

Evaluación y Diseño estructural de una vivienda construida a base de bambú



Abstract

The following work intends to offer the knowledge for construction with structural element using bamboo, in hypothetical situations of energy dissipation.

Through an example of a high class house, the design of several publications is going to be described.

The project pretend to become in a reference in no traditional system of construction and give the tools to grown in this area, giving an own proposal of walls with bamboo parts, columns and beams using this material.

Focuss on one of the most critical parts of design with bamboo, the connection between structural elements and also giving a few suggestion of the best selection in the cases of this house.

The proposals of design consist in using a house with more than 200m² of construction, using marks of the bamboo's specie *Guadua Angustifolia*.

The following work analyzes and gives suggestions to use this material in constructions with all the security.

Key words: bamboo, Guadua, structural design, structural capacity.

Resumen

El siguiente trabajo pretende dar a conocer el comportamiento de una estructura con elementos estructurales de bambú, en situaciones hipotéticas de ductilidad.

Mediante el ejemplo de una vivienda de clase social alta, se aplicará el diseño recopilado a través de diversas publicaciones.

El proyecto viene a llenar el vacío en el medio nacional en cuanto a sistemas poco tradicionales y aporta para que se incentive el uso de los mismos mediante una propuesta propia de muros no estructurales reforzados con esterilla de bambú, vigas y columnas con cañas del mismo material.

Se colocó principal atención a uno de los sectores más críticos en la construcción con bambú, él cual es el que presenta las uniones entre elementos estructurales, por medio de sugerencias de cuáles son las mejores en cada caso, se presenta un estudio en la vivienda.

La propuesta de diseño consiste en una vivienda con un área superior a los 200m² de construcción, mediante marcos con la especie de bambú *Guadua Angustifolia*. Se analiza y se brindan sugerencias constructivas para el buen uso del material.

Palabras clave: bambú, Guadua, diseño estructural, capacidad estructural

Evaluación y diseño estructural de una vivienda construida a base de bambú

CARLOS MANUEL HERRERA MESÉN

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre del 2008

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

RESUMEN.....	2
PREFACIO	2
RESUMEN EJECUTIVO	3
INTRODUCCIÓN	4
MARCO TEÓRICO	5
METODOLOGÍA.....	17
RESULTADOS	18
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	41
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES.....	46
APÉNDICES.....	47
ANEXOS.....	1
REFERENCIAS.....	49

Prefacio

El siguiente proyecto viene a aportar en los métodos alternativos de la construcción, en este caso la construcción utilizando la especie de bambú llamada *Guadua angustifolia*, la cual presenta muy buenas condiciones para construir; tamaño y resistencia. El bambú presenta situaciones muy diferentes en su diseño por ello se pretende brindar una herramienta efectiva para construir utilizando dicho producto, tanto en muros usando esterilla de bambú, como en las cimentaciones que requiere este material, así como la prueba de tres tipos de uniones diferentes que poseen método de diseño.

Debido a que los métodos de diseño en este material generalmente provienen del extranjero, de investigaciones hechas tanto en Europa como en Latinoamérica, por lo que es de importancia que mediante un ejemplo real de una estructura en Costa Rica de una dimensión importante se presente por completo el diseño estructural de los elementos de bambú, mediante la consigna de que se reducirá la cantidad de acero al máximo.

Como objetivo principal se pretende analizar la estructura con tres ductilidades diferentes, realizando el diseño mediante la premisa de que cumpla la ductilidad que el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR) sugiere, que puede ser la que se presente en la estructura, de allí se tomarán dos extremos para observar el comportamiento.

Por un lado; la estructura diseñada consistirá en seis tipos de columnas diferentes entre sí, según la cantidad de carga por tolerar y la ubicación de las mismas. Las columnas partirán de tener hasta 5 cañas que actúan en conjunto, hasta una sola, así como la viga corona deber de tener la capacidad de resistir las cargas producidas al suponer la ductilidad indicada en el CSCR y a partir de allí se verá el comportamiento en los extremos.

Por otro lado; es de suma importancia contar con herramientas para el diseño de una de las zonas más críticas de una estructura construida en bambú, la cual son la uniones entre los elementos estructurales, este detalle que en otros materiales se cuenta con una gran facilidad para probar nuevos materiales, no así con el bambú que es necesario proveerle de materiales ajenos a él para el diseño: el concreto, varilla y platinas.

Los resultados de estas uniones que pretenden darle una continuidad a las cargas del elemento para transmitirlo son dispersos y difíciles de encontrar para un diseño interesado en aplicar las bondades del bambú, por lo que se recopiló las uniones, tanto las que no poseen ecuación de diseño como las que sí.

Diversos investigadores colombianos han desarrollado modelos estructurales para el diseño de juntas. Estos modelos son utilizados en este trabajo.

Resumen ejecutivo

El siguiente trabajo pretende ser un documento de ayuda al diseño de un sistema no tradicional en el mercado.

Se realizó el diseño de una vivienda a manera de ejemplo académico siguiendo un método, debido a que solo se pueden hacer supuestos de la capacidad de disipación de energía de la estructura. El diseño se realizó con tres valores de ductilidad planteando supuestos de escenarios.

El documento le brinda al diseñador la seguridad de utilizar el bambú como material de construcción, con un método sencillo y efectivo de aplicar en todos los elementos donde este material puede ser utilizado estructuralmente.

Se aplicaron los tres escenarios de posibles ductilidades para realizar el diseño de:

- Columnas y vigas
- Viguetas
- Muros no estructurales de concreto reforzados con esterilla de bambú
- Cerchas
- Uniones entre elementos con ángulo de inclinación menor o igual a noventa grados y unión entre la columna y el cimiento de concreto armado con acero

Los resultados obtenidos arrojaron una visión de lo que pasaría si la ductilidad del edificio fuese de 1.5, esto sería el colapso de las columnas y la falla de las uniones entre columna-viga y columna-cimiento.

En el CSCR 2002, se sugiere para estructuras de madera, un valor supuesto de ductilidad de 3, para obtener la carga sísmica, todos los componentes estructurales resisten las fuerzas con dicha ductilidad, así como deflexiones y desplazamientos son perfectamente manejados por el material.

Dentro de las debilidades que se deben tener presente al construir con bambú son las

uniones de elementos y su baja capacidad al cortante. Sin embargo; posee buena capacidad de tolerar esfuerzos en tracción, compresión, flexión y un bajo costo, lo que le permite a una columna de bambú por ejemplo, tener un valor económico de entre la mitad y cinco veces menos que la de una en concreto sin contar con el refuerzo y la formaleta.

Una debilidad que pretende llenar este trabajo es dotar de tres tipos de uniones entre elementos estructurales, tomados de investigadores ajenos a este proyecto, con el fin de acceder a las herramientas para elegir la mejor opción para ser aplicada:

- Unión Simón Vélez: Con los entrenudos o canutos rellenos de mortero y una varilla de 5/8" atravesándolos transversalmente. Se le aplica una arandela y tuerca para sostenerla.
- Unión Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente: Con los entrenudos o canutos rellenos de mortero y una varilla de 5/8" atravesándolos transversalmente, se deja libremente por fuera del bambú.
- Unión Sandra Clavijo: Procede a enrollar una lámina CR cal.22 en cada elemento en ángulo. Se sujeta con tornillos de ¼" de diámetro por encima o debajo del entrenudo.

La unión Simón Vélez es la más recomendable por un lado; debido a su capacidad en tracción y compresión para ser usada en la conexión de la columna y el cimiento. Por otro lado; para elementos a la vista del usuario es más adecuada la unión Diego-Gisella, ya que a pesar de poseer menos capacidad a uniones en tracción esconde mejor los materiales que se le agregan para realizarla y darle un mejor aspecto a la vivienda.

Introducción

La construcción en los últimos años ha tenido un desarrollo muy alto en cuanto a la tecnología y diversificación de la misma.

Atacando el problema que se posee a la hora de diversificación, el cual es no contar con las herramientas para realizar un diseño con el fin de construir en el material deseado.

En este caso se mostrará y explicará el diseño a seguir para la construcción de una estructura utilizando el bambú.

Se hará uso de una serie de investigaciones previas para que en este documento sirva de guía completa para cualquier tipo de obra utilizando el bambú, mediante un ejemplo académico.

El proyecto muestra el diseño de una vivienda de clase social alta, la cual posee un área mayor a 200m², utilizando tres suposiciones de ductilidad que puede presentar la estructura, la capacidad de disipar energía de dicha edificación es desconocida.

El diseño de:

- Seis tipos de columnas que se aconsejan utilizar en futuros proyectos,
- Viga corona sugerida para estructuras de bambú.
- Tres tipos de uniones con métodos de diseño aportado por diversos autores y diseñadores. Entre estas se encuentran uniones de elementos a 90°, inclinados y uniones a pilotes.

Actualmente llevar a cabo una construcción en bambú presenta muchas dificultades y falta de información por lo que se pretende llenar este vacío que existe en la utilización de este material para la construcción.

Como objetivo principal es realizar un diseño para una vivienda de clase social alta utilizando tres supuestos de ductilidad, de aquí partirá el proyecto y se irá desglosando en objetivos secundarios son brindar recomendaciones de la mejor opción para la

utilización en caso de que la vivienda no cumpla con lo estipulado, para los casos que el bambú lo amerite; el diseño de todos los elementos estructurales con elaborados de bambú; analizar una vivienda de este tipo y compararla con lo estipulado en el CSCR 2002; el diseño de las zonas críticas como lo son las uniones y por último realizar un presupuesto sencillo por elemento de la vivienda esto con el fin de que el diseñador pueda escoger entre este y otro sistema más fácilmente.

Los alcances del proyecto es tener una guía completa que abarque todos los elementos que una vivienda pueda tener utilizando el bambú (muros, columnas, cerchas y vigas), así como las uniones. Además, se pretende que el diseñador pueda elegir entre un sistema y el bambú, observando su desempeño, costo económico y analizándolo según la regulación costarricense.

Dentro de las limitaciones que posee el proyecto son el costo de la mano de obra especializada y la limitación de solo contar con tres tipos de uniones con estudio de capacidad.

Marco Teórico

El siguiente Marco Teórico se encuentra dividido en tres partes: Generalidades de la Construcción utilizando el bambú, Proceso de diseño y Uniones para el bambú.

El Bambú

El bambú ha sido usado desde las culturas más antiguas en el oriente, con mayor importancia en los países de China, India y Japón. Esta gramínea ha servido para una gran diversidad de artesanías, e incluso sirve a manera de enchapes para pisos, como papel, como alimento, etc.

En el continente americano ha sido utilizado desde el periodo precolombino aprovechado de un modo empírico por las grandes cualidades que posee este material, su bajo peso y costo, su rápido crecimiento y excelentes cualidades a tracción, flexión y compresión.

La Guadua¹

La Guadúa es un bambú espinoso perteneciente a la Familia Poaceae, a la subfamilia Bambusoideae y a la tribu Bambuseae. En 1820, el botánico Kunth, constituye este género utilizando el vocablo "guadúa" con el que los indígenas de Colombia y Ecuador se referían a este bambú. Este género, que reúne aproximadamente 30 especies, se puede distinguir de los demás participantes por los tallos robustos y espinosos, por las bandas de pelos blancos en la región del nudo y por las hojas caulinares en forma triangular.

¹Fundamentos de la Guadua. Facultad de Ciencias ambientales. Universidad Técnica de Pereira.

Sin embargo, sus caracteres más fuertes son la presencia de quillas aladas en la palea del flósculo de la espiguilla, la presencia de 3 estigmas plumosos al final del estilo y 6 estambres.

Es una planta leñosa arborescente que pertenece a la familia del bambú. Es una gramínea, un pasto gigante, de la familia de la caña de azúcar, del trigo y del arroz. En el mundo existen alrededor de 1300 especies de Bambú leños y herbáceos distribuidos en Asia (63%), en América (32%), y en frica y Oceanía (5%). En América existen 440 especies de Bambú, las más importantes del género Guadua son aproximadamente 16.

El Bambú para la construcción²

Ventajas y desventajas

Las principales ventajas físicas que presenta el bambú para la construcción son numerosas entre las más importantes existen:

1. Su forma circular y hueco lo hace un material liviano, fácil de manipular y transportar, lo que permite agilizar el proceso de construcción.

2. Debido a la presencia de nudos y tabiques que lo hacen más rígido y elástico a la hora de curvarse, esto presenta una clara ventaja en sistemas de construcción sismorresistentes.

3. La superficie colorida del bambú es lisa, estéticamente agradable, por lo que no hay necesidad de pintarlo para mejorar su apariencia, además de su apariencia lisa no tiene corteza o partes que puedan considerarse como desperdicio, los residuos son orgánicos por lo que la agresión al ambiente poca.

²Propuesta de uniones mecánicas en Guadua. Peña, Cesar y Rodríguez, Hugo. Universidad Nacional de Colombia.1997.

4. Otra ventaja es que el bambú puede utilizarse como complemento para todo tipo de materiales, ya sea como complemento estético o estructural.

5. Es uno de los materiales más baratos en la construcción, además que es producido en nuestro país, por lo que no se necesita la importación del mismo.

Las ventajas que presenta el bambú son ideales para la construcción, pero todo material tiene sus desventajas, pero con una debida supervisión y control no debería de presentar mayor problema. Entre las principales desventajas se encuentran:

1. El bambú en continua contacto con humedad presenta pudrición y ataque de insectos como la madera, pero esto con el debido tratamiento y curado es sencillamente corregible.

2. El bambú cuando se encuentra seco o con porcentajes muy bajos de humedad es altamente combustible.

3. El bambú muy envejecido pierde su resistencia si no se trata debidamente.

4. Las uniones de miembros estructurales no pueden hacerse con conexiones simples como la madera con clavos o platinas, las uniones en bambú presentan complejidad por lo que deben de complementar con materiales como platinas atomilladas, mortero y pasadores o tornillos con platinas, etc.

Inmunización³

Curado

Puede realizarse con diferentes métodos:

- Curado en la mata. Los tallos cortados se dejan recostados verticalmente contra el guadua, aislándolos del suelo por un lapso de cuatro a ocho semanas.
- Curado por inmersión. Se sumergen los tallos en agua, una vez cortados por un tiempo no mayor a cuatro semanas. Aun cuando se reduce considerablemente el ataque de insectos, el tallo se torna más liviano y quebradizo.
- Curado por calentamiento. Los tallos recién cortados se rotan sin quemarlos sobre fuego, a cielo abierto.

Secado

Para prevenir el ataque de hongos e insectos, mejorar las condiciones de aplicabilidad de los preservantes, reducir el peso de las piezas y hacerlas más fáciles en su manipulación, es necesario reducir el contenido de humedad de los tallos, hasta alcanzar el 10% o el 15%.

Respecto al secado natural, los tallos se apilan horizontalmente, bajo cubierta, protegidos del sol y la lluvia por un lapso de dos meses, a fin de alcanzar la humedad requerida.

El secado artificial de los tallos puede hacerse en estufas o cámaras cerradas, similares a las que se utilizan para madera aserrada, o a fuego abierto, mediante la localización horizontal de las piezas a una distancia aproximada de 50 cm de los carbones de maderas encendidas, cuidando de girar continuamente los tallos a fin de conseguir un secado uniforme.

Preservantes

Para el tratamiento de la guadua, según el medio de disolución de los preservantes se diferencian dos grupos:

- Preservantes oleosolubles, tales como: creosota alquitranada, creosota alquitranada libre de cristales, aceite de antraceno, creosota obtenida por la destilación de la madera, aceite y vapor de agua, soluciones de creosota, nafteno de cobre.
- Preservantes hidrosolubles: Son sales disueltas en agua y que entre sus ingredientes activos están: cloruro de zinc, dicromato de sodio, cloruro de cobre, cromato de zinc clorado, ácido bórico, bórax, sulfato de amonio, Fluoruro de sodio, sulfato de cobre.

³Inmunización de la Guadua. Ing. Salazar, Jaime y Ing. Díaz, Gustavo. Universidad Nacional de Colombia.

Bambú contra otros materiales.

Existe gran cantidad de sistemas constructivos en el mercado. En este caso se hará una comparación entre los sistemas tradicionales que se utilizan en Costa Rica, el más común es de vigas, columnas y fundaciones de concreto armado y muros de mampostería, en comparación con el concreto, que tiene como fuerte su capacidad en compresión, el bambú alcanza esfuerzos similares a morteros en el mercado para compresión paralela a las fibras, como se demostró en el estudio del Ing. Felipe López (2002)⁴ en su tesis Diseño de uniones y estructuras para Guadua⁴, la capacidad en compresión paralela el bambú alcanza los 14. 0 MPa⁴, en comparación con los 2100 ton/m² que como requisito debe poseer el concreto en Costa Rica, para un material natural el bambú da un excelente resultado.

El mal resultado que brinda el bambú está en la compresión perpendicular a las fibras, la cual según el estudio del Ing. Felipe López (2002)⁴, alcanza los 400 ton/m² en bambúes clase A, lo cual es bajo comparándolo con el concreto, pero el bambú con su bondad natural presenta cúmulos en forma de cilindro, que rellenos de concreto soluciona perfectamente este problema.

En el caso de la comparación con el acero el bambú alcanza la capacidad en tracción de algunos aceros en el mercado, el cual ronda los 2640 ton/m² y en flexión de 2100 ton/m² ambos en bambúes clase A⁴, por lo que el bambú encuentra un balance entre su capacidad en tracción, flexión y compresión esto lo hace un excelente material para el uso en la construcción, complementándolo con otros materiales de uso tradicional.

