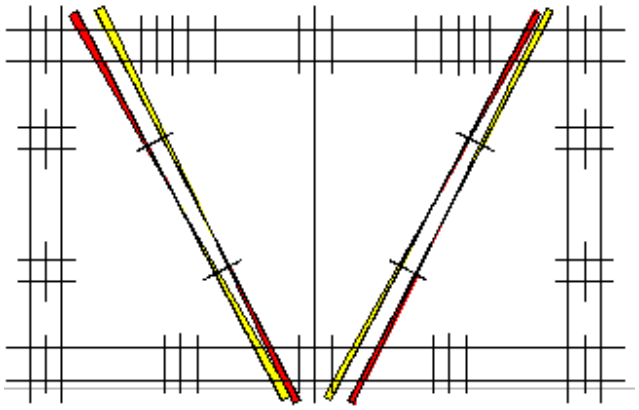


Figura 44. Diagrama de momento de elementos diagonales del módulo

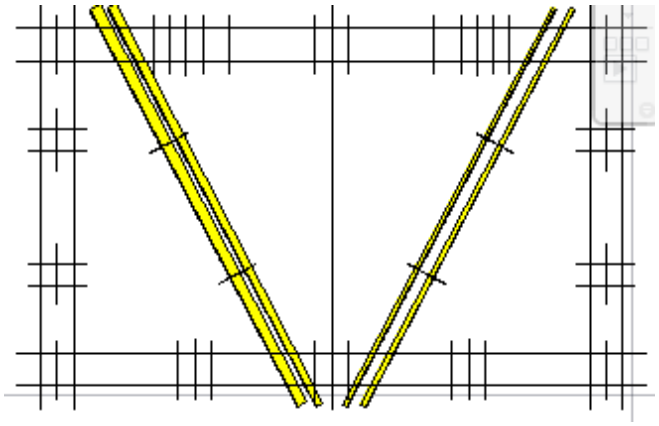


Figura 45. Diagrama de carga axial de elementos diagonales del módulo

Con los resultados de los diagramas se realizó la siguiente tabla donde se resumen los valores máximos actuantes en los elementos diagonales.

Tabla 15. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para elemento diagonales en el módulo.

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
15.2KN	5.34KNm	0KN	150KN

Viguetas Superiores:

Los diagramas de cortante, momento y cargas axiales se muestran a continuación.

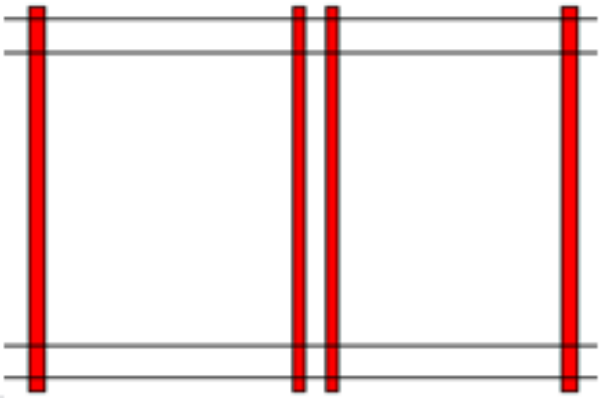


Figura 46. Diagrama de cortante de vigas superiores del módulo

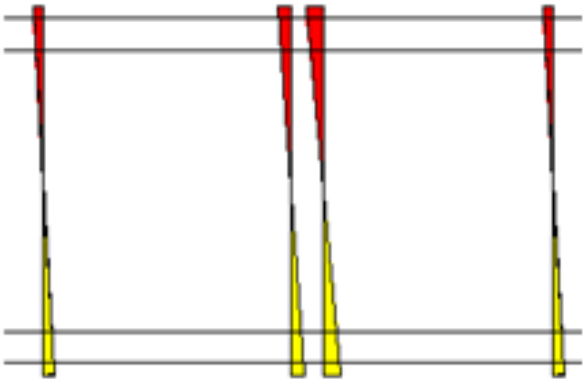


Figura 47. Diagrama de momento de vigas superiores del módulo

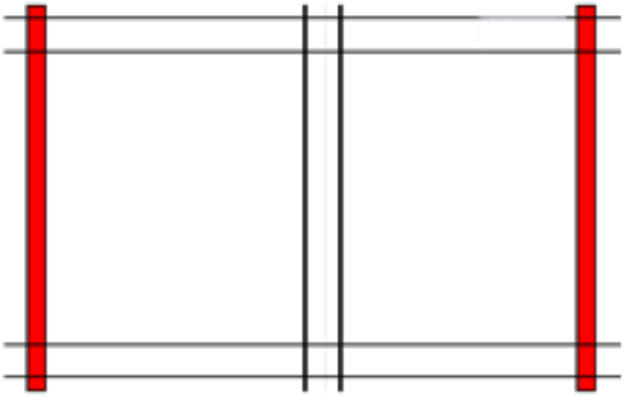


Figura 48. Diagrama de carga axial de vigas superiores del módulo

Con los resultados de los diagramas se realizó la siguiente tabla donde se resumen los valores máximos actuantes en las viguetas superiores.

Tabla 16. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para vigas superiores en el modulo

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
66.6KN	61.3KNm	37.5KN	0KN

Viguetas Inferiores:

Los diagramas de cortante, momento y cargas axiales se muestran a continuación.

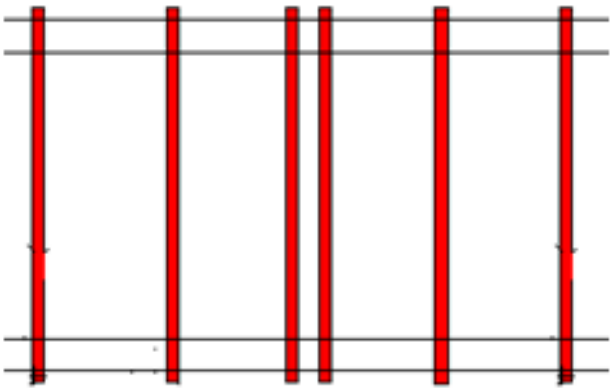


Figura 49. Diagrama de cortante de vigas inferiores del módulo

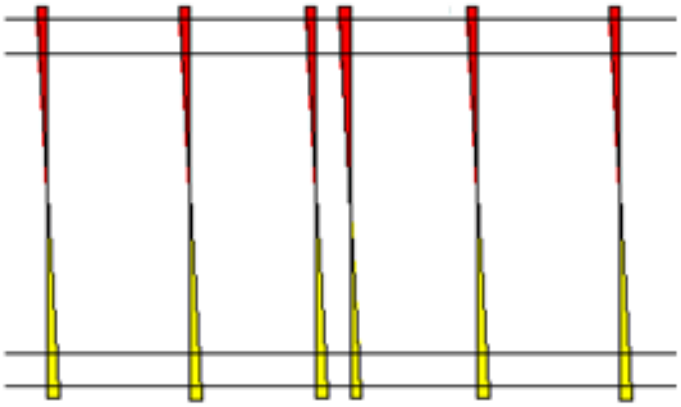


Figura 50. Diagrama de momento de vigas inferiores del módulo

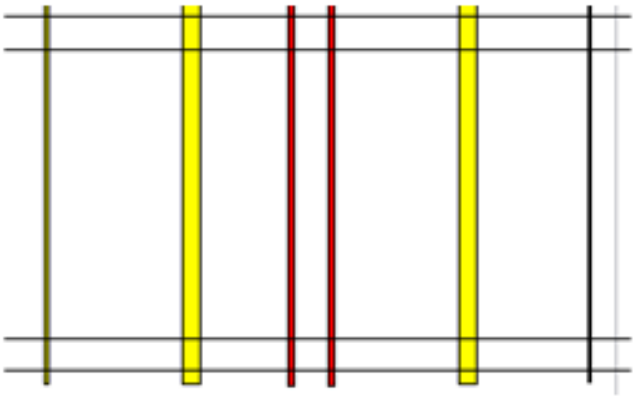


Figura 51. Diagrama de carga axial de vigas inferiores del módulo.

Con los resultados de los diagramas se realizó la siguiente tabla donde se resumen los valores máximos actuantes en las viguetas inferiores.

Tabla 17. Valores máximos obtenidos en SAP 2000 V11 para vigas inferiores en el modulo

V. máx	M. máx	Comp. Máx.	Tracc. Máx.
59.2KN	56.9KNm	6.1KN	52.6KN

8. CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO A CALIFICAR

Ya finalizada la fase de modelación numérica se empezó la modelación física, para las pruebas de cargas correspondientes a la calificación estructural del módulo.

Para la construcción del módulo se llevó a cabo la creación de un Manual Constructivo de un Módulo de Puente Peatonal en Guadua (Fotografía 1) el cual está presente en este trabajo en el Anexo D, con el cual se busca facilitarle el proceso constructivo del módulo a todas aquellas poblaciones que tengan problemas de comunicación peatonal y así estas sean capaces construir el módulo por su propia cuenta.

Fotografía 1. Manual Constructivo de un Módulo de Puente Peatonal en Guadua

Obtención de los materiales según las medidas y cantidades estimadas en la siguiente tabla.

Tabla 18. Cantidades de obra para construcción de un módulo

Material	Cantidad	Dimensión
Guadua (cordones)	16	4.20m
Guadua (verticales)	10	2.70m
Guadua (diagonales)	8	2.80m
Guadua (separadores)	24	0.40m
Guadua (viguetas)	12	2.70m
Pernos	192	½”
Tuercas	384	½”
Arandelas Metálicas	384	½”
Arandelas (neolite)	384	4 X 4 cm
Poliuretano (1 Litro)	8	-------
Zuncho Metálico Ban Dit ® ½”	1	100m

Con la guadua que se vaya a trabajar se debe levantar un inventario, con el fin de evitar que los pernos que unan estos elementos no vayan a quedar sin nodos a lado y lado, de lo contrario se podría presentar una falla por rasgamiento de la misma.

Finalizado el inventario se procede a construir los elementos verticales del módulo (cuatro en total), los cuales estarán conformados por dos guaduas de 2.70m y dos separadores de 0.40m cada uno (el procedimiento está adjunto en el Manual constructivo anexado en el proyecto).

Los siguientes elementos a construir son los cordones principales, conformados por cuatro guaduas de 4.20m y seis separadores de 0.40m cada uno.

Paso seguido se construyen las diagonales conformadas por dos guaduas de 3m, desfasadas 0.1m una de la otra; estos elementos no poseen separadores.

A continuación se procede a ensamblar los cordones principales con los elementos verticales, generando dos elementos completos laterales que finalmente serán unidos por guaduas de 2.70m que tendrán la función de enlazar las dos paredes del módulo. Estas guaduas estarán ubicadas en la parte superior como inferior del módulo.

Para finalizar se coloca un cable trenzado (como lo muestran los planos del “Manual de construcción de un módulo de puente peatonal en guadua”), que tendrá la finalidad de funcionar como arriostramiento del módulo.

Se aclara que las medidas, las formas y el procedimiento específico se encuentran consignados en el “Manual de construcción de un módulo de puente peatonal en guadua”, el cual hace parte del presente proyecto.

9. ENSAYOS EXPERIMENTALES

9.1 PRUEBA DE CARGA MÁXIMA

En el proceso para realizar la prueba de carga máxima sobre los módulos, fue necesaria la construcción de ocho apoyos (los despieces de los apoyos aparecen en los anexos) los cuales generarán un comportamiento de puente atirantado.

Para la prueba de carga máxima, se hará uso de deformímetros, los cuales tendrán como función determinar las deformaciones en los elementos que conforman el módulo; estos valores fueron registrados y se muestran en el anexo A.

9.2 APLICACIÓN PRUEBA DE CARGA

Para realizar la prueba de carga en los módulos se rellenaron los canutos ubicados en los bordes de los cordones inferiores con 80% poliuretano rígido y 20% de trozos de guadua, debido a que en estos se encontraban varios pernos atravesando el canuto entre nodo y nodo, corriendo el riesgo de ocasionar el aplastamiento de las mismas. Para la carga se utilizan 3.5 Toneladas de arena distribuidas de forma simétrica en el piso del módulo, simulando la carga de servicio estipulada en el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (400kg-f/m^2). Paso seguido se procedió a tomar las lecturas iniciales, con éstas se asegura la estabilidad estructural del mismo.

La carga fue colocada en el módulo a través de 5 etapas conformadas cada una por grupos de 32 sacos de arena; en la primera etapa se colocaron 32 sacos de arena distribuidos simétricamente, los cuales correspondieron a 800Kg, en la segunda se cargó con 1600Kg, en la tercera con 2400Kg, en la cuarta con 3200Kg y en la última con 3500Kg (como se muestra en la Tabla 26).

Por cada etapa se tomó lectura de los siete deformímetros que se colocaron en el módulo (como lo indica la Figura 85), resultando las Tablas 27 y 28 donde se relacionan las cargas de cada etapa con las deformaciones obtenidas en cada uno de los deformímetros.

Tabla 19. Fases de carga del módulo

Etapa	Saco (Und)	Carga (Kg)
0	0	0
1	32	800
2	64	1600
3	96	2400
4	128	3200
5	140	3500

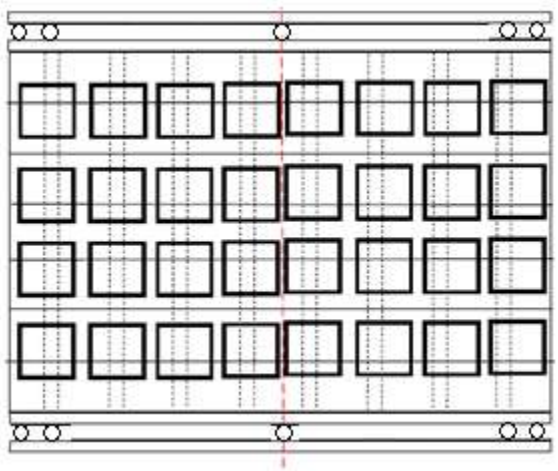


Figura 52. Proceso de carga fases 1-4

Fotografía 2. Fase de carga 1 - 4

En las fases de carga se realizó una distribución simétrica compuesta por cuadrados de 4 x 4 para cada una de las mitades del módulo, en las primeras 3 etapas de carga, como se muestra a continuación:

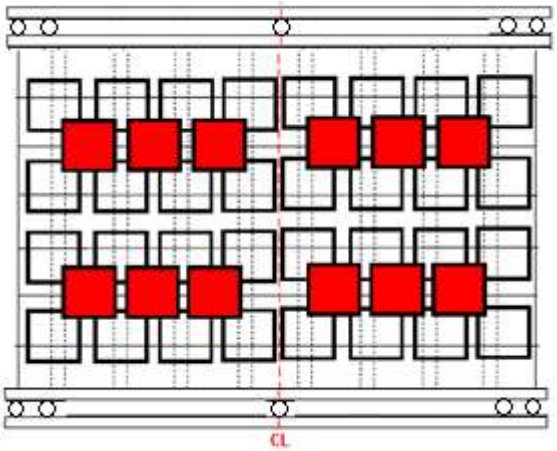


Figura 53. Proceso de carga fases 5

Fotografía 3. Proceso de carga fases 5

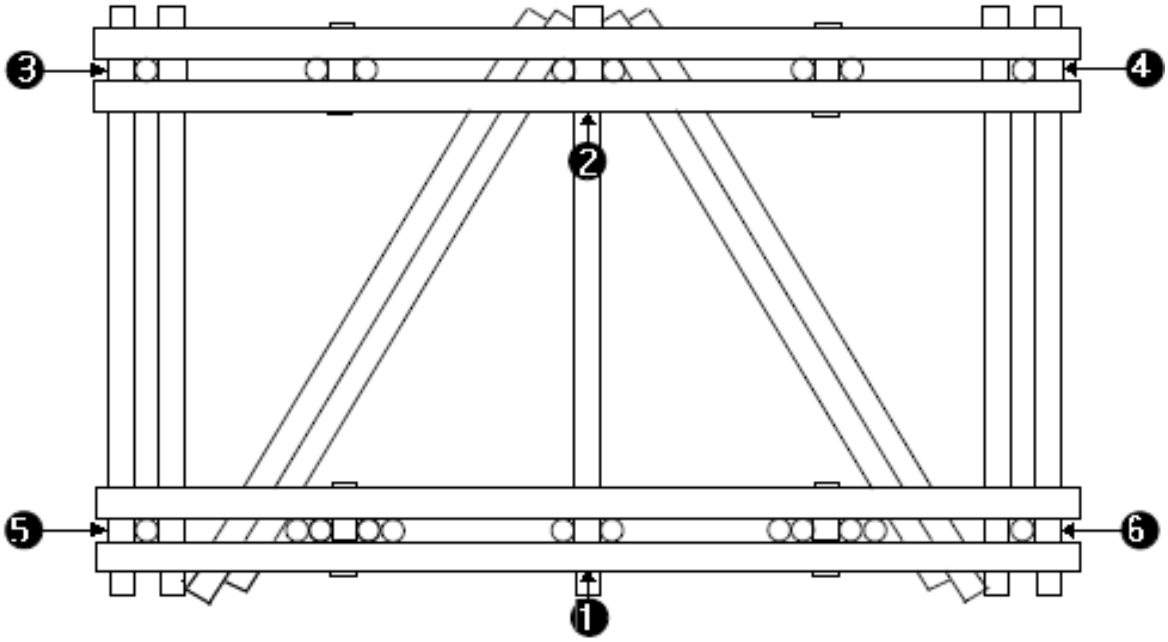


Figura 54. Ubicación de deformímetros para prueba de carga.

Fotografía 5. Deformimetro No. 1

Fotografía 4. Deformimetro No. 2

Fotografía 7. Deformimetro No. 3

Fotografía 6. Deformimetro No. 4

Fotografía 9. Deformimetro No. 5

Fotografía 8. Deformimetro No. 6

Tabla 20. Deformaciones por etapas en el módulo más antiguo

Carga	Deformación (mm)					
(Kg)	**Def. No. 1**	**Def. No. 2**	**Def. No. 3**	**Def. No. 4**	**Def. No. 5**	**Def. No. 6**
800	2,51	2,11	2,01	0,13	0,05	0,25
1600	6,44	4,96	3,81	3,30	-2,51	0,53
2400	10,79	8,28	5,41	4,83	-2,46	0,89
3200	15,15	11,65	4,78	5,94	-2,49	0,97
3500	17,02	13,09	2,39	6,10	-2,49	0,94

Tabla 21. Deformaciones por etapas en el módulo nuevo

Carga	Deformación (mm)					
(Kg)	**Def. No. 1**	**Def. No. 2**	**Def. No. 3**	**Def. No. 4**	**Def. No. 5**	**Def. No. 6**
800	*1,40*	*1,17*	-0,05	-0,05	-0,18	-8,37
1600	*5,72*	*3,53*	0,69	0,36	-0,15	-6,01
2400	*11,10*	*6,25*	0,03	1,98	-0,66	-6,55
3200	*15,24*	*8,69*	-0,46	1,57	-0,84	-6,70
3500	*16,32*	*9,37*	-0,53	0,36	-0,86	-7,30

10. RESULTADOS

De acuerdo con los valores obtenidos en la prueba de carga se puede asegurar que la estabilidad estructural del módulo frente a una carga de servicio de 3,5 toneladas, no se verá afectada y podrá cumplir a cabalidad las funciones de un puente peatonal provisional, aunque se aclara que dicha estabilidad está sujeta a un óptimo diseño de las uniones entre los módulos y al tiempo de uso de la estructura, asegurando que después de dos años no se puede asegurar la estabilidad estructural del mismo; esto último deberá ser resultado de investigaciones futuras.

10.1 ANÁLISIS DE DEFORMACIONES

Según las medidas de los deformímetros, el módulo tiende a sufrir mayores deformaciones en el centro de la luz lo cual permite pensar en un refuerzo que disminuya este impacto, pero a pesar de estas deformaciones estructuralmente y visualmente no se verá afectado a gran escala.

10.2 MÓDULO 1

Para comprender el comportamiento del módulo se realizaron gráficas de carga contra deformación para cada uno de los deformímetros ubicados en el centro de la luz (Figura 70).

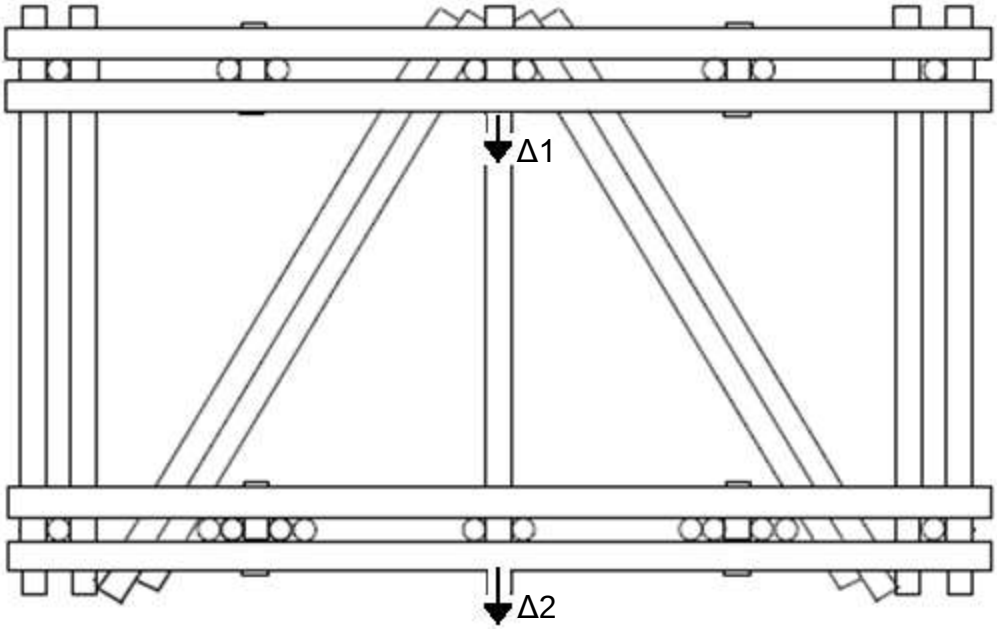


Figura 55. Esquema de ubicación de deformaciones evaluadas

Para realizar la gráfica de comparación de las deformaciones se tuvo en cuenta que la carga (P) fue el resultado de la multiplicación de la carga por metro cuadrado (W/m^2) por la base del módulo y por la longitud del mismo, como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 22. Carga aplicada al módulo

W/m^2 (KN)	**$(W/m^2)*b$ (KN)**	**P (KN) / $(W/m^2)*b*L$**
0,8	1,9	8
1,6	3,8	16
2,4	5,7	24
3,2	7,6	32
3,5	8,3	35

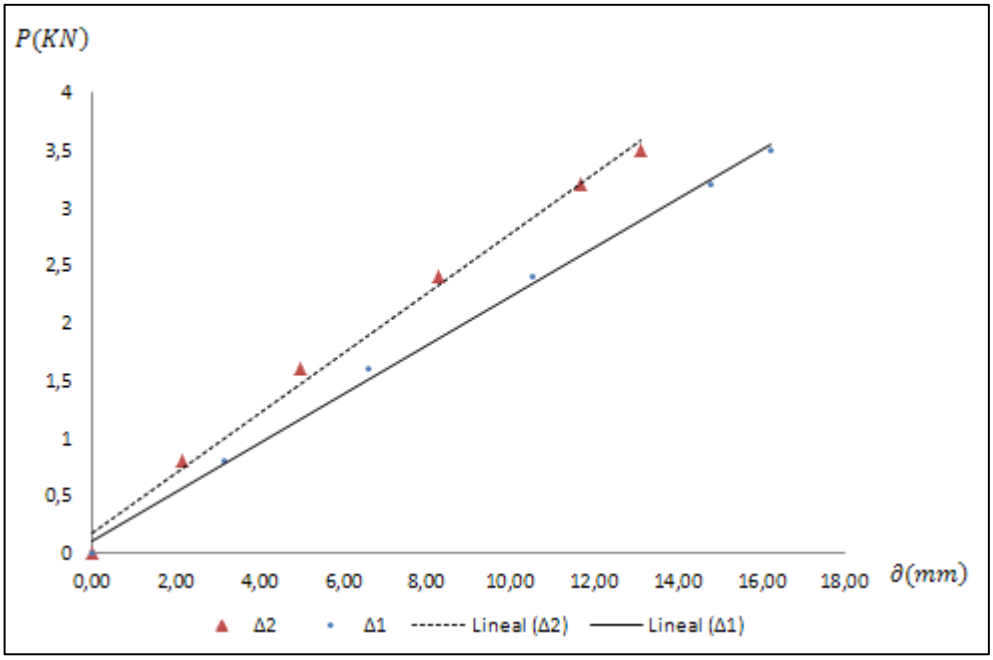


Gráfico 1. Carga versus deformación de los deformímetros No. 1 y No. 2

En los deformímetros No.1 y No. 2 ubicados en la mitad de la luz, se observa que tanto el cordón superior como el inferior presentaron deformaciones lineales ante la carga de cada fase; el hecho de que las gráficas presentaran comportamientos lineales pero no se traslapen, implica que el elemento inferior estuvo sometido a mayor flexión que el elemento superior aunque ambas estuvieran deformándose en la misma dirección.

