



VARIACIÓN EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE DOS VIVIENDAS EN GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH, MODELADAS BAJO UN COMPORTAMIENTO ORTOTRÓPICO EN COMPARACIÓN AL COMPORTAMIENTO ISOTRÓPICO DEFINIDO EN LA NSR-10

José Luis Camargo García

Brian Andrés Ríos Alfonso

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá Colombia

2016

VARIACIÓN EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE DOS VIVIENDAS EN GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH, MODELADAS BAJO UN COMPORTAMIENTO ORTOTRÓPICO EN COMPARACIÓN AL COMPORTAMIENTO ISOTRÓPICO DEFINIDO EN LA NSR-10

José Luis Camargo García

Brian Andrés Ríos Alfonso

Tesis para optar el pregrado en Ingeniería Civil

Línea de Investigación: Estructuras

Asesor Disciplinar:

Ingeniero Mateo Gutiérrez González

Asesor Metodológico

Roy W. Morales

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá Colombia

Junio - 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios porque siempre será nuestra guía en cada cosa que realizamos, y en cada paso que damos.

Agradecemos a la universidad la Gran Colombia por la formación académica que nos brindó en todo el pregrado, a nuestras familias por su constante apoyo que nos han permitido alcanzar este logro.

Agradecimientos al Ingeniero Mateo Gutiérrez González, director de este trabajo de investigación, por la oportunidad de poder formarnos en el semillero de estructuras utilizando la guadua como principal objeto de investigación, por su condicional apoyo, la confianza depositada en nosotros y los grandes aportes ingenieriles que deja en nuestras vidas.

Al profesor Roy W. Morales por todos sus aportes metodológicos, su acompañamiento, su interés, su gran experiencia y su disposición en todo el proceso de investigación.

A todas las personas que directa o indirectamente aportaron al desarrollo de nuestra investigación.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1. PREGUNTA PROBLEMA	11
2. ANTECEDENTES	12
3. OBJETIVOS	19
3.1. OBJETIVO GENERAL	19
3.1.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
4. JUSTIFICACIÓN.....	20
5. MARCO REFERENCIAL.....	22
5.1. MARCO CONCEPTUAL.....	22
5.1.1. Guadua Angustifolia Kunth (GAK)	22
5.1.2. Morfología de la Guadua.....	23
5.1.3. Las fibras en el culmo	24
5.1.4. Material Isotrópico	25
5.1.5. Material Ortotrópico.....	26
5.1.6. Comportamiento físico mecánico de la guadua.....	27
5.1.7. Módulo de Elasticidad.....	28
5.1.8. Módulo de corte o rigidez	29
5.1.9. Relación de Poisson	30
5.1.10. Resistencia a la Flexión.....	32
5.1.11. Resistencia a la Tracción	32
5.2. MARCO LEGAL	33
6. DISEÑO METODOLÓGICO	36
6.1. ENFOQUE	36
6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
6.3. HIPOTESIS	36
6.4. FASES.....	37
6.4.1. FASE 1 – Recolección de Información	37
6.4.2. FASE 2 – Modelación de Estructuras en Guadua como material Isotrópico y Ortotrópico.....	37

6.4.3.	FASE 3 – Comparación entre los dos tipos de Modelaciones	37
7.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	38
7.1.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	38
7.1.1.	Material isotrópico	38
7.1.2.	Material Ortotrópico.....	39
7.1.2.1.	Módulo de elasticidad (E).....	40
7.1.2.2.	Módulo de corte (G)	40
7.1.2.3.	Relación de <i>Poisson</i> (V)	41
7.2.	MODELACIÓN	42
7.2.1.	Generalidades Modelaciones	42
7.2.1.1.	Combinaciones de carga.....	46
7.2.2.	Geometría y Modelación Vivienda 1 – 6m x 10 m.....	49
7.2.3.	Geometría y Modelación Vivienda 2 – 8m x 12m.....	61
7.3.	COMPARACIÓN ENTRE COMPORTAMIENTOS DEL MATERIAL.....	70
7.3.1.	Análisis isotrópico vs ortotrópico de cortantes – Vivienda uno.	71
7.3.2.	Análisis isotrópico vs ortotrópico de momentos – Vivienda dos.	74
7.3.3.	Análisis isotrópico vs ortotrópico de axiales – Vivienda uno.	78
7.3.4.	Análisis isotrópico vs ortotrópico de desplazamientos - Vivienda dos.....	82
7.3.5.	Resultados de análisis realizado en SAP2000	85
8.	CONCLUSIONES.....	90
9.	RECOMENDACIONES.....	92
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la Guadua	24
Figura 2. Diferentes formas de haces vasculares en secciones transversales de la pared del culmo.....	25
Figura 3. Direcciones en los ejes Material Ortotrópico.....	26
Figura 4. Direcciones principales en el culmo de Guadua.	27
Figura 5. Direcciones Ortogonales para relación de Poisson	30
Figura 6. Valores de relación de Poisson.....	31
Figura 7. Probeta de Guadua.....	33
Figura 8. Propiedades Guadua Material Isotrópico	42
Figura 9. Propiedades Guadua Material Ortotrópico	42
Figura 10. Propiedades peso cero - PLACA.....	43
Figura 11. Geometría de la sección guadua – Culmo	44
Figura 12. Sección – Propiedades Losa – Tipo Membrane	44
Figura 13. Patrones de carga.....	45
Figura 14. Espectro utilizado para el análisis Sísmico, Piedemonte A – Bogotá.....	45
Figura 15. Combinaciones de carga método esfuerzo de trabajo.....	46
Figura 16. Combinaciones de carga utilizadas en el cálculo	47
Figura 17. Fuentes de masas utilizadas en las modelaciones de las viviendas.	48
Figura 18. Planta primer piso vivienda uno.....	49
Figura 19. Planta segundo piso vivienda uno.	50
Figura 20. Planta entrepiso vivienda uno.	51
Figura 21. Planta de cubiertas vivienda uno.....	52
Figura 22. Corte longitudinal vivienda uno	53
Figura 23. Corte Transversal vivienda uno.	53
Figura 24. Vista 3D Modelo Isotrópico y Ortotrópico – Corte Longitudinal – Corte Transversal, (SAP2000), vivienda uno	54
Figura 25. Diafragmas nivel entrepiso y nivel cubierta para vivienda uno.	55
Figura 26. Raleases aplicados a dos paneles de la vivienda uno.....	56
Figura 27. Restricciones apoyos vivienda uno.	57

Figura 28. Cargas muertas para losa de entrepiso – vivienda uno.....	57
Figura 29. Cargas vivas para losa de entrepiso – vivienda uno.	58
Figura 30. Cargas muertas para cubierta – vivienda uno.....	58
Figura 31. Cargas vivas cubierta – vivienda uno.	59
Figura 32. Cargas en losa entrepiso vivienda uno.....	59
Figura 33. Cargas en cubiertas inclinadas para vivienda uno.	60
Figura 34. Planta primer piso vivienda dos.	61
Figura 35. Planta segundo piso vivienda dos.	62
Figura 36. Planta entrepiso vivienda dos.	63
Figura 37. Corte Longitudinal vivienda dos.....	64
Figura 38. Corte transversal vivienda dos.....	64
Figura 39. Vista 3D Modelo Isotrópico y Ortotrópico - Corte longitudinal- Corte Transversal, SAP2000, vivienda dos.	65
Figura 40. Diafragmas nivel entrepiso y nivel cubierta para vivienda dos.	66
Figura 41. Releases aplicados a dos paneles de la vivienda dos.	67
Figura 42. Restricciones en apoyos vivienda dos.....	67
Figura 43. Cargas muertas para losa de entrepiso – vivienda dos.....	68
Figura 44. Cargas vivas para losa de entrepiso – vivienda dos.	68
Figura 45. Cargas muertas para cubierta – vivienda dos.	69
Figura 46. Cargas vivas para cubierta – vivienda dos.	69
Figura 47. Cargas en losa entrepiso vivienda dos.....	69
Figura 48. Cargas en cubiertas inclinadas para vivienda dos.....	70
Figura 49. Corte longitudinal eje B - vivienda uno.	71
Figura 50. Diagramas de cortante eje B - vivienda uno – modelo isotrópico.	72
Figura 51. Diagrama de cortante en frame 2560 - vivienda uno – modelo isotrópico.....	72
Figura 52. Diagramas de cortante eje B - vivienda uno – modelo ortotrópico.....	73
Figura 53. Diagrama de cortante en frame 2560 - vivienda uno – modelo ortotrópico.....	74
Figura 54. Corte longitudinal eje A - vivienda dos.	74
Figura 55. Diagramas de momentos eje A - vivienda dos – modelo isotrópico.	75
Figura 56. Diagrama de momento en frame 266 - vivienda dos – modelo isotrópico.....	76
Figura 57. Diagramas de momentos eje A - vivienda dos – modelo ortotrópico.....	77
Figura 58. Diagrama de momento en frame 266 - vivienda dos – modelo ortotrópico.	77