Interacción concreto con bambú

La combinación de estos dos materiales, concreto y guadua, ha sido tema de varias investigaciones, pero hasta el momento, sólo en dos concepciones, la primera, empleando el concreto como refuerzo en las uniones o puntos de apoyo, habiendo demostrado ya su

efectividad, aunque con algunos inconvenientes como el hecho de que al fraguarse el concreto (generalmente mortero) se contrae, separándose de las paredes de la guadua, aumenta el peso de los elementos y el vaciado puede tomarse complicado, la segunda concepción ha sido ya fuente de muchos estudios, encontrando problemas en dos aspectos fundamentales: la falta de adherencia y la limitación en el área de refuerzo.

Las investigaciones realizadas en este tema como de la Ing. Lina María González Moreno⁵ coloca las bases para investigaciones más adelantadas en conocer las reglas que surgen entre combinar ambos materiales, entre las situaciones que se presentan al combinar bambú más concreto están: no presenta ninguna interacción química al colocar y hacerlos trabajar juntos a estos dos materiales, el bambú tiende a absorber la humedad de su exterior si se le agrega concreto húmedo, este tiende a llevar a cabo este fenómeno por lo cual es necesario la impermeabilización del bambú ya que el mismo tiende a hincharse y a fisurarse.

Propiedades físicas y mecánicas del Bambú

Humedad³

En todo material natural la ausencia de humedad es fundamental para prolongar su vida estructural, en el caso del Bambú no es diferente, para que tenga un óptimo uso estructural el rango de humedad debe ser entre un 10% y 15%.

³Inmunización de la Guadua. Ing. Salazar, Jaime y Ing. Díaz, Gustavo. Universidad Nacional de Colombia.

⁴Ing. Luís López y David Trujillo. Diseño de uniones y elementos en estructuras de Guadua.

⁵Ing. Lina María González Moreno, Comportamiento a flexión de la *Guadua Angustifolia* con refuerzo pretensado. Universidad Nacional de Colombia. 2003

Densidad⁶

El bambú en su especie de guadua más específicamente del tipo *Guadua Angustifolia*, que es la más apta para la construcción, presenta una densidad según la presentación realizada por el Ing. Alejandro Restrepo⁶, la densidad promedio varía según su estado, húmedo y seco presenta diferencias, la densidad del bambú en estado verde donde presenta mayor humedad es de 1.124 g/cm³, la densidad del bambú seco es de 0.810 g/cm³.

Tracción paralela a fibras

La guadua, principal tipo de bambú utilizado para la construcción posee alta resistencia a la tracción paralela a las fibras longitudinales, la resistencia a la tracción del promedio de 2561 kg/cm² en ensayos de latas de guadua de la pared externa sin nudos, resistencia bastante alta si se tiene en cuenta que el acero A36 tiene un esfuerzo de fluencia de 2530kg/cm² y un esfuerzo último del orden de los 4000 kg/cm². En el mismo estudio realizado en 1981 por los Ingenieros Carvajal, Ortegón y Romero⁷, se encontró una resistencia a la tracción en fibra externa con nudo de 16470 ton/cm² en fibra completa sin nudo de 15620 ton/m² y en fibra completa con nudo de 8730 ton/m². La resistencia a la tracción en la pared externa es más alta que en la de la pared completa, debido a dos razones: la primera de ellas es que la parte exterior es dura debido a incrustaciones de sílice, lignina y cutina, y la segunda debe a que la cantidad de fibras es mayor en la parte externa de la guadua que en la interna.

La investigación del Ing. Luís Felipe López⁴ arroja un resultado diferente como es común en la investigación con materiales vivos, el cual da como resultado un esfuerzo en tensión de 2640 ton/m², utilizando siempre la caña completa de la Guadua.

Otro tipo de especies de bambú como señala la tesis del Ing. Oscar Arce⁸ dan mejores resultados en tensión por ejemplo algunas bambúes de Indonesia rondan los 2970 ton/cm² y 3150 ton/m², estas de la especie *Bambusa arundinacea*, *Bambusa Vulgaris*, *Dendrocalamus asper*, *Gigantochloa apus*, *Gigantochloa ater* y *Ggantochloa verticillata*.

Compresión Paralela a las fibras

En la investigación de la Ing. Caori Takeuchi⁹ presenta una conclusión interesante con respecto a la capacidad en compresión paralela a las fibras, ya que concluye que la capacidad en compresión paralela es un 25% de la capacidad en tensión, lo que crea este efecto es que el Bambú está formado por fibras longitudinales fuertes, pero a diferencia de la madera, no tiene fibras radiales que unan fibras longitudinales.

La Ingeniera Takeuchi muestra valores de la compresión del orden de 6620 ton/m² en la *Guadua Angustifolia*, el ing. Luís Felipe López⁴ en una reciente investigación identificó la capacidad en compresión paralela en el orden de los 1500ton/m², resultado más de acorde con lo que se conoce del bambú.

Bambúes estudiadas por el Ing. Oscar Arce⁸ como la guadua sp la cual arroja un resultado de 420ton/m² fue recogida en Costa Rica, además se reporta un resultado para la *Bambusa blumeana* en el rango de los 600 ton/m² y 1700 ton/m².

Flexión⁹

El bambú es un material sumamente elástico y flexible, y se deforma mucho antes de fallar, sobre todo los elementos de gran longitud. Sin embargo en una construcción no se pueden tolerar grandes deformaciones en vigas y viguetas, porque tiene un aspecto desagradable, porque puede dañar un cielorraso y porque estaría asociado a grandes vibraciones⁷.

Las vigas, pueden fallar por corte si las luces son pequeñas, por flexión y por deflexión para luces largas. La falla por flexión se presenta en el centro de la luz, en la fibra interior como una falla por tensión paralela a la fibra en la zona del nudo.

⁶Ing. Alejandro Restrepo. Propiedades Mecánicas de la *Guadua Angustifolia*. 2004

⁷William Carvajal *et al.* Elementos Estructurales en bambú. 2004

⁸Ing. Oscar Arce V. Fundamentals of the design of bamboo structures, 1993

⁹Ing. Caori Takeuchi. Comportamiento Estructural de la Guadua. 2004

En el caso de la *Guadua Angustifolia*, el resultado de la capacidad en flexión del elemento es de 2100 ton/m², con un módulo de elasticidad promedio de 1 300 000 ton/m².⁹

Elementos en bambú

Columnas y vigas

Toda columna debe estar conectada debidamente a otros elementos estructurales como es común en todos los materiales.¹⁰

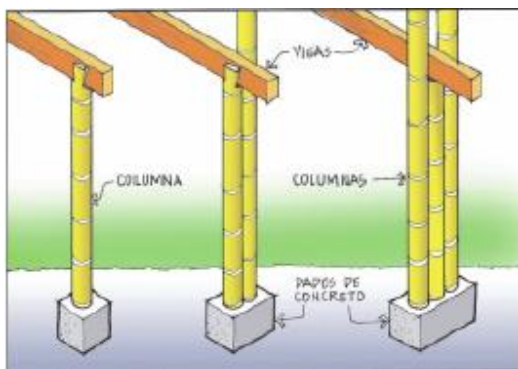


Figura 1. Típicas columnas en bambú (Fuente Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001)

Según la capacidad que se requiera es común hacer uso de varias cañas actuando en conjunto para ello deben de tener una debida conexión en los nudos.

Cerchas

Según el estudio de Construcción con Bahareque encementado de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica en su Capítulo VIII¹⁰, las cerchas deben de actuar como un conjunto para tolerar las cargas laterales, deberán poseer las uniones estructurales con un debido diseño. Si se desea utilizar teja de barro u otro sistema de techado, es necesario evitar el contacto directo con la caña de bambú por transmisión de humedad se van a ver comprometidas las capacidades de la misma.

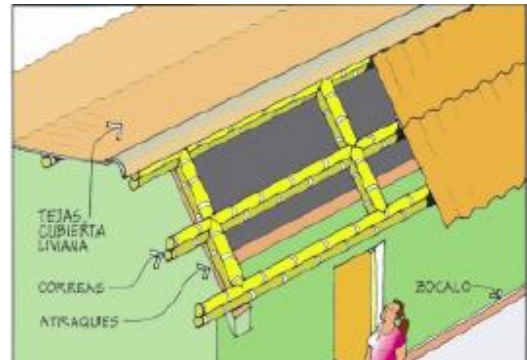


Figura 2. Sistemas de Cercha en bambú para cubiertas de techo. (Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001)

Muros¹⁰

La construcción de muros de bambú está sometida a variaciones infinitas, que dependen de la resistencia requerida (resistencia a las fuerzas de la naturaleza como huracanes y terremotos, la protección conveniente contra la lluvia y los vientos ordinarios y la necesidad de iluminación y ventilación. Pueden utilizarse tallos enteros o tallos divididos longitudinalmente y se pueden disponer en forma vertical u horizontal. Su rendimiento, sin embargo; es más eficaz cuando se colocan verticalmente y duran más, por que se secan más rápidamente después de la lluvia.⁹

Los muros de una casa de uno o dos pisos de bambú encementado generalmente se clasifican en tres tipos:

1. Muros estructurales arriostrados

Son los compuestos por solera inferior o carrera, pie derecho, elementos arriostradores inclinados y recubrimiento con base en mortero de cemento, con o si esterilla de guadua, colocado sobre malla de alambre.¹⁰

Reciben cargas verticales, fuerzas horizontales de sismo o viento. Las esquinas de la casa y los extremos de cada muro deben estar constituidos por muros estructurales arriostrados en ambas direcciones.¹¹

¹⁰ Ing. Tatiana Alfonso. Utilización del bambú y de la caña en construcción. 2000. Universidad Veritas, Costa Rica

¹¹ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Manual de Construcción Sismo-Resistente de Bahareque encementado. 2001

2. Muros estructurales no arriostrados

Compuestos por solera inferior o carrera, pie derecho y recubrimiento con base en mortero de cemento o sin esterilla de guadua, colocado sobre malla de alambre. Carece de elementos inclinados de arrioste. Deben utilizarse solo para resistir cargas verticales. Deben de tener continuidad hasta la cimentación.¹¹

3. Muros no estructurales

Los muros que no deben soportar otra carga que su propio peso se conocen con el nombre de muros no estructurales. No tienen otra función que separar espacios dentro de la vivienda, deben vincularse con los muros perpendiculares a su plano y con los diafragmas.¹¹

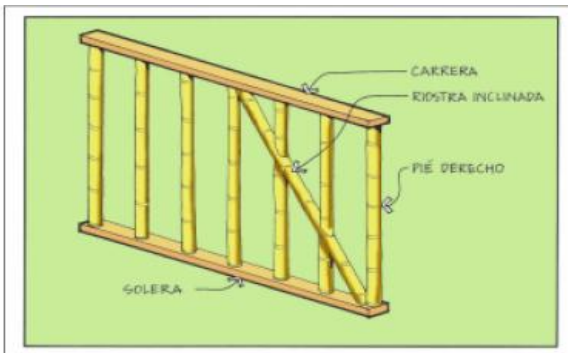


Figura 3. Muro Arriostrado (Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001)

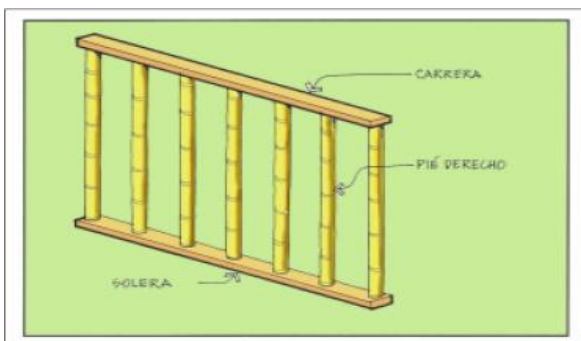


Figura 4. Muro No Arriostrado (Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001)

¹¹ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Manual de Construcción Sismo-Resistente de Bahareque encementado.2001

Diseño en Bambú

Procedimiento de Diseño:

- 1) Definir bases de cálculo
 - a) Cargas por considerarse en el diseño
 - b) Deflexiones últimas
 - c) Luz de cálculo y espaciamiento
- 2) Efectos máximos: máximo momento flector M y máxima fuerza cortante V
- 3) Establecer los esfuerzos últimos de flexión, corte, compresión perpendicular y módulo de elasticidad
- 4) Calcular el momento de inercia I, necesario por deflexiones
- 5) Calcular el módulo de sección S, necesario por resistencia
- 6) Seleccionar la sección mayor de las calculadas en los pasos 4 y 5
- 7) Verificar el esfuerzo cortante

Diseño de elementos a Compresión⁴

- 1) Definir bases de Cálculo:
 - a) Cargas por considerarse en el diseño
 - b) Condiciones de apoyo y factor de longitud efectiva
- 2) Determinar esfuerzos máximos
- 3) Establecer los esfuerzos últimos, módulo de elasticidad y Ck
- 4) Seleccionar una sección adecuada extraer las propiedades geométricas de la sección elegida
- 5) Calcular la esbeltez l
- 6) Calcular la carga ultima

Se debe verificar la condición del apoyo con el fin de definir la longitud efectiva del elemento, esto viene a determinar la capacidad de pandeo del elemento. Al igual que en acero se obtiene mediante la fórmula:

$$L_{ef} = k \cdot l_u$$

⁴Ing. Luís López y David Trujillo. Diseño de uniones y elementos en estructuras de Guadua.

Siendo K el grado de empotramiento de los apoyos y el grado de restricción y l_u la cual es el largo del elemento.

Dado el grado de simetría que posee el bambú va a tener la misma capacidad en ambas direcciones a la hora de calcular la esbeltez, esto deja de darse cuando se hace un arreglo de varios bambúes para mejorar la resistencia.

En columnas de guadua la esbeltez esta dada por la expresión:

$$\lambda = l / r$$

Donde λ es la esbeltez, l la longitud de la columna y r es el radio de giro.

El Ck que corresponde al punto donde la columnas intermedias pasan a ser largas en la gráfica de esfuerzo contra esbeltez.

$$C_k = 2.72 \sqrt{\frac{E}{f_{adm}}}$$

Factor de seguridad aplicado a Euler, sólo 2.0.

Para columnas de Guadua

Columnas Cortas $\lambda < 30$
Columnas Intermedias $30 < \lambda < C_k$
Columnas Largas $C_k < \lambda < 150$
 $\lambda > 150$ es inaceptable

El Ing. Luís Felipe López brinda un procedimiento de diseño según el tipo de columna que es:

- Columna Corta:

Fallan por compresión o aplastamiento y se calcula simplemente con la fórmula:

$$P_u = f_u \cdot A$$

- Columna Intermedia:

La columna intermedia falla por una combinación de aplastamiento e inestabilidad (pandeo). Lo cual el Ing. López determinó una fórmula para determinar su capacidad:

$$P_u = f_u \cdot A \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{l}{C_k} \right)^4 \right]$$

- Columna Larga:

Falla mediante la esbeltez, según la teoría de Euler para carga crítica y recopilada por el Ing. López:

$$P_u = 4.93 * \left(\frac{E * A}{I^2} \right)$$

Diseño en flexo-compresión⁴

Los elementos deben satisfacer la siguiente ecuación:

$$\frac{P}{P_u} + \frac{K_m * M}{S * f_m} < 1$$

f_m = esfuerzo último a flexión

k_m = factor de magnificación de momentos debido a la presencia de la carga axial

M = Momento flector máximo del elemento (valor absoluto)

P_u = carga axial última calculada

S = módulo de sección

P = carga axial aplicada

El valor K_m viene dado por la siguiente fórmula:

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{P}{P_{cr}}}$$

La cual el valor de P_{cr} es dado por la fórmula ampliamente conocida de Euler:

$$P_{cr} = \frac{P^2 * E * I}{l_{ef}^2}$$

⁴Ing. Luís López y David Trujillo. Diseño de uniones y elementos en estructuras de Guadua.

Diseño en Flexión⁴

Por lo general, los elementos sometidos a flexión son los elementos viguetas y vigas, es decir horizontales.

El procedimiento de madera adaptado por el Ing. Luís Felipe López a la guadua es:

El diseño por flexión iniciaría:

- 1) Las deflexiones diferidas se calculan con la suma de la carga muerta, más la carga viva".
- 2) Una vez determinada cuanto va a ser la deflexión diferida se asegura que sea menor que:
 - $< L / 300$ en edificaciones con cielo raso de yeso
 - $< L / 250$ en edificaciones sin cielo raso de yeso
 - $< L / 200$ en edificaciones industriales o en techos inclinados.

Las vibraciones se calculan sólo con la carga viva. Esta deflexión debe ser menor que:

- $< L / 350$ en todo tipo de vivienda
- $< L / 480$ si se desea minimizar la vibración

L es la distancia entre caras de apoyos. Así por ejemplo una viga de 3.50 m no debe deflectarse más de 1 cm debido a la carga viva.

Las deflexiones causadas por una carga distribuida sobre una viga simplemente apoyada se calculan con la fórmula:

$$\Delta_{max} = \frac{5 w l^4}{384 EI}$$

2) Cálculo del Módulo de sección necesario:

Para que el elemento no vaya a fallar es necesario tener un módulo de sección (Z ó S) suficiente para que esto no ocurra. El esfuerzo flector que sufre una viga es igual al momento flector dividido por el módulo de sección.

$$s_u = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{z}$$

3) Verificar el esfuerzo cortante

Por último, debe cerciorarse de que no vaya a ocurrir una falla por cortante. En una sola guadua se revisa que no ocurra en la pared de la guadua en una configuración debe revisarse también la unión entre guaduas.

El esfuerzo cortante de un elemento sometido a flexión obedece a la fórmula:

$$T_u' = V \cdot Q / b \cdot I$$

Donde V es la fuerza cortante en la sección, Q es el momento estático de la parte de la sección transversal por encima de las fibras en que se genera t, b es el ancho de la sección a la altura de estas fibras, e I es el momento de inercia y t es el esfuerzo cortante máximo.