10.3 MÓDULO 2

El módulo designado como “nuevo” fue caracterizado por haber sido construido un mes antes de realizarle la prueba de carga y por tener sus elementos con espacios que facilitaban el movimiento de los mismos.

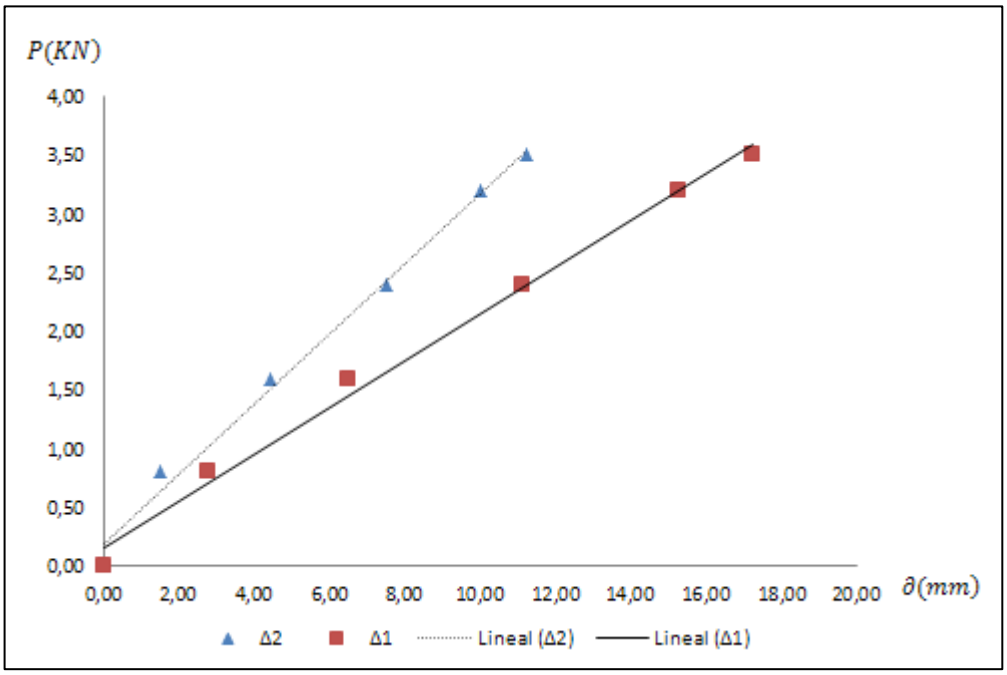


Gráfico 2. Carga versus deformación de los deformímetros No. 1 y No.2 (Módulo nuevo)

De acuerdo a la gráfica anterior se observa que la deformación presentada en los cordones, tanto superiores como inferiores, fue similar, aunque se mantiene la tendencia en la cual el cordón inferior está sometido a mayor flexión que el elemento superior.

10.4 COMPARACIÓN ENTRE DEFORMACIÓN DE AMBOS MÓDULOS

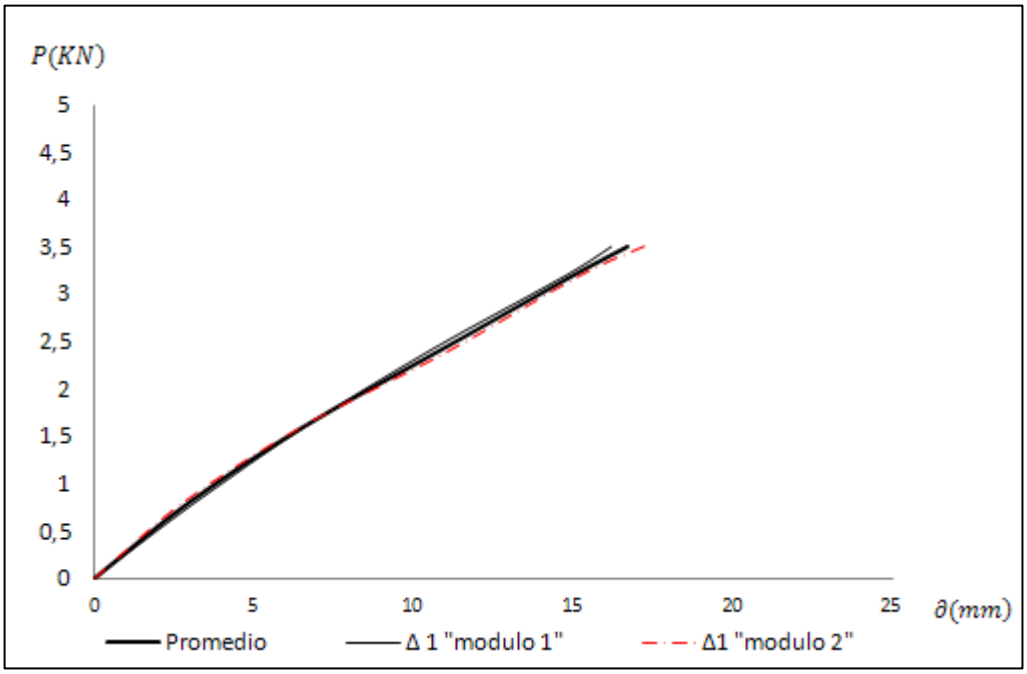


Gráfico 3. Comparación de carga versus deformación para los Δ1.

Para ambos módulos se realizó la toma de deformaciones en el centro de la luz para el cordón inferior, con el fin de determinar el comportamiento de los elementos a una carga de servicio de 450 Kg-f/m^2; de acuerdo a la gráfica el comportamiento de ambos módulos fue similar, de tal forma que el elemento en ambos casos fue sometido a la carga, se deformó sufriendo flexión pero no alcanzó el fallo ni generó vibraciones en el sentido en el que fueron tomadas las medidas.

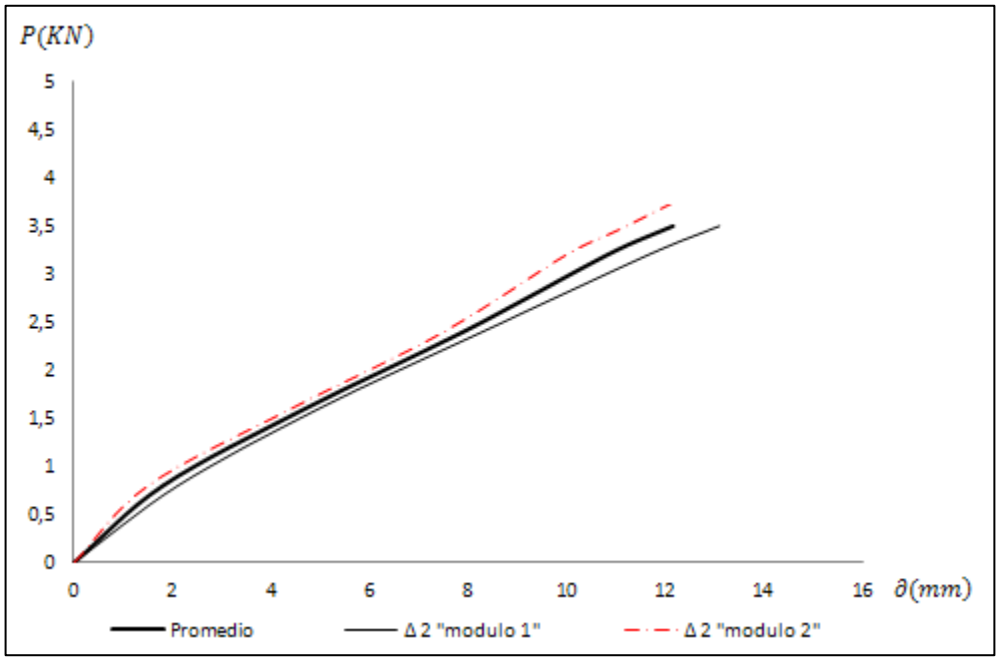
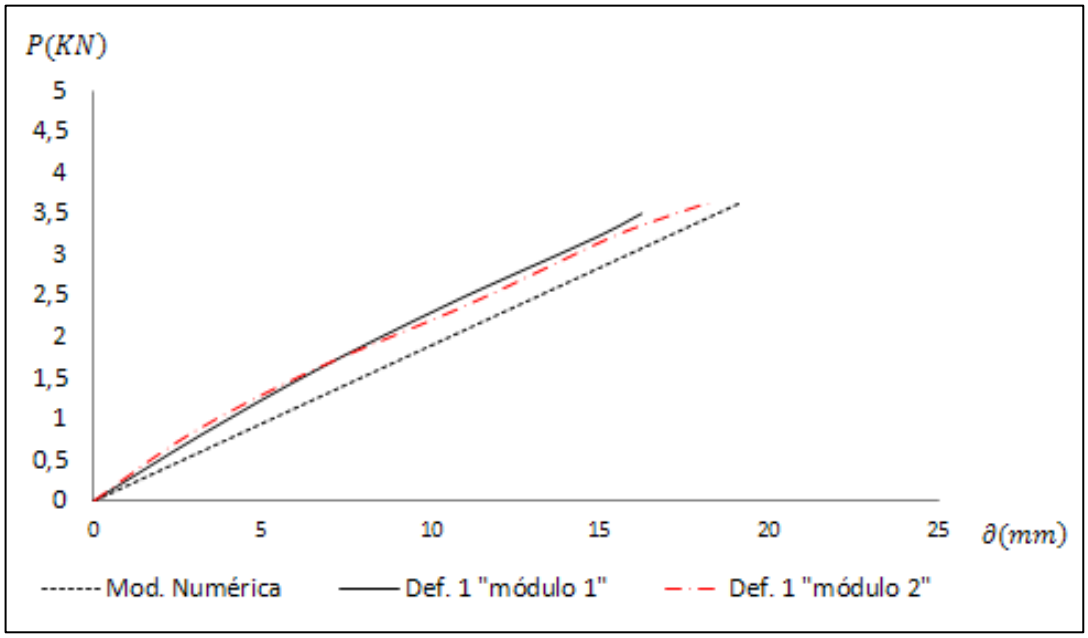
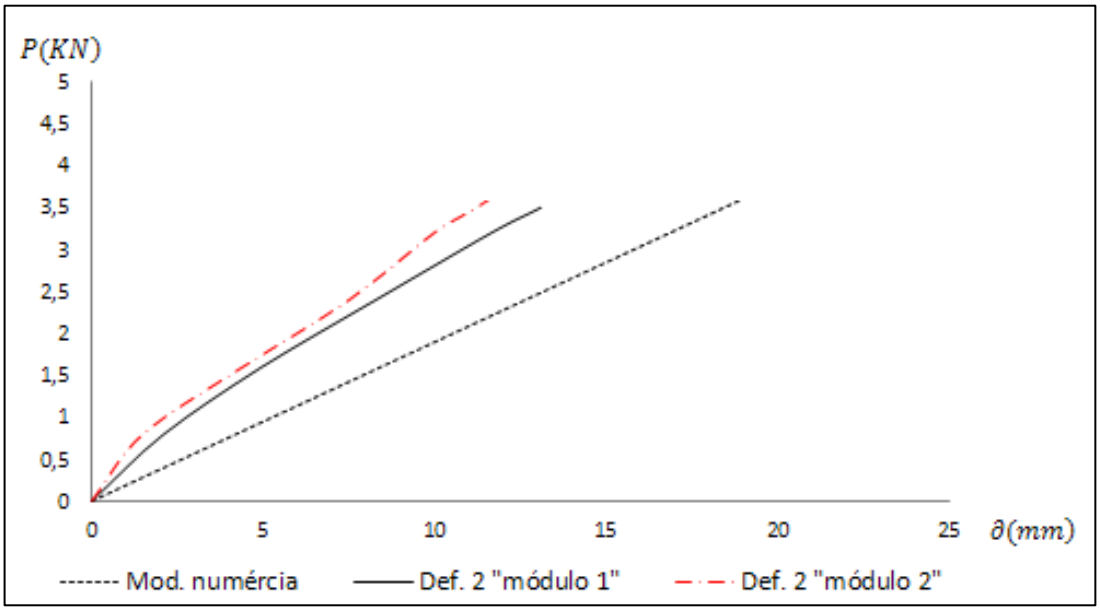


Gráfico 4. Comparación de carga versus deformación para los deformímetros No. 2

Para las deformaciones en los cordones superiores se colocó un deformímetro en la mitad de la luz; como se observa en la gráfica, en ambos módulos el comportamiento fue similar y de carácter lineal, esto implica que el cordón superior para los dos módulos estuvo sometido a flexión y no salió del rango elástico, asegurando la estabilidad estructural de los mismos.

10.5 COMPARACIÓN ENTRE DEFORMÍMETROS Y MODELACIÓN NUMÉRICA





11. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la modelación numérica, los elementos diagonales son los que estarán sometidos a mayores esfuerzos, por lo cual fue necesario aumentar la sección con el fin de que estos elementos absorbieran mayor carga y a su vez no alcanzaran la falla.

Los esfuerzos resultantes de las modelaciones numéricas aseguran que al someter al módulo a una carga de servicio (3.5 toneladas), los esfuerzos últimos de la guadua Angustifolia Kunth no son superados, por lo tanto, el módulo como elemento puede ser utilizado para uso peatonal.

Con los resultados obtenidos se asegura que la guadua se debe tener en cuenta como un material de construcción alternativo muy viable para la solución de problemas de comunicación peatonal en el país; no solamente a nivel estructural (como lo afirman las modelaciones numéricas y físicas) sino también en el aspecto económico y ambiental.

Aunque el módulo es aceptado como elemento funcional para uso peatonal, es indispensable un óptimo diseño de las conexiones entre los módulos, ya que serán los encargados de darle estabilidad al puente.

De acuerdo con los resultados de las modelaciones realizadas en el programa SAP 2000 V11, se determinó que en un puente simplemente apoyado, solo es posible cubrir luces menores a 24m si se quiere satisfacer una carga viva de 400 kg-f/m^2, pues con luces superiores se presentaría fallo de la estructura por compresión en las diagonales.

Es necesario estar asesorado de personas con experiencia en el trabajo con guadua, ya que los tiempos, costos y resultados pueden variar si los constructores del módulo carecen de ella.

Tener establecido un orden de perforación, colocación y proceso de pernado estipulado es esencial en la eficacia a la hora de construir el módulo. Por esta razón fue creado el Manual de construcción del mismo, donde se especifican los materiales, herramientas, pasos y recomendaciones necesarias para llevar a cabo su correcta construcción.

A través de la prueba de carga se establecieron relaciones gráficas entre la carga y la deformación, con las cuales se observa cómo el módulo más antiguo sufrió menos vibraciones que el nuevo, debido a que el primero comprendía diámetros un poco mayores, lo cual generó que los elementos entraran y encajaran forzados; en el módulo nuevo los elementos quedaron con espacios entre sí, generando la posibilidad de que éstos se pudieran acomodar a través de vibraciones.

Debido a que no hay registros de puentes modulares en guadua, no hay parámetros comparativos respectivo a la resistencia del mismo, pero hay referencia de que el puente Jörg Stamm (de una sola luz) ubicado en la ciudad de

Cúcuta presentó una deformación de 0.09m en 10.3m con una carga de 450Kg/m^2m, lo cual implica una deformación unitaria (ε) de 0.008m/m; para el caso de los dos módulos, el más antiguo presentó una deformación de 0.017m en 3.8m de luz correspondientes a 0.0045m/m de deformación unitaria, y en el módulo nuevo se presentó una deformación de 0.016m en 3.8m, por lo tanto la deformación unitaria fue 0.005m/m. Lo anterior demuestra que el módulo se comporta estructuralmente mejor que los puentes de una sola luz frente a la carga de servicio estipulada en el Código Colombiano para el Diseño Sísmico de Puentes.

12. RECOMENDACIONES

Para realizar cualquier proyecto referente a la guadua es aconsejable realizar un estudio previo en el que se indaguen todas las características físicas del material y se estimen las posibles complicaciones en el proceso del trabajo con el mismo.

El uso de software especializado en el comportamiento estructural da una gran idea de la forma en la cual puede actuar el módulo frente a cargas de servicio, sismo, viento, entre otras; esto deberá ser complementado a través de datos de caracterización que permitan dar un grado alto de certeza de los resultados de la modelación numérica.

La mayor deflexión que se presentó fue de 0.02m, lo cual indica que el módulo es capaz de soportar cargas mayores sin presentar daño estructural visible. Aunque en el Código Colombiano Sísmico de Puentes no se establecen parámetros de rechazo por deflexiones en estructuras peatonales en guadua, se propone aceptar valores menores a 0.05m, asegurando el correcto funcionamiento estructural y el impacto visual que genere el mismo.

REFERENCIAS

COBOS, Jorge Alberto y LEÓN, Xavier Antonio. Propiedades físicas mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASA II. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Sangolquí. Escuela Politécnica Del Ejército. Facultad de Ingeniería Civil. 2007. 113 p.

CRUZ HERNÁNDEZ, Ricardo, et al. Comportamiento estructural de la guadua en Santander. En: Tecnura. Julio - Diciembre, 2004. Vol 8, No 15, p. 4-17.

FALCK, Nelly Belinda. El bambú usado como material de construcción. En: XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental "Superación sanitaria y ambiental: el reto" (22–24, agosto: Tegucigalpa, Honduras). 2001. p. 1–8.

GONZÁLEZ B, Héctor Álvaro; MONTOYA ARANGO, Jorge Augusto y BEDOYA SÁNCHEZ, José Rubiel. Resultados del ensayo a flexión en muestras de Bambú de la especie Guadua Angustifolia Kunth. En: Scientia et Technica. Agosto, 2007, vol. 3, no. 35, p. 503-508.

NAVAS GUTIERREZ, Elvira de. Aplicaciones Estructurales de la guadua. (Guadua Angustifolia Kunth) Proyecto de estructura modular multifuncional en Colombia. Proyecto fin de carrera Ingeniero de Montes. Madrid: Universidad Politécnica de

Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Departamento de Construcción y Vías Rurales, 2011. 264 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS). Código colombiano de diseño sísmico de puentes. 6 ed. Bogotá : Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica , 2011. 54635p.

VÁSCONEZ MIRANDA, Kathia Marcela. Diseño de puentes peatonales utilizando caña guadua como elemento de construcción. Tesis de grado Ingeniero Mecánico. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, 2005. p. 116.

OBERMANN, Tim Martin y LAUDE, Ronald. Bamboo Space. Bambu: recurso sostenible para estructuras espaciales. Medellín; Universidad Nacional de Colombia, 2004. 23 p.

SALAZAR TRUJILLO, Jorge Eduardo. Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería. Manizales: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, 2007. 274 p.

GONZALEZ SALCEDO, Luis Octavio. Elementos para la caracterización mecánica de la Guadua Angustifolia Kunth. En: Revista Virtual Forestal. 2006.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C.: AIS, 2012.

STAMM Jorg, Guía para la construcción de puentes en guadua. Pereira: Cooperación Alemana al Desarrollo, 2001. 50 p.

URIBE VALLEJO, Maritza y DURÁN CONTRERAS, Alejandro. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Faculta de Ingeniería, 2002. 126 p.

VÉLEZ, Simón. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia: “símbolo y búsqueda de lo primitivo”. Tesis de Doctorado en construcción - restauración y rehabilitación arquitectónica. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona ETSAB, Departamento de construcciones arquitectónicas. 2006, 402 p.

ARIA, Julia, *et al*. Monografía de Análisis de Autores: Simón Vélez. Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Escuela de Ingeniería Civil. Cátedra de Diseño Arquitectónico, 2011. 18 p.

VITRAL (Vialidad, Tránsito y tRAnsporte en Lima) Puentes Peatonales [en línea]. Lima (Perú). VITRAL, abril 2006, [citado en 5 abril de 2012]. Disponible en Internet: < http://vitral.4t.com/V06-OPINION/A06-PuentesPeatonales.htm>

INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INVAR). Determination of physical and mechanical properties of bamboo. Beijin, 2001. 20 p.