Figura 59. Corte transversal eje 5 - vivienda uno.	78
Figura 60. Diagramas de axiales eje 5 - vivienda uno – modelo isotrópico.	79
Figura 61. Diagrama de axial en frame 2353 - vivienda uno – modelo isotrópico.	80
Figura 62. Diagramas de axiales eje 5 - vivienda uno – modelo ortotrópico.	81
Figura 63. Diagrama de axial en frame 2353- vivienda uno – modelo ortotrópico.	81
Figura 64. Corte transversal eje 7 - vivienda dos.	82
Figura 65. Desplazamientos en joint 115 - vivienda dos – modelo isotrópico.	83
Figura 66. Desplazamientos en joint 115 - vivienda dos – modelo ortotrópico.	84
Figura 67. Desplazamiento isotrópico pórtico 2D	86
Figura 68. Desplazamiento ortotrópico pórtico 2D.	86
Figura 69. Shell con material isotrópico.	87
Figura 70. Shell con material ortotrópico	88
Figura 71. Deformación por carga Muerta para la losa con material isotrópico.	88
Figura 72. Deformación por carga Muerta para la losa con material ortotrópico.	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normativas para el uso de la Guadua	35
Tabla 2. Coeficientes de modificación por contenido de humedad	38
Tabla 3. Valores isotrópicos de la NSR-10	39
Tabla 4. Resumen valores material ortotrópico	41
Tabla 5. Valores de cortantes en frame 2560 - vivienda uno – modelo isotrópico	71
Tabla 6. Valores de cortantes en frame 2560 - vivienda uno – modelo ortotrópico.	73
Tabla 7. Valores de momentos en frame 266 - vivienda dos – modelo isotrópico.	75
Tabla 8. Valores de momentos en frame 266 - vivienda dos – modelo ortotrópico.	76
Tabla 9. Valores de axiales en frame 2353 - vivienda uno – modelo isotrópico.	79
Tabla 10. Valores de axiales en frame 2353 - vivienda uno – modelo ortotrópico.	80
Tabla 11. Valores de desplazamientos en joint 115 - vivienda dos – modelo isotrópico....	83
Tabla 12. Valores de desplazamientos en joint 115 - vivienda dos – modelo ortotrópico..	84

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la guadua *Angustifolia Kunth*, representa una alternativa como material de construcción para el diseño de viviendas, reforzamientos o estructuras livianas, impactando de gran manera en la ingeniería estructural colombiana que fue necesario establecer su propio título en el Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, en donde se especifican las generalidades para la obtención y diseño de estructuras con este material.

La morfología, la anatomía, el comportamiento físico y mecánico de la guadua *Angustifolia Kunth* han sido tema de investigación actualmente alrededor del mundo, siendo el comportamiento mecánico el tema de más vacíos investigativos. La guadua, al igual que la madera, tiene un comportamiento ortotrópico, es decir que tiene tres diferentes propiedades mecánicas en tres diferentes direcciones perpendiculares entre sí.

Las propiedades mecánicas necesarias para diseñar estructuras de guadua son, el módulo de elasticidad, la relación de *Poisson* y el módulo cortante. Los ensayos en el sentido longitudinal de las fibras de la guadua, ya están normalizados y cuentan con sus propiedades mecánicas ya establecidas en la NSR-10, pero debido a la complejidad de los ensayos para determinar estas propiedades en los sentidos ortogonales (radial y tangencial) existe poca información respecto a estos valores y no hay ninguna normalización de estos parámetros en estos otros dos sentidos. Es por eso que la NSR-10 contempla la guadua como un material isotrópico, es decir, con las mismas características mecánicas en todos sus sentidos, y bajo este concepto se encuentran diseñadas las estructuras de guadua en Colombia.

El objetivo principal del presente estudio es comparar la variación en el comportamiento estructural de dos viviendas en guadua *Angustifolia Kunth* mediante la modelación de este material en el software de análisis estructural SAP2000, utilizando los parámetros mecánicos para un comportamiento

isotrópico, ya establecidos en la NSR-10 y los parámetros para un comportamiento ortotrópico, que serán definidos a partir de unos antecedentes investigativos en donde se calculan y se establecen esos valores.

Las dos viviendas analizadas, se hicieron con el fin de evaluar sus comportamientos estructurales en un ambiente urbano como lo es la ciudad de Bogotá, usando para cada una, las mismas condiciones de amenaza sísmica y el mismo perfil del suelo. Las dos estructuras se dimensionaron para una arquitectura simple, donde los muros serán unos paneles modulares y las cubiertas serán cerchas a un agua. Cada vivienda tiene un área y un sistema estructural distinto, la primera vivienda se hizo para un lote de 6m x 10m con un sistema de vigas tipo cercha y la segunda vivienda se realizó para un lote de 8m x 12m con un sistema de vigas con doble guadua, esto con el fin de poder establecer cuál de las dos propuestas estructurales resulta ser más rígida y estable.

Finalmente se analizaron las estructuras por el método del análisis modal, obteniendo las solicitaciones evaluadas que fueron, los desplazamientos horizontales, los momentos, las fuerzas axiales y las fuerzas cortantes. Los resultados obtenidos fueron comparados entre sí para las dos respectivas modelaciones en cada vivienda, contemplando la guadua como material isotrópico y como material ortotrópico.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La guadua es un género de planta de la subfamilia del Bambú. El uso de la *guadua Angustifolia Kunth (GAK)* como material de construcción se ha llevado desde la época antigua siendo la guadua un material ecológico con un buen desempeño estructural, mecánico, económico y renovable, contemplándose como una alternativa estructural que puede remplazar al concreto y al acero para emplearse como solución al déficit de viviendas.

El título G del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR10 enfatiza en los requisitos para el diseño estructural y sismo resistente para las construcciones en *guadua Angustifolia Kunth*, desde la obtención, hasta la calidad que debe tener este material. Esta norma ya establece y normatiza valores exactos respecto a algunas de las propiedades mecánicas de la guadua, como por ejemplo el módulo de elasticidad, esfuerzos admisibles, fórmulas para el cálculo de diseños sometidos a flexión, cortante, aplastamiento, fuerza axial, entre otros.

La principal característica de la guadua, al igual que la madera, es que debido a su estructura interna compuesta por fibras, hace que las propiedades mecánicas y térmicas se comporten de manera única e independiente en los tres sentidos ortogonales, clasificándose la guadua como un material ortotrópico, es decir, sus propiedades mecánicas varían en toda la longitud del elemento y en las diferentes direcciones de sus ejes. Al comparar los otros tipos de materiales estructurales convencionales como el acero o el concreto, se ha establecido que son materiales isotrópicos, y sus propiedades mecánicas son las mismas en todas sus direcciones, y de ahí la facilidad de poder modelar estas estructuras con ayuda de softwares que controlen y verifiquen los diseños realizados, para enfrentarlos a situaciones sísmicas o problemas de dimensionamiento y análisis que requieran las estructuras.

Actualmente se sigue investigando respecto al comportamiento de la guadua en distintas zonas de la longitud del material, comprobándose que sus propiedades

mecánicas y físicas varían respecto a la geometría del elemento y el entorno en el que se encuentre, siendo esto la dificultad de poder modelar este tipo de estructuras en el software de análisis estructural SAP2000. Al modelar materiales ortotrópicos en este software se necesitan como datos de entrada propiedades mecánicas en varias direcciones, propiedades que son desconocidas por las normativas de construcción debido a la complejidad de los ensayos y la poca información existente del tema. Es debido a eso, que la norma NSR 10 asume que la guadua *Angustifolia Kunth* se comporta como un material isotrópico con propiedades únicas en todas sus dimensiones, ignorando el verdadero comportamiento de este material.

Pero más allá de no poseer unos valores establecidos de las propiedades mecánicas del material en sus sentidos ortogonales, hay un gran vacío respecto a los beneficios o dificultades que puedan presentar estas estructuras si se diseñan teniendo en cuenta el verdadero comportamiento estructural de la guadua, sabiendo que se trata de un material con un alto grado de heterogeneidad, geometría considerablemente irregular y alta variedad en sus propiedades físico-mecánicas. Además de desconocer el comportamiento que pueda tener una vivienda en guadua en un ambiente urbano como lo es la ciudad de Bogotá, hace necesario abarcar estos interrogantes, e ir aportando a la escasa literatura existente de las construcciones con guadua *Angustifolia Kunth*.