Uniones

En el caso del diseño de uniones se puede llegar a tener una situación peligrosa, ya que el bambú no es como la madera, no es solo de colocar un tornillo o clavo y ya está construida la unión entre elementos estructurales, en el caso del bambú es muchísimo más complejo, y es peligroso ya que se pueden tener elementos que trabajen excelente las cargas a los que están sometidos pero que las uniones no soporten dicha fuerza.

Al pasar los años se han especializado las uniones, dejaron de ser algo artesanales y pasaron a utilizar métodos complejos para unir elementos, se pasó de simplemente amarrar con sogas a rellenar el canuto de bambú de mortero y agregarle un pasador o colocar platinas metálicas alrededor del bambú, etc.

A continuación se explicarán diferentes tipos de uniones que existen:

Tornillos Axiales²

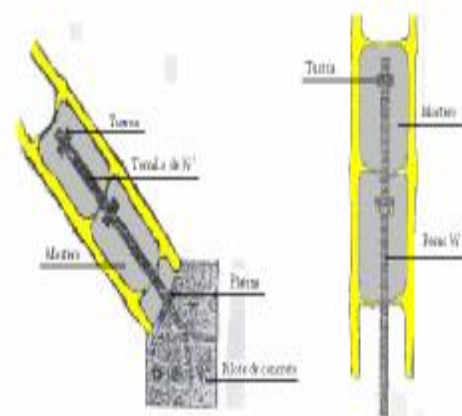


Figura 5. Unión con tornillos axiales. (Fuente Peña Rodríguez, 1997)

Las uniones de tornillo axial, están diseñadas para responder esfuerzos de tracción y compresión, además de ser empleadas para empalmes con otros materiales. Un tornillo de

⁴Ing. Luís López y David Trujillo. Diseño de uniones y elementos en estructuras de Guadua, 2001.

²Propuesta de uniones mecánicas en Guadua. Peña, Cesar y Rodríguez, Hugo. Universidad Nacional de Colombia. 1997

media pulgada atraviesa los entrenudos o canutos necesarios para formar la unión. Este perno embebido en el mortero que forma el pistón en cada entrenudo que atraviesan. Para aumentar la superficie de contacto entre el perno y el mortero, se coloca una tuerca en cada entrenudo.

Las fuerzas generadas se transmiten al tabique. La superficie de contacto entre el mortero, la tuerca y el tornillo es lo suficientemente grande para permitir que el pistón de mortero transmita esfuerzo a la Guadua. La fricción entre el mortero y la pared interna de la guadua es despreciable por la contracción del fraguado.

- Ventajas:

- 1-Se puso a trabajar el diafragma, que en las uniones tradicionales no se aprovechaba.
- 2-Es una unión relativamente fácil de realizar y de montar.
- 3-Tiene buen comportamiento ante esfuerzos de tracción.
- 4-El uso de material es reducido con respecto a las otras uniones.
- 5-El tiempo de realización de la unión es en si es corto.
- 6-Al ser unión que no tiene muchos de sus elementos expuestos, su comportamiento ante incendio es muy favorable.
- 7-Funciona tanto como empalme como para ensamble con otros.

- Desventajas:

- 1- La resistencia de la unión está directamente relacionada con el mortero (la cantidad de agua del mortero, que debe ser fluido para el relleno, relación 1:2, etc.)
- 2- La utilización de la unión está relacionada directamente con el fraguado del mortero, ya que la estructura solo se puede cargar una vez hayan fraguado todos los entrenudos.
- 3- El desperdicio de material es casi inevitable, más que todo de mortero. Esto influye en los costos finales de la estructura.
- 4- El óptimo resultado de la unión se ve limitado al comportamiento del tabique y depende de su resistencia. No se aprovechan sus paredes.

- 5- La fuerza que genera la unión es del interior hacia el exterior de la guadua y esta hace que se afecte más fácilmente.
- 6- La mano de obra tiene que ser especializada, aun así no se puede garantizar el llenado completo de los entrenudos por ser muy dispendiosa su ejecución y por la dirección misma de las diversas guaduas.

Unión con tornillos transversales²

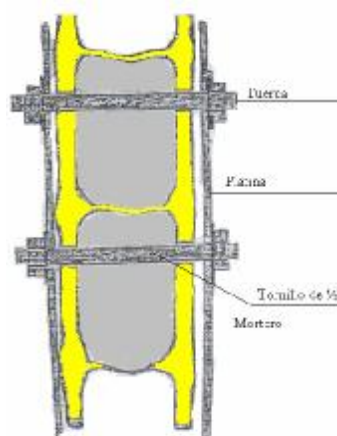


Figura 6. Unión con tornillos transversales. (Fuente Peña Rodríguez, 1997)

Las uniones de pasadores transversales responden muy bien ante esfuerzos de tracción, bien sea como empalme o como ensamble. Los pasadores se apoyan sobre una pequeña superficie de las paredes de la guadua y se encuentran embebidos en el mortero que funciona como pistón en el interior del entrenudo. Estos pasadores son lo suficientemente largos para que sobre ellos se pongan las platinas y tuercas.

Las platinas son la conexión entre la guadua y los demás elementos. Estas platinas transmiten el esfuerzo a los pasadores y al mortero y estos al tabique y a la pared de la guadua.

²Propuesta de uniones mecánicas en Guadua. Peña, Cesar y Rodríguez, Hugo. Universidad Nacional de Colombia.1997



Figura 6. Perforación del bambú para relleno de mortero (Fuente: Peña y Rodríguez, 1997)²

Ventajas:

- 1-Buen comportamiento a tracción y compresión.
- 2-Puede funcionar para empalme y ensamble.
- 3-Se puede amoldar fácilmente a cualquier tipo de entrenudo.
- 4-Da posibilidades para nuevos tipos de unión.
- 5- El daño que sufre el bambú no es tan considerable.

Desventajas

- 1-La realización es dispendiosa
- 2-Presenta las mismas características del mortero de la unión anterior.
- 3-Es una unión pesada.
- 4-El desperdicio de mortero puede ser grande, incrementando los costos.
- 5-El tiempo de ejecución es más prolongado debido a la colocación de los pernos y platinas.
- 6-Exige mayor cantidad de material.

²Propuesta de uniones mecánicas en Guadua. Peña, Cesar y Rodríguez, Hugo. Universidad Nacional de Colombia.1997

Unión con mortero y varilla¹²

Unión Simón Vélez Modificada (USVM)¹³

En esta unión la guadua trabaja a tensión atravesando una varilla de 5/8", en el entrenudo, posteriormente se rellena de mortero, al someterla a tensión el cilindro de mortero tiene muy poca adherencia, para mejorar esto se colocan puntillas semiperforada en forma helicoidal las cuales aportan adherencia entre las paredes y el mortero, adicionalmente se usan prismas de neopreno para evitar desgarramiento inducido por el ajuste de la arandela y la tuerca.

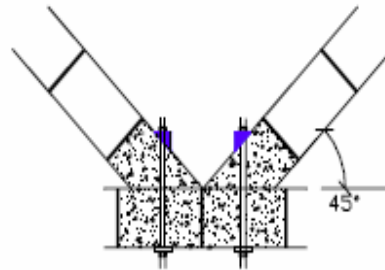


Figura 7. Unión Simón Vélez (Fuente: Jaramillo y Sanclemente, 2003)



Figura 8 . Unión Simón Vélez (Fuente: Jaramillo y Sanclemente, 2003)

Capacidad

Esfuerzos a Compresión 90°	=859.4 ton/m ²
Esfuerzos a tracción 90°	=345.5 ton/m ²
Esfuerzos a tracción 45°	=282 ton/m ²
Esfuerzos a tracción 60°	=313 ton/m ²

¹² Ing. Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente. Estudio de uniones en Guadua con ángulo de inclinación entre elementos. Universidad Nacional de Colombia. 2003.

¹³Simón Vélez, Investigador y especialista en conexiones de bambú, Colombia.

Unión tipo Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente (UDG)

Esta unión está constituida por flejes estándar de 0.30m. Se encuentran dentro de los elementos inclinados y se conectan en un pasador de 5/8" de diámetro en el elemento continuo. Los entrenudos en los que se encuentran dichos flejes se rellenan con mortero y este sujeta a las paredes de la guadua con una serie de puntillas alrededor de la misma en forma helicoidal, para introducir los flejes en el elemento continuo, es necesario realizar una ranura de 13cm de longitud y de 3/4" de ancho.



Figura 9. Unión Jaramillo-Sanclemente. (Fuente: Jaramillo y Sanclemente, 2003)

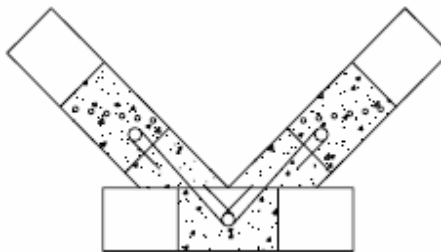


Figura 10. Unión Jaramillo-Sanclemente. (Fuente: Jaramillo y Sanclemente, 2003)

Capacidad

Esfuerzos a Compresión $90^\circ = 1078.7 \text{ ton/m}^2$
 Esfuerzos a tracción $90^\circ = 127.0 \text{ ton/m}^2$
 Esfuerzos a tracción $45^\circ = 313.0 \text{ ton/m}^2$
 Esfuerzos a tracción $60^\circ = 323.0 \text{ ton/m}^2$

¹² Ing. Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente. Estudio de uniones en Guadua con ángulo de inclinación entre elementos. Universidad Nacional de Colombia. 2003.

¹⁴ Ing. Sandra Clavijo. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia

Unión con Platina- Sandra Clavijo¹³ (USC)¹¹

Procede a enrollar una lamina CR cal.22 en cada elemento en ángulo. La cual se sujeta con tornillos de 1/4" de diámetro por encima o debajo del entrenudo, también se coloca una lámina del mismo tipo con un ancho de 0.08m, la cual unirá los elementos inclinados envolviendo el elemento continuo.

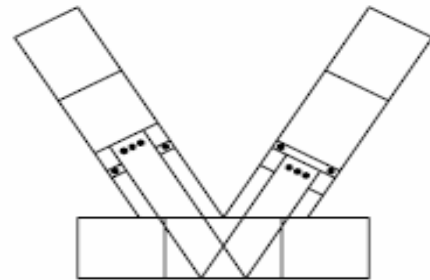


Figura 11. Unión Sandra Clavijo. (Fuente: Jaramillo y Sanclemente, 2003)



Figura 12. Unión Sandra Clavijo. (Fuente: Jaramillo y Sanclemente, 2003)

Capacidad

Esfuerzos a Compresión $90^\circ = 448.7 \text{ ton/m}^2$
 Esfuerzos a tracción $90^\circ =$ falla por la capacidad de la lamina de acero según su límite de fluencia y esfuerzo último.
 Sin elemento continuo no se puede realizar uniones con ángulo menor a 90° .

Metodología

Se realizará el diseño de una vivienda de dos plantas construida con elementos estructurales a base de bambú, en su especie de *Guadua Angustifolia* de 5', por medio de lo siguiente:

1-Recopilar información sobre el comportamiento estructural del bambú de la especie *Guadua Angustifolia*, mediante tesis anteriores sustentadas por ensayos, así como las entrevistas a expertos diseñadores en este material.

2-Se realizará el diseño de los elementos estructurales que el material permita realizar en tres ductilidades del rango inelástico, la sugerencia de ductilidad según la interpretación del CSCR 2002 así como dos extremos, es decir; se entenderá que los elementos de concreto y acero resistirán las fuerzas.

3-Se hará una recolección de datos de todas las uniones entre elementos de bambú posibles que se hayan investigado.

4-Se realizará la comparación del funcionamiento de ellas.

5-Se comparará los tipos de unión y se hará el diseño de la vivienda con ellos.

6-Se hará un presupuesto comparativo para cada elemento.

Resultados

A continuación se presentará el diseño de una vivienda construida con marcos de bambú, uniones de bambú, muros reforzados con bambú y entrepiso reforzado con bambú.

El diseño se realizará de la siguiente manera:

- Condiciones Iniciales
- Cargas por considerar
- Diseño de columnas
- Diseño de vigas
- Diseño de uniones.
- Plano de vivienda
- Presupuesto de la vivienda
- Diseño de entrepiso
- Diseño de cercha

Condiciones Iniciales

A continuación se realizará el diseño para una vivienda de clase alta, de dos plantas, cinco alcobas, tres baños, cocina, sala y comedor utilizando marcos de bambú, específicamente *Guadua Angustifolia*.

La vivienda se construirá con paredes de una mezcla de esterilla de bambú¹⁵ y concreto de 210kg/cm². Debido a que a este tipo de pared no se le ha hecho ningún estudio de su aporte a la estructura se tomará como pared liviana, pero su peso si será contemplado en el diseño. Por lo que la casa de habitación será diseñada para que los marcos toleren las fuerzas por completo que se presentan.

Cabe destacar; que lo que se realizará es el diseño para la ductilidad hipotética que sugiere el CSCR 2002 de 3, con ello se realizará la verificación en ductilidades hipotéticas de 1.5 y 6.

Nota aclaratoria:

Esterilla de bambú: Se conoce como las tablillas obtenidas al expandir cañas de bambú de gran diámetro.

La verdadera ductilidad se podrá encontrar con la reproducción de la obra en un ensayo de laboratorio para su verificación.

Las combinaciones de carga por utilizar son las estipuladas en el CSCR 2002 en la sección 6.2

- 1.4CP
- 1.2CP+1.6CT
- 1.05CP+fiCT +CSX
- 1.05CP+fiCT -CSX
- 0.95 CP +CSX
- 0.95CP -CSX
- 1.05CP+fiCT +CSY
- 1.05CP+fiCT -CSY
- 0.95 CP +CSY
- 0.95CP -CSY

En el caso del factor de la carga temporal es de 0,5 debido a que existe poca probabilidad de ocupación plena en caso de sismo.

Cargas presentes

Cargas permanentes

- Concreto reforzado con Guadua 2300kg/m³, este será tomado para los pesos de:
 1. Paredes de Guadua + Mortero
 2. Entrepiso de Guadua + Mortero
- Instalaciones Electromecánicas + Cielo Liviano = 35 kg /m².
- Pisos de Cerámica y mortero adicional para el afinado = 50 kg/m²
- Peso Especifico de la Guadua 800 kg/m³
- Teja de Barro= 75kg/m²

Cargas Temporales

Para determinar la carga temporal se hará uso del CSCR 2002, específicamente la tabla 6.1, la cual para casas de habitación se procederá a colocar 200 kg/m^2 esto para la carga temporal de la segunda planta, para la carga temporal del techo se tomara en cuenta 40 kg/m^2 que es lo que corresponde para techos de acero galvanizado y otros, dentro de esos otros se encontrara la teja de barro.

Carga Sísmica

Debido a que no se ha definido donde será localizada la vivienda se introducirá el valor más crítico que se pueda contar, por lo que el Coeficiente Sísmico se calculará tomando en cuenta una Zona IV y un suelo tipo S_3 , el cual brinda un resultado de aceleración efectiva de 0.44, según la tabla 2.2 del CSCR 2002.

El Factor de Importancia es de 1, ya que es una edificación de ocupación normal; el factor de sobre resistencia es de 2, debido a la estructura es tipo dual.

En el caso del cálculo del periodo de la estructura será considerada como una estructura tipo dual, ya que en la definición de sistemas estructurales en el CSCR 2002, sección 4.2, brinda una descripción del sistema dual e incluye los marcos de concreto reforzado, acero o madera, por lo que dentro de los marcos de madera se incluirá al bambú, dando como resultado un periodo de 0.16 dado que la casa de habitación posee dos.

En el caso de la ductilidad dado que será un sistema tipo dual, el valor de la ductilidad es de 3, pero se evaluará la capacidad en dos ductilidades más como lo son 6 y 1.5, con el fin de evaluar el comportamiento.

Al final se obtendrá un Coeficiente sísmico diferente el cual veremos en el Cuadro 1. La distribución de la fuerza sísmica en la estructura se realizará en el primer piso en el centro de masa de la segunda planta, para colocar la carga puntual en el entrepiso y para la segunda planta se colocará en la corona del segundo piso tomando en cuenta el área tributaria de cada marco, por lo que se distribuirá en cada marco dos fuerzas puntuales.

μ	FED	C sís.	F. Sis 1 Nivel (Ton)	F.Sis Cubrerera (Ton)
1.5	1.768	0.389	36.833	1.534
3	1.443	0.317	30.062	1.252
6	0.754	0.166	15.708	0.654

Tabla 1 Fuerzas Sísmicas por nivel para cada valor de ductilidad a evaluar

Diseño de elementos

Se realizara un análisis estático de elementos para el diseño.

El diseño de la vivienda será mediante el método probado del Ingeniero Luis Felipe López junto al Ingeniero David Trujillo, ambos de la Universidad Nacional de Colombia, quienes publicaron el artículo e investigación realizada con el nombre de: "Diseño de uniones y elementos en estructuras de Guadua". Este método de diseño ya ha sido utilizado en infinidad de estructuras construidas en bambú y es ampliamente utilizado por los diseñadores del bambú, específicamente de la Guadua.

La capacidad del material según dicho estudio es el siguiente:

Esfuerzo Ultimo Cortante=	431 ton/m ²
Esfuerzo Ultimo Flexión=	4375 ton/m ²
Esfuerzo Ultimo Compresión=	2800 ton/m ²
Esfuerzo Ultimo Tracción=	3525 ton/m ²
Modulo de Elasticidad =	1.3 e6 ton/m ²

Corrección de Esfuerzos

- Esfuerzo Ultimo Cortante= 110 ton/m²

Esfuerzo último con varios factores de seguridad. En el caso del esfuerzo cortante se utiliza:

$FS = 4 \times (\text{Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del limite de proporcionalidad})$.