ANEXO A. RESULTADOS PRUEBA DE CARGA

Resultados prueba de carga en el módulo más antiguo

Carga	Deformación (mm)					
(Kg)	Def. No. 1	Def. No. 2	Def. No. 3	Def. No. 4	Def. No. 5	Def. No. 6
800	2,51	2,11	2,01	0,13	0,05	0,25
1600	6,44	4,96	3,81	3,30	-2,51	0,53
2400	10,79	8,28	5,41	4,83	-2,46	0,89
3200	15,15	11,65	4,78	5,94	-2,49	0,97
3500	17,02	13,09	2,39	6,10	-2,49	0,94
4181	19,70					
FINAL MOV.	DOWN	DOWN	RIGHT	LEFT	LEFT	RIGHT

Resultados prueba de carga en el módulo más reciente

Carga	Deformación (mm)					
(Kg)	Def. No. 1	Def. No. 2	Def. No. 3	Def. No. 4	Def. No. 5	Def. No. 6
800	1,40	1,17	-0,05	-0,05	-0,18	-8,37
1600	5,72	3,53	0,69	0,36	-0,15	-6,01
2400	11,10	6,25	0,03	1,98	-0,66	-6,55
3200	15,24	8,69	-0,46	1,57	-0,84	-6,70
3500	16,32	9,37	-0,53	0,36	-0,86	-7,30
4300	23,10	9,68	0,03	0,05	-1,09	-8,07
FINAL MOV.	DOWN	DOWN	RIGHT	LEFT	LEFT	RIGHT

ANEXO B. RESULTADOS DE LAS MODELACIONES EN SAP 2000 V11

Modelación puente simplemente apoyado (12m)

TABLE: Element Joint Forces - Frames										
Frame Text	**Joint Text**	**Output Case Text**	**Case Type Text**	**F1** KN	**F2** KN	**F3** KN	**M1** KN-m	**M2** KN-m	**M3** KN-m	**Frame Elem** Text
1	1	COMB1	Combination	-54,5	-0,082	0,353	-0,009	-0,337	-0,135	1
1	16	COMB1	Combination	54,5	0,082	-0,276	0,009	-0,324	-0,037	1
1	1	COMB2	Combination	3,58	0,00073	0,325	0,0003	-0,323	0,0004	1
1	16	COMB2	Combination	-3,58	-0,00073	-0,248	-0,001	-0,278	0,0011	1
1	16	COMB1	Combination	11,3	-0,062	0,106	0,0069	0,0049	-0,048	2
1	2	COMB1	Combination	-11,3	0,062	-0,029	-0,007	-0,147	-0,081	2
1	16	COMB2	Combination	3,48	-0,00095	0,115	-0,001	-0,013	-0,001	2

1	2	COMB2	Combination	-3,48	0,00095	-0,038	0,0006	-0,147	-0,005	2
2	2	COMB1	Combination	34,2	-0,021	0,063	0,0199	0,0021	0,0329	3
2	18	COMB1	Combination	-34,2	0,021	0,014	-0,019	-0,053	-0,076	3
2	2	COMB2	Combination	-7,07	-0,00107	0,102	0,0002	-0,020	-0,001	3
2	18	COMB2	Combination	7,07	0,00107	-0,024	-0,001	-0,112	-0,002	3
2	18	COMB1	Combination	36,2	0,021	0,016	-0,019	0,0518	0,0775	4
2	3	COMB1	Combination	-36,2	-0,021	0,061	0,0198	-0,004	-0,033	4
2	18	COMB2	Combination	-7,07	0,00107	-0,024	-0,0002	0,1121	0,0016	4
2	3	COMB2	Combination	7,07	-0,00107	0,102	0,0002	0,0202	0,0006	4
3	3	COMB1	Combination	17,4	0,063	-0,036	-0,006	0,1508	0,0818	5

3	20	COMB1	Combination	-17,4	-0,063	0,113	0,0068	0,0049	0,0503	5
3	3	COMB2	Combination	3,48	0,00095	-0,038	0,0006	0,147	0,0004	5
3	20	COMB2	Combination	-3,48	-0,00095	0,115	-0,001	0,013	0,0015	5
3	20	COMB1	Combination	-44,7	0,081	-0,269	0,0089	0,3126	0,0347	6
3	4	COMB1	Combination	44,7	-0,081	0,347	-0,009	0,3344	0,1348	6
3	20	COMB2	Combination	3,58	-0,00073	-0,248	-0,001	0,2781	-0,001	6
3	4	COMB2	Combination	-3,58	0,00073	0,325	0,0003	0,3237	-0,001	6
7	1	COMB1	Combination	0,20	-0,062	0,328	0,0792	0,2788	0,003	7
7	8	COMB1	Combination	-0,20	0,062	-0,228	0,0881	0,2688	-0,003	7
7	1	COMB2	Combination	0,19	0,00437	0,401	-0,006	0,2653	-0,001	7

7	8	COMB2	Combination	-0,19	-0,00437	-0,302	-0,006	0,257	0,0001	7
8	2	COMB1	Combination	0,08	0,047	-0,006	-0,058	0,1022	0,0139	8
8	9	COMB1	Combination	-0,08	-0,047	0,105	-0,069	0,1176	-0,014	8
8	2	COMB2	Combination	0,08	0,00398	-0,049	-0,005	0,1098	0,0002	8
8	9	COMB2	Combination	-0,08	-0,00398	0,148	-0,006	0,1232	-0,001	8
9	3	COMB1	Combination	-0,08	0,047	-0,014	-0,058	-0,104	-0,014	9
9	10	COMB1	Combination	0,08	-0,047	0,114	-0,069	-0,119	0,0141	9
9	3	COMB2	Combination	-0,08	0,00398	-0,049	-0,004	-0,109	-0,001	9
9	10	COMB2	Combination	0,08	-0,00398	0,148	-0,006	-0,123	0,0002	9
10	4	COMB1	Combination	-0,2	-0,062	0,32	0,0789	-0,275	-0,003	10

10	11	COMB1	Combination	0,2	0,062	-0,221	0,0879	-0,265	0,0026	10
10	4	COMB2	Combination	-0,19	0,00437	0,401	-0,006	-0,265	0,0001	10
10	11	COMB2	Combination	0,19	-0,00437	-0,302	-0,006	-0,257	-0,001	10
14	8	COMB1	Combination	0,31	-0,066	0,298	-0,002	-0,273	-0,093	11
14	15	COMB1	Combination	-0,31	0,066	-0,221	0,0024	-0,270	-0,045	11
14	8	COMB2	Combination	0,19	-0,00011	0,268	-0,001	-0,257	-0,001	11
14	15	COMB2	Combination	-0,19	0,00011	-0,191	0,0003	-0,225	-0,001	11
14	15	COMB1	Combination	91,7	-0,125	0,215	0,01	-0,131	-0,122	12
14	9	COMB1	Combination	-91,7	0,125	-0,138	-0,01	-0,241	-0,139	12
14	15	COMB2	Combination	90,7	0,00005	0,23	0,0002	-0,155	0,0000	12

14	9	COMB2	Combination	-90,7	-0,00005	-0,153	-0,001	-0,247	0,0001	12
15	9	COMB1	Combination	92,0	-0,081	-0,071	0,0084	0,1531	-0,054	13
15	17	COMB1	Combination	-92,0	0,081	0,149	-0,008	0,0781	-0,116	13
15	9	COMB2	Combination	90,8	0,00008	-0,028	-0,001	0,1242	0,0001	13
15	17	COMB2	Combination	-90,8	-0,00008	0,105	0,0006	0,0152	0,0001	13
15	17	COMB1	Combination	92,0	0,081	0,15	-0,008	-0,079	0,1169	14
15	10	COMB1	Combination	-92,0	-0,081	-0,073	0,0083	-0,155	0,0537	14
15	17	COMB2	Combination	90,8	-0,00008	0,105	0,0006	-0,015	-0,001	14
15	10	COMB2	Combination	-90,8	0,00008	-0,028	-0,001	-0,124	-0,001	14
16	10	COMB1	Combination	91,7	0,125	-0,145	-0,009	0,2444	0,1395	15

16	19	COMB1	Combination	-91,7	-0,125	0,222	0,0099	0,1412	0,1221	15
16	10	COMB2	Combination	90,72	-0,00005	-0,153	-0,001	0,2474	-0,001	15
16	19	COMB2	Combination	-90,7	0,00005	0,23	0,0002	0,1554	-0,001	15
16	19	COMB1	Combination	0,30	0,066	-0,213	0,0021	0,259	0,0461	16
16	11	COMB1	Combination	-0,30	-0,066	0,29	-0,002	0,2699	0,0935	16
16	19	COMB2	Combination	0,19	0,00011	-0,191	0,0003	0,2257	0,0001	16
16	11	COMB2	Combination	-0,19	-0,00011	0,268	-0,001	0,257	0,0001338	16
20	15	COMB1	Combination	-0,24	0,032	28,671	0,0414	0,3203	-0,018	17
20	16	COMB1	Combination	0,24	-0,032	-28,57	0,0459	0,3381	0,0183	17
20	15	COMB2	Combination	-0,20	-0,00355	28,784	-0,004	0,2718	0,000005933	17

20	16	COMB2	Combination	0,20	0,00355	-28,68	-0,005	0,2911	-0,000	17
21	17	COMB1	Combination	-0,00	-0,113	29,159	-0,146	0,0016	-0,00005582	18
21	18	COMB1	Combination	0,00	0,113	-29,06	-0,158	0,0015	0,00005582	18
21	17	COMB2	Combination	0	-0,00450	28,868	-0,006	0	2,256E-17	18
21	18	COMB2	Combination	0	0,00450	-28,76	-0,006	0	0	18
22	19	COMB1	Combination	0,24	0,033	28,684	0,0423	-0,318	0,0183	19
22	20	COMB1	Combination	-0,24	-0,033	-28,58	0,0468	-0,336	-0,018	19
22	19	COMB2	Combination	0,20	-0,00355	28,784	-0,004	-0,272	-0,000	19
22	20	COMB2	Combination	-0,20	0,00355	-28,68	-0,005	-0,291	0,0000	19
26	1	COMB1	Combination	56,6	-0,045	72,817	0,0576	0,0516	-0,056	20

26	15	COMB1	Combination	-56,6	0,045	-72,69	0,0649	0,0728	-0,038	20
26	1	COMB2	Combination	56,4	0,00152	72,622	-0,002	0,0584	0,0014	20
26	15	COMB2	Combination	-56,4	-0,00152	-72,49	-0,002	0,0986	0,0018	20
27	15	COMB1	Combination	-34,2	-0,026	44,096	-0,033	0,0257	-0,035	21
27	2	COMB1	Combination	34,2	0,026	-43,97	-0,037	-0,026	-0,020	21
27	15	COMB2	Combination	-33,8	-0,00131	43,64	-0,001	0,0106	-0,002	21
27	2	COMB2	Combination	33,8	0,00131	-43,51	-0,001	-0,029	-0,001	21
28	2	COMB1	Combination	11,6	0,029	15,005	-0,032	0,1021	0,0578	22
28	17	COMB1	Combination	-11,6	-0,029	-14,88	-0,045	0,0956	0,0027	22
28	2	COMB2	Combination	11,4	0,00164	14,681	-0,002	0,0864	0,002	22

28	17	COMB2	Combination	-11,4	-0,00164	-14,55	-0,002	0,0574	0,0014	22
29	17	COMB1	Combination	11,6	-0,029	-14,88	-0,043	-0,096	-0,002	23
29	3	COMB1	Combination	-11,6	0,029	15,008	-0,033	-0,103	-0,058	23
29	17	COMB2	Combination	11,4	-0,00164	-14,56	-0,002	-0,057	-0,001	23
29	3	COMB2	Combination	-11,4	0,00164	14,681	-0,002	-0,086	-0,002	23
30	3	COMB1	Combination	-34,2	0,026	-43,95	-0,037	0,0287	0,0199	24
30	19	COMB1	Combination	34,2	-0,026	44,083	-0,039	-0,019	0,0348	24
30	3	COMB2	Combination	-33,8	0,00131	-43,51	-0,002	0,029	0,0011	24
30	19	COMB2	Combination	33,8	-0,00131	43,64	-0,002	-0,011	0,0017	24
31	19	COMB1	Combination	56,6	0,046	-72,70	0,065	-0,079	0,0382	25

31	4	COMB1	Combination	-56,6	-0,046	72,831	0,058	-0,053	0,0574	25
31	19	COMB2	Combination	56,4	-0,00152	-72,49	-0,002	-0,098	-0,001	25
31	4	COMB2	Combination	-56,4	0,00152	72,622	-0,002	-0,058	-0,001	25
75	53	COMB1	Combination	51,9	-0,082	0,304	-0,009	-0,313	-0,135	26
75	68	COMB1	Combination	-51,9	0,082	-0,226	0,0096	-0,243	-0,036	26
75	53	COMB2	Combination	3,58	-0,00073	0,325	-0,001	-0,323	-0,001	26
75	68	COMB2	Combination	-3,58	0,00073	-0,248	0,0003	-0,278	-0,001	26
75	68	COMB1	Combination	-10,4	-0,061	0,117	0,008	-0,021	-0,047	27
75	54	COMB1	Combination	10,4	0,061	-0,04	-0,008	-0,143	-0,080	27
75	68	COMB2	Combination	3,48	0,00095	0,115	0,0006	-0,013	0,0015	27

75	54	COMB2	Combination	-3,48	-0,00095	-0,038	-0,001	-0,147	0,0004	27
76	54	COMB1	Combination	-50,4	-0,019	0,142	0,0192	-0,045	0,0342	28
76	70	COMB1	Combination	50,4	0,019	-0,065	-0,019	-0,172	-0,074	28
76	54	COMB2	Combination	-7,07	0,00107	0,102	-0,000	-0,020	0,0006	28
76	70	COMB2	Combination	7,07	-0,00107	-0,024	0,0002	-0,112	0,0016	28
76	70	COMB1	Combination	-48,4	0,019	-0,063	-0,019	0,1708	0,0731	29
76	55	COMB1	Combination	48,4	-0,019	0,14	0,0193	0,0425	-0,031	29
76	70	COMB2	Combination	-7,07	-0,00107	-0,024	0,0002	0,1121	-0,006	29
76	55	COMB2	Combination	7,07	0,00107	0,102	-0,001	0,0202	-0,001	29
77	55	COMB1	Combination	-4,34	0,06	-0,046	-0,008	0,1465	0,0802	30

77	72	COMB1	Combination	4,34	-0,06	0,123	0,0081	0,0309	0,0458	30
77	55	COMB2	Combination	3,48	-0,00095	-0,038	-0,001	0,147	-0,001	30
77	72	COMB2	Combination	-3,48	0,00095	0,115	0,0006	0,013	-0,005	30
77	72	COMB1	Combination	61,7	0,084	-0,22	0,0098	0,232	0,0393	31
77	56	COMB1	Combination	-61,7	-0,084	0,297	-0,009	0,3104	0,1363	31
77	72	COMB2	Combination	3,58	0,00073	-0,248	0,0003	0,2781	0,0011	31
77	56	COMB2	Combination	-3,58	-0,00073	0,325	-0,001	0,3237	0,00043	31
81	53	COMB1	Combination	0,18	-0,071	0,481	0,0901	0,2559	0,003	32
81	60	COMB1	Combination	-0,18	0,071	-0,382	0,1003	0,249	-0,003	32
81	53	COMB2	Combination	0,19	-0,00437	0,401	0,0056	0,2653	0,0001	32

81	60	COMB2	Combination	-0,19	0,00437	-0,302	0,0062	0,257	-0,0001	32
82	54	COMB1	Combination	0,09	0,039	-0,083	-0,048	0,1153	0,0135	33
82	61	COMB1	Combination	-0,09	-0,039	0,182	-0,057	0,1267	-0,013	33
82	54	COMB2	Combination	0,08	-0,00398	-0,049	0,0049	0,1098	-0,001	33
82	61	COMB2	Combination	-0,08	0,00398	0,148	0,0058	0,1232	0,0002	33
83	55	COMB1	Combination	-0,09	0,039	-0,091	-0,048	-0,114	-0,013	34
83	62	COMB1	Combination	0,09	-0,039	0,19	-0,057	-0,128	0,0133	34
83	55	COMB2	Combination	-0,08	-0,00398	-0,049	0,0049	-0,109	0,0002	34
83	62	COMB2	Combination	0,08	0,00398	0,148	0,0058	-0,123	-0,001	34
84	56	COMB1	Combination	-0,18	-0,071	0,474	0,0905	-0,251	-0,003	35

84	63	COMB1	Combination	0,18	0,071	-0,375	0,1005	-0,245	0,0034	35
84	56	COMB2	Combination	-0,19	-0,00437	0,401	0,0056	-0,265	-0,001	35
84	63	COMB2	Combination	0,19	0,00437	-0,302	0,0062	-0,257	0,0001	35
88	60	COMB1	Combination	0,08	-0,066	0,246	-0,001	-0,244	-0,093	36
88	67	COMB1	Combination	-0,08	0,066	-0,169	0,0014	-0,192	-0,045	36
88	60	COMB2	Combination	0,19	0,00011	0,268	0,0003	-0,257	0,0001	36
88	67	COMB2	Combination	-0,19	-0,00011	-0,191	-0,000	-0,227	0,0001	36
88	67	COMB1	Combination	89,8	-0,125	0,239	0,0093	-0,169	-0,1221	37
88	61	COMB1	Combination	-89,8	0,125	-0,161	-0,009	-0,250	-0,139	37
88	67	COMB2	Combination	90,7	-0,00005	0,23	-0,00	-0,154	-0,000	37

88	61	COMB2	Combination	-90,7	0,00005	-0,153	0,0002	-0,247	-0,001	37
89	61	COMB1	Combination	89,7	-0,081	0,017	0,0095	0,0936	-0,053	38
89	69	COMB1	Combination	-89,7	0,081	0,06	-0,009	-0,048	-0,117	38
89	61	COMB2	Combination	90,8	-0,00008	-0,028	0,0006	0,1242	-0,001	38
89	69	COMB2	Combination	-90,8	0,00008	0,105	-0,001	0,0152	-0,000	38
89	69	COMB1	Combination	89,2	0,081	0,061	-0,009	0,0476	0,117	39
89	62	COMB1	Combination	-89,7	-0,081	0,016	0,0096	-0,095	0,054	39
89	69	COMB2	Combination	90,8	0,00008	0,105	-0,001	-0,015	0,0000	39
89	62	COMB2	Combination	-90,8	-0,00008	-0,028	0,0006	-0,124	0,0001	39
90	62	COMB1	Combination	89,8	0,125	-0,168	-0,009	0,2542	0,1397	40

90	71	COMB1	Combination	-89,8	-0,125	0,245	0,0094	0,18	0,1221	40
90	62	COMB2	Combination	90,7	0,00005	-0,153	0,0002	0,2474	0,0001	40
90	71	COMB2	Combination	-90,7	-0,00005	0,23	-0,001	0,1554	0,0000	40
90	71	COMB1	Combination	0,07	0,066	-0,162	0,0016	0,1805	0,0457	41
90	63	COMB1	Combination	-0,07	-0,066	0,239	-0,001	0,2404	0,093	41
90	71	COMB2	Combination	0,19	-0,00011	-0,191	-0,001	0,2257	-0,001	41
90	63	COMB2	Combination	-0,19	0,00011	0,268	0,0003	0,257	-0,001	41
94	67	COMB1	Combination	-0,17	0,04	28,883	0,051	0,2253	-0,018	42
94	68	COMB1	Combination	0,17	-0,04	-28,78	0,0574	0,2459	0,0183	42
94	67	COMB2	Combination	-0,20	0,00355	28,784	0,0043	0,2718	-0,000	42

94	68	COMB2	Combination	0,20	-0,00355	-28,68	0,0053	0,2911	0,0000	42
95	69	COMB1	Combination	-0,00	-0,104	28,577	-0,134	0,0016	0,0000	43
95	70	COMB1	Combination	0,00	0,104	-28,47	-0,145	0,0015	-0,000	43
95	69	COMB2	Combination	0	0,00450	28,868	0,0056	0	0	43
95	70	COMB2	Combination	0	-0,00450	-28,76	0,0066	0	0	43
96	71	COMB1	Combination	0,17	0,039	28,896	0,0501	-0,223	0,0183	44
96	72	COMB1	Combination	-0,17	-0,039	-28,79	0,0564	-0,244	-0,018	44
96	71	COMB2	Combination	0,20	0,00355	28,784	0,0043	-0,271	0,0000	44
96	72	COMB2	Combination	-0,20	-0,00355	-28,68	0,0053	-0,291	-0,000	44
100	53	COMB1	Combination	56,3	-0,049	72,413	0,0622	0,0637	-0,060	45

100	67	COMB1	Combination	-56,3	0,049	-72,27	0,069	0,1174	-0,041	45
100	53	COMB2	Combination	56,4	-0,00152	72,622	0,0021	0,0584	-0,001	45
100	67	COMB2	Combination	-56,4	0,00152	-72,49	0,002	0,0986	-0,001	45
101	67	COMB1	Combination	-33,5	-0,023	43,197	-0,029	0,002	-0,031	46
101	54	COMB1	Combination	33,5	0,023	-43,07	-0,034	-0,029	-0,017	46
101	67	COMB2	Combination	-33,8	0,00131	43,64	0,0019	0,0106	0,0017	46
101	54	COMB2	Combination	33,8	-0,00131	-43,51	0,0016	-0,029	0,0011	46
102	54	COMB1	Combination	11,1	0,026	14,354	-0,028	0,0695	0,0542	47
102	69	COMB1	Combination	-11,1	-0,026	-14,22	-0,041	0,0186	-0,001	47
102	54	COMB2	Combination	11,4	-0,0016	14,681	0,0024	0,0864	-0,002	47

102	69	COMB2	Combination	-11,4	0,00164	-14,56	0,0021	0,0574	-0,001	47
103	69	COMB1	Combination	11,1	-0,026	-14,23	-0,041	-0,019	0,0001	48
103	55	COMB1	Combination	-11,1	0,026	14,357	-0,028	-0,070	-0,058	48
103	69	COMB2	Combination	11,4	0,00164	-14,55	0,0021	-0,057	0,0014	48
103	55	COMB2	Combination	-11,4	-0,00164	14,681	0,0024	-0,086	0,002	48
104	55	COMB1	Combination	-33,5	0,024	-43,05	-0,036	0,0316	0,0182	49
104	71	COMB1	Combination	33,525	-0,024	43,184	-0,029	0,0044	0,0314	49
104	55	COMB2	Combination	-33,8	-0,00131	-43,54	0,0016	0,029	-0,001	49
104	71	COMB2	Combination	33,8	0,00131	43,64	0,0019	-0,016	-0,001	49
105	71	COMB1	Combination	56,3	0,048	-72,30	0,0689	-0,124	0,042	50

105	56	COMB1	Combination	-56,3	-0,048	72,427	0,0617	-0,065	0,0596	50
105	71	COMB2	Combination	56,4	0,00152	-72,49	0,002	-0,098	0,0018	50
105	56	COMB2	Combination	-56,4	-0,00152	72,622	0,0021	-0,058	0,0014	50
112	60	COMB1	Combination	0,10	-0,00429	0,136	-0,099	-0,004	0,0962	51
112	8	COMB1	Combination	-0,10	0,00429	-0,07	-0,085	0,0048	0,0962	51
112	60	COMB2	Combination	0	-0,00448	0,033	-0,006	0	0,0000	51
112	8	COMB2	Combination	0	0,00448	0,033	0,0065	0	-0,000	51
113	67	COMB1	Combination	0,28	-0,00685	0,137	-0,101	0,0172	0,2595	52
113	15	COMB1	Combination	-0,28	0,00685	-0,071	-0,085	-0,017	0,2595	52
113	67	COMB2	Combination	0	-0,00621	0,033	-0,007	0	0,00002724	52

113	15	COMB2	Combination	0	0,006217	0,033	0,0076	0	-0,000	52
114	61	COMB1	Combination	0,23	-0,00403	-0,038	0,0572	0,0301	0,2071	53
114	9	COMB1	Combination	-0,23	0,00403	0,104	0,0709	-0,030	0,2072	53
114	61	COMB2	Combination	0	-0,00396	0,033	-0,006	0	-0,000	53
114	9	COMB2	Combination	0	0,00396	0,033	0,0067	0	0,0000	53
115	69	COMB1	Combination	0	-0,00796	-0,239	0,2359	0	0	54
115	17	COMB1	Combination	0	0,007967	0,305	0,253	0	0	54
115	69	COMB2	Combination	0	-0,00796	0,033	-0,008	0	0	54
115	17	COMB2	Combination	0	0,007967	0,033	0,0085	0	0	54
116	62	COMB1	Combination	-0,23	-0,00388	-0,038	0,0575	-0,030	-0,207	55

116	10	COMB1	Combination	0,23	0,00388	0,104	0,0707	0,0301	-0,207	55
116	62	COMB2	Combination	0	-0,00396	0,033	-0,006	0	0,0000	55
116	10	COMB2	Combination	0	0,00396	0,033	0,0067	0	0	55
117	71	COMB1	Combination	-0,28	-0,00557	0,137	-0,100	-0,017	-0,259	56
117	19	COMB1	Combination	0,28	0,00557	-0,071	-0,086	0,0172	-0,259	56
117	71	COMB2	Combination	0	-0,00627	0,033	-0,007	0	-0,000	56
117	19	COMB2	Combination	0	0,00621	0,033	0,0076	0	0,0000	56
118	63	COMB1	Combination	-0,10	-0,00468	0,136	-0,098	0,0048	-0,096	57
118	11	COMB1	Combination	0,10	0,00468	-0,07	-0,085	-0,004	-0,096	57
118	63	COMB2	Combination	0	-0,00448	0,033	-0,006	0	0	57

118	11	COMB2	Combination	0	0,004486	0,033	0,0065	0	0,0000	57
125	53	COMB1	Combination	0,16	0	0,183	-0,142	-0,006	0,1485	58
125	1	COMB1	Combination	-0,16	0	-0,117	-0,127	0,0066	0,1486	58
125	53	COMB2	Combination	0	0	0,033	-0,007	0	0,0008357	58
125	1	COMB2	Combination	0	0	0,033	0,0074	0	0	58
126	68	COMB1	Combination	0,06	0,038	0,109	-0,075	0,0188	0,0553	59
126	16	COMB1	Combination	-0,06	-0,038	-0,043	-0,061	-0,018	0,0551	59
126	68	COMB2	Combination	0	1,473	0,033	-0,006	0	0,0000	59
126	16	COMB2	Combination	0	-1,473	0,033	0,0062	0	-0,000	59
127	54	COMB1	Combination	0,03	-0,919	-0,087	0,0998	0,0324	0,0295	60

127	2	COMB1	Combination	-0,03	0,919	0,153	0,1162	-0,032	0,031	60
127	54	COMB2	Combination	0	-0,456	0,033	-0,008	0	-0,001	60
127	2	COMB2	Combination	0	0,456	0,033	0,0081	0	0,0012	60
128	70	COMB1	Combination	0	-2,534	-0,179	0,1836	0	-0,001	61
128	18	COMB1	Combination	0	2,534	0,245	0,1979	0	0,0002	61
128	70	COMB2	Combination	0	-2,534	0,033	-0,007	0	0	61
128	18	COMB2	Combination	0	2,534	0,033	0,0071	0	0	61
129	55	COMB1	Combination	-0,03	0,00767	-0,087	0,1001	-0,032	-0,028	62
129	3	COMB1	Combination	0,03	-0,00767	0,153	0,1159	0,0324	-0,032	62
129	55	COMB2	Combination	0	-0,456	0,033	-0,008	0	0,0012	62