1.1. PREGUNTA PROBLEMA

Teniendo en cuenta lo anterior esta investigación se formula la siguiente interrogante.

- ¿Cuál es la variación en el análisis estructural de dos viviendas en guadua *Angustifolia Kunth*, modeladas bajo un comportamiento ortotrópico en comparación al comportamiento isotrópico definido en la NSR10?

2. ANTECEDENTES

La guadua *Angustifolia Kunth* por su comportamiento ortotrópico, ha llevado a cabo una buena cantidad de investigaciones respecto a la determinación de las propiedades físico-mecánicas del material. Actualmente el Instituto Americano de Normalización (ISO) y el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC), en sus normas ISO 22156 y la NTC 5525 respectivamente, tiene estandarizados procedimientos para la determinación de estos parámetros físicos y mecánicos.

“La guadua *Angustifolia Kunth* presenta mucha variación en los resultados de las propiedades y es debido a las características propias del material como lo es la edad, su sección circular, los distintos espesores que pueda tener, la altura sobre el nivel del mar y las condiciones ambientales, topográficas, entre otros”¹. En la actualidad hay varias investigaciones en donde se determinan propiedades mecánicas del material, pero no sólo en sentido longitudinal, también evaluando los sentidos ortogonales que presenta la guadua.

Lamus ² determinó el comportamiento de una conexión viga-Columna en guadua *Angustifolia Kunth* ante las cargas cíclicas que podría tener durante toda su vida útil y la efectividad que pueda tener al ser utilizadas en un diseño estructural confiable. Para su investigación, Lamus determinó las constantes elásticas necesarias para su modelación, caracterizando mecánicamente su material con ayuda de ensayos de laboratorio, utilizando aproximadamente 150 probetas seleccionadas de Guadua *Angustifolia* proveniente del Eje Cafetero de Colombia para la obtención de estos parámetros.

¹ TAKEUCHI, Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural. Colombia. 2014

² LAMUS F. Clasificación de una conexión Viga-Columna resistente a momento en guadua angustifolia, Universidad Nacional de Colombia. 2008

Entre las propiedades obtenidas en su investigación está la Resistencia al corte paralelo a las fibras, resistencia a la compresión paralela a la fibra, módulo de elasticidad longitudinal, resistencia a la tracción paralela a la fibra, módulo de elasticidad circunferencial, resistencia a la tracción perpendicular y el módulo de rigidez a cortante; cada uno de estas propiedades vienen acompañadas de unas gráficas que dan veracidad y confiabilidad a los parámetros obtenidos de esta investigación.

“Adicional a los valores máximos obtenidos en los ensayos antes mencionados, se estimó el módulo de elasticidad longitudinal a partir de los datos del ensayo a compresión, y el módulo de rigidez a cortante, usando los resultado del ensayo a torsión. En esta investigación se considera que la Guadua Angustifolia se comporta como un material ortótropo, por esta razón a partir del ensayo de compresión perpendicular a la fibra se estimó un módulo de elasticidad circunferencial”³.

Los valores del módulo de rigidez a cortante y el módulo de elasticidad circunferencial, calculados por Lamus, serán los asumidos para esta investigación, debido a que ha sido uno de los pocos investigadores que ha desarrollado estos ensayos con culmos de guadua sin ninguna alteración, dando más confiabilidad en los resultados de los ensayos y los valores buscados.

Para la estimación del módulo de elasticidad circunferencial, Lamus los ejecutó de forma indirecta “empleando un ensayo a compresión radial sobre anillos de guadua, relacionando la deflexión en el anillo sometido a carga diametral con el módulo de elasticidad por medio del segundo Teorema de Castigliano utilizando mecánica de sólidos elásticos.”⁴

Los resultados de los ensayos experimentales se reflejan en las curvas de esfuerzo vs deformación para 20 probetas, en donde el cálculo del módulo de elasticidad circunferencial se promedia para dar un valor final de **668.51 MPa**.

³ Ibid., P.41

⁴ Ibid., P.53

“El cálculo del módulo de rigidez a cortante G_z , se hizo a partir de los resultados del ensayo de torsión, para lo cual se midió el ángulo de giro para cada valor de torsión aplicada sobre un culmo de guadua, de longitud L ”⁵ El valor obtenido de esta investigación para este parámetro queda promediada como **774,72 Mpa**.

García, Rangel y Ghavami,⁶ buscan determinar las propiedades mecánicas en el sentido radial a la dirección de la fibra de la guadua, enfatizándose más en encontrar el módulo de carga circunferencial bajo el ensayo de compresión diametral de los anillos. Los autores explican que la poca literatura que se tiene de estos parámetros radiales se debe a las dificultades de cortar las muestras para que queden en una longitud apropiada a lo largo de los ejes radiales y circunferenciales, teniendo en cuenta el grosor relativamente pequeño de los culmos.

Las probetas de ensayo fueron de especies de bambú *angustifolia Kunth* que estaban entre tres y cinco años de edad y unos 12 m de longitud cultivada en el eje cafetero de Colombia, a una altitud de 1500 m.s.n.m. Los tallos se cortaron en tres secciones de 4 m cada uno, obteniendo especímenes de la parte inferior, media y superior de la guadua. Cada muestra se probó con máquinas de ensayo dinámico aplicando cargas en tiempos determinados y controlando el desplazamiento.

Para cada uno de los resultados de los ensayos utilizaron un software de análisis de elementos finitos para comprobar y tener más confiabilidad de los valores obtenidos de los parámetros de resistencia en dirección radial.

García J., en los resultados de su investigación determinaron la relación de Poisson en el sentido radial circunferencial obtenida para la parte media del culmo fue de **0,14**; el módulo de Young circunferencial fue de **398 MPa**; y el módulo de

⁵ Ibíd. P 55

⁶ GARCÍA J., RANGEL C., GHAVAMI K.; Experiments with rings to determine the anisotropic elastic constants of bamboo; Universidad del Valle Colombia, Universidad Católica Rio de Janeiro Brasil, 2012.

corte circunferencial axial fue de **581 MPa**. Estos tres valores previamente mencionados fueron los seleccionados para utilizar en la presente investigación.

Patricia Luna, Jorge lozano y Caori Takeuchi⁷ determinaron en su investigación los valores característicos de resistencia de la guadua *angustifolia Kunth* paralelos a la fibra y perpendiculares a la fibra, así como módulos de elasticidad longitudinal y circunferencial. Para ello utilizaron una metodología experimental, donde en primera instancia cortaron 40 culmos de guadua de tres regiones de Colombia, para posteriormente elaborar las probetas de ensayo y luego realizar los ensayos mecánicos y físicos correspondientes.

Entre los ensayos realizados y las propiedades mecánicas obtenidas en dicha investigación son “resistencia mecánica a flexión longitudinal, compresión, corte y tracción paralela a la fibra, torsión, y compresión perpendicular a la fibra y módulos elásticos de la *Guadua angustifolia*”⁸, estos módulos son longitudinal a compresión, longitudinal a tensión, longitudinal a flexión, circunferencial y rigidez a torsión, y un valor promedio de la relación de Poisson.

El valor promedio del módulo de elasticidad circunferencial encontrado por Patricia Luna, será el seleccionado para utilizar en la presente investigación, el cual es de **0.56 Gpa – (560 Mpa)**, esto debido a que “el módulo de elasticidad usado para el análisis de estructuras con elementos estructurales de guadua debe ser el módulo promedio y en el caso de tener condiciones de servicio críticas o que requieran un nivel de seguridad superior, las deflexiones deben ser calculadas usando el módulo percentil 5. Sin embargo se enfatiza que la *selección del módulo de elasticidad adecuado dependerá del criterio del ingeniero calculista*.”⁹

⁷ LUNA P., LOZANO J., TAKEUCHI C., Determinación experimental de valores característicos de resistencia para guadua angustifolia, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia, 2014.

⁸ *Ibíd.*, P.77.

⁹ *Ibíd.*, P.88-89.

Jairo Osorio, Juan Vélez, Héctor Ciro¹⁰, plantearon la incidencia que tiene la Guadua *Angustifolia Kunth* cuando se somete a una resistencia a flexión y a tensión, con el objetivo de poder establecer ecuaciones que permitan predecir la resistencia del material en función de la resistencia de la fibra y también para poder realizar modelos computacionales útiles para la industria del Bambú

La metodología planteada por los ingenieros fue realizar distintas pruebas de laboratorio en donde se sometía la Guadua a esfuerzos de flexión y tensión, utilizando especificaciones de normas internacionales para las probetas seleccionadas para experimentar, estas probetas correspondieron a culmos de Guadua *angustifolia kunth*, forma cebolla, con edades promedio de 5 años, provenientes de Cocorná-Antioquia. Se determinó el área de parénquima, el área de fibra y de tejido conductivo en términos de porcentaje en relación con el espesor total del material, obteniendo unas respectivas variables como la resistencia máxima a Tensión y a la flexión radial y tangencial. Para determinar las posibles relaciones existentes entre la estructura interna del material y las propiedades mecánicas resistencia a tensión y a flexión realizaron un análisis de varianza para observar las diferencias más significativas. A las variables con diferencia significativa se le realizaron comparación múltiple con pruebas internacionales.