*incluye factor por concentración de esfuerzos = 2

$$\frac{1}{FS} = f \rightarrow f = 0.25$$

$$s'_u = f s_u$$

$$110 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} = 0,25 * 431 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

- Esfuerzo Ultimo Flexión= 2100 ton/m²

FS = 1.4 (Factor de servicio y seguridad)
FDC = 1.5 (Factor duración de la carga).

$$\frac{1}{FS * FDC} = f \rightarrow f = 0.48$$

$$s'_u = f s_u$$

$$2100 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} = 0,48 * 4375 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

- Esfuerzo Ultimo Compresión= 1400 ton/m²

FS = 1.6 (Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad).
FDC = 1.25 (Factor de duración de carga).

$$\frac{1}{FS * FDC} = f \rightarrow f = 0.5$$

$$s'_u = f s_u$$

$$1400 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} = 0,5 * 2800 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

- Esfuerzo Ultimo Tracción= 2640 ton/m²

FS = 1.2 (Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad).
FDC = 1.11 (Factor de duración de carga).
(Ver nota aclaratoria)

$$\frac{1}{FS} = f \rightarrow f = 0.75$$

$$s'_u = f s_u$$

$$3525 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} = 0,75 * 2640 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Se requiere aclarar que dichos factores (phi) de corrección se emplean con el fin de corregir un esfuerzo último dando como resultado otro esfuerzo último.

Los factores Φ son recolectados de la investigación del Ing. Luís Felipe López⁴ en su adaptación del Código Andino de maderas al bambú.

Diseño de Columnas

El diseño de columnas se realizará tomando en cuenta el momento, carga axial, cortante y deflexión en la estructura según los datos recolectados con el uso del Software SAP 2000.

Debido a que en la obra existen seis tipos de columnas se evaluará la más crítica de cada tipo y con ella se llevará a cabo el diseño.

Se realizarán arreglos entre cañas de *Guadua Angustifolia*, según las necesidades estructurales y constructivas, ya que es necesario contar con una caña que reciba las vigas y otra que continúe a la segunda planta.

La columna simple que se diseñará a continuación se podrá utilizar como apoyo de una sola viga para evita luces muy largas, dicha columna no podrá recibir más de dos vigas, ya que comprometería la estabilidad en su unión.

Columna Simple

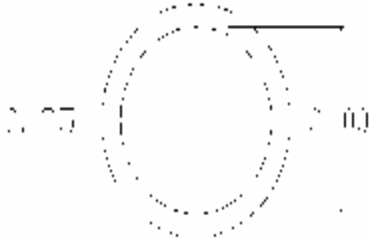


Figura 13. Sección transversal de una columna simple (en cm)

Características de la sección

$A=4.418 \text{ e-3 m}^2$
 $I=1.132\text{E-4 m}^4$
 $R=0.16 \text{ m}$
 $S=1.811 \text{ e-3 m}^3$
 $X=0.0625\text{m}$
 $Y=0.0625\text{m}$

$\mu=6$

$P_u= 3.090\text{Ton}$
 $M_u=0.410\text{ton}\cdot\text{m}$
 $V_u=0.1932 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}}=0.001873\text{m}$

$\mu=3$

$P_u= 3.719 \text{ Ton}$
 $M_u=0.549\text{ton}\cdot\text{m}$
 $V_u=0.274 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}}=0.003667\text{m}$

$\mu=1.5$

$P_u= 5.013 \text{ Ton}$
 $M_u=0.824 \text{ ton}\cdot\text{m}$
 $V_u=0.427 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}}=0.003765\text{m}$

Para $\mu=6$

Debe cumplir el diseño en flexo-compresión

$$\frac{P}{P_u} + \frac{K_m * M}{S * fm} < 1$$

Se procederá primero a identificar si es una columna corta, intermedia o larga:

$$L_{ef} = K * L = 1 * 3 = 3$$

$K=1$ viene dado por un valor de 1 en el articulado-articulado

$$\lambda = l / r$$

$$\lambda = 3 / 0.16 = 18.75$$

Para $\lambda < 30$ es una columna corta por lo que se calcula la P_{adm} :

$$P_u = f_u * A$$

$$F_{adm}=1400 \text{ ton/m}^2$$

$$P_{adm}=1400 * 4.418\text{e-3} = 6.185\text{ton}$$

$P_{cr} =$

$$P_{cr} = \frac{p^2 * E * I}{l_{ef}^2}$$

$$E=1.3\text{e} 6 \text{ ton/m}^2$$

$$P_{cr} = \frac{p^2 * 1.3\text{e}6 * 1.132\text{e} - 4}{3^3} = 161.38\text{ton}$$

$K =$

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{P}{P_{cr}}}$$

$$K = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{3.090}{161.38}} = 1.04$$

Debe cumplir el diseño en flexo-compresión y cortante:

$$\frac{P}{P_u} + \frac{K_m * M}{S * fm} < 1$$

$$\frac{3.090}{6.185} + \frac{1.04 * 0.41}{1.811 \text{ e} - 3 * 2100} < 1$$

$$0.611 < 1 \text{ Cumple}$$

Cortante

Q=3.313e-3 m3
Ancho =0.125m

$$t = \frac{V * Q}{b * I}$$

$$t = \frac{0.1935 * 2.761 e - 4}{0.125 * 1.132 e - 4} = 3.755 \text{ ton} / \text{m}^2$$

$$t_u = ft_n$$

0.25*431 ton/m2 > 3.755 ton/m2
110 ton/m2 > 3.755 ton/m2
Cumple

Deflexión Elástica

Δ máx.= 3/240=0.0125m
 Δ elástico =0.001873 m

Cumple

Para $\mu=3$

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{P}{P_{cr}}}$$

$$K = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{3.719}{161.38}} = 1.04$$

Debe cumplir el diseño en flexo-compresión y cortante:

$$\frac{P}{P_{adm}} + \frac{K_m * M}{S * fm} < 1$$

$$\frac{3.719}{6.185} + \frac{1.04 * 0.549}{1.811 e - 3 * 2100} < 1$$

0.751 < 1 Cumple

Cortante

Q=3.313e-3 m3
Ancho =0.125m

$$t = \frac{V * Q}{b * I}$$

$$t = \frac{0.2742 * 2.761 e - 4}{0.125 * 1.132 e - 4} = 5.35 \text{ ton} / \text{m}^2$$

$$t_u = ft_n$$

0.25*431 ton/m2 > 5.35 ton/m2
110 ton/m2 > 5.35 ton/m2
Cumple

Deflexión Elástica

Δ máx.= 3/240=0.0125m
 Δ elástico =0.003667 m

Cumple

Para $\mu=1.5$

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{P}{P_{cr}}}$$

$$K = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{5.013}{161.38}} = 1.05$$

Debe cumplir el diseño en flexo-compresión y cortante:

$$\frac{P}{P_{adm}} + \frac{K_m * M}{S * fm} < 1$$

$$\frac{4.55}{6.185} + \frac{1.05 * 0.824}{1.811 e - 3 * 2100} < 1$$

0.962 \approx 1 Cumple

Cortante

Q=3.313e-3 m3
Ancho =0.125m

$$t = \frac{V * Q}{b * I}$$

$$t = \frac{0.427 * 2.761 e - 4}{0.125 * 1.132 e - 4} = 8.328 \text{ ton/m}^2$$

$$t_u = ft_n$$

$$0.25 * 431 \text{ ton/m}^2 > 8.328 \text{ ton/m}^2$$

$$110 \text{ ton/m}^2 > 8.328 \text{ ton/m}^2$$

Cumple

Deflexión Elástica

$$\Delta \text{ máx.} = 3/240 = 0.0125 \text{ m}$$

$$\Delta_{\text{elástico}} = 0.003765 \text{ m}$$

Cumple

A continuación, se mostrarán los resultados, el desglose de fórmulas es la misma que para la columna simple, debido a que todas las columnas son del tipo cortas.

Columna Tipo 1

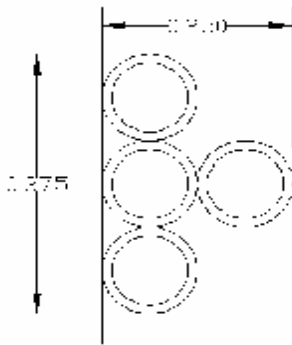


Figura 54. Sección Transversal de una columna tipo 1. (en cm)

Descripción: Dicha columna tendrá 4 cañas de bambú, la caña superior, inferior y a la derecha serán las que reciban la viga para actuar como marco la caña del centro se prolongara a la segunda planta.

Será utilizada en el perímetro de la estructura (Ver plano).

Características de la sección

A=1.767 e-2 m2
x=0.0938m
y=0.1875m
Ixx=5.909e-4 m4
Iyy=5.046e-4 m4
Rx=0.185 m
Ry=0.169
Sx=6.303 e-3 m3
Sy=2.691 e-3 m3

$$\mu=6$$

$$Pu= 10.573 \text{ Ton}$$

$$Mu=2.226 \text{ ton} * \text{m}$$

$$Vu=0.670 \text{ ton}$$

$$\Delta_{\text{elástico}} = 0.001955 \text{ m}$$

$$\mu=3$$

$$Pu= 10.573 \text{ Ton}$$

$$Mu=2.797 \text{ ton} * \text{m}$$

$$Vu=0.932 \text{ ton}$$

$$\Delta_{\text{elástico}} = 0.002448 \text{ m}$$

$$\mu=1.5$$

$$Pu= 10.573 \text{ Ton}$$

$$Mu=3.855 \text{ ton} * \text{m}$$

$$Vu=1.269 \text{ ton}$$

$$\Delta_{\text{elástico}} = 0.003400 \text{ m}$$

Para efectos de diseño de los elementos siempre se usará la sección de la columna para que brinde la menor capacidad para tolerar la carga, no necesariamente la de menor inercia y modulo de sección.

Flexo-Compresión

$$P_{adm} = 24.738 \text{ ton}$$

$$\lambda = 17.75$$

$$C_k = 1262.86$$

Tipo Corta

$$P_{cr} = 719.36 \text{ ton}$$

$$\text{Para } \mu=1.5$$

$$K_m = 1.02$$

$$\text{Factor Flexo-Compresión} = 1.125$$

No cumple

$$\text{Para } \mu=3$$

$$K_m = 1.02$$

$$\text{Factor Flexo-Compresión} = 0.94$$

Cumple

Para $\mu=6$

$K_m=1.02$

Factor Flexo-Compresión = 0.83

Cumple

Cortante

$Q=3.313e-3 \text{ m}^3$

$B=0.25 \text{ m}$

$T_n=110 \text{ ton/m}^2$

Para $\mu=1.5$

$T_u=33.06 \text{ ton/m}^2$

Cumple

Para $\mu=3$

$T_u=24.48 \text{ ton/m}^2$

Cumple

Para $\mu=6$

$T_u=17.57 \text{ ton/m}^2$

Cumple

Deflexión Elástica

$\Delta_{\text{máx.}} = 3/240 = 0.0125 \text{ m}$

Tamaño de la columna 3 metros

Para $\mu=1.5$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.003756 \text{ m}$

Cumple

Para $\mu=3$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.002448 \text{ m}$

Cumple

Para $\mu=6$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.001955 \text{ m}$

Cumple

Columna Tipo 2

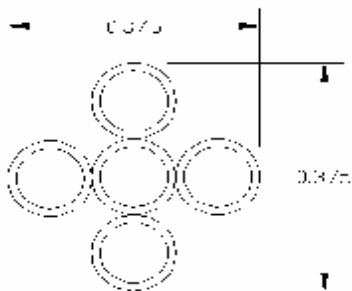


Figura 15. Sección Transversal de una columna tipo 2 (en cm)
Descripción: Dicha columna tendrá 5 cañas de bambú, la caña superior, inferior, a la derecha e

izquierda serán las que reciban la viga para actuar como marco la caña del centro se prolongará a la segunda planta.

Esta columna tiene especial aporte como columnas centrales por su capacidad de recibir en las cuatro direcciones vigas para unirse.

Características de la sección

$A=2.209 \text{ e-}2 \text{ m}^2$

$x=0.1875 \text{ m}$

$y=0.1875 \text{ m}$

$I_{xx}=7.041 \text{ e-}4 \text{ m}^4$

$I_{yy}=7.041 \text{ e-}4 \text{ m}^4$

$R_x=0.179 \text{ m}$

$R_y=0.179 \text{ m}$

$S_x=3.755 \text{ e-}3 \text{ m}^3$

$S_y=3.755 \text{ e-}3 \text{ m}^3$

$\mu=6$

$P_u=13.783 \text{ Ton}$

$M_u=2.75 \text{ ton} \cdot \text{m}$

$V_u=0.92 \text{ ton}$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.002026 \text{ m}$

$\mu=3$

$P_u=13.783 \text{ Ton}$

$M_u=3.615 \text{ ton} \cdot \text{m}$

$V_u=1.205 \text{ ton}$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.002655 \text{ m}$

$\mu=1.5$

$P_u=13.783 \text{ Ton}$

$M_u=5.271 \text{ ton} \cdot \text{m}$

$V_u=1.757 \text{ ton}$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.003871 \text{ m}$

Flexo-Compresión

$P_{adm}=30.93 \text{ ton}$

$\lambda=16.76$

$C_k=1262.86$

Tipo Corta

$P_{cr}=1003.77 \text{ ton}$

Para $\mu=1.5$

$K_m=1.02$

Factor Flexo-Compresión = 1.26

No cumple

Para $\mu=3$

$K_m=1.02$

Factor Flexo-Compresión = 0.913

Cumple

Para $\mu=6$
 Km= 1.02
 Factor Flexo-Compresión = 0.801
 Cumple

Cortante

Q=4.142e-3 m3
 B=0.375m
 Tn=110ton/m2

Para $\mu=1.5$
 Tu=19.76 ton/m2
 Cumple

Para $\mu=3$
 Tu=18.90ton/m2
 Cumple

Para $\mu=6$
 Tu=14.43ton/m2
 Cumple

Deflexión Elástica

$\Delta \text{ máx.} = 3/240 = 0.0125m$
 Tamaño de la columna 3 metros

Para $\mu=1.5$
 $\Delta_{\text{elástico}} = 0.003871 m$
 Cumple

Para $\mu=3$
 $\Delta_{\text{elástico}} = 0.002655 m$
 Cumple

Para $\mu=6$
 $\Delta_{\text{elástico}} = 0.002026 m$
 Cumple

Columna Tipo 3

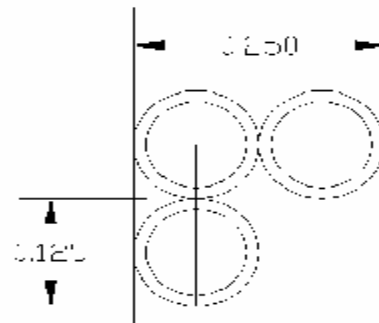


Figura 16 Sección Transversal de una columna tipo 3 (en cm)

Descripción: Dicha columna tendrá 3 cañas de bambú, será utilizada en las esquinas de la estructura por su capacidad de recibir vigas y prolongar una caña al segundo piso.

Características de la sección.

A=1.325 e-2 m2
 x=0.1458m
 y=0.1042m
 Ixx=4.087e-4 m4
 Iyy=4.087e-4 m4
 Rx=0.176 m
 Ry=0.176 m
 Sx=2.802 e-3 m3
 Sy=3.923 e-3 m3

$\mu=6$
 Pu= 6.007Ton
 Mu=1.11ton*m
 Vu=0.58ton
 $\Delta_{\text{elástico}} = 0.002205m$

$\mu=3$
 Pu= 6.007 Ton
 Mu=1.540ton*m
 Vu=0.744ton
 $\Delta_{\text{elástico}} = 0.002823m$

$\mu=1.5$
 Pu= 6.007 Ton
 Mu=2.36ton*m
 Vu=1.058ton
 $\Delta_{\text{elástico}} = 0.004015m$

Flexo-Compresión

$P_{adm}=18.55\text{ton}$

$\lambda=17.04$

$C_k=1262.86$

Tipo Corta

$P_{cr}= 582.65 \text{ ton}$

Para $\mu=1.5$

$K_m= 1.02$

Factor Flexo-Compresión = 0.730

Cumple

Para $\mu=3$

$K_m= 1.02$

Factor Flexo-Compresión = 0.589

Cumple

Para $\mu=6$

$K_m= 1.02$

Factor Flexo-Compresión = 0.515

Cumple

Cortante

$Q=1.933\text{e-}3 \text{ m}^3$

$B=0.25\text{m}$

$T_n=110\text{ton/m}^2$

Para $\mu=1.5$

$T_u=14.86 \text{ ton/m}^2$

Cumple

Para $\mu=3$

$T_u=14.07\text{ton/m}^2$

Cumple

Para $\mu=6$

$T_u=13.12\text{ton/m}^2$

Cumple

Deflexión Elástica

$\Delta_{\text{máx.}}= 3/240=0.0125\text{m}$

Tamaño de la columna 3 metros

Para $\mu=1.5$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.004015 \text{ m}$

Cumple

Para $\mu=3$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.002823 \text{ m}$

Cumple

Para $\mu=6$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.002202 \text{ m}$

Cumple

Columna Tipo 4

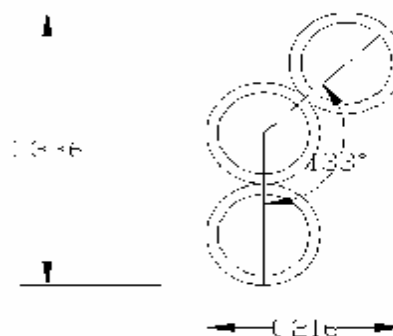


Figura 17. Sección Transversal de una columna tipo 4 (en cm)

Descripción: Dicha columna tendrá 3 cañas de bambú, por su condición será colocada para recibir un elemento viga inclinado con respecto a los ejes Y, X y perpendicular al eje z.