129	3	COMB2	Combination	0	0,456	0,033	0,0081	0	-0,001	62
130	72	COMB1	Combination	-0,06	2,909	0,109	-0,074	-0,018	-0,055	63
130	20	COMB1	Combination	0,06	-2,909	-0,043	-0,062	0,0188	-0,055	63
130	72	COMB2	Combination	0	1,473	0,033	-0,006	0	-0,000	63
130	20	COMB2	Combination	0	-1,473	0,033	0,0062	0	0,0000	63
131	56	COMB1	Combination	-0,16	0	0,183	-0,142	0,0066	-0,150	64
131	4	COMB1	Combination	0,16	0	-0,117	-0,128	-0,006	-0,146	64
131	56	COMB2	Combination	0	0	0,033	-0,007	0	-0,001	64
131	4	COMB2	Combination	0	0	0,033	0,0074	0	0,0008	64

ANEXO C. REGISTRO FOTOGRÁFICO (PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS MÓDULOS Y PRUEBA DE CARGA)

Ubicación de puntos de perforación

Apoyo para ejecutar la perforación

Apoyo para ejecutar la perforación

Ubicación de puntos de perforación de un separador

Culmos de guadua de 4,2 m de longitud para cordones horizontales

Marcas para perforación de separador

Perforación en separador

Detalle de perforación

Guía para perforar

Separador vertical de cordón horizontal

Cordón horizontal con separadores verticales

Perforación de separador para cordón horizontal

Rigidizador de cordón horizontal, compuesto por tres separadores

Cordón horizontal

Cordón horizontal

Ubicación de cordón horizontal para ensamblar con los demás elementos principales

Nivelación de elementos

Nivelación de cordón vertical

Nivelación de cordones vertical y horizontal en proceso de ensamble

Detalle de unión entre cordón horizontal y cordón vertical

Ubicación de elementos para ensamble de pared

Verificación de medidas, previo al inicio de perforaciones para ensamble de una pared

Perforación para perno de sujeción entre elemento vertical a cordón horizontal

Sujeción entre elemento vertical a cordón horizontal

Perforación para perno de sujeción entre cordón vertical y cordón horizontal

Perforación para perno de sujeción entre cordón vertical y cordón horizontal

Perforación para perno de sujeción entre cordón vertical y cordón horizontal

Sujeción entre cordón vertical y cordón horizontal

Perforación para perno de sujeción entre diagonal y cordón horizontal

Perforación para perno de sujeción entre diagonal y cordón horizontal

Detalle de sujeción de cordón vertical y diagonal a cordón horizontal

Perforación para perno de sujeción entre diagonal y cordón horizontal

Perforación para perno de sujeción entre diagonal y cordón horizontal

Ubicación de elementos para ensamble de pared

Pared ensamblada

Pared ensamblada

Ubicación de paredes para colocación de viguetas

Sostenimiento para colocación de viguetas

Colocación de viguetas

Colocación de viguetas

Perforación para sujeción de viguetas a pared

Perforación para sujeción de viguetas a pared

Detalle de sujeción de viguetas a pared

Colocación de viguetas superiores

Perforación para sujeción de viguetas a pared

Perforación para sujeción de viguetas a pared

Perforación para sujeción de viguetas a pared

Perforación para sujeción de viguetas a pared

Módulo con viguetas principales (de esquinas) ensambladas

Módulo ensamblado

Módulo ensamblado

MANUAL DE CONSTRUCCION DE UN MODULO DE PUENTE PEATONAL EN GUADUA

JUAN GABRIEL ROCHA GALEANO

HELBER YESID QUIROGA GUTIÉRREZ

FABIAN AUGUSTO LAMUS BÁEZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Educar para Pensar, Decidir y Servir

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
GLOSARIO	6
1. MATERIALES	7
2. PIEZAS	8
3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN	11
3.1. HERRAMIENTAS:	12
3.2. PERFORACIÓN PRELIMINAR:	13
3.3. ARMADO DE ELEMENTOS VERTICALES:	14
3.4. ARMADO DE CORDONES PRINCIPALES	15
3.5. ARMADO DE ELEMENTOS DIAGONALES	16
3.6. UBICACIÓN DE ELEMENTOS EN EL MODULO	17
3.7. ENSAMBLADO DE FASE 1:	18
3.8. ENSAMBLADO DE FASE 2:	23
3.9. COLOCACIÓN FINAL DE PERNOS	25
3.10. COLOCACIÓN DE CABLE TRENZADO	26
3.11. PROCESO DE RELLENO	30
3.12. PROCESO DE ZUNCHADO	33
4. RECOMENDACIONES	37
4.1. ANEXOS	38

AGRADECIMIENTO

Es indispensable agradecer a Dios por habernos permitido llevar acabo día a día este proyecto y por darnos la fuerza, paciencia y tolerancia para hacer un buen trabajo en grupo.

Para la realización de este proyecto queremos agradecer el apoyo incondicional que nos prestaron en todo momento nuestras familias, tanto la familia Rocha Galeano como la Quiroga Gutiérrez; además rescatamos el esfuerzo conjunto realizado por Jhon Freddy Cely y Mauricio Cruz Vargas quienes aportaron su ayuda en los momentos más difíciles.

También queremos dar gracias a nuestro director de trabajo de grado el ingeniero Fabián Augusto Lamus Báez por aportar todo su conocimiento en el manejo de la guadua Angustifolia Kunth.

INTRODUCCIÓN

En Colombia hay un déficit de estructuras peatonales debido al elevado costo que conllevan éstas para las poblaciones necesitadas, y a la dificultad topográfica que presenta el país; es por esto que surge la idea de explotar los beneficios de la guadua Angustifolia Kunth en la creación de estructuras modulares resistentes; con la ventaja de ser fáciles de construir, ser producidas a bajo costo y ser utilizadas como estructuras peatonales provisionales.

Sumado a las ventajas mencionadas anteriormente se busca que las poblaciones afectadas puedan beneficiarse en poco tiempo con la seguridad de obtener un producto final de excelente funcionamiento.

GLOSARIO

Vigueta:

Elemento prefabricado longitudinal resistente, diseñado para soportar cargas producidas en forjados de pisos o cubiertas.

Ensamblar:

Unir, acoplar dos o más piezas haciendo encajar una en la otra.

Módulo:

Conjunto unitario de piezas que se repiten o encajan en una construcción de cualquier tipo (en este caso para la construcción de un puente peatonal)

Guaya:

Consiste primordialmente en un número de cordones de alambres de acero arrollados helicoidalmente en capas, alrededor de un centro o alma, según un patrón de construcción definido.

Arriostramiento:

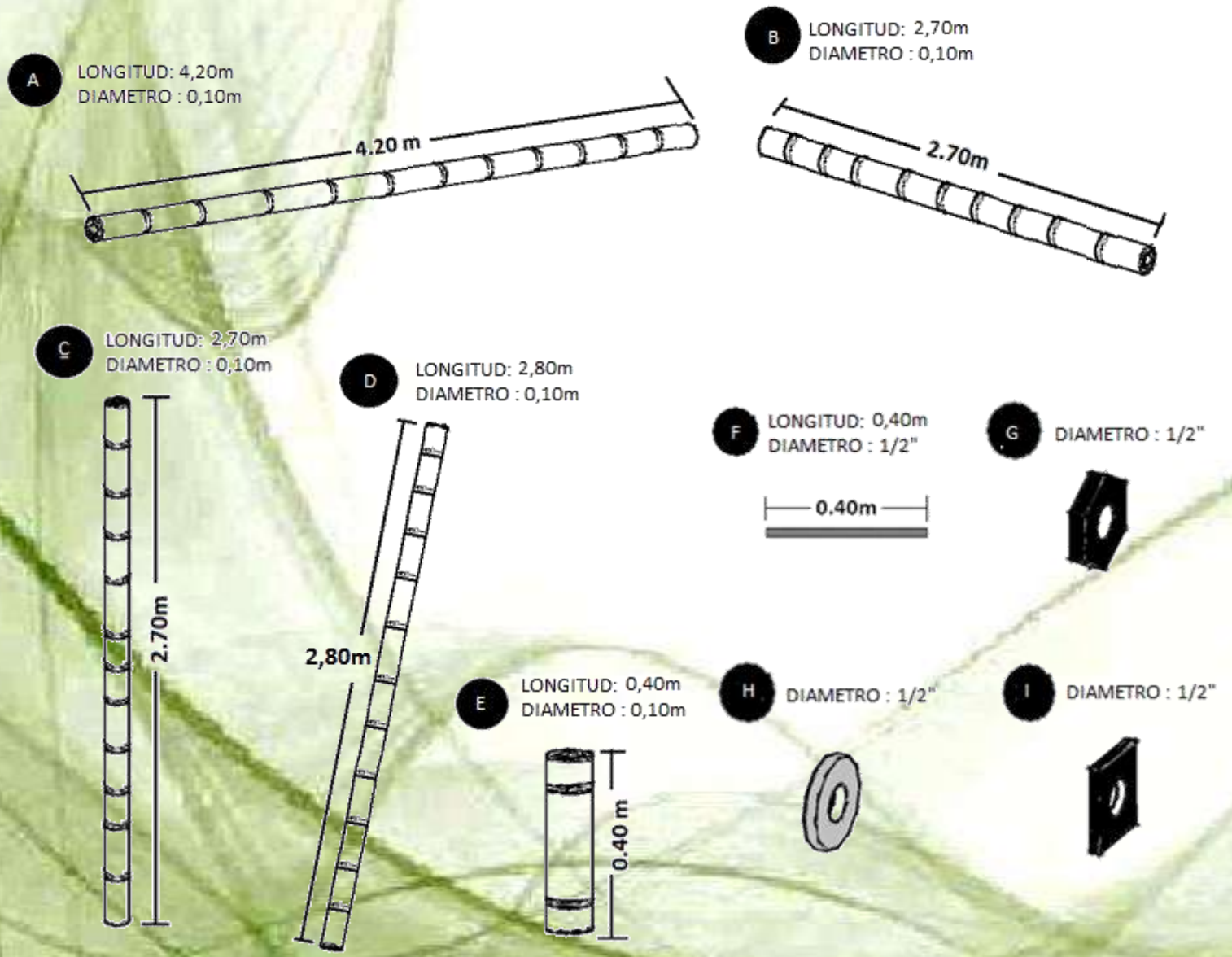
Estabilización der una estructura ante los esfuerzos horizontales, sobre todo cuando éstos son perpendiculares al plano que contiene las formas principales.

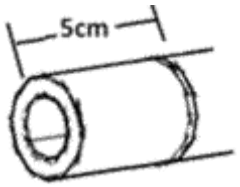
1. MATERIALES

A continuación se especifican los materiales necesarios y su cantidad para la construcción de un módulo en guadua.

Material	***Cantidad***
Culmo de guadua- diámetro 10cm -longitud 4,20m	16
Culmo de guadua diámetro 10cm - longitud 2,70m	10
Culmo de guadua -diámetro 10cm -longitud 2,80m	8
Culmo de guadua -diámetro 10cm -longitud 0,40m	24
Culmo de guadua -diámetro 10cm -longitud 2,70m	12
Perno ½” - longitud 0,40m	192
Tuerca ½”	384
Arandela circular metálica ½”	384
Arandela cuadrada 4X4cm - en neolite	384
Poliuretano - 1litro	8
Zuncho metálico Band it ® – ½” -100m	1

2. PIEZAS

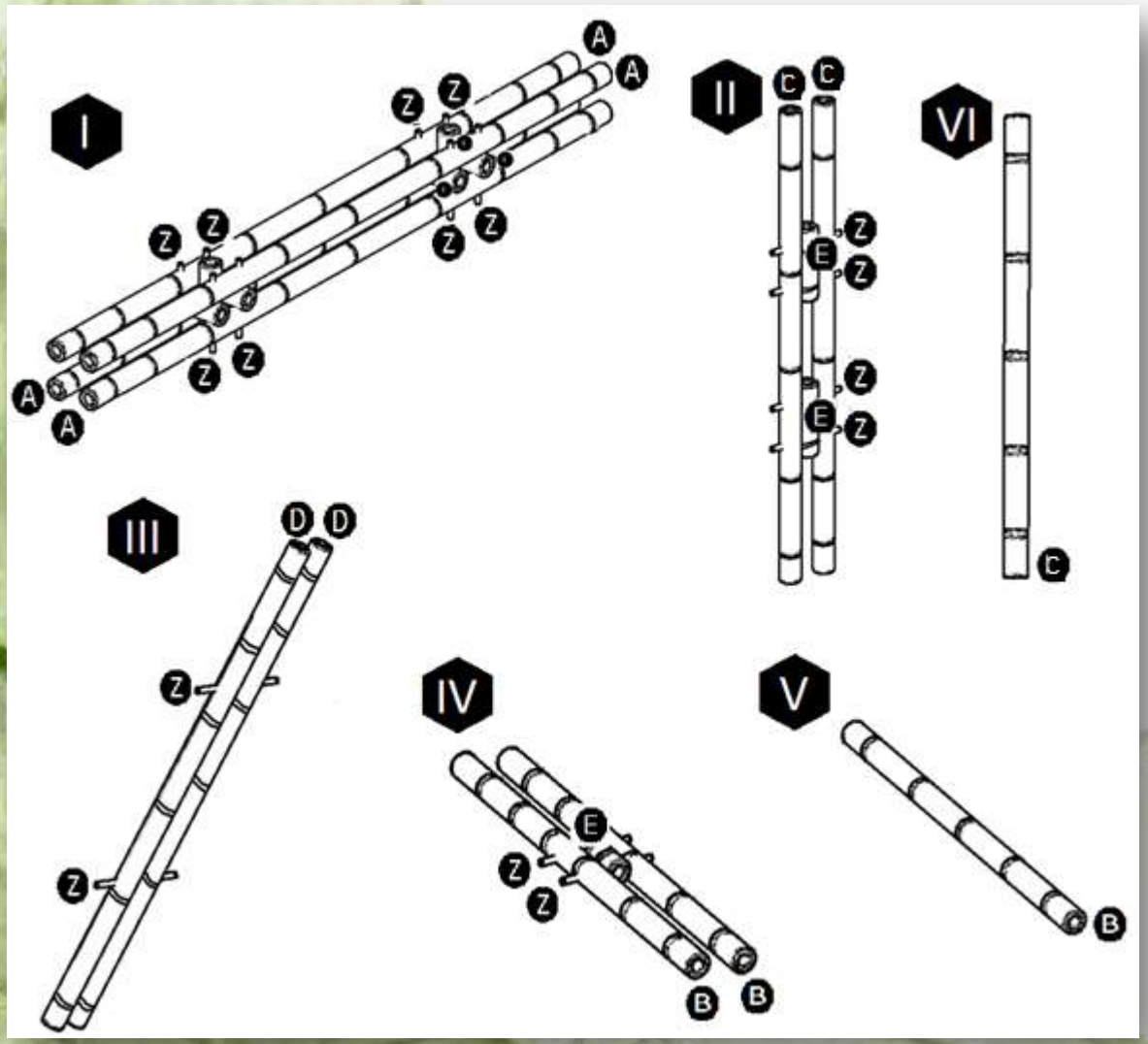




Asegurarse de que cada canuto de guadua deberá tener una distancia igual a 5cm entre el borde y el primer nudo (como lo muestra la figura).

Al conjunto del perno (long: 40cm – diám: 1/2”), tuerca ½”, arandela circular metálica y arandela cuadrada de neolite, se le denominará conector.

IDENTFICACION	NOMBRE DEL ELEMENTO	PIEZAS REQUERIDAS POR ELEMENTO	TOTAL PIEZAS REQUERIDAS
I	CORDON HORIZONTAL	A-4, Z-6, E-6	A-16, Z-24, E-24
II	ELEMENTO VERTICAL	C-2, Z-4- E-2	C-8, Z-16, E-8
III	DIAGONALES	D-2, Z-2	D-8, Z-8
IV	HORIZONTAL DEL MEDIO	B-2, Z-2, E-1	B-4, Z-4, E-2
V	VIGUETA SUPERIOR	B-1	B-4
VI	VIGUETA INFERIOR	B-1	B-8



NUMERO DE AYUDANTES

CANTIDAD DE PERSONAS QUE DEBEN TRABAJAR EN LA ACTIVIDAD

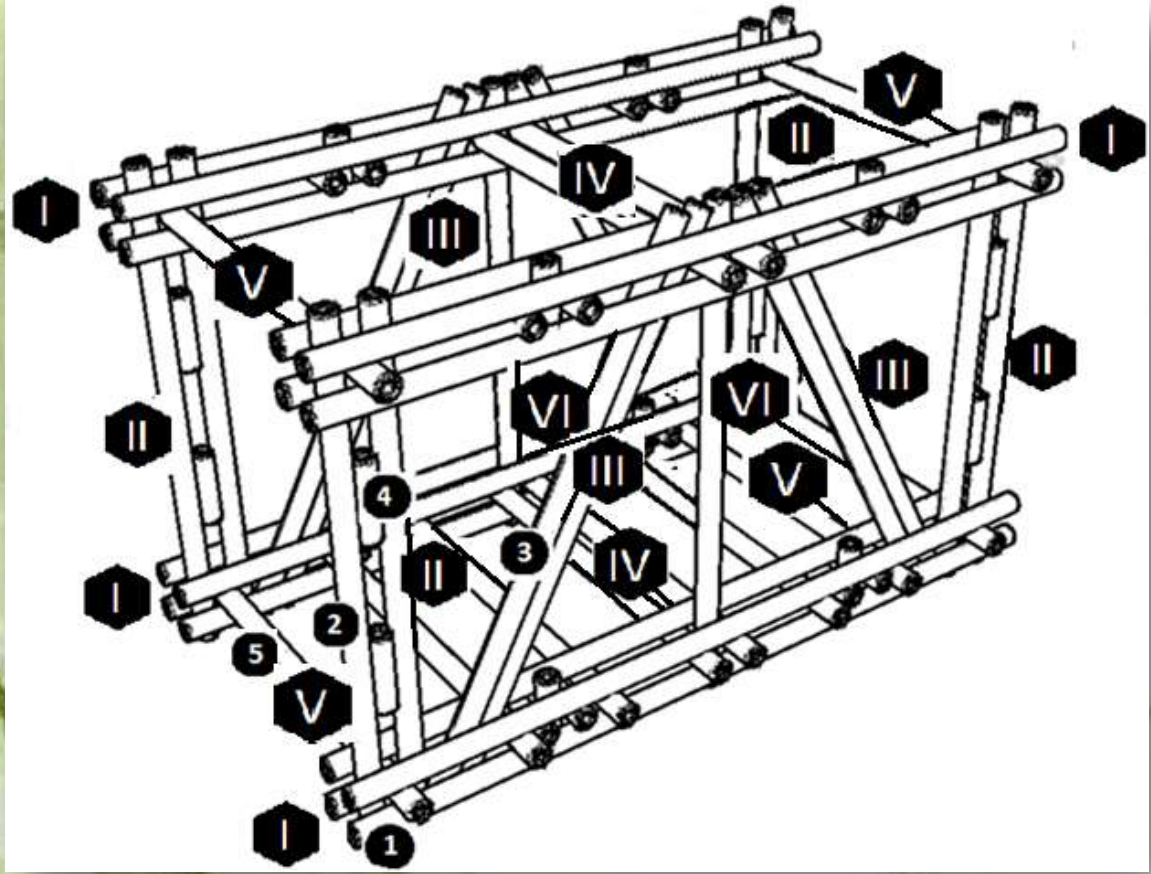
DETALLE

DEL PROCEDIMIENTO A SEGUIR

PIEZA

INDICA LA LETRA DE LA PIEZA

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN



PASOS

INDICA EL PASO EN EL QUE SE ENCUENTR ENCUENTRA

ELEMENTO

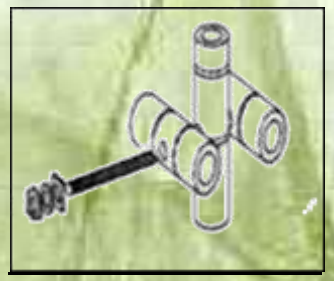
INDICA EL NUMERO ESCOGIDO PARA EL ELEMENTO

CANTIDAD

INDICA LA CANTIDAD DE PIEZAS, ELEMENTOS O PASOS REQUERIDOS

2.1. HERRAMIENTAS

Separadores:



Tal como se muestra en la figura los separadores irán conformados por tres elementos los cuales estarán unidos por un perno de ½"por 38cm de largo.

La herramienta recomendada para llevar a cabo la construcción del módulo será:

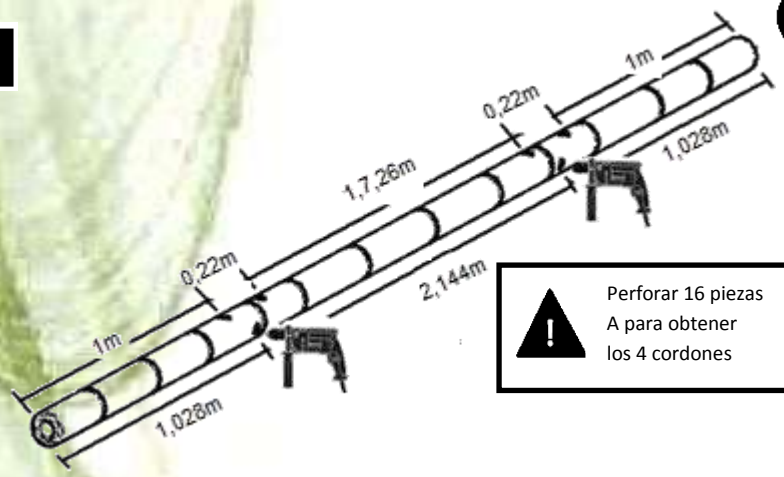
	Taladro percutor (½")	Llave fija (½")	Cinta métrica (5m)	Broca 40 cm (½")
CANTIDAD:	**1**	**4**	**4**	**2**

	Cortadora	Sierra circular	Zunchadora	Aplicador de Poliuretano
CANTIDAD:	**1**	**1**	**1**	**1**