Los resultados más significativos de la investigación son las gráficas de esfuerzo vs deformación, en donde se muestran la relaciones entre la resistencia a tensión y la estructura interna del material. Observaron que para el espesor total, la zona externa, y la zona media, el constituyente que mayor influencia presenta en la resistencia radial y tangencial, tanto en la cepa como en la basa, son las células de fibras; aspecto que se debe a la gran concentración de éstas en dichas zonas, coincidiendo esto con lo descrito por otros investigadores internacionales.

¹⁰ VELEZ J., OSORIO J., CIRO H., Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. Colombia. 2007

De los ensayos realizados en dicha investigación se obtuvieron parámetros de resistencia máxima a flexión radial y tangencial, a tensión, y valores de coeficiente de Poisson para la basa y la cepa en culmos de Guadua.

Jairo Osorio, Albeiro Espinosa y Eduard García¹¹, realizaron el análisis de las propiedades mecánicas entre las que se encuentran resistencia a tensión y flexión en sentido tangencial, relación de poisson y resistencia de la fibra en guadua *Angustifolia Kunth* para distintas zonas como interna media y externa, lo anterior enfocado a la de industria de laminado de pisos con Guadua, para ello seleccionaron el material con edades promedio de 4 años y se extrajeron las respectivas probetas en las zonas de la Cepa y la Basa de la Guadua, mediante un procedimiento con microscopio electrónico se determinó el porcentaje de parénquima y de fibras que se encontraba en cada una de ellas, esas fibras fueron extraídas para realizar los ensayos mecánicos respectivos. Los procedimientos de laboratorio aplicados a las probetas y a las fibras se realizaron siguiendo las normas ISO y NTC correspondientes.

De esta manera determinaron las propiedades mecánicas de la Guadua *Angustifolia Kunth* tanto en las probetas como en la fibras, obtuvieron unos valores de Resistencia a Tensión y ha flexión, Deformación Unitaria y módulo de elasticidad. Utilizando ecuaciones matemáticas propuestas por distintos autores atreves de los años, validaron y compararon con los valores obtenidos en laboratorio.

Los Resultados que obtuvieron utilizando los modelos matemáticos no difirieron de una manera significativa a los resultados encontrados en los ensayos de laboratorio, de esta manera concluyen que con algunas de estas ecuaciones se puede determinar la resistencia del material solo con conocer la resistencia en la fibra.

¹¹ OSORIO J., ESPINOSA A., GARCÍA E.; Evaluación de las propiedades mecánicas de las estructura interna de la guadua con un modelo matemático. Colombia. 2008

Peñaranda Daniel¹², determinó el comportamiento estructural para una vivienda prefabricada construida en guadua *Angustifolia Kunth* siguiendo los requisitos de diseño de la NSR-10. Peñaranda planteo un diseño partiendo de una serie de paneles prefabricados en guadua, que funcionan como muros estructurales conformados por sistemas de pórticos espaciales arriostrados con diagonales, mejorando el comportamiento estructural de la vivienda, contando con una arquitectura prototipo para una vivienda unifamiliar.

También realizó un análisis estructural de la vivienda, y posteriormente el diseño estructural siguiendo todos los requisitos de diseño de la NSR-10, obteniendo como resultados memorias de cálculo y planos de planta, alzado, detalles y conexiones de los paneles modulares que conforman la vivienda. Demostrando que la continuidad y unidad entre los elementos no estructurales así como los muros divisorios, y los elementos estructurales como vigas y columnas son necesarias para un óptimo desarrollo del diseño de una casa con sistema estructural modular en guadua. Recomendando realizar trabajos de investigación donde se puedan refutar los datos de la norma NSR-10 y llenar los vacíos que esta presenta en cuanto a las propiedades mecánicas de la Guadua *Angustifolia Kunth*.

¹² PEÑARANDA D., Análisis estructural de una vivienda prototipo prefabricada de guadua *Angustifolia Kunth*, Universidad la Gran Colombia, Colombia, 2015.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Comparar la variación en el análisis estructural de dos viviendas en guadua *Angustifolia Kunth* modeladas con los parámetros mecánicos para un comportamiento ortotrópico y los parámetros establecidos actualmente en la NSR-10 para un comportamiento isotrópico.

3.1.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los valores de propiedades mecánicas necesarios para la modelación de la guadua como un material ortotrópico
- Modelar las dos viviendas en guadua considerando el comportamiento isotrópico del material según los parámetros establecidos en la NSR10, y considerando un comportamiento ortotrópico según los valores de las propiedades mecánicas encontradas en los antecedentes investigativos.
- Analizar el comportamiento estructural de ambos casos de estudio mediante memorias de cálculo con propiedades ortotrópicas frente a la estructura con propiedades isotrópicas.

4. JUSTIFICACIÓN

A través de los años muchas de las propiedades de la guadua como material de construcción se siguen analizando y encontrando nuevas características que antes se desconocían o que simplemente por una u otra razón no se habían determinado. Debido a ello se requiere analizar y evaluar el comportamiento de este material con sus propiedades ortotrópicas, lo que significa que se comporta de una manera distinta en sus tres direcciones, esto implica que sus parámetros mecánicos son distintos en sus tres ejes, al contrario de lo que sucede con otros materiales de construcción como el concreto o el acero.

En el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 se encuentra el Título G que habla de estructuras en madera y en guadua, específicamente en el capítulo G.12, donde establece los requisitos y requerimientos del diseño estructural y sismo resistente utilizando la guadua como material principal. Los valores que se encuentran en la norma NSR-10 clasifican a la guadua como un material Isotrópico, lo que significa que sus propiedades mecánicas son las mismas en todas sus direcciones. Esto indica que actualmente todas las estructuras analizadas y diseñadas en guadua se realizan asumiendo este material con un comportamiento isotrópico.

La presente investigación pretende realizar una comparación en el análisis estructural de dos viviendas en guadua *Angustifolia Kunth*, utilizando los dos tipos de comportamientos antes mencionado para cada vivienda, el primero de ellos es el ortotrópico que indica el comportamiento real de la guadua, y el segundo es el isotrópico como lo asume la NSR10.

De esta manera se determinarán las diferencias en que se presentan en el análisis estructural de las viviendas utilizando la guadua con sus propiedades ortotrópicas frente a sus propiedades isotrópicas.

Las viviendas serán tipo unifamiliar para un ambiente urbano que contarán con paneles modulares prefabricados con diagonales, la diferencia principal entre cada

una de ellas es que la primera contara con unas vigas tipo cercha y la segunda con vigas en doble guadua, esto debido a que son características de los sistemas utilizados actualmente para viviendas y estructuras que usan la guadua como material principal.

El análisis estructural de las viviendas se llevara a cabo en un software comercial de análisis estructural como lo es SAP2000.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO CONCEPTUAL

5.1.1. *Guadua Angustifolia* Kunth (GAK)

“La guadua es una gramínea nativa, de amplia distribución en América, donde ha cumplido un importante papel ambiental, sociocultural y económico. En Colombia se le encuentra ampliamente dispersa, conformando rodales (guaduales) casi puros que cumplen indiscutible efecto protector sobre el suelo, las aguas y las rondas de los ríos, contribuyendo a su recuperación y conservación.