Características de la sección

$A=1.325 \text{ e-}2 \text{ m}^2$

$x=0.1745\text{m}$

$y=0.0719\text{m}$

$I_{xx}=5.783\text{e-}4 \text{ m}^4$

$I_{yy}=4.813\text{e-}4 \text{ m}^4$

$R_x=0.209 \text{ m}$

$R_y=0.191 \text{ m}$

$S_x=3.315 \text{ e-}3 \text{ m}^3$

$S_y=6.691 \text{ e-}3 \text{ m}^3$

$\mu=6$

$P_u= 4.057 \text{ Ton}$

$M_u=2.798\text{ton}\cdot\text{m}$

$V_u=0.952\text{ton}$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.001063\text{m}$

$\mu=3$

$P_u= 4.157 \text{ Ton}$

$M_u=3.901\text{ton}\cdot\text{m}$

$V_u=1.300\text{ton}$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.001452\text{m}$

$\mu=1.5$

$P_u=4.827 \text{ Ton}$
 $M_u=6.043 \text{ ton}\cdot\text{m}$
 $V_u=2.033 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}}=0.0025 \text{ m}$

Flexo-Compresión

$P_{adm}=18.55 \text{ ton}$
 $\lambda=28.795$
 $C_k=1262.86$
Tipo Corta
 $P_{cr}=204.14 \text{ ton}$

Para $\mu=1.5$

$K_m=1.00$
Factor Flexo-Compresión = 1.1315
No Cumple

Para $\mu=3$

$K_m=1.00$
Factor Flexo-Compresión = 0.77
Cumple

Para $\mu=6$

$K_m=1.00$
Factor Flexo-Compresión = 0.622
Cumple

Cortante

$Q=2.312 \text{ e-}3 \text{ m}^3$
 $B=0.125 \text{ m}$
 $T_n=110 \text{ ton/m}^2$

Para $\mu=1.5$

$T_u=77.412 \text{ ton/m}^2$
Cumple

Para $\mu=3$

$T_u=42.38 \text{ ton/m}^2$
Cumple

Para $\mu=6$

$T_u=22.538 \text{ ton/m}^2$
Cumple

Deflexión Elástica

$\Delta_{\text{elástico máx.}}=5.5/240=0.0229 \text{ m}$
Tamaño de la columna 5.5 metros

Para $\mu=1.5$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.00250 \text{ m}$
Cumple

Para $\mu=3$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.001452 \text{ m}$
Cumple

Para $\mu=6$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.001063 \text{ m}$
Cumple

Columna Tipo 5

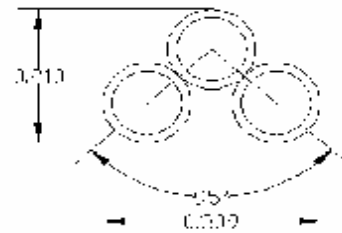


Figura 18. Sección Transversal de una columna tipo 5 (en cm)

Descripción: Elemento esquinero ubicado en el boquete de las gradas, dicha columna tendrá 3 cañas de bambú, por su condición será colocada para recibir dos elementos viga inclinado con respecto a los ejes Y, X y perpendicular al eje z.

Características de la sección

$A=1.325 \text{ e-}2 \text{ m}^2$
 $x=0.0907 \text{ m}$
 $y=0.1549 \text{ m}$
 $I_{xx}=8.467 \text{ e-}4 \text{ m}^4$
 $I_{yy}=6.924 \text{ e-}4 \text{ m}^4$
 $R_x=0.253 \text{ m}$
 $R_y=0.229 \text{ m}$
 $S_x=9.336 \text{ e-}3 \text{ m}^3$
 $S_y=4.469 \text{ e-}3 \text{ m}^3$

$\mu=1.5$

$P_u=4.264 \text{ Ton}$
 $M_u=3.927 \text{ ton}\cdot\text{m}$
 $V_u=1.309 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}}=0.002398 \text{ m}$

$\mu=3$

$P_u=2.981 \text{ Ton}$
 $M_u=2.491 \text{ ton}\cdot\text{m}$
 $V_u=0.830 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}}=0.001522 \text{ m}$

$\mu=6$

$P_u=2.366$ Ton
 $M_u=1.760$ ton*m
 $V_u=0.586$ ton
 $\Delta_{elástico}=0.001075$ m

Flexo-Compresión

$P_{adm}=18.55$ ton
 $\lambda=24.017$
 $C_k=1262.857$
Tipo Corta
 $P_{cr}=293.68$ on

Para $\mu=1.5$

$K_m=1.02$
Factor Flexo-Compresión = 0.658
Cumple

Para $\mu=3$

$K_m=1.02$
Factor Flexo-Compresión = 0.430
Cumple

Para $\mu=6$

$K_m=1.01$
Factor Flexo-Compresión = 0.320
Cumple

Cortante

$Q=2.053e-3$ m3
 $B=0.125$ m
 $T_n=110$ ton/m2

Para $\mu=1.5$

$T_u=31.05$ ton/m2
Cumple

Para $\mu=3$

$T_u=19.688$ ton/m2
Cumple

Para $\mu=6$

$T_u=13.90$ ton/m2
Cumple

Deflexión Elástica

Debido a que la columna presenta arriostre de un lado pero del otro no se tomará como 5.5 metros de longitud.

$\Delta_{elástico} máx.=5.5/240=0.0229$ m
Tamaño de la columna 5.5 metros

Para $\mu=1.5$

$\Delta_{elástico}=0.002398$ m
Cumple

Para $\mu=3$

$\Delta_{elástico}=0.001522$ m
Cumple

Para $\mu=6$

$\Delta_{elástico}=0.001075$ m
Cumple

Columna Tipo 6

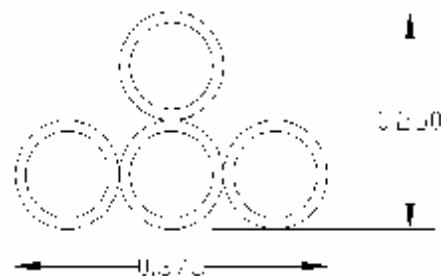


Figura 19. Sección Transversal de una columna tipo 6 (en cm)

Descripción: Dicha columna tendrá 4 cañas de bambú, la caña superior, izquierda y a la derecha serán las que reciban la viga para actuar como marco la caña del centro se prolongará a la segunda planta.

Será utilizada en el perímetro de la estructura (Ver plano).

Características de la sección

$A=1.767$ e-2 m2
 $x=0.0938$ m
 $y=0.1875$ m
 $I_{xx}=5.046e-4$ m4
 $I_{yy}=5.909e-4$ m4
 $R_x=0.169$ m
 $R_y=0.183$ m
 $S_x=2.691$ e-3 m3
 $S_y=6.303$ e-3 m3

$\mu=1.5$

$P_u=6.875$ Ton
 $M_u=4.516$ ton*m
 $V_u=1.489$ ton
 $\Delta_{elástico}=0.004578$ m

$$\mu=3$$

$P_u=6.858 \text{ Ton}$
 $M_u=2.864 \text{ ton}\cdot\text{m}$
 $V_u=0.9965 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}}=0.003064 \text{ m}$

$$\mu=6$$

$P_u=6.695 \text{ Ton}$
 $M_u=1.899 \text{ ton}\cdot\text{m}$
 $V_u=0.633 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}}=0.001662 \text{ m}$

Flexo-Compresión

$P_{adm}=26.505 \text{ ton}$
 $\lambda=17.75$
 $C_k=1262.86$
Tipo Corta
 $P_{cr}=719.36 \text{ ton}$

Para $\mu=1.5$

$K_m=1.01$
Factor Flexo-Compresión = 1.08
No Cumple

Para $\mu=3$

$K_m=1.01$
Factor Flexo-Compresión = 0.791
Cumple

Para $\mu=6$

$K_m=1.01$
Factor Flexo-Compresión = 0.611
Cumple

Cortante

$Q=3.313 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 $B=0.25 \text{ m}$
 $T_n=110 \text{ ton/m}^2$

Para $\mu=1.5$

$T_u=39.102 \text{ ton/m}^2$
Cumple

Para $\mu=3$

$T_u=26.170 \text{ ton/m}^2$
Cumple

Para $\mu=6$

$T_u=16.624 \text{ ton/m}^2$
Cumple

Deflexión Elástica

Debido a que la columna presenta arriostre de un lado, pero del otro no, se tomará como 5.5 metros de longitud.

$$\Delta_{\text{elástico máx.}}=3/240=0.0125 \text{ m}$$

Tamaño de la columna 3 metros

Para $\mu=1.5$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.004578 \text{ m}$
Cumple

Para $\mu=3$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.003064 \text{ m}$
Cumple

Para $\mu=6$

$\Delta_{\text{elástico}}=0.001662 \text{ m}$
Cumple

Diseño de vigas

El diseño de vigas se realizará tomando en cuenta el momento, carga axial, cortante y deflexión en la estructura según los datos recolectados con el uso del Software SAP 2000. Debido a que la vivienda por estética presentará un solo tipo de viga, se diseñará la más crítica, tanto en flexo-compresión como en momento puro, cortante y deflexión.

Viga Típica.

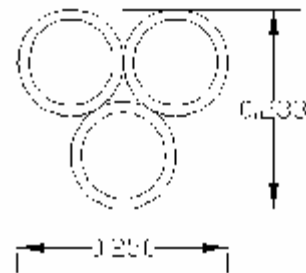


Figura 20. Sección Transversal de la viga a utilizar (en cm)

Descripción: Viga típica corona para primera y segunda planta. Su arreglo con 3 cañas se debe a necesidades constructivas debido a que es necesario contar con una sola caña en la parte inferior para que se una con las columnas.

Las dos cañas superiores van a tener la condición de sujetar mediante un clavador de madera de 5cm x5cm (ver Corte A-A plano).

Características de la sección.

A=1.325e-2 m²
x=0.1250m
y=0.1346m
I_{xx}=3.741e-4 m⁴
I_{yy}=3.741e-4 m⁴
R_x=0.168 m
R_y=0.168 m
S_x=2.993 e-3 m³
S_y=2.779 e-3 m³

Momento Puro

$\mu=1.5$
Mu= 4.516ton*m

$$S_u = \frac{M}{S} = 1541.92 \text{ ton/m}^2$$

La carga admisible para guadua es de 2100ton/m², por lo que cumple satisfactoriamente. Se presenta la particularidad que en las vigas en todas las ductilidades predomina la combinación de carga que no presenta el sismo, por lo que el momento en todas las ductilidades es el mismo.

Flexo-Compresión

P_{adm}=18.55ton
 $\lambda=17.857$
C_k=1262.86
Tipo Corta
P_{cr}= 533.32 ton
L= 5 m

Para $\mu=1.5$

P_u=0.753 ton
Mu= 3.247 ton*m
K_m= 1.00
Factor Flexo-Compresión = 0.598
Cumple

Para $\mu=3$

P_u=0.477 ton
Mu= 2.406 ton*m
K_m= 1.00
Factor Flexo-Compresión = 0.439
Cumple

Para $\mu=6$

P_u=0.338 ton
Mu= 1.979 ton*m
K_m= 1.00
Factor Flexo-Compresión = 0.357
Cumple

Cortante

Q=3.313e-3 m³
B=0.25m
T_n=110ton/m²

Para $\mu=1.5$

V=5.303ton
Tu=108.413 ton/m²
Cumple

El esfuerzo cortante admisible es de 110 ton/m², por lo que la viga propuesta cumple con lo establecido, ya que en las tres ductilidades estudiadas todas presentan el mismo valor máximo se realizó un solo diseño, esto debido a que la combinación de carga al igual que en el diseño de momento puro fue una combinación donde no se incluía el sismo, la cual es 1.2CP + 1.6 CT.

Deflexión Elástica

$\Delta_{\text{máx.}} = 5/360 = 0.0138\text{m}$
Tamaño de la viga 5 metros

Para $\mu=1.5$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.01279 \text{ m}$
Cumple

Para $\mu=3$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.001258 \text{ m}$
Cumple

Para $\mu=6$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.001258 \text{ m}$
Cumple

Diseño de viguetas de entrepiso

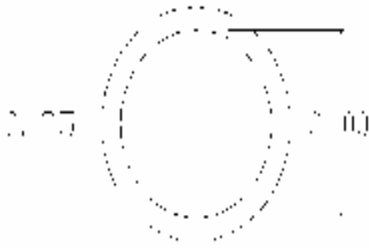


Figura 21 Sección Transversal de la vigueta a utilizar (en cm)

Las viguetas de entrepiso irán colocados por debajo de la losa de concreto de 5cm reforzado con una malla electro soldada #2 (Ver plano).

La losa se supone como estructuralmente adecuada y su diseño no será objeto de evaluación en este proyecto.

Su colocación será solo en una dirección y tendrá un espacio de 50cm entre caña.

Estas viguetas estarán regidas por momento puro producto de la carga que sostienen.

De acuerdo con las cañas utilizadas en todo el proyecto también estas viguetas de bambú serán de 12.5cm (5").

La vigueta mas critica será la central que posea una carga tributaria de 50 cm (25cm y 25cm a ambos lados).

Características de la sección

$$A=4.418 \text{ e-3 m}^2$$

$$I=1.132\text{E-4 m}^4$$

$$R=0.16 \text{ m}$$

$$S=1.811 \text{ e-3 m}^3$$

Momento Puro

$$M_u=0.433 \text{ ton}^*\text{m}$$

$$S_m = \frac{M}{S} = 155.811 \text{ ton/m}^2$$

La carga admisible para guadua es de 2100ton/m², por lo que cumple satisfactoriamente. Se presenta la particularidad que en las vigas en todas las ductilidades predomina la combinación de carga que no presenta el sismo, por lo que el momento en todas las ductilidades es el mismo.

Cortante

$$Q=2.761\text{e-4 m}^3$$

$$B=0.125\text{m}$$

$$T_n=110\text{ton/m}^2$$

Para $\mu=1.5$

$$V=0.4925 \text{ ton}$$

$$T_u=9.66 \text{ ton/m}^2$$

Cumple

Deflexión

$$\Delta_{\text{elástico}} \text{ máx.} = 3.5/360 = 0.0097\text{m}$$

Tamaño de la vigueta 3.5 metros

Deflexión máxima en una vigueta.

$$\Delta_{\text{elástico}} = 0.0038 \text{ m}$$

Cumple

Diseño de Cercha

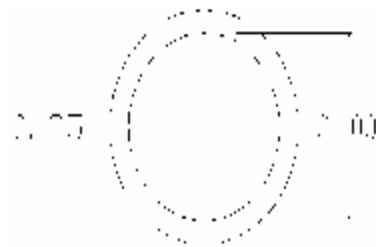


Figura 22. Sección Transversal de la cercha a utilizar (en cm)

Se tomará el elemento más critico tanto en tensión, compresión, cortante, momento y deflexión. La cercha estará ubicada soportando la cubierta como es lo normal, a 5.5metros del nivel de piso terminado de la estructura.

De acuerdo con las cañas utilizadas en todo el proyecto también esta cercha de bambú será de 12.5cm (5").

Se supondrá para efectos de diseño que es un elemento articulado-articulado, como es normal en este tipo de elementos tanto de bambú como de cualquier otro material.

Se requiere la verificación por aspectos de cortante, deflexión y flexo-compresión.

$\mu=6$

$P_u = -1.7217 \text{ Ton}$
 $M_u = 0.635 \text{ ton}\cdot\text{m}$
 $V_u = 1.2181 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}} = 0.000318 \text{ m}$

$\mu=3$

$P_u = -1.7217 \text{ Ton}$
 $M_u = 0.689 \text{ ton}\cdot\text{m}$
 $V_u = 1.2181 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}} = 0.000218 \text{ m}$

$\mu=1.5$

$P_u = -1.7217 \text{ Ton}$
 $M_u = 0.75902 \text{ ton}\cdot\text{m}$
 $V_u = 0.12181 \text{ ton}$
 $\Delta_{\text{elástico}} = 0.000219 \text{ m}$

Características de la sección.

$A = 4.418 \text{ e-3 m}^2$
 $I = 1.132 \text{ E-4 m}^4$
 $R = 0.16 \text{ m}$
 $S = 1.811 \text{ e-3 m}^3$

Flexo-Compresión

$P_{adm} = 6.627 \text{ ton}$
 $\lambda = 16.56$
 $C_k = 1178.67$
Tipo Corta
 $P_{cr} = 206.82 \text{ ton}$

Para $\mu=1.5$

$K_m = 1.01$
Factor Flexo-Compresión = 0.462
Cumple

Para $\mu=3$

$K_m = 1.01$
Factor Flexo-Compresión = 0.443
Cumple

Para $\mu=6$

$K_m = 1.01$
Factor Flexo-Compresión = 0.429
Cumple

Cortante

$Q = 3.313 \text{ e-3 m}^3$
 $B = 0.25 \text{ m}$
 $T_n = 110 \text{ ton/m}^2$

Para $\mu=1.5$; $\mu=3$ y $\mu=6$

$T_u = 23.768 \text{ ton/m}^2$
Cumple

Debido a que la combinación de carga dominante no involucraba el sismo el cortante para todas las ductilidades es el mismo.