2.2. PERFORACIÓN PRELIMINAR

1

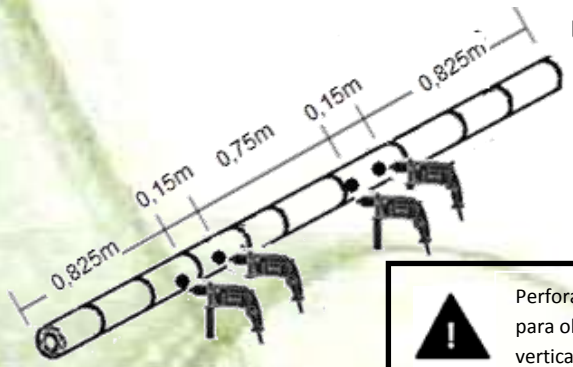
A



Perforar 16 piezas A para obtener los 4 cordones

2

B



Perforar 8 piezas B para obtener las 4 verticales

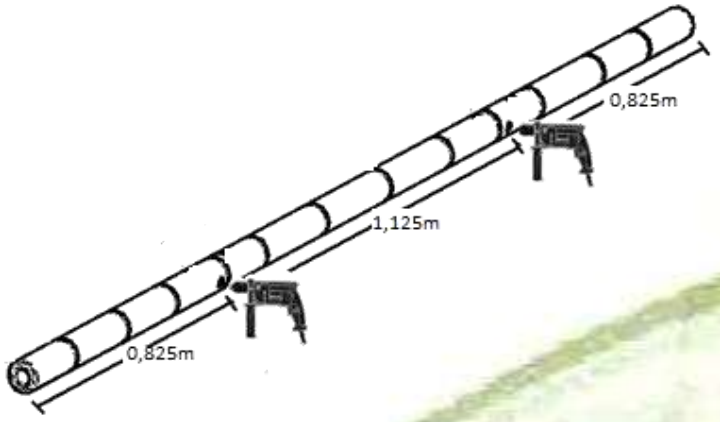
3

E

Perforar 34 piezas E necesarias para el módulo

4

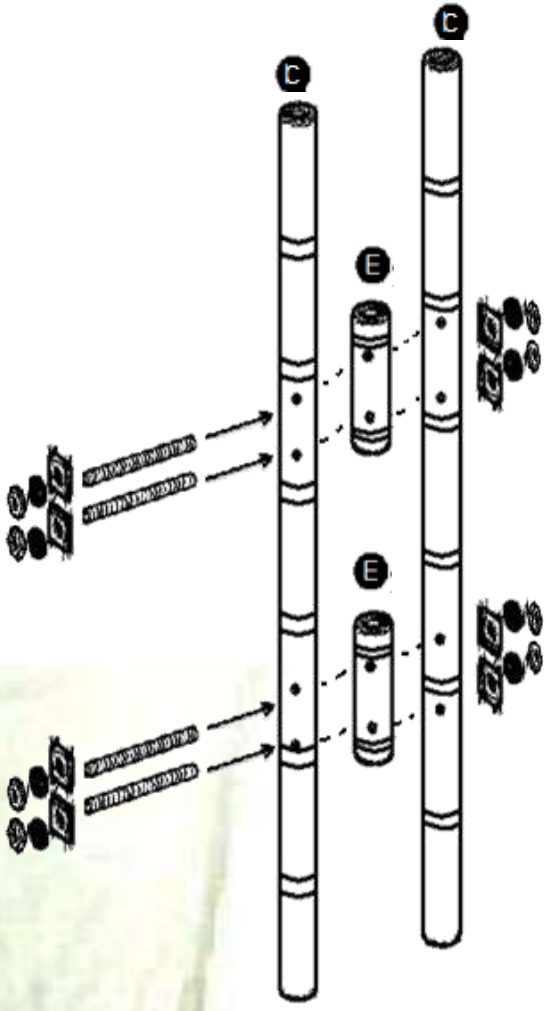
D

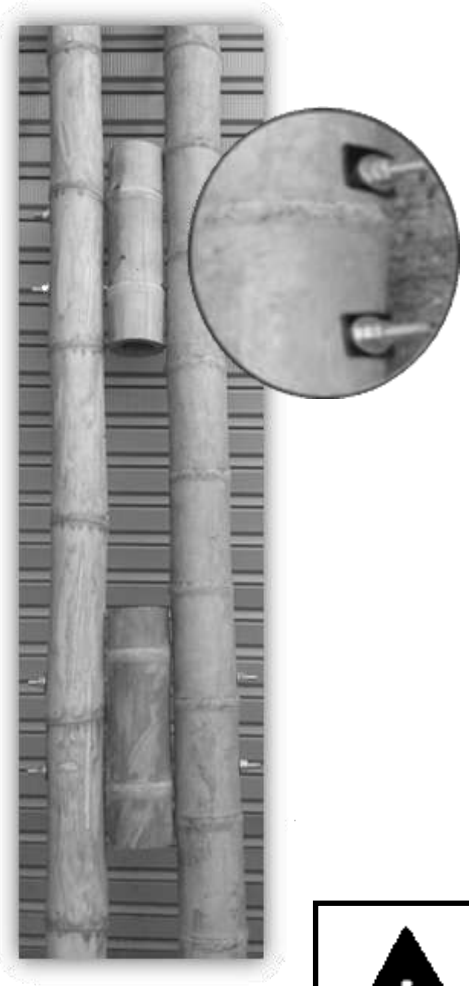


Perforar 8 piezas D para obtener las 4 diagonales

2.3. ARMADO DE ELEMENTOS VERTICALES

5 UTILIZAR DOS PIEZAS C Y UNA PIEZA E COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA, PARA ENSAMBLAR UN ELEMENTO II

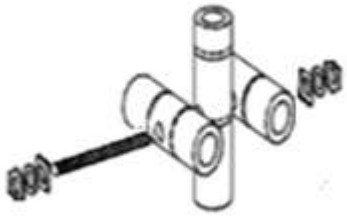




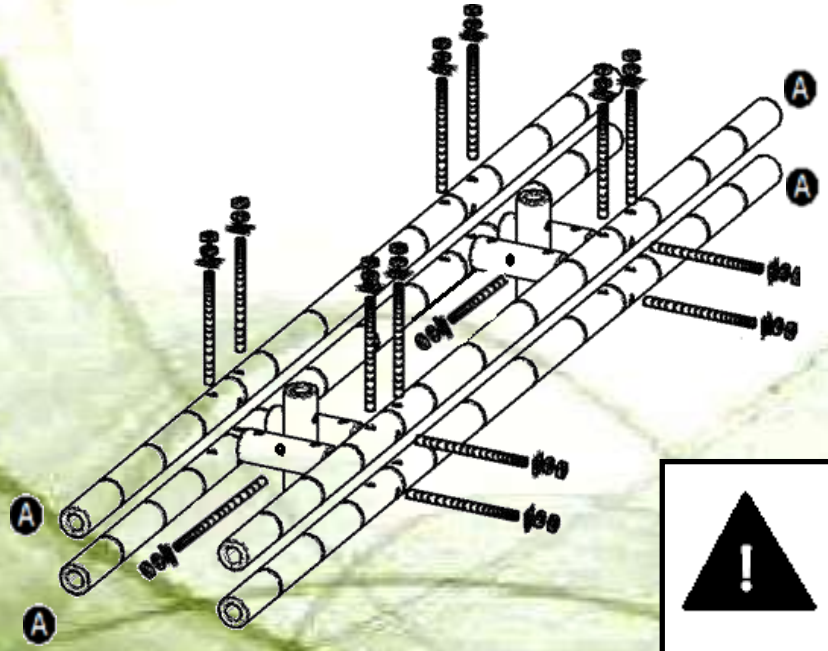
Se deben construir 4 elementos verticales para armar el módulo

2.4. ARMADO DE CORDONES PRINCIPALES

6 USAR TRES PIEZAS E COMO LO MUESTRA EL DETALLE, PARA PODER ENSAMBLAR EL SEPARADOR.

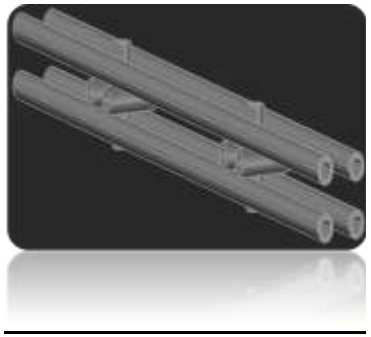


7 LUEGO ENSAMBLE LOS DOS SEPARADORES CON CUATRO PIEZAS A COMO LO MUESTRA LA FIGURA



Se deben construir 8 separadores para armar los 4 cordones

Cordón:

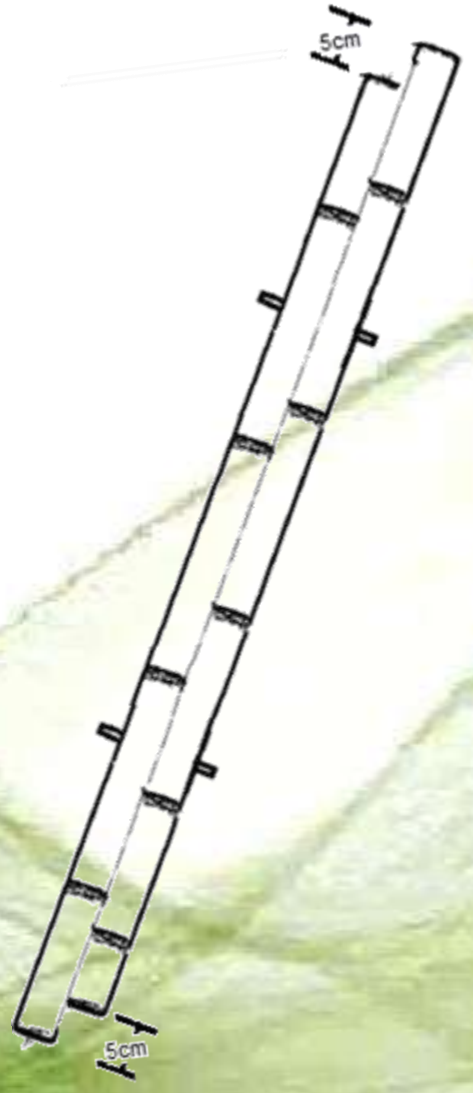


Tal como se muestra en la figura los cordones estarán conformados por cuatro guaduas de 4.20m y dos separadores, los cuales Irán unidos por pernos de ½"de diámetro, por 38cm de largo.

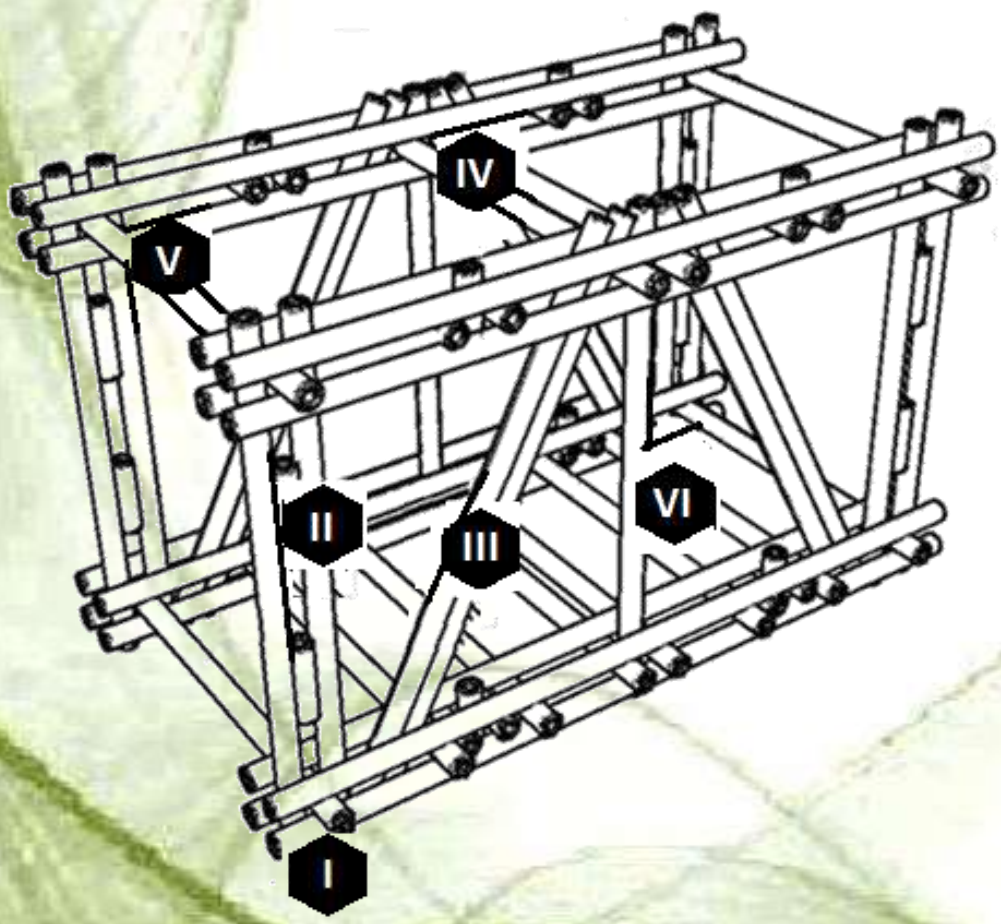
2.5. ARMADO DE ELEMENTOS DIAGONALES

8 PERFORE DOS PIEZAS D COMO SE INDICA EN LA FIGURA

9 ASEGURESE QUE LAS PIEZAS QUEDEN RECTAS Y CON UN DESFASE DE 5cm COMO SE INDICA EN LA FIGURA



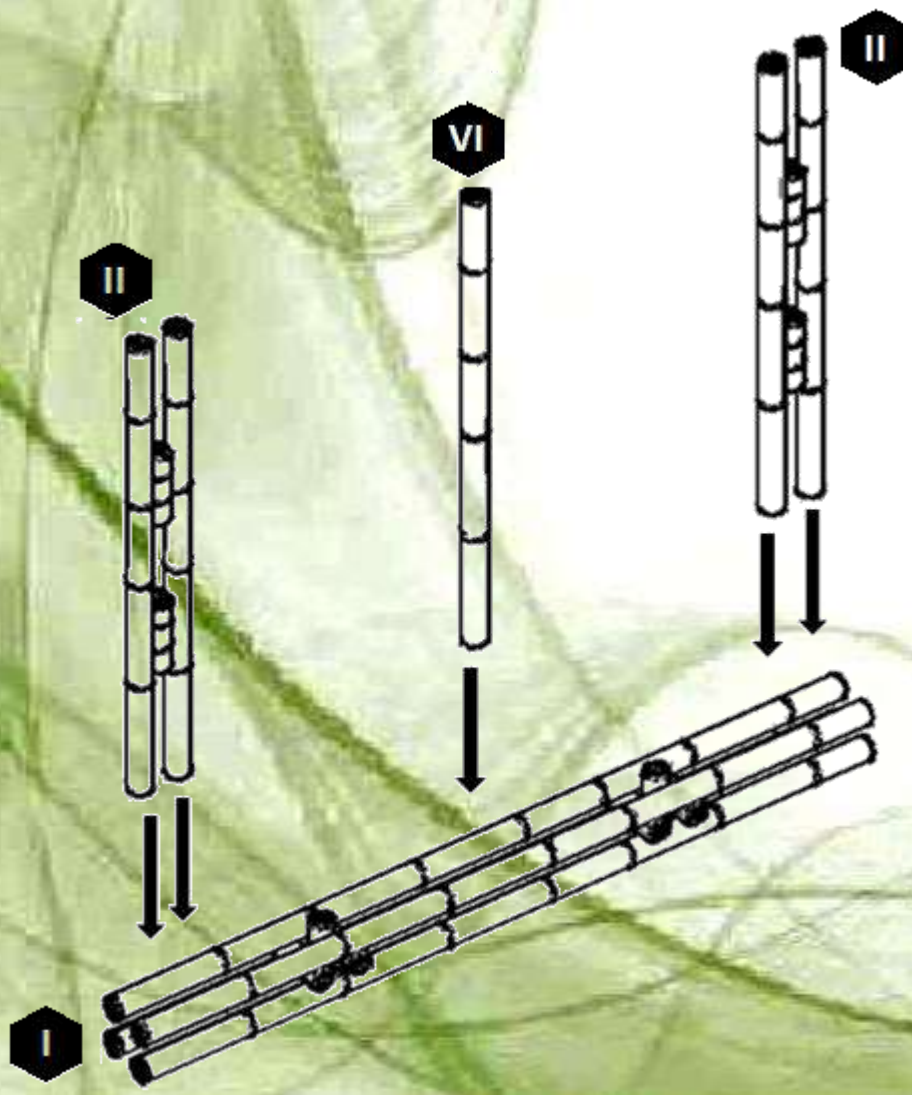
2.6. UBICACIÓN DE ELEMENTOS EN EL MODULO



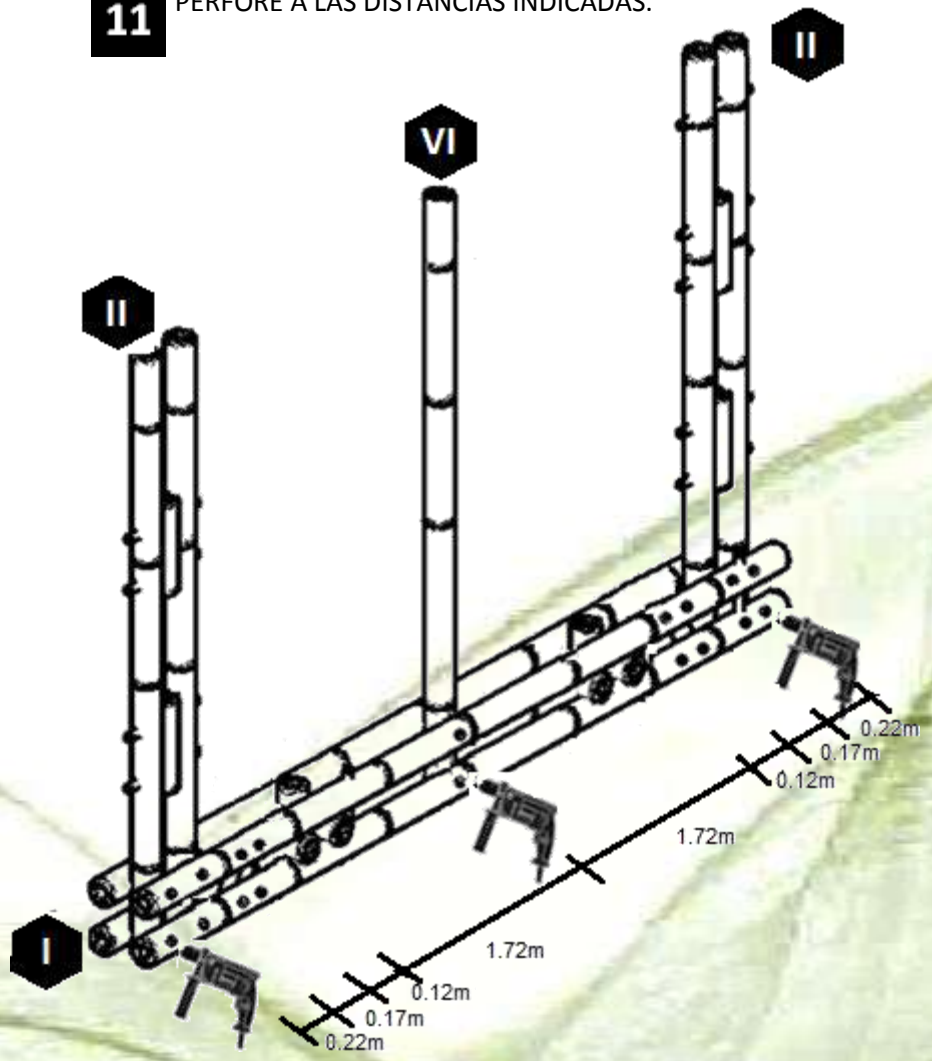
- I CORDON HORIZONTAL
- II ELEMENTO VERTICAL
- III ELEMENTO DIAGONAL
- IV VIGUETA DE ARRIOSTRAMIENTO
- V VIGUETA SENCILLA SUPERIOR
- VI ELEMENTO VERTICAL SENCILLO

2.7. ENSAMBLADO DE FASE 1

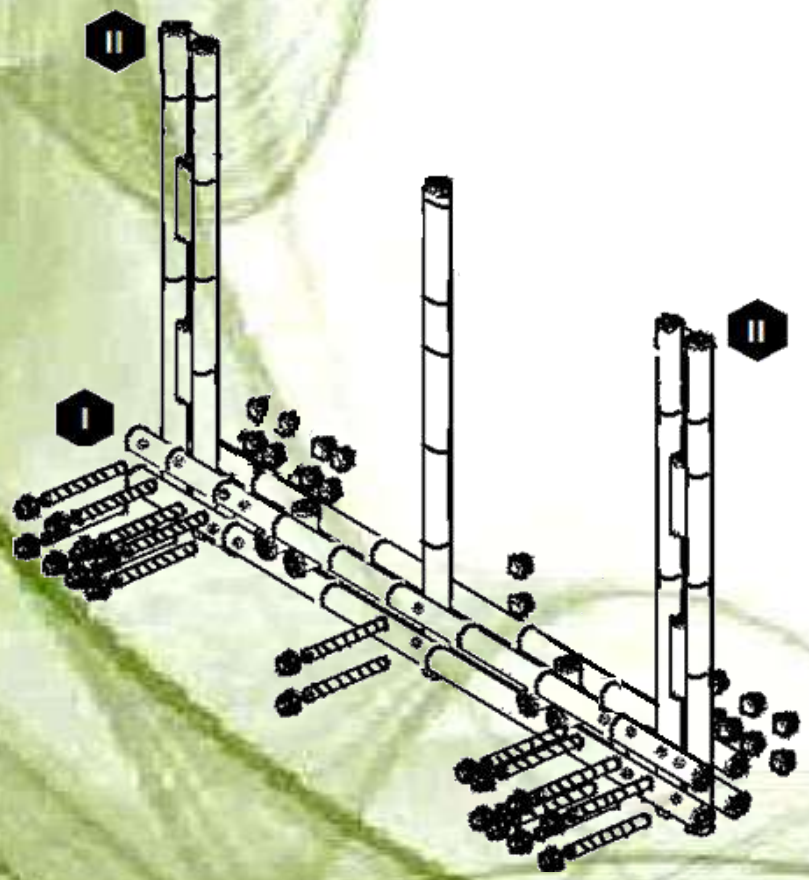
10 ENSAMBLE AL ELEMENTO I DOS ELEMENTOS II Y UN ELEMENTO VI COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA



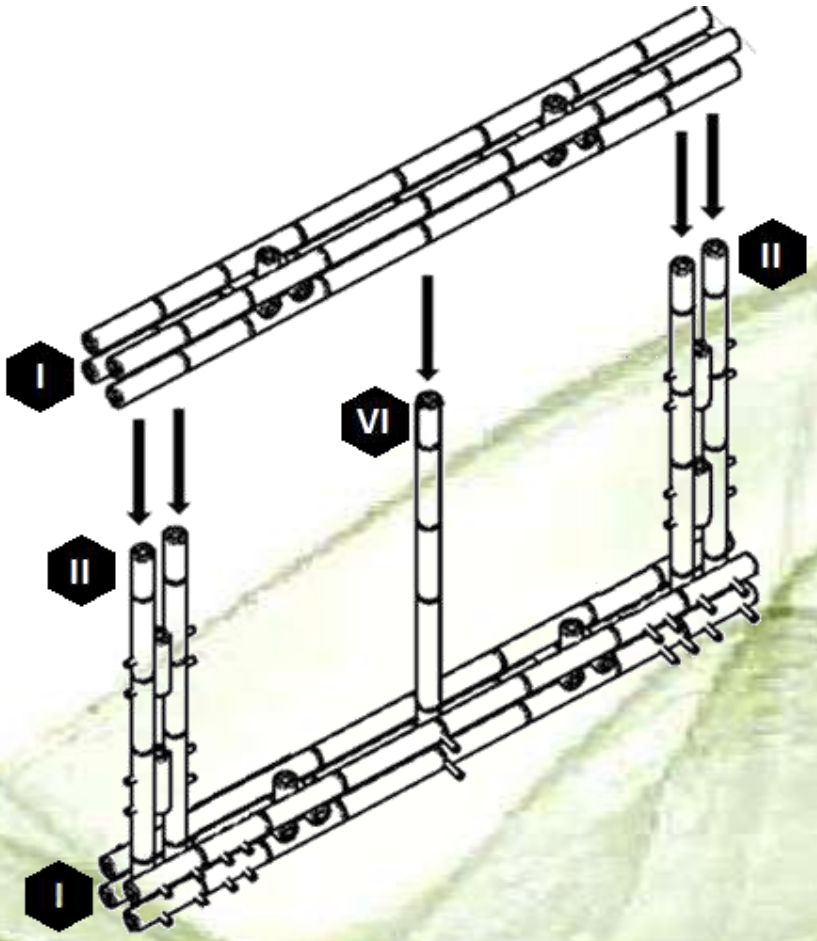
11 PERFORE A LAS DISTANCIAS INDICADAS.



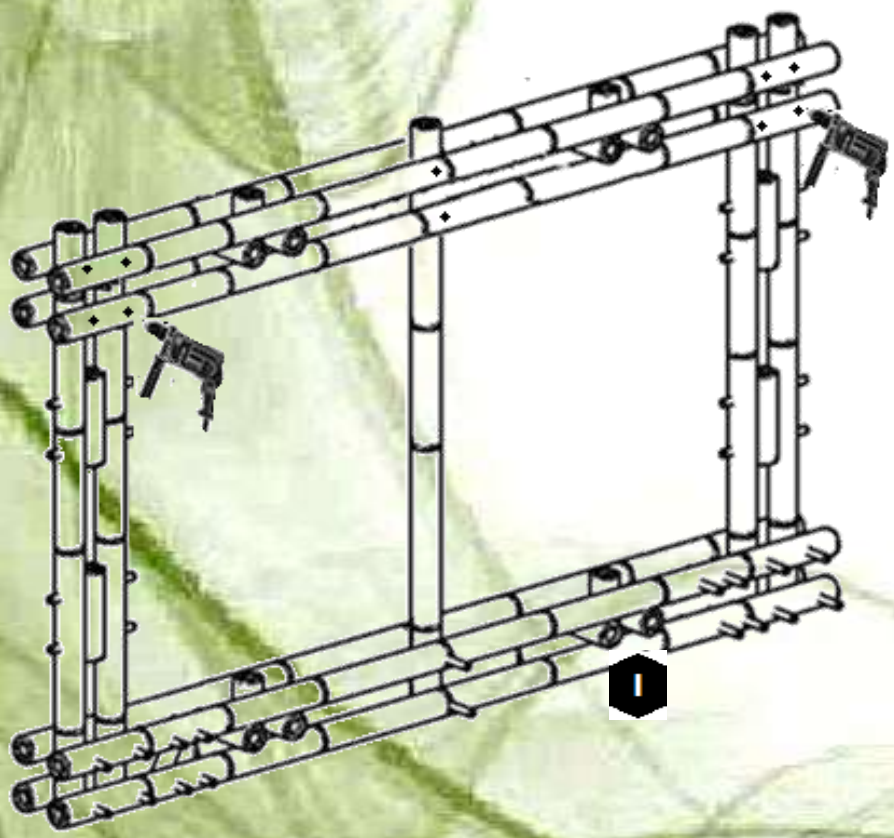
12 COLOQUE LOS PERNOS DE ½” EN LOS AGUJEROS REALIZADOS CON SU RESPECTIVAS TUERCAS METÁLICAS, EN NEOLITE Y LAS ARANDELAS.