La guadua pertenece a la familia de las gramíneas, subfamilia Bambusoideas, supertribu Bambusodae. Se han clasificado más de 40 géneros con cerca de 450 especies. En Colombia se destaca por su abundancia el género “guadua” y la especie “angustifolia”.¹³

“El género guadua se considera el bambú más grande en cuanto a longitud y diámetro se refiere y económicamente el más interesante de América Latina, donde se encuentra ocupando áreas aledañas a ríos y quebradas y en los valles entre montañas formando las asociaciones llamadas Guaduales”.¹⁴

“En Colombia, los guaduales se desarrollan de manera óptima en la región central de los Andes entre los 500 y 1500 metros, con temperaturas entre 17°C y 26° C,

¹³ DURÁN, A., & URIBE, M. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. Universidad Nacional de Colombia: 2002, Pág. 27

¹⁴ GIRALDO, H. Edgar Y SABOGAL, O. Aureliano. Una alternativa sostenible: La Guadua. Corporación Autónoma Regional del Quindío C.R.Q., 1999, Pág. 31.

precipitaciones de 1200- 2500 mm/año, humedad relativa del 80- 90% y suelos aluviales ricos en cenizas volcánicas con fertilidad moderada y buen drenaje”.¹⁵

“Según la Sociedad Colombiana del Bambú, se estima que en el país existen 51.000 hectáreas de guaduales, de los cuales 8.000 hectáreas (o sea cerca de un 55%) están inventariadas para el Eje Cafetero.”¹⁶

5.1.2. Morfología de la Guadua

“La estructura de la Guadua está basada en un sistema de ejes vegetativos segmentados, los cuales forman alternamente nudos y entrenudos, que varían en su morfología dependiendo del lugar de la planta al cual correspondan, es decir el rizoma, el tallo o las ramas. En cuanto a lo que corresponde al tallo y su estructura también varía dependiendo de la especie, variedad y/o biotipo a la cual pertenezca, así mismo como en alturas, diámetros, y forma de los nudos facilitándose así su clasificación.”¹⁷

“Las partes principales de la guadua (Figura 1) son: el rizoma, el tallo o culmo, las ramas y las hojas. El rizoma es el sistema de soporte de la guadua. Tiene una parte superficial y una parte subterránea donde se encuentran las raíces de la planta, las cuales se ramifican y propagan generando brotes de nuevas guaduas.”¹⁸

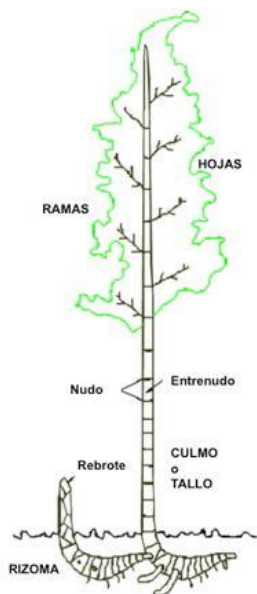
¹⁵ Ibíd. Pag.33.

¹⁶ CAMPO. RIVERA, JEINST, una Guadua prodigio. En: Un Periódico. 07, mayo, 2011. Extraído de: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/una-guadua-prodigio.html>.

¹⁷ DURÁN, A., & URIBE, M. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. Universidad Nacional de Colombia: 2002, Pág. 32

¹⁸ CAORI, TAKEUCHI, P. Caracterización mecánica del bambú Guadua laminado para uso estructural. Universidad Nacional de Colombia Bogotá: 2014; Pág. 6.

Figura 1. Partes de la Guadua



Fuente: *Ibíd.*¹⁷

5.1.3. Las fibras en el culmo

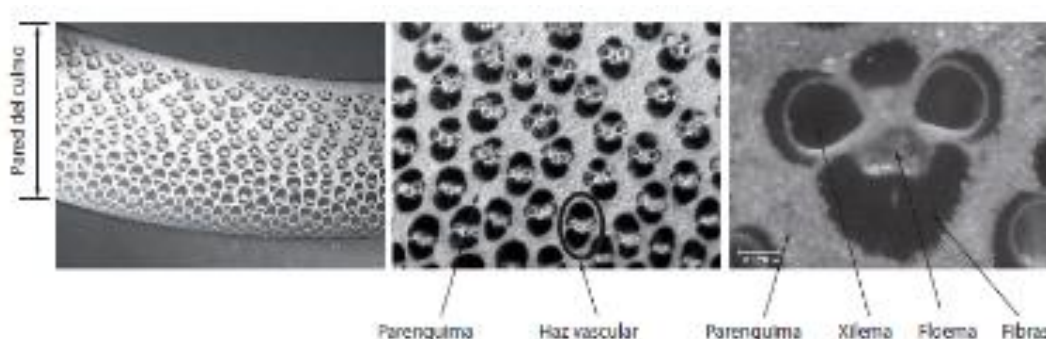
“El culmo es el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma y es la porción más útil del bambú. Los tallos de bambú se caracterizan por tener forma cilíndrica y entrenudos huecos, separados transversalmente por tabiques o nudos que le proporcionan mayor rigidez, flexibilidad y resistencia.”¹⁹

“La pared del culmo de una guadua consiste en células de “parénquima” (50% del Volumen) y “haces vasculares”, que a su vez se componen de tejidos conductores (10%) y fibras (40%). La cantidad de células de parénquima y de haces vasculares varía respecto a la altura y el radio de la planta. Los haces vasculares tienen variadas formas y tamaños, como se ilustra en la Figura 2, los cuales cambian según su localización dentro de la planta y la especie. Estos haces se encuentran separados por células de parénquima, y su estructura consiste en tubos de xilema y floema rodeados por fibras.

¹⁹ DURÁN, A., & URIBE, M. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. Universidad Nacional de Colombia: 2002, Pág. 34

Las fibras de bambú contribuyen con 40% a 50% del volumen total del culmo y con 60% a 70% del peso de la planta. Como están localizadas en los internodos, forman una capa protectora alrededor de los haces vasculares. Cerca de los nodos las fibras son cortas, mientras que hacia la zona central del internodo las fibras son largas.”²⁰

Figura 2. Diferentes formas de haces vasculares en secciones transversales de la pared del culmo.



Fuente: ESTRADA¹⁹

5.1.4. Material Isotrópico

“En los materiales isotrópicos las propiedades son las mismas en cualquier dirección en un punto dado, en otras palabras, un cuerpo isotrópico tendrá la misma propiedad del material en cualquier plano que pasa por un punto, es decir, todos los planos que pasan por un punto en un material isotrópico son planos de simetría de las propiedades del material”.²¹

De acuerdo a lo descrito en la NSR10 – Título G.12 La *guadua angustifolia kunth*, es considerada y clasifica como un material isotrópico, indicando que sus propiedades mecánicas son iguales en todas sus direcciones.

²⁰ MARTIN ESTRADA MEJÍA, Extracción y caracterización mecánica de las fibras del bambú (*Guadua Angustifolia*): Universidad de los andes: 2010; Pág. 8.

²¹ VILADOMS W. Análisis de las propiedades de los materiales compuestos sometidos a tensión o flexión. Tesis licenciatura. Cap. 2 P-1. 2003.

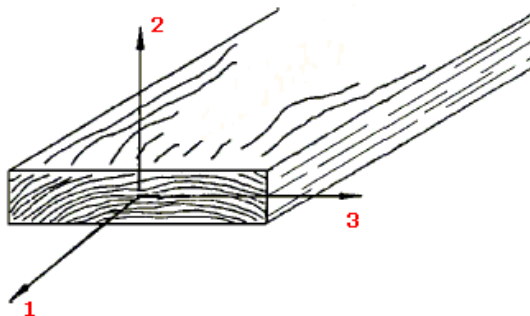
5.1.5. Material Ortotrópico

“Un material ortotrópico tiene tres diferentes propiedades en tres diferentes direcciones perpendiculares entre si, y tiene solo tres planos perpendiculares entre sí que definen la simetría de las propiedades del material. Un material ortotrópico, tendrá tres diferentes propiedades del material en las direcciones X, Y, Z. Por ejemplo, el módulo de Young se tendrá que definir en tres direcciones: E_x , E_y , E_z . Por lo tanto, los planos XY, YZ y ZX deben formar los planos de simetría de las propiedades del material.

Un material ortotrópico también puede ser homogéneo o heterogéneo. En un cuerpo ortotrópico homogéneo, las propiedades del material en una dirección particular serán las mismas en todos los puntos dentro del cuerpo, mientras que en un cuerpo ortotrópico heterogéneo las propiedades del material en una dirección particular serán diferentes en cualquier otro punto del material en el cuerpo.”²²

En la siguiente figura se pueden observar los distintos planos que forman los sentidos ortogonales, siendo el eje X (eje1) la dirección longitudinal, el eje Y (eje2) perpendicular a la fibra de la sección transversal y el eje Z (eje3) se toma tangente a la fibra de la sección transversal.

Figura 3. Direcciones en los ejes Material Ortotrópico



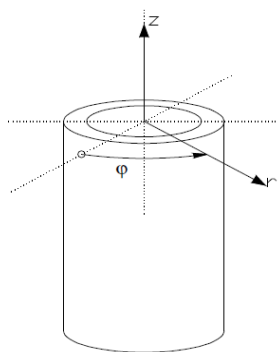
Fuente: SOLIDWORKS²³

²² VILADOMS W. Análisis de las propiedades de los materiales compuestos sometidos a tensión o flexión. Tesis licenciatura. Cap. 2 P-1. 2003.