Deflexión Elástica

$\Delta_{\text{máx.}} = 2.65/360 = 0.0074 \text{ m}$
Tamaño del elemento 2.65 metros

Para $\mu=1.5$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.000219 \text{ m}$
Cumple

Para $\mu=3$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.000218 \text{ m}$
Cumple

Para $\mu=6$

$\Delta_{\text{elástico}} = 0.000217 \text{ m}$
Cumple

Diseño de muros

Los muros en la vivienda no van a ser componentes estructurales, debido a ello no se diseñarán como elementos de corte, a pesar de esto el sismo influye sobre la cara del mismo por lo que el diseño de este evento es necesario.

La capacidad de los muros se diseñará con los siguientes criterios:

- Se supone una losa en cuatro apoyos.
- La carga sísmica estará repartida en toda el área y será colocada perpendicular al muro.

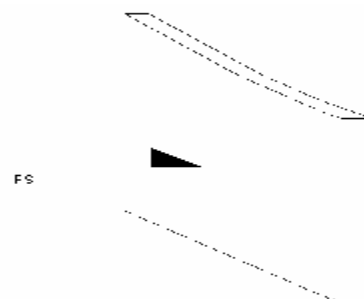


Figura 23. Forma en que actúa el sismo en el muro

El Capítulo 14 dicta para elementos no estructurales mayores de 200kg realizar diseño para evento sísmico.

$$Fp = 4 * a_{ef} * I * Wp$$

Se tomará el muro más pesado:
3.5m x 2.5m x 0.15m

$$Wp = 2.3 \text{ton/m}^3 \times 3.5 \text{m} \times 0.15 \text{m} \times 2.5 \text{m} = 3.01875 \text{ton}$$

$$Fp = 4 * 0.44 * I * 3.01875 = 5.313 \text{ton}$$

$$Mu = 0.999 \text{ton} \cdot \text{m}$$

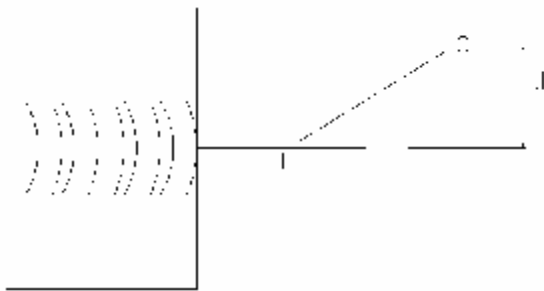


Figura 24. Muro reforzado con esterilla de bambú

La premisa de diseño para acero, menciona un factor de 0.85 para el concreto, esto no es correcto de utilizar para el bambú ya que no se ha hecho ningún estudio técnico que así lo demuestre, se empleará el concreto en el rango elástico previendo que se comporte de una manera muy conservadora.

Se diseñará por metro de muro con la carga más crítica del muro de 3.5 m.

Aporte compresión del concreto:

$$C = 0.33 f'c * Ac = 0.33 * 2100 * 0.05 * 1 = 34.65 \text{ ton}$$

$$\epsilon_c = 0.001 \text{ (Rango Plástico)}$$

El balance que debe haber compresión debe ser igual al valor de la tracción aportada por la esterilla del bambú.

Se supondrá un valor de j. Este debe mantener el balance C=T.

$$j = 0.05 \text{ m (Supuesto)}$$

$$Mcr = C * j = 1.733 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$Mcr \geq Mu$$

Cumple

Debe de cumplir el balance T=C

Aporte del bambú:

$$T = fb * Ab$$

$$34.65 \text{ Ton} = Ab * fb$$

Se supone que la esterilla rellenará los 5cm debido a su curvatura.

$$Ab = 0.05 \text{m} * 1 \text{m} = 0.05 \text{m}^2$$

$$fb = 1386 \text{ ton/m}^2, \text{ no llega al límite}$$

$$^{15}fbu = 2640 \text{ ton/m}^2$$

$$\epsilon_b = fb / E$$

$$^{16}E = 1.3e6 \text{ ton/m}^2$$

$$\epsilon_b = 1386 / 1.3e6 = 0.00106$$

Resultado:

- El muro cumple por la flexión
- Cumple con el supuesto j al mantener el equilibrio
- El fb del bambú no supera la capacidad última del bambú

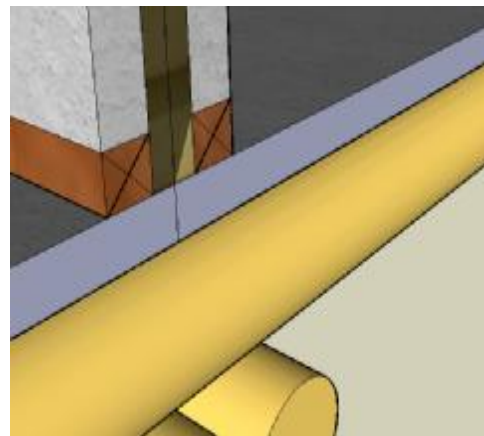


Figura 25. Conexión Muro-Losa.

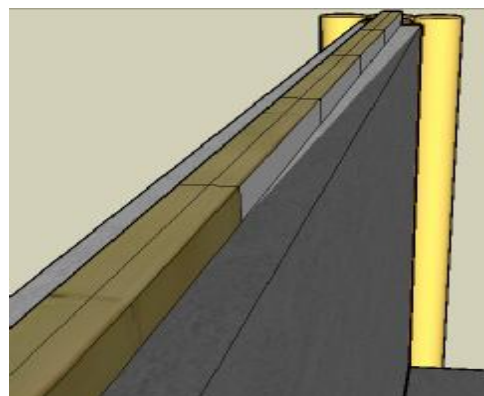


Figura 26. Acabado Final de Muro.

Diseño de uniones

El diseño de uniones se basará en lo expuesto en la publicación de investigación de los Ingenieros Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente quienes publicaron el trabajo Estudio de uniones en Guadua con ángulo de inclinación entre elementos¹⁴

Unión a 90° Columna-Viga en Compresión (Ver plano)

Diseño de Unión Simón Vélez Modificada (USVM)

$\sigma=859.4$ Ton/m²

$\sigma = R/A$

Siendo R la fuerza o reacción aplicada.

Siendo A el área de contacto entre cañas

Diseño de Unión Sandra Clavijo (USC)

$\sigma=448.7$ ton/m²

$\sigma = R/A$

Siendo R la fuerza o reacción aplicada

Siendo A el área de contacto entre cañas

Unión Diego Gisella (UDG)

$\sigma=1078.7$ ton/m²

$\sigma = R/A$

Siendo R la fuerza o reacción aplicada

Siendo A el área de contacto entre cañas

Columna Tipo Simple.

Carga Axial Presente:

$\mu=1.5$ P=5.013 ton

$\mu=3$ P=3.719 ton

$\mu=6$ P=3.090 ton

Descripción: Unión producto de la conexión entre la caña inferior de la viga típica y la columna simple. El área que aparece como área de contacto es la de la columna simple que aporta la mayor carga axial.

Unión	σ admisible (ton/m ²)	Área (cm ²)	Capacidad Unión (ton)
SVM	859,4	44,18	3,797
SC	448,7	44,18	1,982
DG	1078,7	44,18	4,766

Tabla 2. Área de contacto y esfuerzos por unión

Unión	Resultado $\mu=1.5$	Resultado $\mu=3$	Resultado $\mu=6$
SVM	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
SC	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
DG	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 3. Capacidad de la unión en carga axial para las diferentes ductilidades

Columna Tipo 1.

Carga Axial Presente:

$\mu=1.5$ P=10.573 ton

$\mu=3$ P=10.573 ton

$\mu=6$ P=10.573 ton

Descripción: La columna tipo 1 presenta 4 cañas en forma de Te (Ver figura 13), por lo que el área en contacto serían las 3 cañas que rodean la central, a pesar de ello dicha caña central que posee la configuración de dicha columna será también necesaria para aportar a la unión ya sea con platina o rellena de concreto por lo que su área también debe ser tomada en cuenta.

Nota aclaratoria:

¹⁴Las uniones en estudio han sido diseñadas por los autores que las mismas poseen en sus nombres, sus capacidades utilizadas son producto de la investigación de los Ingenieros Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente quienes publicaron el trabajo Estudio de uniones en Guadua con ángulo de inclinación entre elementos. Universidad Nacional de Colombia. 2003.

Unión	σ admisible (ton/m ²)	Área (cm ²)	Capacidad Unión (ton)
SVM	859,4	176,7	15,186
SC	448,7	176,7	7,929
DG	1078,7	176,7	19,061

Tabla 4. Área de contacto y esfuerzos por unión.

Unión	Resultado $\mu=1.5$	Resultado $\mu=3$	Resultado $\mu=6$
SVM	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
SC	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
DG	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 5. Capacidad de la unión en carga axial para las diferentes ductilidades

Columna Tipo 2
Carga Axial Presente

$\mu=1.5$ P=13,783 ton
 $\mu=3$ P=13,783 ton
 $\mu=6$ P=13,783 ton

Descripción: La columna tipo 2 presenta 5 cañas en forma de cruz (Ver figura 14), por lo que el área en contacto serían las 4 cañas que rodean la central, a pesar de ello dicha caña central que posee la configuración de dicha columna será también necesaria para aportar a la unión ya sea con platina o rellena de concreto por lo que su área también debe ser tomada en cuenta.

Unión	σ admisible (ton/m ²)	Área (cm ²)	Capacidad Unión (ton)
SVM	859,4	220,9	18,984
SC	448,7	220,9	9,912
DG	1078,7	220,9	23,828

Tabla 6. Área de contacto y esfuerzos por unión

Unión	Resultado $\mu=1.5$	Resultado $\mu=3$	Resultado $\mu=6$
SVM	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
SC	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
DG	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 7. Capacidad de la unión en carga axial para las diferentes ductilidades

Columna Tipo 3.

Carga Axial Presente:

$\mu=1.5$ P= 6,007 ton
 $\mu=3$ P= 6,007 ton
 $\mu=6$ P= 6,007 ton

Descripción: Aplica la misma descripción que para las anteriores columna el área de contacto serán las tres cañas de la columna.

Unión	σ admisible (ton/m ²)	Área (cm ²)	Capacidad Unión (ton)
SVM	859,4	132,5	11,387
SC	448,7	132,5	5,945
DG	1078,7	132,5	14,293

Tabla 8. Área de contacto y esfuerzos por unión

Unión	Resultado $\mu=1.5$	Resultado $\mu=3$	Resultado $\mu=6$
SVM	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
SC	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
DG	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 9. Capacidad de la unión en carga axial para las diferentes ductilidades

Columna Tipo 4.

Carga Axial Presente:

$\mu=1.5$ P= 4,827 ton
 $\mu=3$ P= 4,157ton
 $\mu=6$ P= 4,057ton

Unión	σ admisible (ton/m ²)	Área (cm ²)	Capacidad Unión (ton)
SVM	859,4	132,5	11,387
SC	448,7	132,5	5,945
DG	1078,7	132,5	14,293

Tabla 10. Área de contacto y esfuerzos por unión

Unión	Resultado $\mu=1.5$	Resultado $\mu=3$	Resultado $\mu=6$
SVM	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
SC	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
DG	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 11. Capacidad de la unión para las diferentes ductilidades

Columna Tipo 5

Carga Axial Presente:

$\mu=1.5$ P= 4,264 ton

$\mu=3$ P= 2,981 ton

$\mu=6$ P= 2,366 ton

Unión	σ admisible (ton/m ²)	Área (cm ²)	Capacidad Unión (ton)
SVM	859,4	132,5	11,387
SC	448,7	132,5	5,945
DG	1078,7	132,5	14,293

Tabla 12. Área de contacto y esfuerzos por unión

Unión	Resultado $\mu=1.5$	Resultado $\mu=3$	Resultado $\mu=6$
SVM	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
SC	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
DG	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 13. Capacidad de la unión para las diferentes ductilidades

Columna Tipo 6.

Carga Axial Presente:

$\mu=1.5$ P= 4,264 ton

$\mu=3$ P= 2,981 ton

$\mu=6$ P= 2,366 ton

Aplica misma descripción que la columna tipo 1 ya que su configuración es la misma.

Unión	σ admisible (ton/m ²)	Área (cm ²)	Capacidad Unión (ton)
SVM	859,4	176,7	15,185
SC	448,7	176,7	7,928
DG	1078,7	176,7	19,060

Tabla 14. Área de contacto y esfuerzos por unión

Unión	Resultado $\mu=1.5$	Resultado $\mu=3$	Resultado $\mu=6$
SVM	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
SC	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
DG	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 15. Capacidad de la unión para las diferentes ductilidades

Unión Columna -Pilote

(Ver plano) (Ver nota aclaratoria 14)

Diseño de Unión Simón Vélez Modificada (USVM)

$\sigma=345,5$ kg/cm²

$\sigma = R/A$

Siendo R la fuerza o reacción aplicada

Siendo A el área de contacto entre cañas

Unión Diego Gisella (UDG)

$\sigma=127,0$ kg/cm²

$\sigma = R/A$

Siendo R la fuerza o reacción aplicada

Siendo A el área de contacto entre cañas

Se tomará el área de contacto como el área de la caña sin rellenar para que el diseño sea del bambú no del concreto.

Columna Simple

Unión	σ Admisible (ton/m ²)	Área (m ²)'t	Pmax't (ton)
SVM	345,5	2,21E-03	0,763
DG	127,0	2,21E-03	0,281

Tabla 16. Capacidad de la unión

Centroide (m)	μ	Momento Flector (ton*m)	Tensión Máxima (kg)
0.0625	1,5	0,824	0,052
	3	0,550	0,034
	6	0,410	0,026

Tabla 17. Carga aplicada debido al momento flector

Ambas uniones toleran la máxima tracción presente en la unión.

Columna Tipo 1

Unión	σ Admisible (ton/m ²)	Área (m ²)'t	Pmax't (ton)
SVM	345,5	1,10E-02	3,815
DG	127,0	1,10E-02	1,402

Tabla 18. Capacidad de la unión

Centroide (m)	μ	Momento Flector (ton*m)	Tensión Máxima (ton)
0.1875	1,5	3,855	0,723
	3	2,797	0,524
	6	2,226	0,417

Tabla 19. Carga aplicada debido al momento flector

Ambas uniones toleran la máxima tracción presente en la unión.

Columna Tipo 2

Unión	σ Admisible (ton/m ²)	Área (m ²)'t	Pmax't (ton)
SVM	345,5	1,10E-02	3,816
DG	127,0	1,10E-02	1,403

Tabla 20. Capacidad de la unión

Centroide (m)	μ	Momento Flector (ton*m)	Tensión Máxima (kg)
0.1875	1,5	5,27	0,988
	3	3,615	0,678
	6	2,75	0,516

Tabla 21. Carga aplicada debido al momento flector

Ambas uniones toleran la máxima tracción presente en la unión.

Columna Tipo 3

Unión	σ Admisible (ton/m ²)	Área (m ²)'t	Pmax't (ton)
SVM	345,5	7,73E-03	2,670
DG	127,0	7,73E-03	0,981

Tabla 22. Capacidad de la unión

Centroide (m)	μ	Momento Flector (ton*m)	Tensión Máxima (kg)
0.1458	1,5	2,36	0,344
	3	1,54	0,225
	6	1,11	0,162

Tabla 23. Carga aplicada debido al momento flector

Ambas uniones toleran la máxima tracción presente en la unión.

Columna Tipo 4

Unión	σ Admisible (kg/cm ²)	Área (m ²)'t	Pmax't (ton)
SVM	345,5	7,73E-03	2,670
DG	127,0	7,73E-03	0,981

Tabla 24. Capacidad de la unión

Centroide (m)	μ	Momento Flector (ton*m)	Tensión Máxima (ton)
0.1745	1,5	6,043	1,054
	3	3,901	0,681
	6	2,798	0,488

Tabla 25. Carga aplicada debido al momento flector

La unión Diego–Gisella no tolera la carga en la máxima fibra en tracción de 1,054 kg. La unión Simón Vélez tolera todas las fuerzas en las distintas ductilidades.

Columna Tipo 5

Unión	σ Admisible (ton/m ²)	Área (m ²)'t	Pmax't (kg)
SVM	345,5	7,73E-03	2,670
DG	127,0	7,73E-03	0,981

Tabla 26. Capacidad de la unión

Centroide (m)	μ	Momento Flector (ton*m)	Tensión Máxima (ton)
0.1549	1,5	0,824	0,608
	3	0,550	0,386
	6	0,410	0,273

Tabla 27. Carga aplicada debido al momento flector.

Ambas uniones toleran la máxima tracción presente en la unión.

Columna Tipo6

Unión	σ Admisible (ton/m ²)	Área (m ²)t	Pmax't (ton)
SVM	345,5	1,10E-02	3,814
DG	127,0	1,10E-02	1,402

Tabla 28. Capacidad de la unión

Centroide (m)	μ	Momento Flector (ton*m)	Tensión Máxima (ton)
0.1875	1,5	4,516	0,846
	3	2,864	0,537
	6	1,899	0,356

Tabla 29. Carga aplicada debido al momento flector

Ambas uniones toleran la máxima tracción presente en la unión.

Diseño por Cortante en la base

El diseño se basará en el cortante producido en la base, tomando en cuenta el área de la columna, la cual es la zona crítica.

$$\sigma = V/A$$

$$\sigma u = 110 \text{ ton/m}^2$$

Tipo Col.	V (Ton)	Área (m ²)	σ (Ton/m ²)	Estado
CS	0,824	4,418E-03	186,51	No Cumple
C1	1,269	1,767E-02	71,82	Cumple
C2	1,757	2,209E-02	79,54	Cumple
C3	1,058	1,325E-02	79,85	Cumple
C4	2,033	1,325E-02	153,43	No Cumple
C5	1,309	1,325E-02	98,79	Cumple
C6	1,489	1,767E-02	84,27	Cumple

Tabla 30. Capacidad en cortante por tipo de columna para ductilidad de 1.5 y estado de diseño.