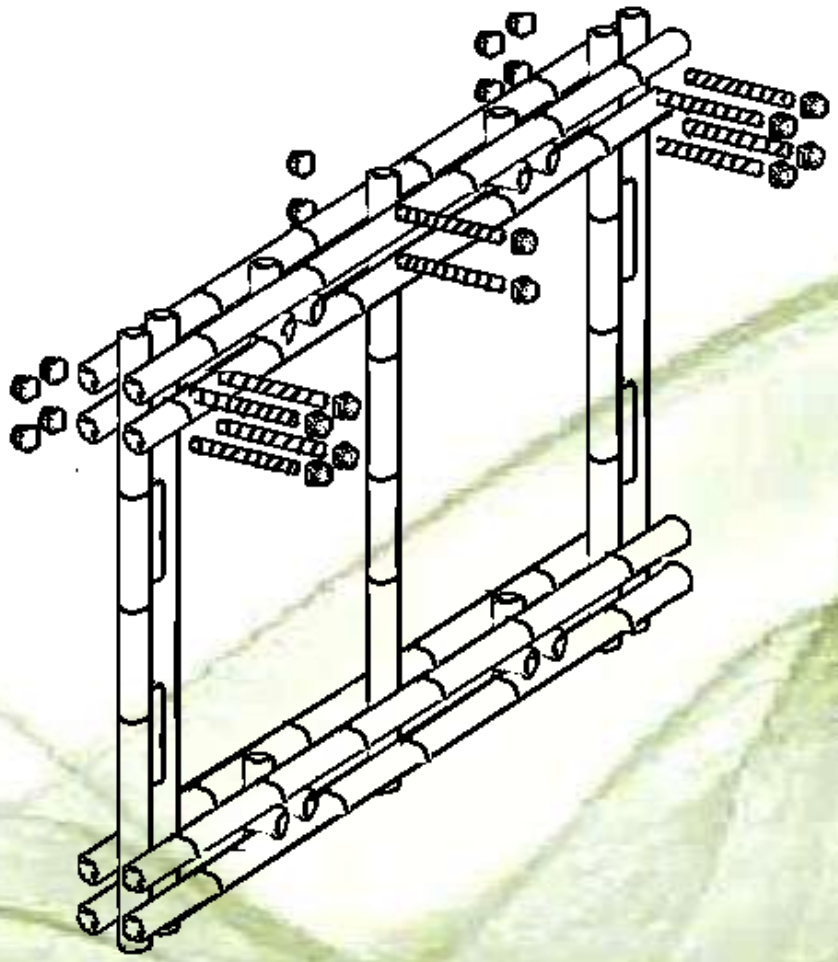
13 COLOQUE SOBRE EL CONJUNTO ANTERIOR UN ELEMENTO I



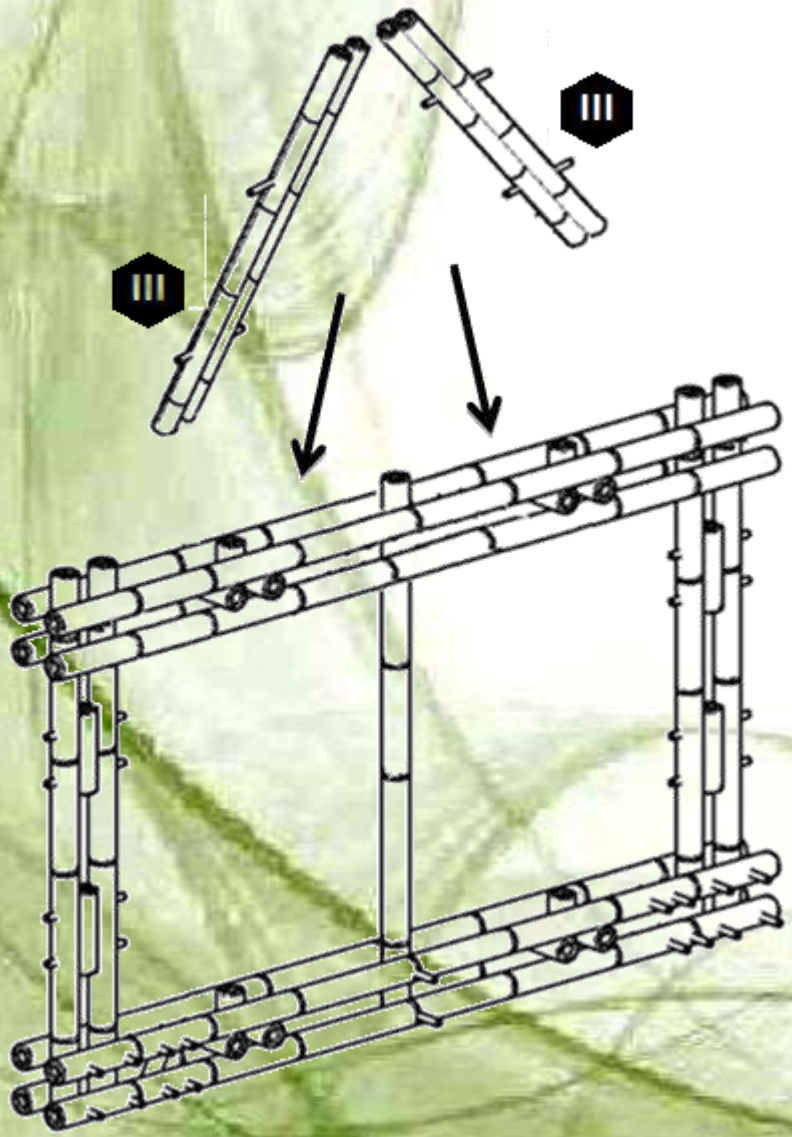
14 PERFORE EL ELEMNTO I COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA



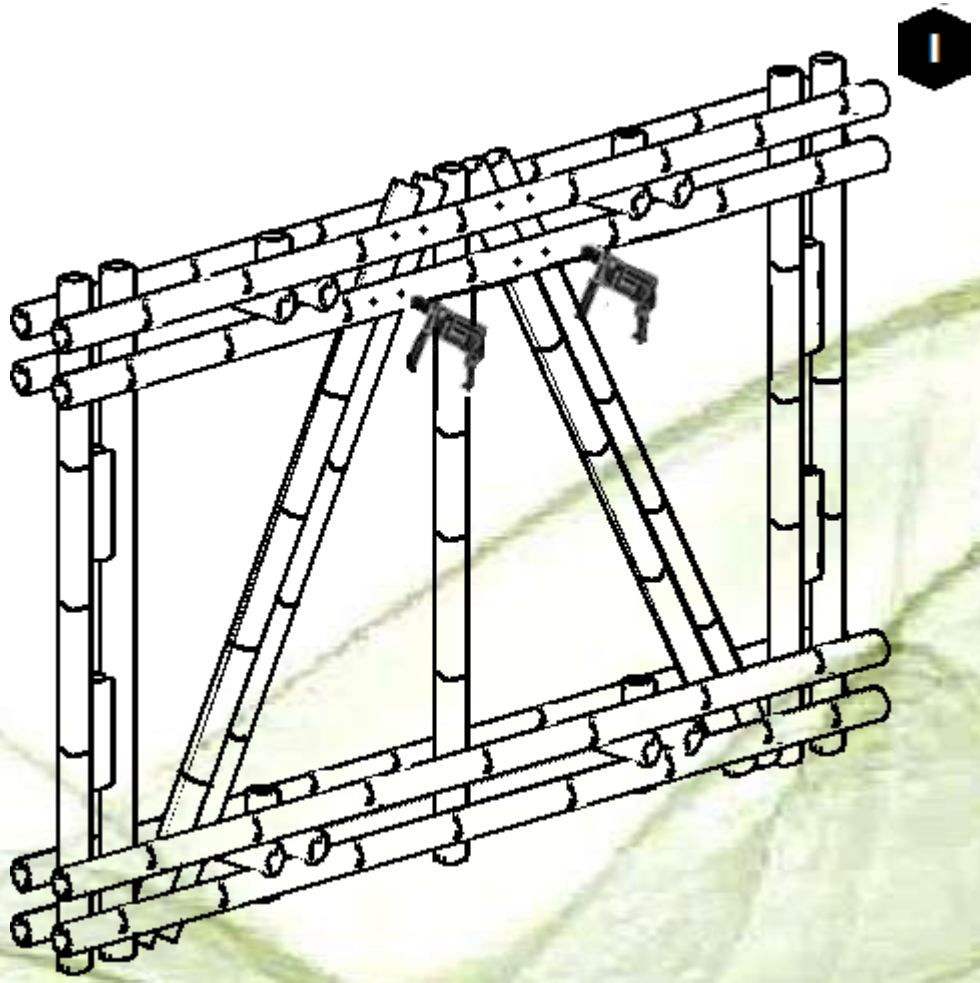
15 COLOQUE LOS PERNOS DE ½” EN LAS PERFORACIONES REALIZADAS EN EL PASO ANTERIOR.



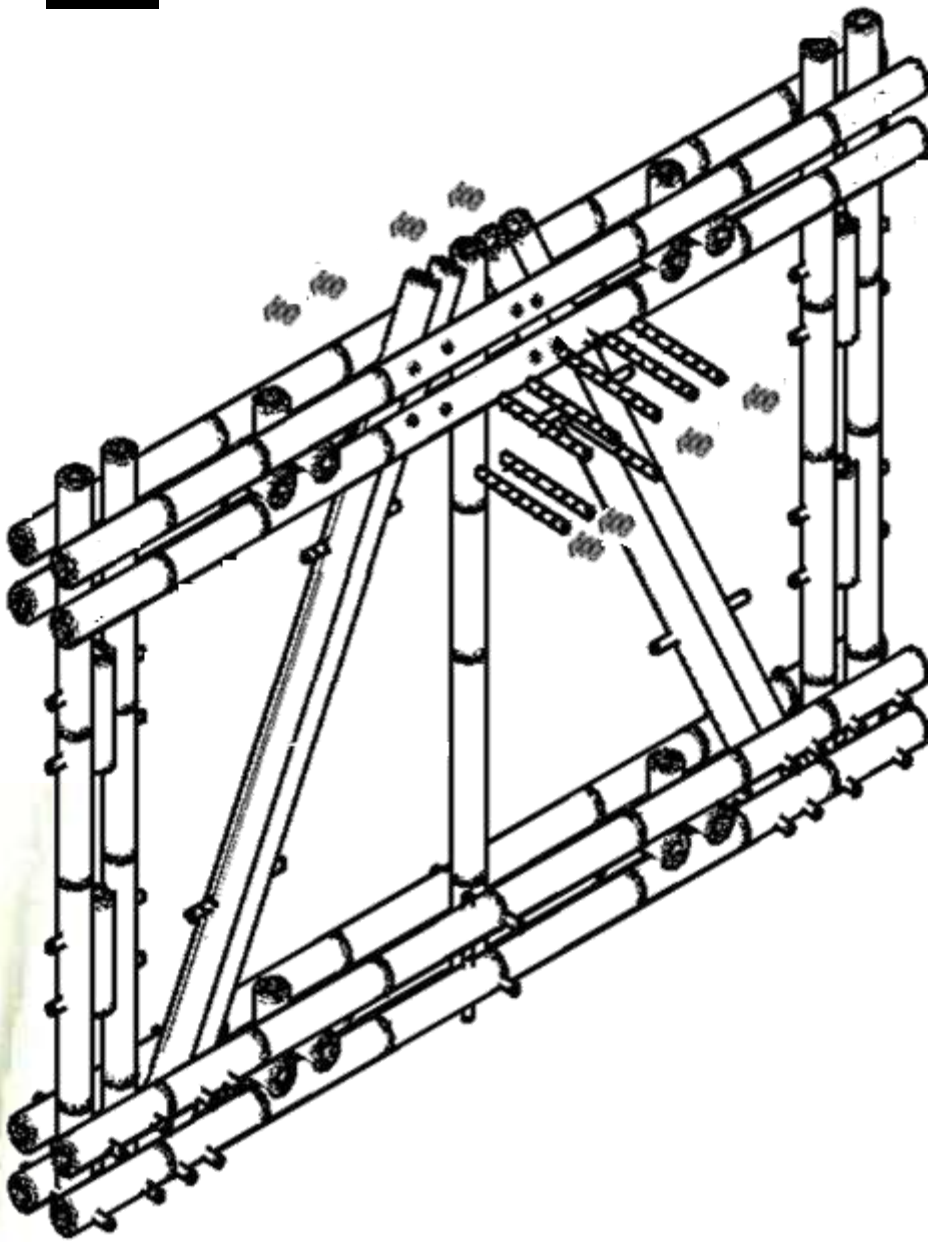
16 COLOQUE DOS ELEMENTOS III COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA.



17 PERFORE EL ELEMENTO I COMO LE MUESTRA A CONTINUACIÓN



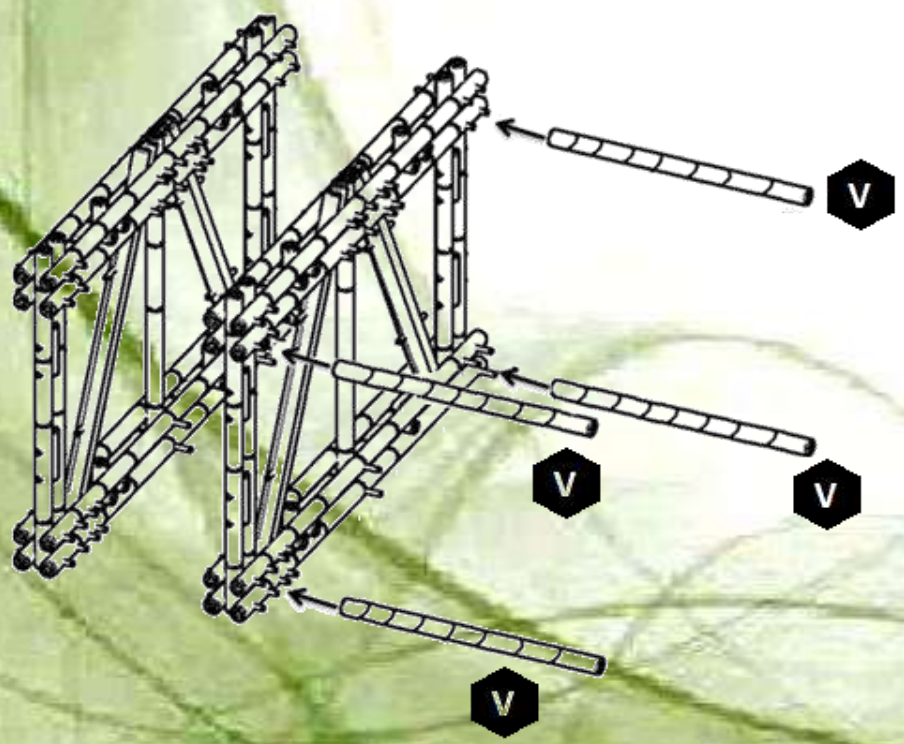
18 COLOQUE PERONOS DE ½” EN LAS PERFORACIONES REALIZADAS



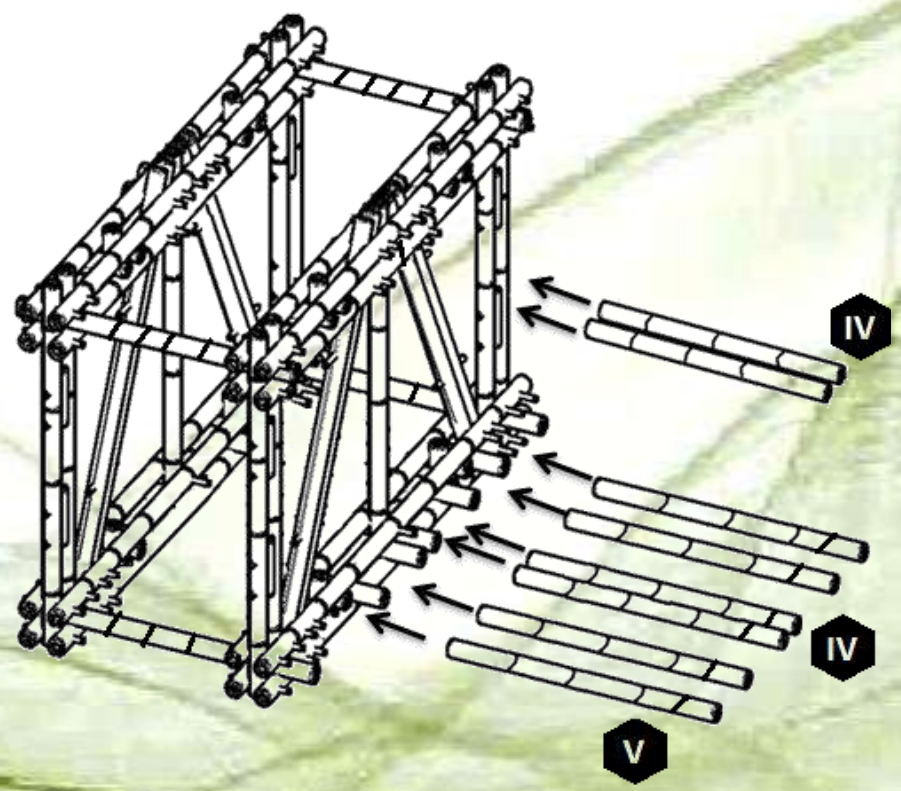
2.8. ENSAMBLADO DE FASE 2

La segunda parte del armado principal del módulo consiste en unir los elementos mostrados en el punto anterior por medio de viguetas (guaduas de 2,70m) las cuales generan estabilidad en el mismo. En la figura se muestra el ensamble completo del módulo sin realizar el proceso de pernado final.

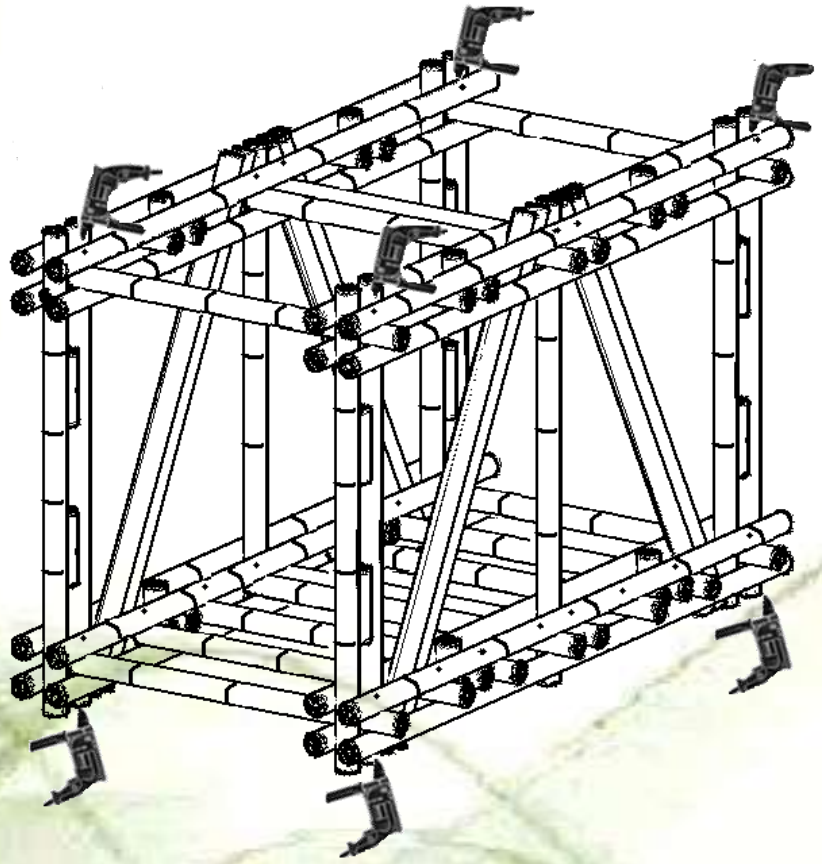
19 COLOQUE CUATRO PIEZAS V COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA



20 COLOQUE OCHO PIEZAS IV CON SE MUESTRA EN LA FIGURA



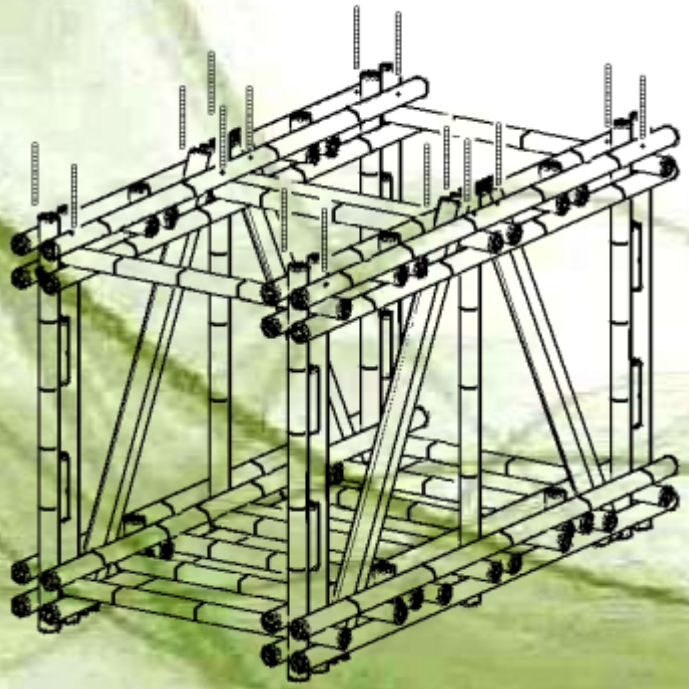
21 PERFORAR TODOS LAS PIEZAS COLOCADAS EN LOS PUNTOS ANTERIORES, COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA



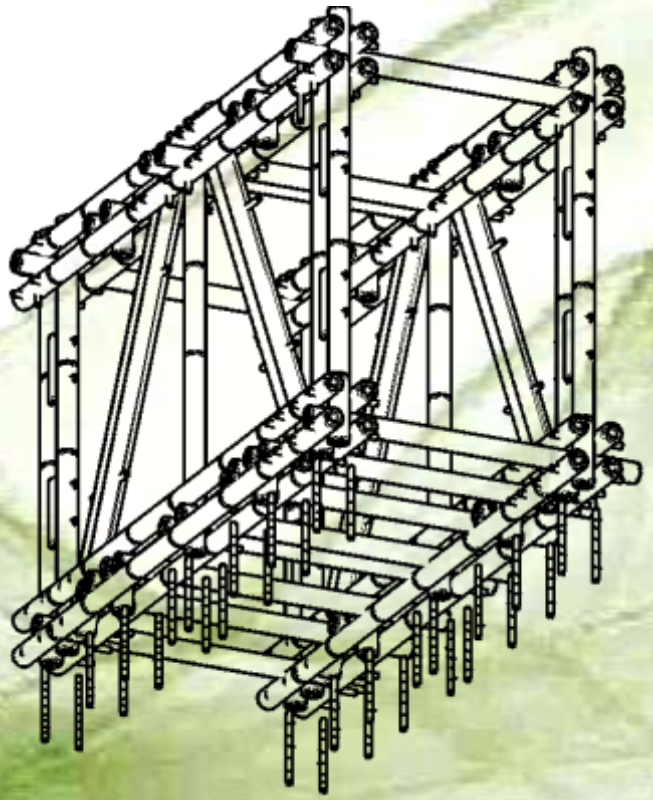
2.9. COLOCACIÓN FINAL DE PERNOS

Luego de haber realizado el ensamble es necesario realizar un último proceso de pernado con el cual se desea asegurar que el módulo estará estable y podrá trabajar según lo establecido. Para la ubicación de los pernos es necesario observar los planos incluidos en el anexo, donde se especifican las distancias y la cantidad de pernos requeridos.