²³ DASSAULT SYSTEMES SOFTWARE SOLIDWORKS [en línea]. <http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Art/wood.gif>

La *gaudua angustifolia kunth*, así como todas las plantas de la subfamilia del bambú tienden a ser consideradas como material isotrópico en donde sólo se requiere el valor de una constante elástica para el dimensionamiento de estructuras de bambú, pero esto resulta estar muy alejado del verdadero comportamiento de este material debido a que “el bambú es realmente un compuesto anisótropo y heterogéneo con fibras de celulosa alineadas en una matriz de lignina. Dada la alineación de las fibras con la dirección longitudinal del tallo, el bambú puede entonces considerarse como un material ortotrópico, con sus tres planos mutuamente ortogonales”²⁴ adoptándose en un sistema de coordenadas cilíndricas según la geometría típica de los culmos de bambú, como se puede ver en la siguiente figura.

Figura 4. Direcciones principales en el culmo de Guadua.



Fuente: TORRES²⁵

5.1.6. Comportamiento físico mecánico de la guadua

“El conocimiento de las estructuras de las células de las fibras ayuda al entendimiento de las propiedades mecánicas de los materiales biológicos, y se convierte en parte fundamental para el diseño y producción de nuevos materiales.

²⁴ TORRES, L. [2005] Modelo anisótropo de elementos finitos para el análisis mecánico del bambú y su verificación experimental. Trabajo de Grado. Universidad del Valle. Colombia. – Pág. 8.

²⁵ Ibíd.

Cuando se modela un material vegetal, es importante conocer a nivel jerárquico que parte del elemento es importante y la que se quiere conocer, dada la compleja estructura que forman las células de fibras.

Los haces vasculares, rodeando el tejido conductivo, se encuentra la zona que contiene las fibras de la GAK. Esas fibras pueden alcanzar la longitud del entrenudo al ser extraídas manualmente y tienen diámetros entre los 250 y 550 μ m que dependen del tamaño del haz vascular, cuyas características son comunes en fibras naturales.

Las fibras son unidas entre sí por células de parénquima. En el extremo de las fibras, se observa que éstas están formadas por unidades menores denominadas células de fibras, que se hallan en tamaños largos y cortos y tienen espesores promedio de 15 μ m.”²⁶

“El módulo de elasticidad, el módulo de corte y el módulo de poissón representan las características elásticas de un material. La guadua como material Ortotrópico tiene tres módulos de elasticidad, tres módulos de corte y 6 módulos de poissón, orientados y definidos según los tres ejes ortogonales. Desde el punto de vista ingenieril puede suponerse que el material es homogéneo lo que permite considerar sólo tres.”²⁷

5.1.7. Módulo de Elasticidad

“Se denomina módulo de elasticidad a la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Si el esfuerzo es una tensión o una compresión, el módulo se denomina módulo de Young y tiene el mismo valor para una tensión que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo

²⁶ OSORIO J; CIRO H; VELEZ J. Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. Revista DYNA., 153, 81-94, 2007.

²⁷ COBOS J; LEÓN X. Propiedades físicas-mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del iasa ii”, documento tesis, sangolquí, 2007. P. 106.

denominado límite elástico. Tanto el módulo de Young como el límite elástico, son naturalmente distintos para las diversas sustancias.

El hecho de que la variación de deformación unitaria sea directamente proporcional a la variación de esfuerzo, siempre que no se sobrepase el límite elástico, se conoce como ley de Hooke”.²⁸

“El módulo de elasticidad de la guadúa puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo deformación del ensayo de compresión o puede ser hallado por métodos indirectos como en los ensayos a flexión.”²⁹

5.1.8. Módulo de corte o rigidez

“El módulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen. Existen diferentes valores para este módulo en cada una de las direcciones de la guadúa. Sin embargo el más usual es el que sigue la dirección de las fibras. Los valores reportados para esta propiedad varían entre 1/16 y 1/25 del módulo de elasticidad lineal.”³⁰

“El módulo de rigidez a cortante G_z del bambú ha sido aún poco estudiado. Esto puede deberse principalmente a dos motivos: En principio muchas aplicaciones estructurales del bambú sólo requieren el valor de un módulo de elasticidad longitudinal para hacer un apropiado dimensionamiento, y segundo, bajo el enfoque isotrópico un valor de G_z ”.³¹

²⁸ MEIROVITCH L., Analytical methods in vibrations (Ed. McMillan/ New York,1976) Pág. 382-410.

²⁹ COBOS J; LEÓN X. Propiedades físicas-mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del iasa ii”, documento tesis, sangolquí, 2007. p. 106.

³⁰ Ibíd, P. 107.

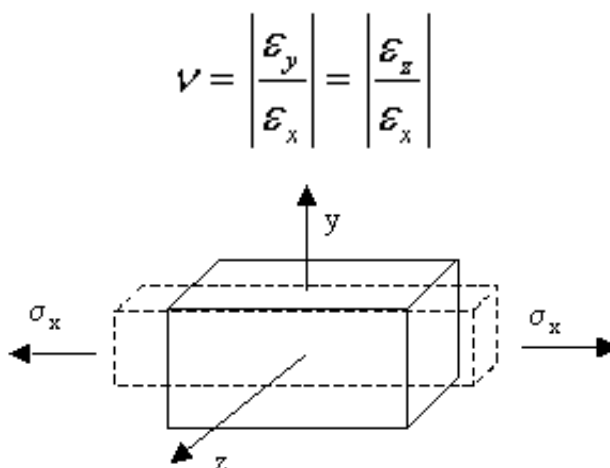
³¹ TORRES, L. Modelo anisótropo de elementos finitos para el análisis mecánico del bambú y su verificación experimental. Trabajo de Grado. Universidad del Valle. Colombia. 2005, P 43.

5.1.9. Relación de Poisson

“El coeficiente de Poisson (ν) es un parámetro característico de cada material que indica la relación entre las deformaciones longitudinales que sufre el material en sentido perpendicular a la fuerza aplicada y las deformaciones longitudinales en dirección de la fuerza aplicada sobre el mismo. Así, si sobre el cuerpo de la figura se aplica una fuerza de tracción en dirección x se produce un alargamiento relativo ϵ_x en esa dirección y un acortamiento relativo ϵ_y y ϵ_z en las dos direcciones transversales.”³²

Definiéndose el coeficiente de Poisson como:

Figura 5. Direcciones Ortogonales para relación de Poisson



Fuente: Pérez Antonio³³

“Se considera la guadua como un material ortrónico, pero isotrópico en el plano que contiene la sección transversal, se requiere conocer dos variables elásticas más, un coeficiente de Poisson que relaciona la deformación axial con la

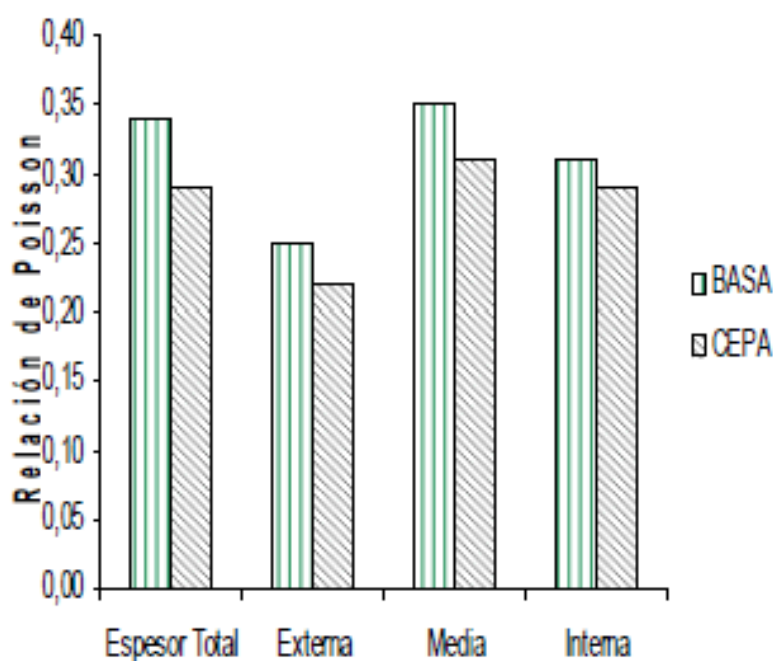
³² PEREZ, Antonio. Módulo de Elasticidad [Online]: Universitat Jaume I - [Castellón – España, 2014] Tomado de :http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente_de_Poisson.htm

³³ Ibíd.

deformación radial o la deformación circunferencial, y otro que relacione estas últimas entre sí”.³⁴

“En la siguiente figura, se muestra el valor de la relación de Poisson según la capa y zona de muestreo, indicando que la relación de Poisson es significativamente superiores en la basa con respecto a la cepa tanto en el espesor total como en cada una de las zonas analizadas. Lo anterior es debido a que en la basa existe un mayor porcentaje de fibras y menor de parénquima, lo que le permite una menor deformación lateral al material en relación con la cepa”.³⁵

Figura 6. Valores de relación de Poisson



Fuente: OSORIO³⁷

³⁴ LAMUS, Calificación de una conexión Viga-Columna resistente a momento en guadua angustifolia, Colombia. 2008. P 56

³⁵ OSORIO J; CIRO H; VELEZ J. Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. Revista DYNA., 153, 81-94, 2007

5.1.10. Resistencia a la Flexión

“Este ensayo es utilizado para medir la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Esta prueba consiste en alargar una probeta de ensayo por fuerza de tensión, ejercida gradualmente, con el fin de conocer ciertas propiedades mecánicas de materiales en general: su resistencia, rigidez y ductilidad.