Tipo Col.	V (Ton)	Área (m ²)	σ (Ton/m ²)	Estado
CS	0,274	4,418E-03	62,02	Cumple
C1	0,932	1,767E-02	52,74	Cumple
C2	1,205	2,209E-02	54,55	Cumple
C3	0,744	1,325E-02	56,15	Cumple
C4	1,300	1,325E-02	98,11	Cumple
C5	0,830	1,325E-02	62,64	Cumple
C6	0,997	1,767E-02	56,40	Cumple

Tabla 31. Capacidad en cortante por tipo de columna para ductilidad de 3 y estado de diseño

Tipo Col.	V (Ton)	Área (m ²)	σ (Ton/m ²)	Estado
CS	0,193	4,418E-03	43,73	Cumple
C1	0,670	1,767E-02	37,92	Cumple
C2	0,920	2,209E-02	41,65	Cumple
C3	0,580	1,325E-02	43,77	Cumple
C4	0,952	1,325E-02	71,85	Cumple
C5	0,586	1,325E-02	44,23	Cumple
C6	0,663	1,767E-02	37,52	Cumple

Tabla 32. Capacidad en cortante por tipo de columna para ductilidad de 6 y estado de diseño.

Unión de elementos inclinados cerchas.

(Ver planos) (Ver nota aclaratoria 14)
Debido a que la capacidad de resistir esfuerzos en tensión es menor en compresión, la unión fue probada en el estudio del Ing. Diego Jaramillo y Ing. Gisella Sanclemente solamente en tensión.

Los ángulos de la cercha en la vivienda en estudio están en este rango de 45° a 60°, se tomara el esfuerzo menor como máximo permisible para el diseño.

Diseño de Unión Simón Vélez Modificada (USVM)

Para elementos a 45° en tracción.
 $\sigma = 282,0 \text{ ton/m}^2$

Para elementos a 60° en tracción.
 $\sigma = 256,0 \text{ ton/m}^2$

$\sigma = R/A$
Siendo R la fuerza o reacción aplicada

Siendo A el área de contacto entre cañas

Paxial (ton)	A (cm ²)	σ actuando (ton/m ²)	Estado
1,370	44,18	155,05	Cumple
1,410	44,18	159,57	Cumple
1,830	44,18	207,11	Cumple

Tabla 33. Carga aplicada comparada con la capacidad de la unión a 45°

Unión Diego Gisella (UDG)

Para elementos a 45° en tracción.
σ=313,0 ton/m²

Para elementos a 60° en tracción.
σ=323,0 ton/m²

$$\sigma = R/A$$

Siendo R la fuerza o reacción aplicada.

Siendo A el área de contacto entre cañas

Paxial (ton)	A (cm ²)	σ actuando (ton/m ²)	Estado
1,370	44,18	155,05	Cumple
1,410	44,18	159,57	Cumple
1,830	44,18	207,11	Cumple

Tabla 34. Carga aplicada comparada con la capacidad de la unión a 45°

Desplazamientos totales

Se hace referencia para su diseño al CSCR 2002. El límite establecido viene dado por la tabla 7.2.

Se clasifica la estructura de limitación normal según el artículo 4.1 del CSCR 2002.

Límite para estructura tipo dual: 0.014m.

Se utilizará los desplazamientos calculados con la ecuación 7-11, del CSCR 2002:

$$\Delta_i = m * SR * \Delta_i^E$$

μ	Δ ^e ₁ en x	Δ ^e ₂ en x	Δ ^e ₁ en y	Δ ^e ₂ en y
1.5	8.28e-3	9.85e-3	2.30e-3	7.30e-3
3	4.55e-3	5.40e-3	1.10e-3	3.40e-3
6	3.70e-3	4.50e-3	1.10e-3	3.30e-3

Tabla 35. Desplazamientos en los niveles

Ductilidad 1.5

$$\Delta_{1x} = 1.5 * 2 * 8.28e-3 = 0.0098m. \text{ Estado: Cumple}$$

$$\Delta_{2x} = 1.5 * 2 * 9.85e-3 = 0.0073m. \text{ Estado: Cumple}$$

$$\Delta_{1y} = 1.5 * 2 * 2.30e-3 = 0.0099m. \text{ Estado: Cumple}$$

$$\Delta_{2y} = 1.5 * 2 * 7.30e-3 = 0.0028m. \text{ Estado: Cumple}$$

Ductilidad 3

$$\Delta_{1x} = 3 * 2 * 4.55e-3 = 0.0108m. \text{ Estado: Cumple}$$

$$\Delta_{2x} = 3 * 2 * 5.40e-3 = 0.0068m. \text{ Estado: Cumple}$$

$$\Delta_{1y} = 3 * 2 * 1.10e-3 = 0.0110m. \text{ Estado: Cumple}$$

$$\Delta_{2y} = 3 * 2 * 3.40e-3 = 0.0026m. \text{ Estado: Cumple}$$

Ductilidad 6

$$\Delta_{1x} = 6 * 2 * 3.70e-3 = 0.0720m. \text{ Estado: No Cumple}$$

$$\Delta_{2x} = 6 * 2 * 4.50e-3 = 0.0528m. \text{ Estado: No Cumple}$$

$$\Delta_{1y} = 6 * 2 * 1.10e-3 = 0.0852m. \text{ Estado: No Cumple}$$

$$\Delta_{2y} = 6 * 2 * 3.30e-3 = 0.0253m. \text{ Estado: No Cumple}$$

Presupuesto de Elementos

Solo materiales

Columnas

Se tomarán las columnas de concreto de la misma área de la sección de bambú para que la comparación sea válida.

Por metro lineal de columna:

Sección	Área	Cañas	Costo Bambú(¢)
Columna Simple	4,418E-03	1	1970
Columna 1	1,767E-02	4	7880
Columna 2	2,209E-02	5	9850
Columna 3	1,325E-02	3	5910
Columna 4	1,325E-02	3	5910
Columna 5	1,325E-02	3	5910
Columna 6	1,767E-02	5	9850
Viga-Típica	1,325E-02	3	5910

Tabla 36. Costo de las columnas en bambú por metro lineal

Concreto de 210kg/cm²
 Proporción por metro cúbico.
 7.65 sacos de cemento ¢ 5617
 0.427 m³ de arena ¢ 17352
 0.854 m³ de piedra ¢ 14117

Sección	Área	Concreto (m ³)	Costo Concreto(¢) (Sin Refuerzo)
Col. Simple	4,418E-03	4,418E-03	9669
Col. 1	1,767E-02	1,767E-02	38673
Col. 2	2,209E-02	2,209E-02	48347
Col. 3	1,325E-02	1,325E-02	28999
Col. 4	1,325E-02	1,325E-02	28999
Col. 5	1,325E-02	1,325E-02	28999
Col. 6	1,767E-02	1,767E-02	38673
VIGA	1,325E-02	1,325E-02	28999

Tabla 37. Costo de columnas de concreto sin refuerzo, con la misma área que el bambú por metro

Uniones

Se tomará la unión más sencilla de una caña de 12.5cm con otra de la misma dimensión. Para entrenudos de 40cm de largo.

Unión Simón Vélez.

- Materiales:

Mortero deberá tener 210kg/cm²(*)

Material	Cantidad	Costo(¢)
Barra Roscada #5	1 de 20 cm	1 196
Gancho #2	80cm	160
Mortero	(*)	6750
Anclajes	2	910
Total Por Unidad		<u>9016</u>

Tabla 38. Costo de la Unión SVM

Nota Aclaratoria:

El presupuesto por elementos se realizó sin tomar en cuenta las uniones entre elementos, las cuales resultan más costosas económicamente hablando que las del concreto.

Unión Diego-Giselle.

Material	Cantidad	Costo(¢)
Barra Roscada #5	1 de 20 cm	1 196
Gancho #2	80cm	160
Mortero	(*)	6750
Total Por Unidad		<u>8106</u>

Tabla 39. Costo de la Unión DG

Unión Sandra Clavijo.

Material	Cant	Costo(¢)
Lamina CR#22 ½"	1	1578
Tornillo ¼"	3	60
Tuercas	3	45
Sujetadores de Metal	2	187.5
Total Por Unidad		<u>1870</u>

Tabla 40. Costo Unión SC

Cerchas

Marco típico utilizado

Sección una caña

Longitud de Cañas por Marco= 30.1m ≈ 30 m

Material	Cantidad	Costo(¢)
Cañas	30 m	59 400
Unión DG	10	83 460
Total por Marco		142 860

Tabla 41. Costo de la cercha utilizando unión DG

Material	Cantidad	Costo(¢)
Cañas	30 m	59 400
Unión SC	10	18700
Total por Marco		78100

Tabla 42. Costo de la cercha utilizando la unión SC

Material	Cantidad	Costo(¢)
Madera 7.5mm x 7.5mm	30 m	105576
Uniones	10	
Tornillo ¼"	3 x unión	600
Tuercas	3 x unión	450
Total por Marco		106575

Tabla 43. Costo de la Cercha utilizando madera Gigantón con área similar-

Análisis de los resultados

Se realizó el diseño de una vivienda para tres valores de ductilidad (1.5, 3, 6) utilizando elementos estructurales de Guadua Angustifolia.

El modelo de la vivienda se realizó tomando en cuenta que los marcos tomarán toda la carga aplicada a la vivienda, por ello la modelación utilizando el software SAP 2000, se basó en una estructura dual debido a que los muros de la vivienda son de concreto reforzado con esterilla del bambú y no son de carácter estructural.

Cumpliendo con la premisa de reducir al máximo el uso del acero en una vivienda utilizando otro material, este tipo de muros no han sido objeto de estudio técnico por lo que no pueden ser utilizados como muros de corte colaborando con el sistema sismo-resistente.

Debido al peso del edificio no es necesario tomar en cuenta el factor viento, si se tomarán en cuenta el sismo de manera paralela al eje x y al eje y, siendo z el eje de la altura de la vivienda.

La estructura se analizó de la forma más crítica posible tomando como apoyos sistemas articulados, debido a que no se garantiza la resistencia del sistema de uniones con los pilotes al momento flector, se tomó en cuenta la suposición de que los elementos de concreto reforzados con acero los cuales únicamente serán los pilotes, la losa de entrepiso y columnas a intemperie no así los elementos confeccionados con bambú como lo serán vigas, columnas, viguetas, y uniones.

Los esfuerzos admisibles en el bambú son muy diferentes, la capacidad en tensión es aproximadamente 50% mayor que la compresión, específicamente el esfuerzo en tracción es de 2640 ton/m² y en compresión de 1400 ton/m², por ello en el diseño de flexo-carga axial, la capacidad más crítica es la que involucra la compresión y la flexión, esto hay que tomarlo siempre y cuando los valores de tracción no sean

considerablemente más que los de compresión, como no sucedió en esta vivienda.

En todo el diseño se tuvo como premisa que basado en la sugerencia que hace el CSCR 2002 a la ductilidad en maderas la cual es 3, todos estos elementos tolerarán la carga sísmica calculada a partir de dicha ductilidad la cual fue de 30.062 ton, un valor que va con el peso total de la estructura de ductilidad moderada. El sismo del primer nivel será colocado en el centro de masa entre primer y segundo piso de la estructura, en el caso del sismo del nivel de cumbrera.

La carga de sismo se reduce considerablemente con respecto al primer nivel en todas las ductilidades, por ejemplo dicha carga calculada a partir del hipotético valor de ductilidad de 3 tiene un resultado de 1.252 ton la cual fue aplicada al nivel de la viga corona del segundo piso al finalizar cada columna según el área tributaria que posee cada marco, dicha carga para cada marco se dividió según la cantidad de columna exteriores del nivel, este método se aplico para cada una de la ductilidades.

Columnas y vigas

Las columnas trabajan de manera excelente para las ductilidades de valor 3 y 6, no así para el valor de 1.5 cercano a un diseño ubicado en rango elástico del bambú, para este valor colapsarían cuatro de los seis tipos de columnas por falla en la flexo-compresión, por ello es necesario asegurarse que la estructura nunca alcanzará dichos valores reforzando la estructura aun más.

Generalmente son dominadas para la carga axial domina la combinación sísmica de 1.2CP+1.6CT, por ello si se pretende tener un margen de seguridad mayor una estructura con

tanto peso como dicha vivienda debería de ser sujeta a revisión por parte del diseñador y bajar la cantidad de peso en la misma.

En el caso de la flexión las combinaciones de carga dominantes son el sismo combinado con la carga permanente y temporal (1.05CP+fiCT+-CS), ello es necesario analizar la estructura en varios escenarios hipotéticos ya que el momento por la carga sísmica producto de los supuestos de ductilidad. Es el caso de la columna tipo 2 que el momento varía aproximadamente en el orden de 1.5 ton*m por cambio de ductilidad.

Las vigas realizadas en bambú, la flexo-compresión no fue factor determinante para el diseño, en el caso de las vigas lo fue el cortante, el cual presenta un cortante valor de 5.30 ton, el esfuerzo para esta sección de viga es de 108,45ton/m² muy cercano a 110 ton/m² en todas las ductilidades estudiadas.

Las columnas de bambú tienen la particularidad a diferencia del acero, concreto y madera, son varios elementos separados actuando como uno solo. Esto se garantiza con un adecuado sistema de uniones entre cada caña y entre elementos estructurales que a pesar de tener un buen desempeño estructural el elemento no vaya a fallar en su unión, por ello se realizó un diseño utilizando tres tipos de uniones en los tres valores de ductilidad estudiados. Se busca en un sistema de uniones de bambú es darle continuidad a la carga axial en ella se basa el diseño, al igual como sucede para los demás materiales estructurales antes mencionados.

Las columnas y vigas tienen una configuración debido a su uso en la vivienda, se debe garantizar que se pueda construir un sistema con la cantidad de cañas en el elemento. Por ejemplo la columna 5 se muestra sobredimensionada (ver diseño en resultados), pero se hace imposible disminuir su sección de 3 cañas ya que existen 2 vigas que deben de ser unidas a la misma cantidad de cañas de columna y una debe ser continua hasta la viga corona del segundo piso.

En el caso de las vigas para esta vivienda sucede lo mismo con su configuración, debe ser construible, por ello debe de tener solo una caña en su parte inferior para realizar la conexión y dos en su parte superior para agregarle los clavadores de madera que sujetaran el muro (Ver plano Corte A-A)

Viguetas y cerchas

Las viguetas y cerchas tienen la particularidad de que a pesar de ser utilizados el mínimo que es solo una caña, sus niveles de capacidad utilizada son bajos en comparación con las solicitaciones de desempeño que pueden llegar a lograr los mismos, por ejemplo la capacidad de la cercha en flexo-compresión en la mayor ductilidad (1.5), en la cual se esperaban valores crítico apenas esta en la mitad de su capacidad al tener un valor de 0.462 en el resultado de este tipo de carga.

Al igual que en el caso de las viguetas no fue el cortante ni el momento aplicado, fue la deflexión máxima la que trabaja cercana a su capacidad total.

Uniones

Se tienen tres tipos de uniones, la que posee mayor capacidad en compresión es la unión Diego-Gisella¹⁵, la cual solo no tolero la carga en la unión crítica Columna Simple-Viga en la ductilidad de 1.5, en los resultado de la tabla #3, se muestra que ninguna unión fue capaz de tolerar dicha carga para esa hipótesis de ductilidad por lo que es necesario tomar las medidas del caso en ese punto si se considera que la ductilidad pudiera estar en el rango de 1.5

La unión de Sandra Clavijo¹⁴ (Ver figura 8) que utiliza una lamina calibre 22" para realizar la misma, tiene el menor desempeño en comparación con otros dos tipos de uniones en estudio, en las tablas 3, 5, 7 y 9 se observa que para la columna de una sola caña (simple), columna tipo 1,2 y 3 esta unión no tolera la carga en ninguna de las tres ductilidades por lo que su uso para esta edificación produciría en caso de un evento sísmico una falla en dicha unión, su uso para esta vivienda no es recomendable. En esta unión se observa que la platina de conexión se encuentra al descubierto, a pesar de que la unión posea o no la capacidad de tolerancia de carga axial la unión estéticamente para una vivienda de esas dimensiones y destinada a clase alta no es adecuada.

La conexión entre pilotes y bambú, se diseñaron por cortante, momento y carga por

compresión, lo que se tiene allí es una unión al igual que en elementos de bambú debido a que el bambú tiene menor capacidad de compresión que el concreto de resistencia mínima por utilizar (210kg/cm²), la parte crítica serán las cañas de bambú. En el caso del cortante todas las columnas excepto la columna simple y columna tipo 4 en la ductilidad 1.5, brindaron un resultado positivo por amplio margen, esto ocurrió por el valor del cortante en la base con respecto a la pequeña área en contacto de la unión.

El momento flector actúa de la manera en que se tienen un área a compresión y otra trabajando en tensión por lo que se verificó la capacidad en ambos de las uniones del Ing. Simón Vélez¹³ y del Ing. Diego-Gisella¹⁵, ya que la unión de la Ing. Sandra Clavijo¹⁴ no brinda la posibilidad de realizar dicha conexión usando platinas.

La compresión en los apoyos el diseño será igual que en la conexión viga-columna debido a que el área en contacto de conexión es el mismo y como se dijo antes ambos tipos de uniones se comportarán de la misma manera para los diferentes tipos de ductilidad.