22 ASEGURE LOS PERNOS DE LA PARTE SUPERIOR DEL MODULO



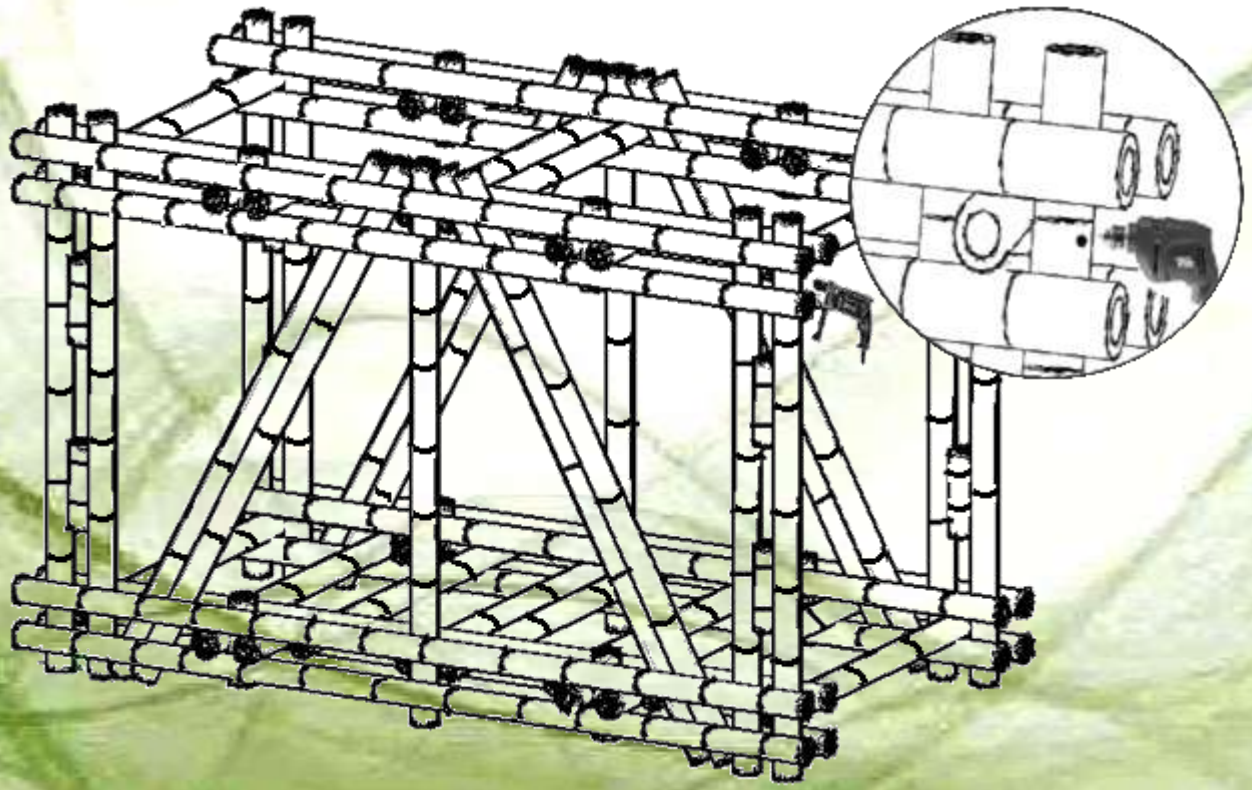
23 ASEGURE LOS PERNOS DE LA PARTE IFENRIOR DEL MODULO



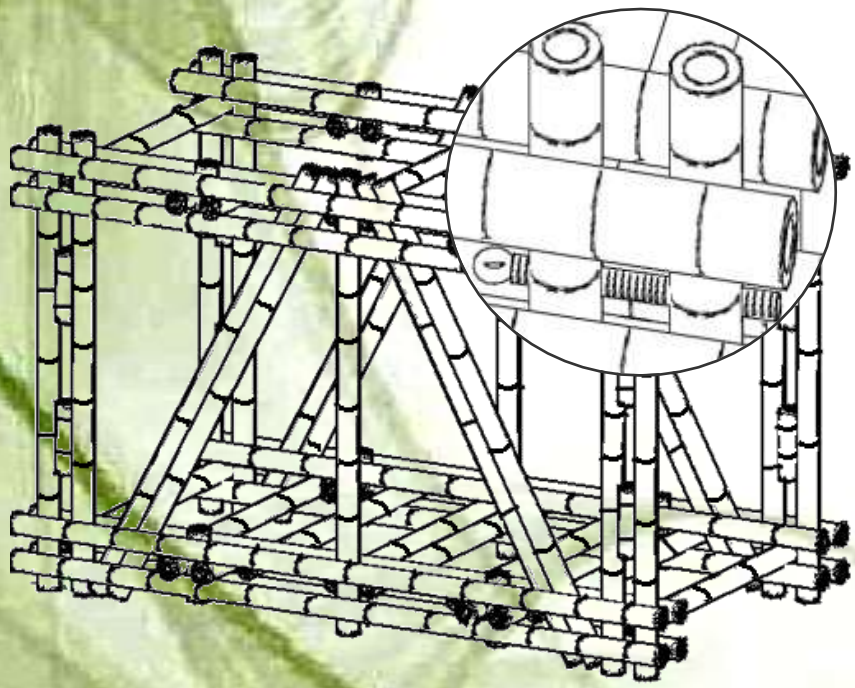
2.10. COLOCACIÓN DE CABLE TRENZADO

Para finalizar el módulo será necesario colocar un cable trenzado (guaya) que servirá como elemento de tensión y arriostramiento, permitiendo al módulo tener bajas posibilidades de alcanzar la falla debido a tensiones.

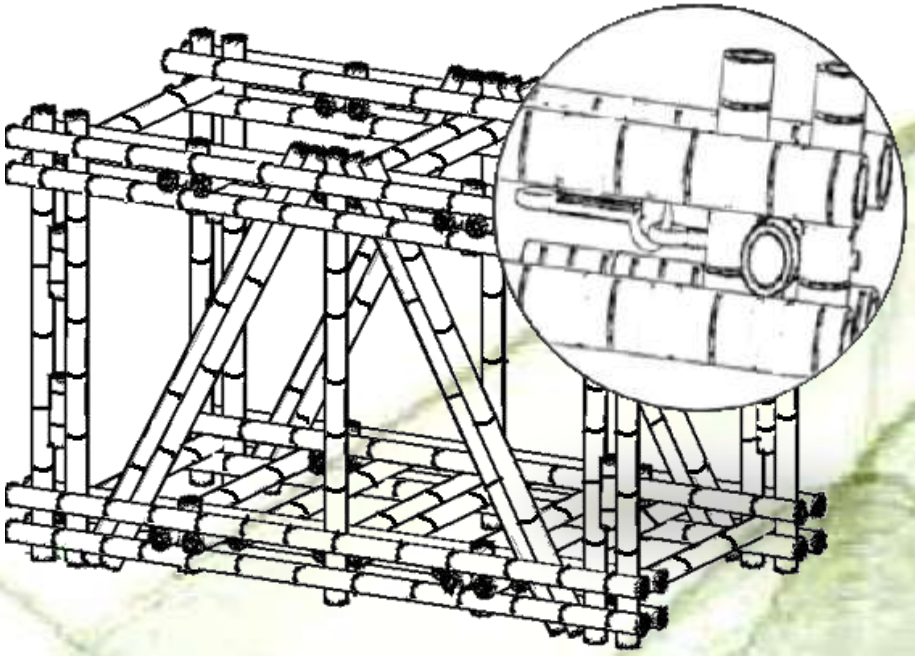
24 PERFORAR LOS ELEMENTOS VERTICALES DE TAL FORMA QUE ATRAVIESE LA VIGUETA SUPERIOR



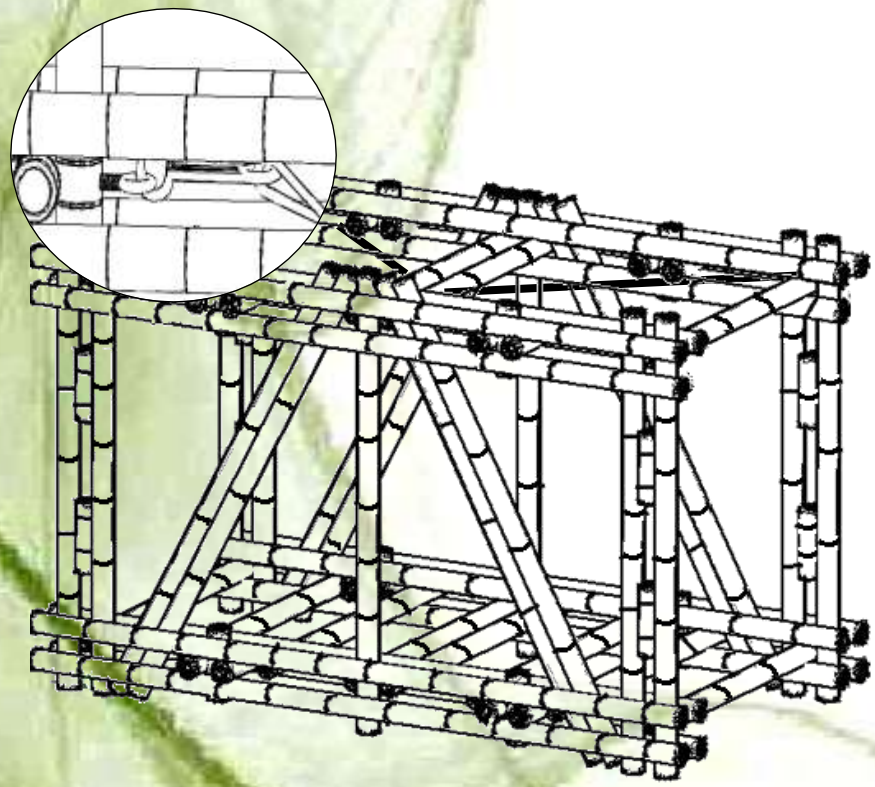
25 COLOQUE EL PERNO DE OJO EN LA PERFORACIÓN Y ASEGURE CON NEOLITE, ARANDELA Y TUERCA



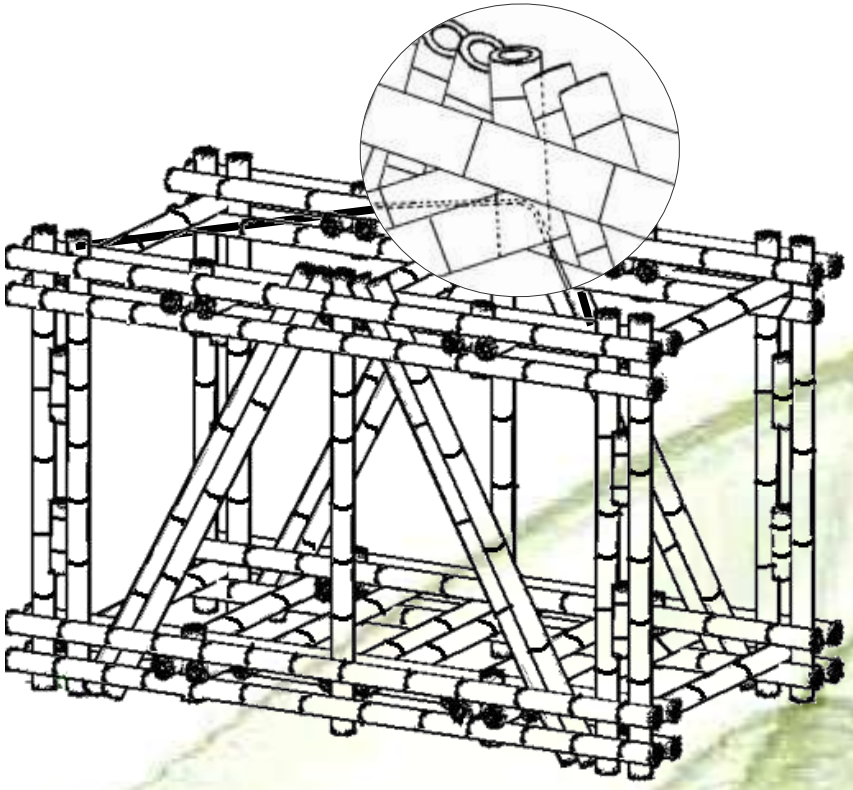
26 COLOQUE EN EL OJO DEL PERNO UN TENSOR OJO-GANCHO DE CABLE DE ½”



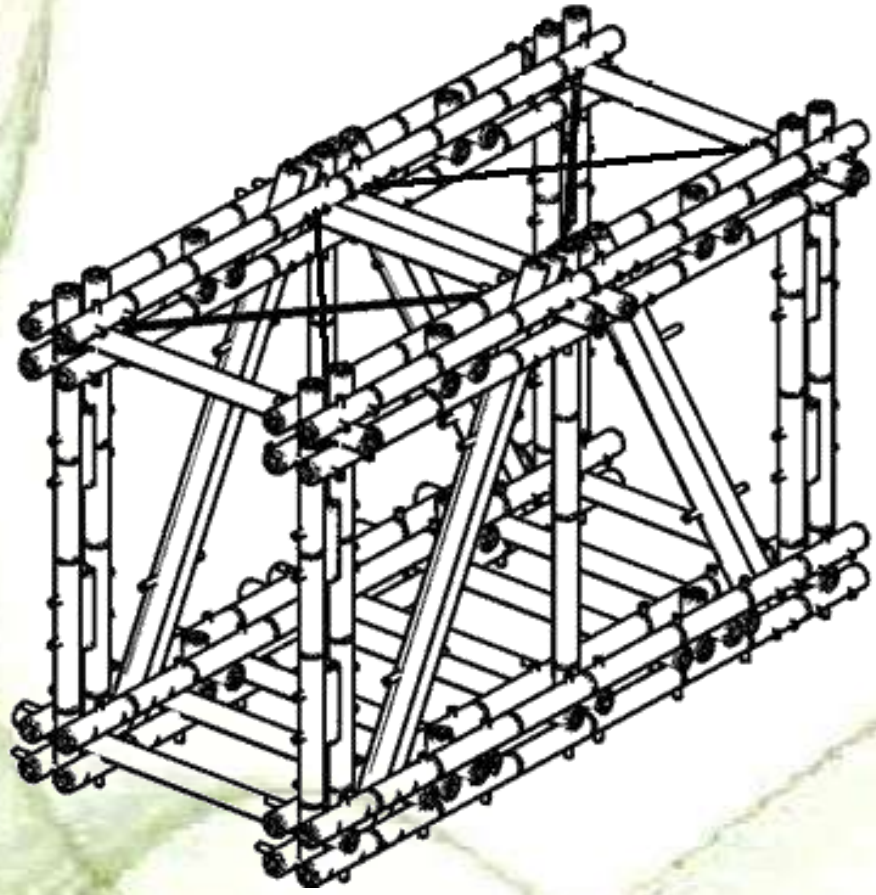
27 PASAR EL CABLE TRENAZADO POR EL OJO DEL TENSOR Y ASEGURELO CON UN PERRO COMO SE MUESTRA A CONTINUACIÓN



28 PASAR EL CABLE TRENZADO POR DETRÁS DEL ELEMENTO VERTICAL DEL CENTRO Y LLEVAR HASTA EL EXTREMO PARA ASEGURARLO EN EL OTRO PERNO DE OJO



REPETIR EL PROCESO PARA EL LADO RESTANTE, ASEGURANDO QUE EL CABLE TRENZADO QUEDE BIEN TENSADO



PROCESO DE RELLENO

Para asegurar que no se presenten fallas por aplastamiento, se debe realizar el siguiente proceso de relleno en las guaduas que se encuentren en el borde y además tengan un perno atravesándola.

Perforar la guadua con la broca.

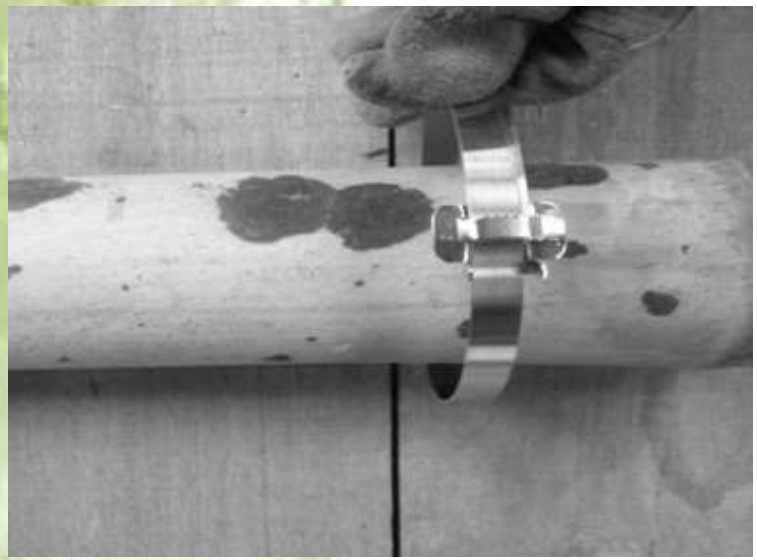
Cortar trozos de guadua que sean de tamaño inferior a la perforación.

Meter los trozos de guadua en la perforación realizada previamente.

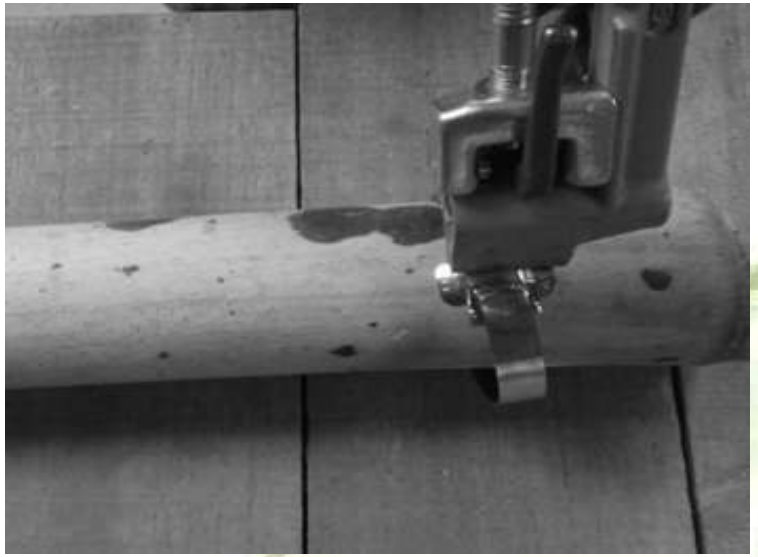
Inyectar con la pistola el poliuretano en el agujero realizado en la perforación.

Tapar con un corcho (puede ser de balso) el agujero y sostener durante 2 minutos.

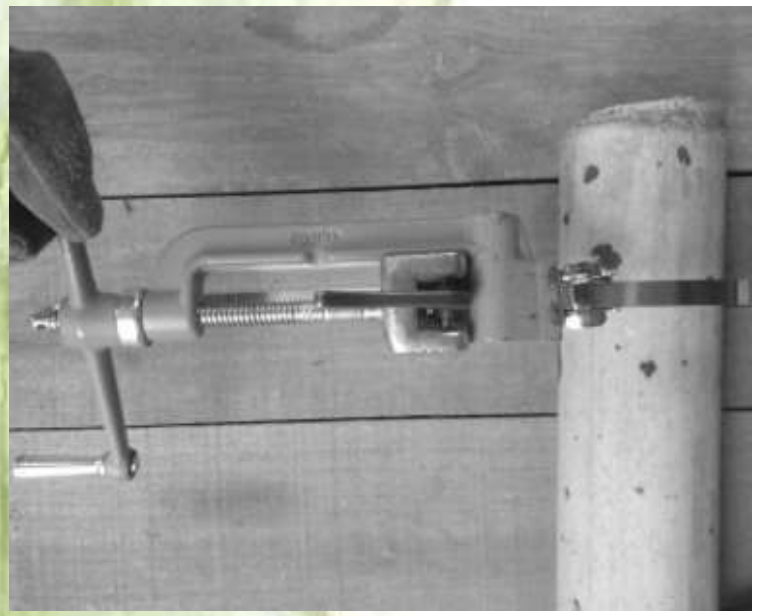
2.11. PROCESO DE ZUNCHADO



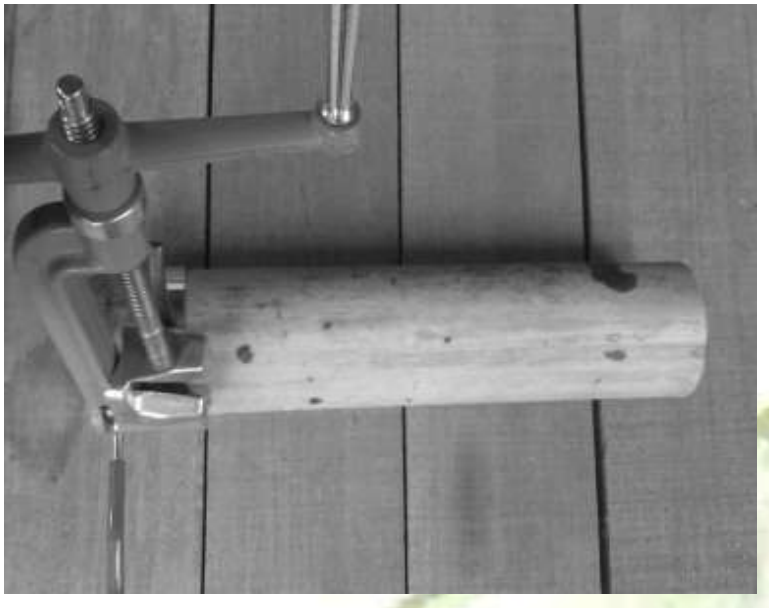
Inserte la cinta por la hebilla, los dientes del gancho van hacia el usuario, las orejas hacia arriba. Para un mejor resultado, continuar la banda alrededor del objeto de nuevo través de la hebilla. Doble el fin de la banda en la hebilla



Empujar el mango así que la banda se puede colocar en las ranuras de la herramienta. Empujar la nariz de la herramienta contra la hebilla



Coloque un dedo en el puente de la hebilla y aplicar tensión de mango giratorio

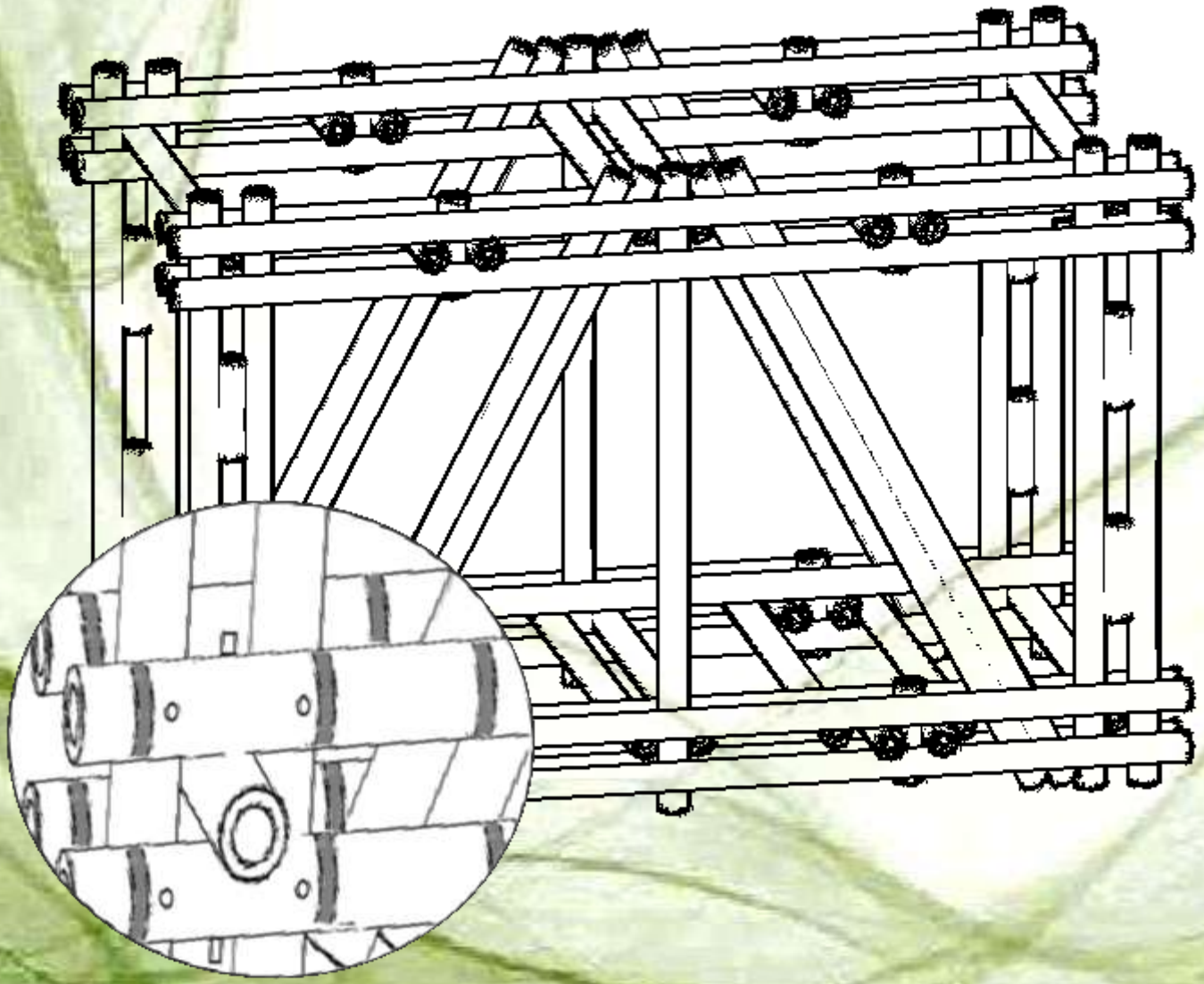


Al alcanzar la tensión deseada, pivotar la herramienta sobre la hebilla. Este movimiento aumenta la tensión de la banda y, para evitar roturas, el mango debe reservarse un poco.