Sabiendo que los resultados del ensayo para un material dado son aplicables a todo tamaño y formas de muestra, se ha establecido una prueba en la cual se aplica una fuerza de tensión sobre una probeta de forma cilíndrica y tamaño normalizado, que se maneja.”³⁶

5.1.11. Resistencia a la Tracción

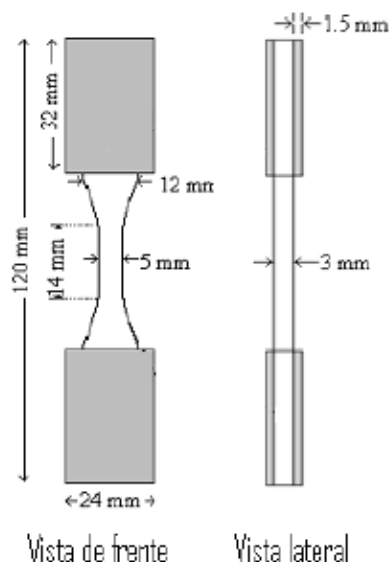
“La prueba de tensión es uno de los ensayos más comunes para determinar propiedades mecánicas; sin embargo, para la guadua no ha resultado tan común. El principal problema, al momento de realizar ensayos resulta de la forma de sujetar la probeta en sus extremos, lo que da origen a errores en las lecturas en ciertas ocasiones. En consecuencia, con el fin de facilitar el agarre de las probetas, se sugiere utilizar guadas, con las recomendaciones en dimensiones realizadas por el INBAR.

El área es la medida de la sección transversal en la contracción, con un ancho fijo de 5 mm y un espesor variable 3 mm, además, F_{pl} es la carga en el límite

³⁶ ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO, Ensayo de tensión, Facultad ingeniería industrial. Laboratorio de producción. Edición 2011-2.

proporcional (N), L es la longitud de la parte estrecha (mm) y d_{pl} es la deformación en el límite proporcional (mm).”³⁷

Figura 7. Probeta de Guadua



Fuente: Osorio J.³⁸

5.2. MARCO LEGAL

Las bases legales para este proyecto de investigación se encuentran en la última actualización del Reglamento Colombiano de Normas Sismo Resistentes del año 2010 (NSR 10), esta normativa establece el diseño, construcción y supervisión técnica de todo tipo de edificación para todo el territorio Colombiano.

Se destaca en el título A, el objeto y los alcances de esta normativa, estableciendo que una edificación diseñada de acuerdo a los parámetros de esta norma debe ser capaz de resistir temblores de poca y moderada intensidad, sin generar daños estructurales y sin generar colapsos, siendo esencial para nuestra

³⁷ OSORIO J; ESPINOZA A; GARCÍA E. Evaluación de las propiedades mecánicas de la estructura interna de la guadua con un modelo matemático. Revista DYNA, 2008.

³⁸ Ibíd.

investigación puesto que un objetivo principal es el poder diseñar una edificación en Guadua utilizando los parámetros ortotrópicos encontrados haciendo que sea una estructura factible y que de la certeza de resistir ante todas las fuerzas sísmicas y generalidades que presenta la normativa.

Además esta norma presenta unos requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones nuevas que sean capaces de resistir las fuerzas que impone la naturaleza, dando las especificaciones generales para estructuras en concreto, estructuras metálicas, estructuras en madera y estructuras en guadua, siendo este último el mayor referente para esta investigación.

El título G del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR 10) llamado Estructuras de madera y estructuras en guadua, más específicamente el capítulo G.12 que habla directamente de estructuras en guadua establece los requisitos para el diseño sismo resistente de estructuras cuyo elemento principal es la Guadua Angustifolia Kunth, haciendo de este diseño estructuras que posean la misma seguridad que tendría una edificación diseñada con cualquier otro material.

En ese orden de ideas, es el capítulo G.12 de la NSR 10 el reglamento el cual servirá de apoyo para esta investigación. Este capítulo especifica los requisitos de calidad que deben tener los materiales antes de llevarse a la construcción y establece métodos de diseño estructural para edificaciones de 1 y 2 pisos en guadua.

El método de diseño estructural, ítem G.12.7, establece el método de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad, en donde define y establece unos resultados para los parámetros de resistencia a distintas humedades, parámetros como el módulo de elasticidad, esfuerzos máximos para cortante y para flexión, establece tablas que definen coeficientes de modificación, momentos resistentes y formulaciones para calcular esfuerzos a tensión y a compresión; y es ahí donde se encuentra el vacío investigativo de esta investigación, debido a que esos valores propuestos por la norma están incompletos en la medida que sólo hay resultados

de parámetros paralelos y perpendiculares a las fibras de la *Guadua Angustifolia kunth*, y en algunos casos, valores para una sola dirección. El Reglamento Colombiano de Normas Sismo Resistentes comprende a la *Guadua* como un material isotrópico y no como verdaderamente es el comportamiento físico-mecánico de este material, siendo totalmente anisotrópico u ortotrópico, es decir, la NSR 10 debería establecer valores de módulos, esfuerzos y de cualquier otro parámetro en las direcciones ortogonales a la fibra (longitudinales, transversales y radiales).

También hacen parte de este marco legal, todas las normalizaciones técnicas colombianas para la *guadua*, que abarcan procedimientos y especificaciones que van desde su producción, hasta los métodos de ensayo para la obtención de parámetros. Normas las cuales son utilizadas por los investigadores colombianos que han aportado a la literatura y el desarrollo de la *guadua* como material de construcción.

Tabla 1. Normativas para el uso de la Guadua

CODIGO	TITULO
NTC 5300	COSECHA Y POSTCOSECHA DEL CULMO DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH
NTC 5301	PRESERVACIÓN Y SECADO DEL CULMO DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH
NTC 5405	PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE <i>Guadua Angustifolia Kunth</i>
NTC 5407	UNIONES DE ESTRUCTURAS CON <i>Guadua angustifolia Kunth</i>
NTC 5458	ELABORACIÓN DE ARTESANÍAS Y MUEBLES CON CULMOS MADUROS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH
NTC 5525	MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH
NTC 5726	INVENTARIO DE RODALES DE <i>Guadua angustifolia Kunth</i> PARA APROVECHAMIENTOS CON FINES COMERCIALES
NTC 5727	TERMINOLOGÍA APLICADA A LA GUADUA Y SUS PRODUCTOS
NTC 5829	OBTENCIÓN DE LATAS Y TABLILLAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH
NTC 6100	ETIQUETAS AMBIENTALES TIPO I. SELLO AMBIENTAL COLOMBIANO. CRITERIOS AMBIENTALES PARA PRODUCTOS DE PRIMERO Y SEGUNDO GRADO DE TRANSFORMACIÓN DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

Fuente: Propia

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. ENFOQUE

El enfoque de esta investigación será de tipo inductivo cuantitativo debido a que se realiza una búsqueda de información numérica y un análisis de datos que permiten desarrollar la correcta modelación de las estructuras a estudiar, comparando de manera adecuada las diferencias que puedan llegar a tener los diseños estructurales realizados con guadua como material isotrópico y ortotrópico.

6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se realizara es analítica comparativa, esto debido a que se propone una hipótesis que se tratara de probar y se establecerá comparaciones entre variables para así determinar el comportamiento o posibles las variaciones que lleguen a darse.

Valores de propiedades del Material (Guadua), con un comportamiento ortotrópico.	Modelación de las viviendas en Guadua en el Software de análisis estructural como un material Isotrópico y Ortotrópico.	Establecer Comparaciones y determinar posibles variaciones que se den entre las modelaciones realizadas, con el distinto comportamiento del material.
--	---	---

6.3. HIPOTESIS

- La estructura analizada como material ortotrópico presentara más deformaciones y desplazamientos, esto debido a que en el análisis estructural se tendrán en cuenta los parámetros de resistencia en todos los sentidos ortogonales.