En el caso del diseño por flexión se realizó para su diseño un método diferente, debido a que en el modelo del SAP 2000 se partió del supuesto de que los apoyos eran articulados ya que no se podía garantizar que la conexión iba a tomar todo el momento, se realizó un diseño para probarlo. Se basa en que el momento flector en la base actúa sobre el centroide de la figura tanto una parte en tracción y otra en compresión; debido a que la unión en tensión posee menos capacidad que en compresión, se realizará el escenario más crítico combinado el cual es:

Primer escenario

- Tracción en la menor área posible de conexión entre la columna y el pilote.
- Centroide menor hasta la máxima fibra en tensión.

Segundo escenario

- Tracción en la mayor área posible de conexión entre la columna y el pilote.
- Centroide mayor hasta la máxima fibra en tensión

El segundo escenario fue el que presentó falla en la ductilidad 1.5 para la unión Diego-Gisella¹⁵ la cual para la columna tipo 4 apoyada en el pilote no tolera la tensión generada por el momento flector por lo que este tipo de unión si

eventualmente el supuesto del CSCR 2002 para estructuras de madera no fuera adecuado para el bambú dicho apoyo fallaría por la tracción generada por el momento flector. A pesar de ello la unión Diego-Gisella¹⁵ trabaja de manera excelente para todas las ductilidades en todos los tipos de columna excepto el mencionado.

Lo más adecuado es utilizar la conexión Diego-Gisella¹⁵ para elementos visibles en esta vivienda debido a que esconde dentro del bambú los elementos que se colocarán para realizarla.

En el caso de las uniones con la cimentación la cual se debe realizar externamente de la superficie del suelo, pero por debajo del nivel de piso terminado el uso de la unión tipo Simón Vélez garantizará que en todos los escenarios ya sean tensión o compresión por flexión en la conexión tolerara satisfactoriamente.

Generalidades

En la capacidad del bambú según el CSCR 2002 Capítulo 11 de Requisitos para madera estructural, el código es ambiguo en el tema y solo dedica un par de páginas a los requisitos para el uso de madera; para un país con alto potencial de uso de especies naturales en construcción el código se queda corto en el diseño de los mismos, no brinda un método de diseño y remite a códigos internacionales de países que no poseen las mismas condiciones que Costa Rica.

El CSCR 2002, el mismo dice lo siguiente "Se permiten estructuras tipo marco cuyo sistema resistente consista en marcos rígidos de madera sea laminada, colada o en una sola pieza", además se agrega que dichas estructuras poseerán ductilidad moderada y que esta limitada a un solo piso, en otro apartado del mismo capítulo abre un poco más el abanico de altura e indica que, para edificios de más de dos pisos no se permite el uso estructural de la madera como diafragmas horizontales encargados de transmitir fuerzas sísmicas entre los distintos sistemas resistentes, a menos que sean explícitamente diseñados para fuerzas cortantes".

La estructura en estudio posee dos pisos de altura, con respecto al CSCR 2002 indica que la vivienda de madera deberá ser catalogada como ductilidad moderada, por otro lado esto se

debe asociar al bambú, ya que es muy difícil que en una norma nacional se abarquen todos los materiales posibles en el mercado, es el caso del bambú, que es un tema muy específico en la amplia gama de materiales naturales que se pueden utilizar.

Se realizó el diseño de capacidades de cortante para las viguetas de entrepiso sobre la losa de concreto que funciona como el diafragma horizontal, el bambú que solo funciona como vigueta para sostener la losa no como diafragma horizontal.

En el caso del sistema estructural utilizado fue el dual debido a la definición del "como un sistema sismo-resistente constituido por marcos de concreto reforzado, acero o madera". "Estos sistemas están vinculados o no por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero u otros en cada nivel".

Por ello se utilizó el sistema tipo dual, a pesar de ello se presentó una ambigüedad ya que el sistema tipo marco también se ajusta al hacer mención de sistemas de marcos de madera, a pesar de esta mención el sistema de marcos de bambú es tipo dual debido a que este sistema es más crítico y la definición del mismo ajusta perfectamente con el sistema utilizado.

Los desplazamientos el resultado que para el supuesto de ductilidad 6 no cumplan con los mismos es explicable, ya que el deslizamiento inelástico entre niveles fueron inversamente proporcionales al valor de la ductilidad como se esperaba.

El CSCR 2002 incrementa en su fórmula 7.11 el desplazamiento según la ductilidad utilizada esto para elevar el margen de seguridad en los sistemas y compensar que la fuerza sísmica colocada corresponde a una fracción del peso, a la hora de hacer la prueba para la misma vivienda con tres ductilidades, es notable ver que el aumento del desplazamiento producto de la disminución de la carga sísmica por ductilidad, no varía a la misma proporción que el aumento del valor de ductilidad multiplicado, por ello se presentó dicha situación.

Se presentan los sistemas y componentes no estructurales el cual entra en el tema el muro reforzado con esterilla del bambú, el cual es la misma caña abierta y rasgada que presenta dimensión de 0.45m x 3.0m con un espesor aproximado de 1.25 cm.

El muro no posee ningún método de diseño por lo que no será un tomado como en el sistema

sismo-resistente aún así el CSCR 2002 exige que un sistema así tolere una fracción de la carga sísmica actuando, por lo que se diseñará como si fuera una losa con cuatro apoyos y la carga sísmica actuando perpendicular a ella, el cual es el único escenario posible donde actuará el sismo sobre él, la capacidad del mismo cumple con el momento generado por la carga sísmica.

Este sistema de cuatro apoyos es necesario que la conexión no sea lo suficiente rígida como para tomar las fuerzas cortantes generadas en las estructuras y que se presenten fallas en el muro, por lo que se ideó un sistema nuevo de unión (ver detalle en plano) que prolonga la esterilla y la coloca entre dos secciones de madera atornilladas al bambú, este sistema es para unir la pared con las vigas y columnas con el muro que solo tiene función como divisor entre aposentos, pero que su peso es mayor de 200kg.

En el caso de la economía del material mostrado en la sección de resultados de presupuesto, se debe reconocer que el material bambú resulta más barato que otros materiales en el mercado, pero se debe acotar que el concreto reforzado con acero posee una mejor capacidad de resistencia, por lo que es posible una reducción en la cantidad de columnas que compensen su alto costo.

En comparación con la madera muestra una disminución de costo según la unión que se utilice, por lo que en este caso que son materiales de similar resistencia el bambú resulta una mejor opción.

Conclusiones

1. Todo elemento de bambú tolerará las cargas de sismo aportadas por la ductilidad 3, la cual es la que sugiere el CSCR 2002 que posee la estructura.
2. Se debe utilizar para esta vivienda en particular secciones de bambúes de 3-6 años de crecimiento y que posean un diámetro de 15cm a 12.5cm.
3. En la ductilidad extrema de 1.5, fallaron 4 de las 6 columnas en estudio y todas las uniones para la columna tipo simple.
4. El esfuerzo en cortante es el más crítico en el bambú, por lo que luces muy amplias con vigas cargadas no se pueden dar.
5. En todas las ductilidades estudiadas las vigas tuvieron excelente capacidad para resistirlas, dando muestras de la excelente capacidad en flexión del bambú.
6. La vivienda cumple con lo estipulado en el Código Sísmico acerca de maderas, a pesar de ello el CSCR 2002 no relaciona la madera con un material tan específico como el bambú.
7. La poca facilidad de conexiones ente elementos del bambú, limita la capacidad del material.
8. El bambú por su condición hueca brinda un excelente conductor para ocultar instalaciones electro-mecánicas debidamente confinadas en tubos para su fin.
9. Las bondades del bambú abarcan hasta una disminución en el costo de los

acabados por su apariencia y capacidad de durabilidad.

10. En el tema de uniones las que demostraron mejor accionar son:

- Por su capacidad en tracción y compresión colocar en las conexiones cimiento-columna la unión USVM¹³.

- Por su capacidad en compresión colocar en las uniones viga-columna y en las cerchas la unión UDG¹⁵.

11. El bambú demuestra una reducción considerable de costos para columnas y vigas de igual área comparándolo con el concreto.

12. Los desplazamientos cumplen para las hipótesis de ductilidad mayores, no así para la menor de 6, producto del mayoramiento en el valor del desplazamiento inelástico entre niveles que realiza el CSCR 2002.

13. El costo económico del bambú de la construcción con bambú se ve incrementado por la unión entre elementos.

Recomendaciones

1. Para construir con bambú no se pueden dejar ningún elemento a la intemperie sin ser recubierto.
2. Realizar un estudio sobre la capacidad de corte de los muros de concreto reforzados con esterilla del bambú.
3. Inspeccionar las conexiones que se hagan con las especificaciones expuestas en este proyecto de lo contrario se pueden realizar uniones
4. problemáticas debido a la poca especialización de la mano de obra tica en este tipo de sistema constructivo.
5. Realizar un estudio de los siguientes temas: conexiones muro-vigas o columnas y capacidad en cortante de un muro reforzado con esterillas de bambú
6. Probar la capacidad de las uniones con tornillos axiales embebidos en concreto y aportar nuevas combinaciones de uniones.
7. Realizar un modelo de prueba para estructuras livianas en bambú donde el viento sea el factor determinante para su uso como bodegas.

Apéndices

A continuación se presentara las cargas en la estructura.

Cargas Permanentes primer nivel.

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga distribuida
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.090
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.038
Instalaciones Electro-mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.026
Total		0.154

Tabla 44. Cargas para el eje 1. Longitud tributaria 0.75m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga distribuida
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.210
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.088
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.061
Paredes y Concreto + Bambú	-	0.386
Total		0.744

Tabla 45. Cargas para el eje 2 de E-F. Longitud tributaria 1.75m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.300
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.125
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.088
Paredes y Concreto + Bambú	-	0.016
Total		0.744

Tabla 46. Cargas para el eje 2 de C-E. Longitud tributaria 1.75m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.300
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.125
Instalaciones Electro-mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.088
Total		0.513

Tabla 47. Cargas para el eje 2 de B-C. Longitud tributaria 1.75m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.300
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.125
Instalaciones Electro-mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.088
Total		0.513

Tabla 48. Cargas para el eje 2 de B-C. Longitud tributaria 1.75m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.405
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.169
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.118
Paredes y Concreto + Bambú	-	0.587
Total		1.278

Tabla 49. Cargas para el eje 3 de A-C. Longitud tributaria 3.375m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.405
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.169
Instalaciones Electro-mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.118
Total		0.692

Tabla 50. Cargas para el eje 3 de C-D. Longitud tributaria 3.375m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.405
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.169
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.118
Paredes y Concreto + Bambú	-	0.863
Total		1.554

Tabla 51. Cargas para el eje 3 de D-F. Longitud tributaria 3.375m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.315
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.131
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.092
Paredes y Concreto + Bambú	-	0.863
Total		1.401

Tabla 52. Cargas para el eje 4 de A-C. Longitud tributaria 2.625m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.315
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.131
Instalaciones Electro-mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.092
Total		1.038

Tabla 54. Cargas para el eje 4 de C-D. Longitud tributaria 2.625m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.315
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.131
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.092
Paredes y Concreto + Bambú	-	0.500
Total		1.038

Tabla 53. Cargas para el eje 4 de D-F. Longitud tributaria 2.625m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.315
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.131
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.092
Paredes y Concreto + Bambú	-	0.893
Total		1.401

Tabla 55. Cargas para el eje 5 de A-C. Longitud tributaria 2.625m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.315
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.131
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.092
Total		1.538

Tabla 56. Cargas para el eje 5 de C-F. Longitud tributaria 2.625m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.300
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.125
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.088
Paredes y Concreto + Bambú	-	0.578
Total		1.090

Tabla 58. Cargas para el eje 6 de A-B' y D'-F. Longitud tributaria 1.625m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.195
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.081
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.057
Paredes y Concreto + Bambú	-	0.863
Total		1.196

Tabla 59. Cargas para el eje 6 de B'-C y D-D'. Longitud tributaria 1.625m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.187
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.081
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.057
Total		0.325

Tabla 60. Cargas para el eje 6 de C-D. Longitud tributaria 2.625m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Carga Losa y Concreto + Acero	0.12	0.101
Piso de cerámica y mortero adicional para el afinado	0.05	0.044
Instalaciones Electro mecánicas + Cielo Liviano	0.035	0.031
Total		0.175

Tabla 61. Cargas para el eje 7 de A-B' a D'-F. Longitud tributaria 0.875m

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.758
Total		0.758

Tabla 62. Cargas para el eje A de 6-5.

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.813
Total		0.813

Tabla 63. Cargas para el eje A de 5-4.

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.758
Total		0.758

Tabla 64. Cargas para el eje A de 4-3.

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.684
Total		0.684

Tabla 65. Cargas para el eje C de 6-5.

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.573
Total		0.573

Tabla 66. Cargas para el eje C de 5-4

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.684
Total		0.684

Tabla 67. Cargas para el eje C de 4-3

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.863
Total		0.863

Tabla 68. Cargas para el eje D DE 6-5.

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.573
Total		0.573

Tabla 69. Cargas para el eje D de 5-4

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.863
Total		0.863

Tabla 70. Cargas para el eje D de 4-3

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.621
Total		0.621

Tabla 71. Cargas para el eje F de 6-5

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.832
Total		0.832

Tabla 72. Cargas para el eje F de 5-4

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.863
Total		0.863

Tabla 73. Cargas para el eje F de 4-3

Carga por:	Peso (Ton/m ³)	Carga Distribuida (Ton/m)
Paredes y Concreto + Bambú	2.3	0.523
Total		0.523

Tabla 73. Cargas para el eje F de 3-2

Cargas Permanentes Segundo Piso.

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Teja de Barro	0.075	0.056
Clavadores de Bambú @ 40cm	0.004	0.003
Total		0.059

Tabla 74. Cargas para el eje 1 de longitud Tributaria 0.75m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Teja de Barro	0.075	0.253
Clavadores de Bambú @ 40cm	0.004	0.012
Total		0.265

Tabla 75. Cargas para el eje 2 de longitud Tributaria 2.5m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Teja de Barro	0.075	0.197
Clavadores de Bambú @ 40cm	0.004	0.009
Total		0.206

Tabla 76. Cargas para el eje 3 de longitud Tributaria 3.375m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Teja de Barro	0.075	0.197
Clavadores de Bambú @ 40cm	0.004	0.009
Total		0.206

Tabla 77. Cargas para el eje 4 de longitud Tributaria 2.625m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Teja de Barro	0.075	0.188
Clavadores de Bambú @ 40cm	0.004	0.009
Total		0.196

Tabla 78. Cargas para el eje 5 de longitud Tributaria 2.625m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Teja de Barro	0.075	0.188
Clavadores de Bambú @ 40cm	0.004	0.009
Total		0.196

Tabla 79. Cargas para el eje 6 de longitud Tributaria 2.5m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Teja de Barro	0.075	0.188
Clavadores de Bambú @ 40cm	0.004	0.009
Total		0.196

Tabla 79. Cargas para el eje 7 de longitud Tributaria 2.5m

Carga por:	Peso (Ton/m ²)	Carga Distribuida (Ton/m)
Teja de Barro	0.075	0.188
Clavadores de Bambú @ 40cm	0.004	0.009
Total		0.196

Tabla 80. Cargas para el eje 8 de longitud Tributaria 2.5m

Cargas Temporales

Marco	L Tributario(m)	Carga (Ton)
1	0,750	0,150
2 B-E	2,500	0,500
2 A-B a E-F	1,750	0,350
3	3,375	0,675
4	2,625	0,525
5	2,625	0,525
6 A-B' a D'-F	2,500	0,500
6 B'-D'	1,625	0,325
7	0,875	0,175

Tabla 81. Cargas para los ejes del primer piso. Carga 0.200ton/m²

Marco	L Tributario(m)	Carga (Ton)
2	1,750	0,070
3	3,375	0,135
4	2,625	0,105
5	2,625	0,105
6	2,500	0,100
7	0,875	0,035

Tabla 82. Cargas para los ejes del segundo piso. Carga 0.040ton/m²

Anexos

A continuación se mostraran los detalles técnicos de la construcción.

Referencias

¹Fundamentos de la Guadua. Facultad de Ciencias ambientales. Universidad Técnica de Pereira.

²Propuesta de uniones mecánicas en Guadua. Peña, Cesar y Rodríguez, Hugo. Universidad Nacional de Colombia.1997.

³Inmunización de la Guadua. Ing. Salazar, Jaime y Ing. Díaz, Gustavo. Universidad Nacional de Colombia.

⁴Ing. Luis Lopez y David Trujillo. Diseño de uniones y elementos en estructuras de Guadua. 2001

⁵Ing. Lina Maria Gonzáles Moreno, Comportamiento a flexión de la *Guadua Angustifolia* con refuerzo pretensado. Universidad Nacional de Colombia. 2003

⁶Ing. Alejandro Restrepo. Propiedades Mecánicas de la *Guadua Angustifolia*. 2004

⁷William Carvajal *et al.* Elementos Estructurales en bambú.2004

⁸Ing. Oscar Arce V. Fundamentals of the design of bamboo structures. 1993

⁹Ing. Caori Takeuchi. Comportamiento Estructural de la Guadua.2004

¹⁰ Ing. Tatiana Alfonso. Utilización del bambú y de la caña en construcción .2000. Universidad Veritas, Costa Rica.

¹¹ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Manual de Construcción Sismo-Resistente de Bahareque encementado.2001

¹² Ing. Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente. Estudio de uniones en Guadua con ángulo de inclinación entre elementos. Universidad Nacional de Colombia. 2003.

¹³Simón Vélez, Investigador y especialista en conexiones de bambú, Colombia. Diseñador de la unión que lleva su nombre.

¹⁴ Ing. Sandra Clavijo. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia. Diseñadora de la unión que lleva su nombre.

¹⁵ Ing Diego Jaramillo e Ing. Gisella Sanclemente. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia. Diseñadores de la unión que lleva ambos nombres

¹⁶Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. 2003. CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA. 1era Ed. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.