Tire el mango del cortador para cortar la banda.

Martillar las orejas hacia abajo para sellar la banda.

Los zunchos deben ir ubicados como se muestra en la siguiente figura:



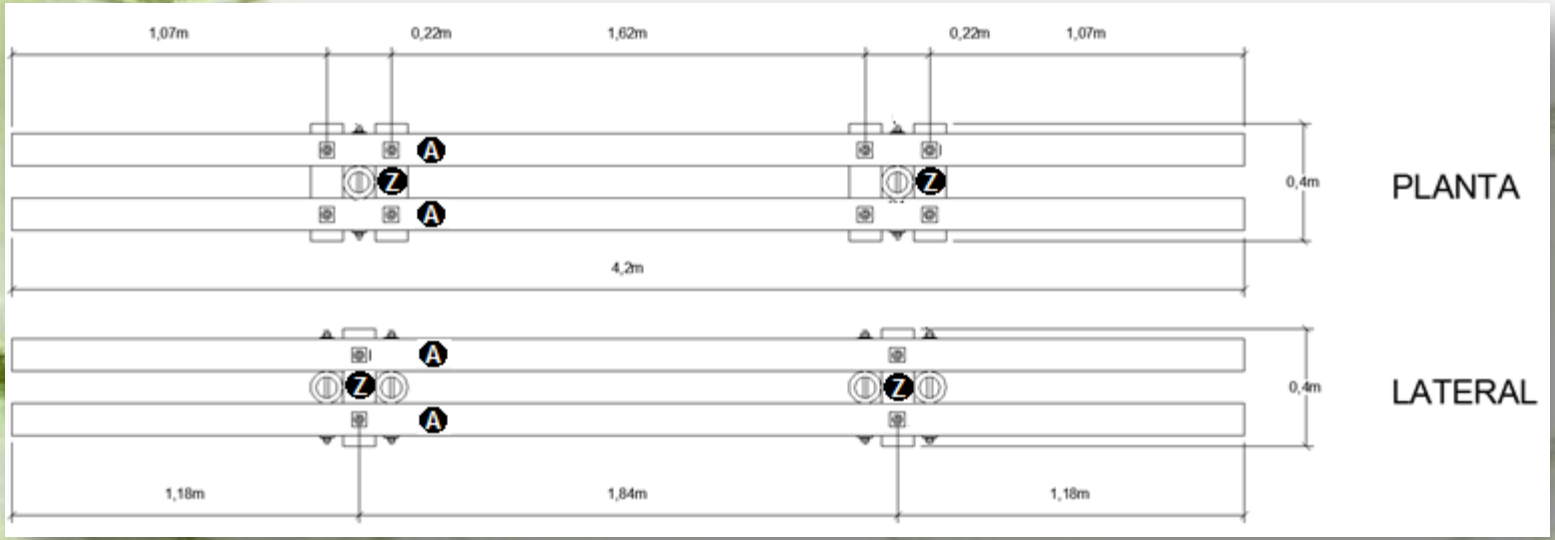
3. RECOMENDACIONES

Para la correcta construcción del módulo se recomienda:

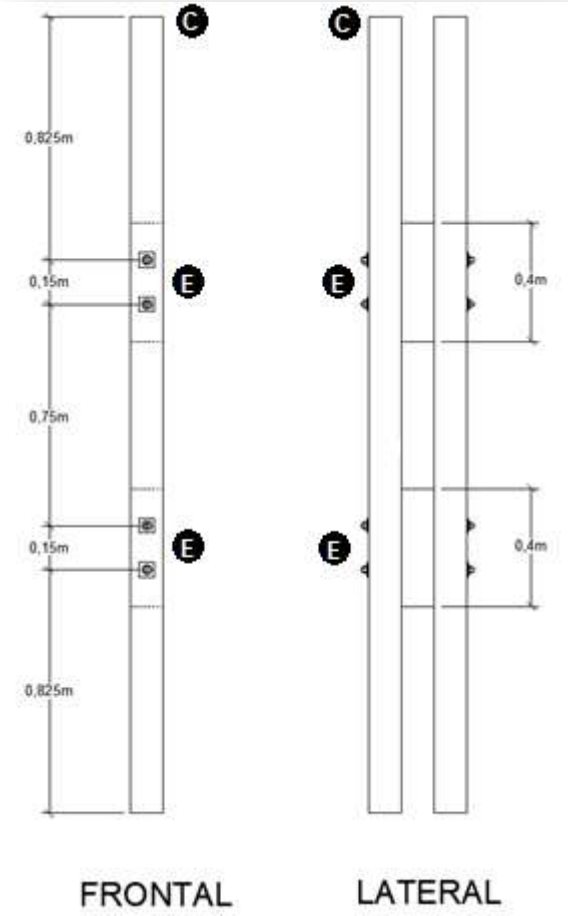
1. Despejar y nivelar el espacio donde se vaya a realizar la construcción del módulo.
2. Generar un espacio de almacenamiento de la guadua donde esta quede alejada del suelo y donde no tenga contacto con el sol o la lluvia.
3. Disponer de al menos una persona que conozca el sector de la construcción.
4. Contar con toda la herramienta necesaria para la construcción del mismo (taladro de ½”, broca de 9/16”, llaves fijas, entre otras).
5. Para agilizar el proceso constructivo sería importante tener cortados los pernos según medidas.

3.1. ANEXOS

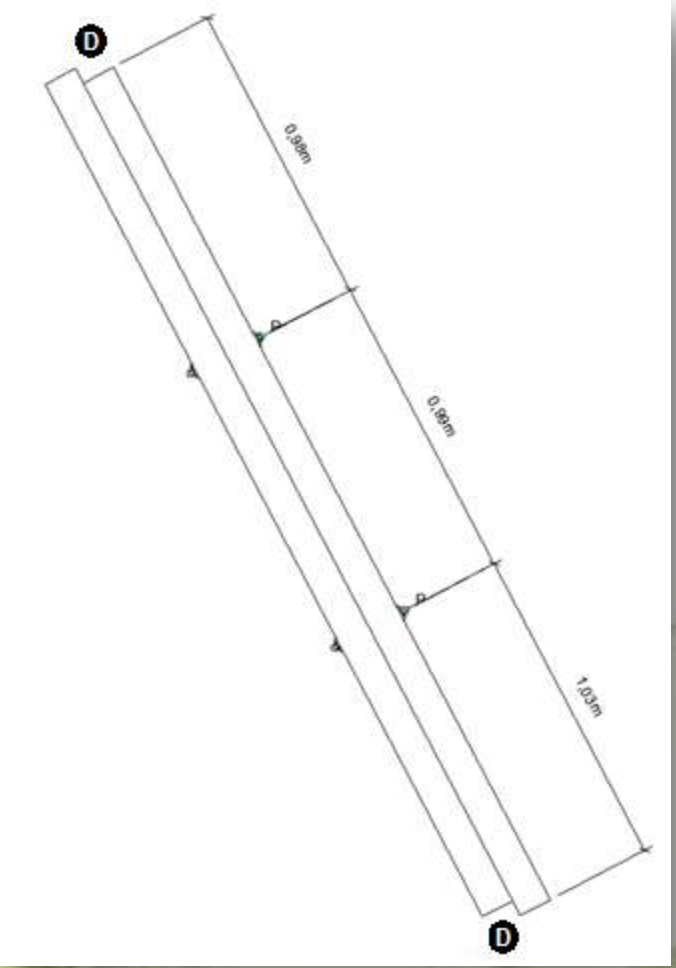
Anexo No.1 "Elemento I Superior (plano 1)"



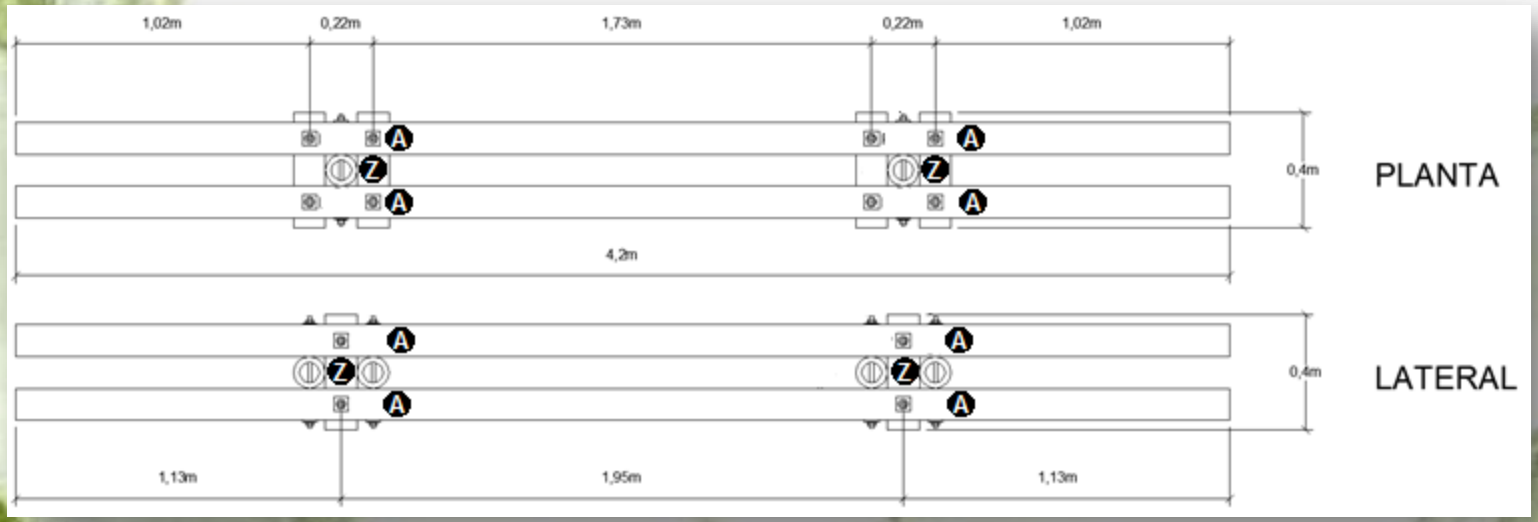
Anexo No.2.2 "Elemento (plano 2)"



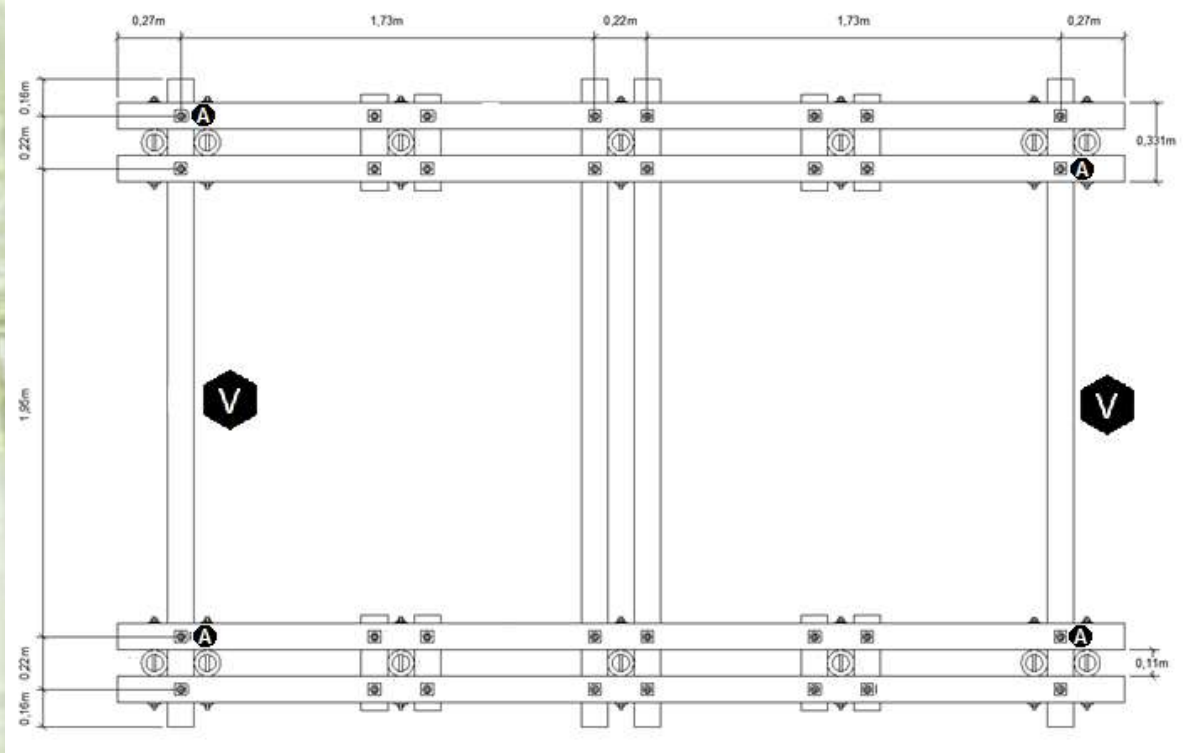
Anexo No.3 “Elemento (plano 3)”



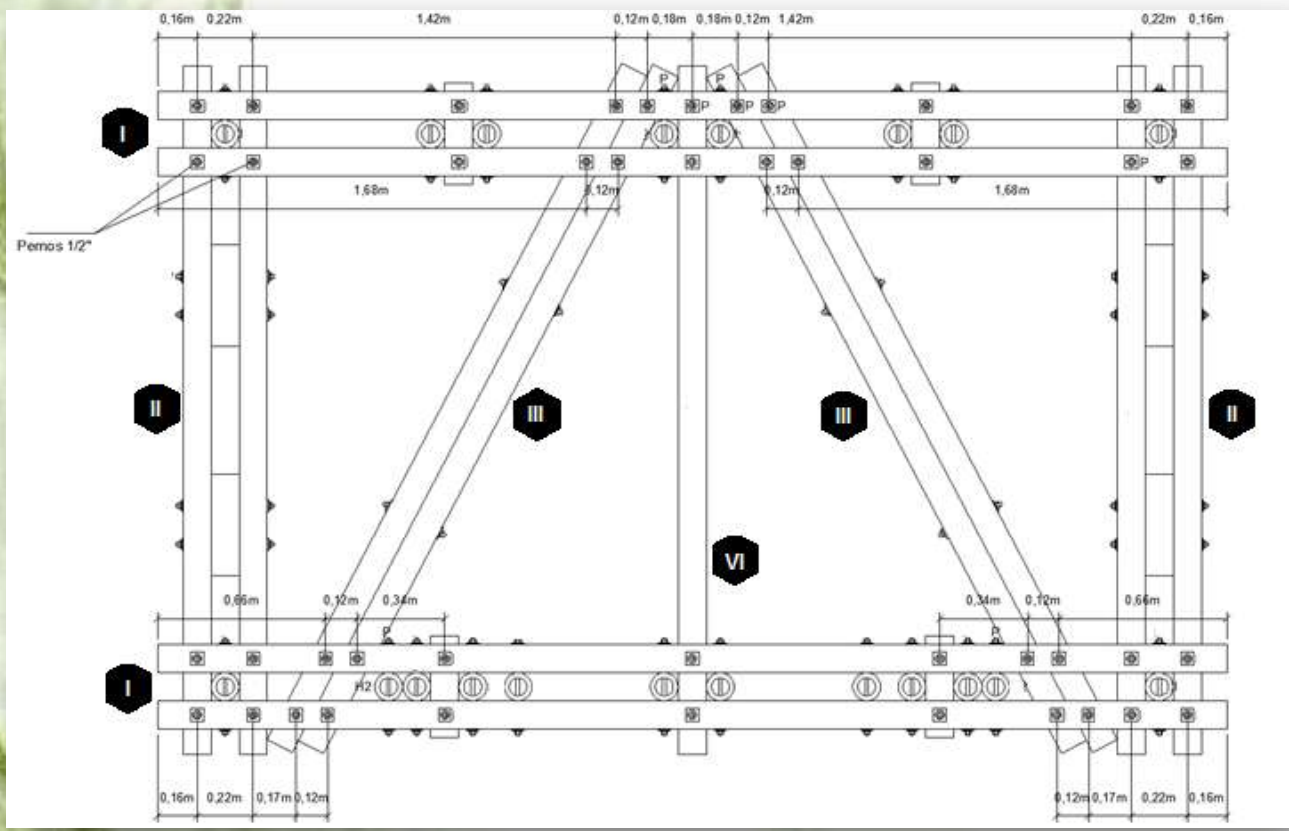
Anexo No.2.4 "Cordón Inferior (plano 4)"



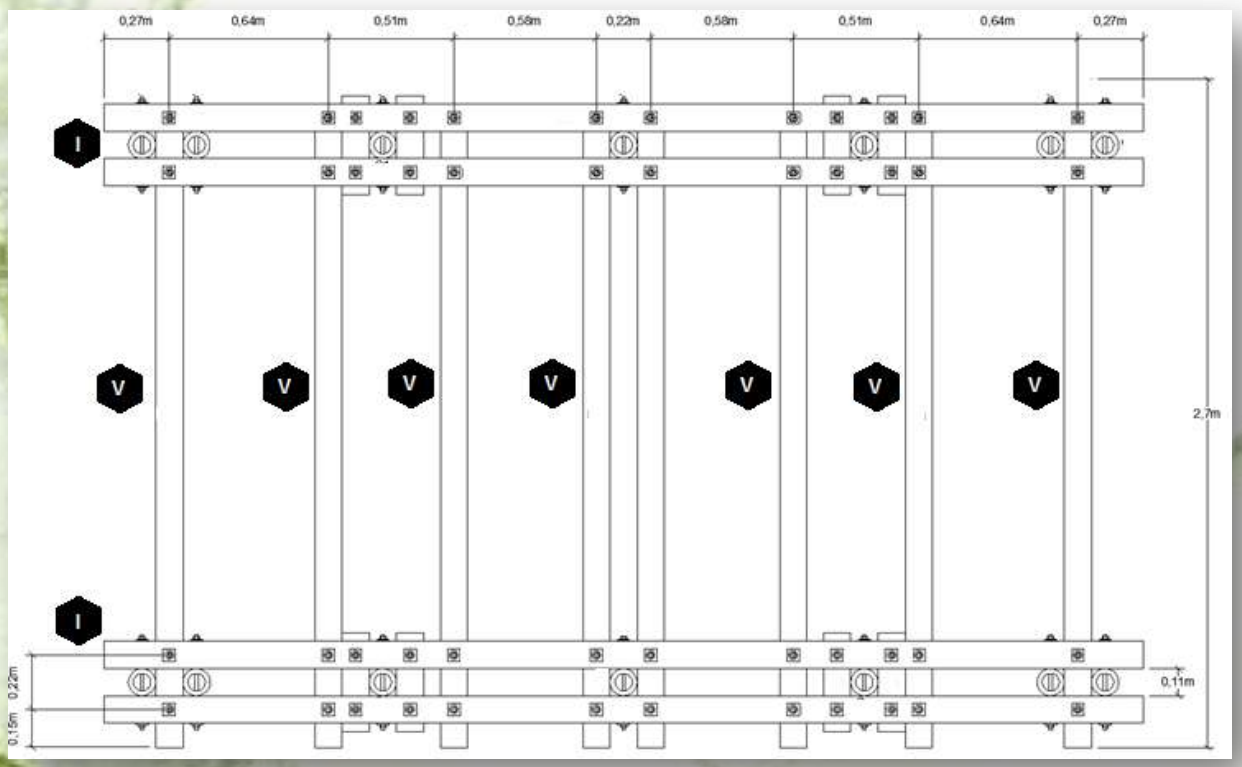
Anexo No.2.5 "Vista Superior (plano 5)"



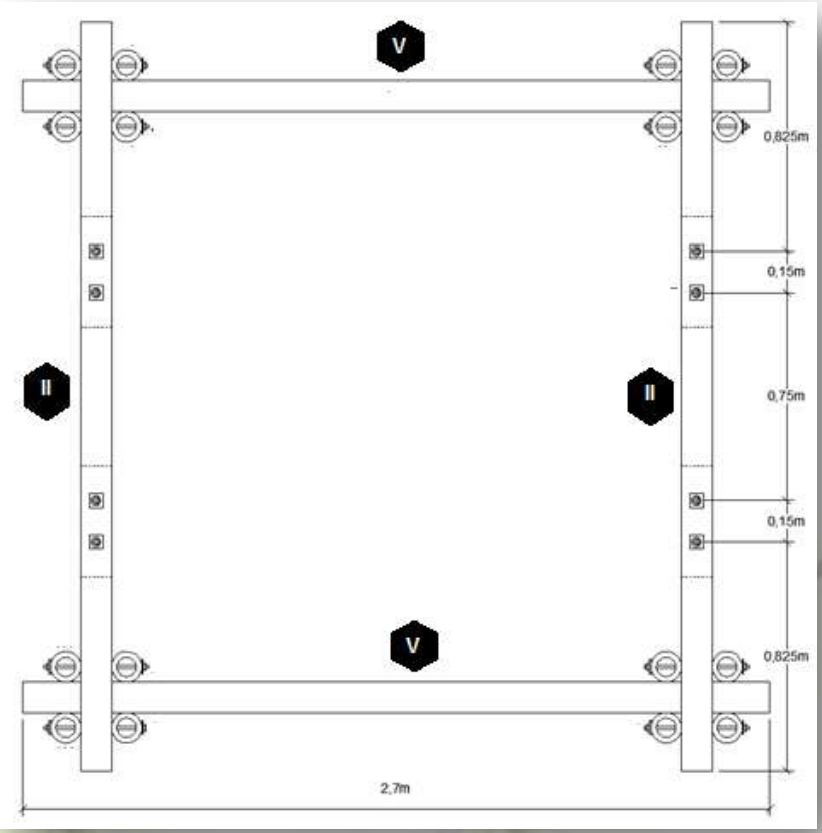
Anexo No.2.6 "Vista Lateral (plano 5)"



Anexo No.2.7 "Vista Inferior (plano 5)



Anexo No.2.8 “Vista Frontal (plano 5)”



UNIVERSIDAD DE LA SALLE
SIGNUM FIDEI INDIVISA MANENT