6.4. FASES

6.4.1. FASE 1 – Recolección de Información

La primera fase de la investigación consistió en encontrar los valores de las propiedades de la guadua como un material ortotrópico de distintas investigaciones experimentales que se han realizado, estas propiedades fueron fundamentales debido a que son las necesarias para poder modelar el material en el software de análisis estructural SAP2000, entre estas propiedades se encuentra módulo de elasticidad, relación de Poisson y módulo de cortante, cada una de ellas en el sentido longitudinal, tangencial y radial.

6.4.2. FASE 2 – Modelación de Estructuras en Guadua como material Isotrópico y Ortotrópico.

En la segunda fase de la investigación se modelaron las viviendas en guadua como un material isotrópico y ortotrópico. La modelación isotrópica se realizó siguiendo los valores de las propiedades mecánicas que indica la NSR10 en el Capítulo G.12–Estructuras en Guadua y la modelación como material ortotrópico se realizó de acuerdo a los valores de todas las propiedades encontrados en la Fase Uno (1).

6.4.3. FASE 3 – Comparación entre los dos tipos de Modelaciones

La tercera fase de la investigación consistió en evaluar los resultados que presenten los dos tipos de modelaciones realizadas, la primera donde la guadua se comporta como un material isotrópico y la segunda donde se comporta como un material ortotrópico, se realizaron las comparaciones adecuada entre cada una de las modelaciones midiendo desplazamientos horizontales (Derivas), deflexiones, fuerzas axiales y cortantes.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

7.1.1. Material isotrópico

El reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10), en el título G de estructuras de madera y estructuras en guadua, especifica en el capítulo G.12 las bases y requisitos de diseño estructural con *guadua angustifolia Kunth*, definiendo los parámetros de resistencia necesarios para poder diseñar, contemplando siempre a la guadua como un material isotrópico. La NSR-10 establece estos valores de resistencia en sentido longitudinal a partir de las normalizaciones técnicas colombianas (Icontec) mencionadas en el marco legal.

Para el módulo de elasticidad de la GAK se establece el valor de 9500Mpa cuando ésta se encuentra en un 12% de contenido de humedad. La NSR-10 establece unos coeficientes de reducción para el módulo de elasticidad que dependen de las condiciones medioambientales en el sitio de construcción, debido a que si aumenta el porcentaje de contenido de humedad de la guadua, su módulo de elasticidad se irá reduciendo así como se muestra en la siguiente figura.

Tabla 2. Coeficientes de modificación por contenido de humedad

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	F_b	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	F_t	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	F_c	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	F_p	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	F_v	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Módulo de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	$E_{0.05}$								
	E_{min}								

Fuente: NSR-10(2010)³⁹

³⁹ REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10). C. G-12. Tabla G.12 7-5. Pág.1881. BOGOTÁ. 2010

Para el caso de las modelaciones, se utilizará un factor de modificación de 0.94, que corresponde al 16% de humedad que tiene la ciudad de Bogotá, obteniendo un módulo de elasticidad de la GAK de 8930Mpa.

Respecto a la relación de Poisson se establece un valor de 0.34. El módulo de corte lo calcula automáticamente el software después de introducir los valores anteriores, obteniendo la siguiente tabla resumen de valores isotrópicos generados por la NSR-10.

Tabla 3. Valores isotrópicos de la NSR-10

PARAMETRO	VALOR
Módulo de elasticidad	8930
Relacion de Poisson	0.34
Módulo de Corte	3332.08

Fuente: Propia

7.1.2. Material Ortotrópico

Los parámetros de resistencia en los sentidos ortogonales serán identificados por el software como E2 y E3 para módulo de elasticidad, U13 y U23 para la relación de Poisson y G13 y G23 para el módulo de corte, estos sentidos hacen referencia a la dirección tangencial y a la dirección radial respectivamente.

Se encontró literatura que hace referencia a estos parámetros de resistencia en los sentidos ortogonales, escogiendo las siguientes tres investigaciones debido a que en ellas se experimenta la guadua totalmente en su estado natural, es decir, valores en donde la guadua no se encontraba en estado laminado, prensado o con inmunizantes como se describe en otras investigaciones. A continuación se nombra la investigación y los parámetros obtenidos de cada una.

-
- (Lamus F.⁴⁰):

Módulo elasticidad **668.51 Mpa**

Módulo de Corte **774.72 Mpa**

- (Luna P.⁴¹):

Módulo elasticidad **560 Mpa**

- (Garcia J.⁴²):

Módulo elasticidad **398 Mpa**

Módulo de Corte **581 Mpa**

Relación de Poisson **0.14**

7.1.2.1. Módulo de elasticidad (E)

El módulo elástico que se introducirá en el software será el promedio de los tres valores registrados para este parámetro, debido a que sus procedimientos de ensayos fueron similares.

7.1.2.2. Módulo de corte (G)

Para este parámetro se promediaron los valores obtenidos de las investigaciones de Lamus y García, debido a que determinaron este valor con un ensayo de torsión en donde las fuerzas aplicadas quedaban en dirección ortogonal a las fibras.

⁴⁰ LAMUS F. Clasificación de una conexión Viga-Columna resistente a momento en guadua angustifolia, Universidad Nacional de Colombia. 2008.

⁴¹ LUNA P., LOZANO J., TAKEUCHI C., Determinación experimental de valores característicos de resistencia para guadua angustifolia, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia, 2014.

⁴² GARCÍA J., RANGEL C., GHAVAMI K.; Experiments with rings to determine the anisotropic elastic constants of bamboo; Universidad del Valle Colombia, Universidad Católica Rio de Janeiro Brasil, 2012.

7.1.2.3. Relación de *Poisson* (V)

La relación de Poisson será el valor encontrado por García, Rangel y Ghavami, puesto que fueron los únicos que evaluaron este parámetro en el sentido ortogonal a las fibras de la GAK.

Tabla 4. Resumen valores material ortotrópico

Parámetro	Autores	Valor (Mpa)	Promedio (Mpa)
Módulo de elasticidad	Lamus, 2008	668.51	542.17
	Luna, Lozano, Takeuchi 2014	560	
	García, Rangel, Ghavami, 2012	398	
Módulo de corte	Lamus, 2008	774.72	677.86
	García, Rangel, Ghavami, 2012	581	
Relacion de poisson	García, Rangel, Ghavami, 2012	0.14	0.14

Fuente: Propia

Los valores correspondientes al sentido longitudinal de las fibras (E1, U12, G12) serán los mismos definidos por la NSR-10 para comportamiento isotrópico.

Debido a la poca literatura que existe respecto a los parámetros de resistencia en los sentidos ortogonales y debido a que en ninguno de los antecedentes encontrados define el sentido en el que realizaron sus ensayos, los valores de E3, U23 y G23 corresponderán a los mismos del sentido E2, U13 y G13. Comprendiendo que son sentidos que van perpendiculares a la fibra y sus valores tienen que estar en un rango similar.

7.2. MODELACIÓN

7.2.1. Generalidades Modelaciones

Figura 8. Propiedades Guadua Material Isotrópico

The dialog box 'Material Property Data' is shown for an isotropic material. It contains the following fields and values:

Property	Value
Material Name	Guadua
Material Type	Other
Symmetry Type	Isotropic
Modulus of Elasticity (E)	8930000
Poisson's Ratio (U)	0.34
Coeff of Thermal Expansion (A)	1.170E-05
Shear Modulus (G)	3332090
Weight per Unit Volume	8
Mass per Unit Volume	0.8158
Units	KN, m, C

Buttons at the bottom: OK, Cancel. Advanced Material Property Data buttons: Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties..., Thermal Properties...

Fuente: Propia

Figura 9. Propiedades Guadua Material Ortotrópico

The dialog box 'Material Property Data' is shown for an orthotropic material. It contains the following fields and values:

Property	Value
Material Name	Guadua Orto
Material Type	Other
Symmetry Type	Orthotropic
Modulus of Elasticity (E1, E2, E3)	8930000, 542170, 542170
Poisson's Ratio (U12, U13, U23)	0.34, 0.14, 0.14
Coeff of Thermal Expansion (A1, A2, A3)	1.170E-05, 1.170E-05, 1.170E-05
Shear Modulus (G12, G13, G23)	3332090, 677860, 677860
Weight per Unit Volume	8
Mass per Unit Volume	0.8158
Units	KN, m, C

Buttons at the bottom: OK, Cancel. Advanced Material Property Data buttons: Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties..., Thermal Properties...

Fuente: Propia

Figura 10. Propiedades peso cero - PLACA

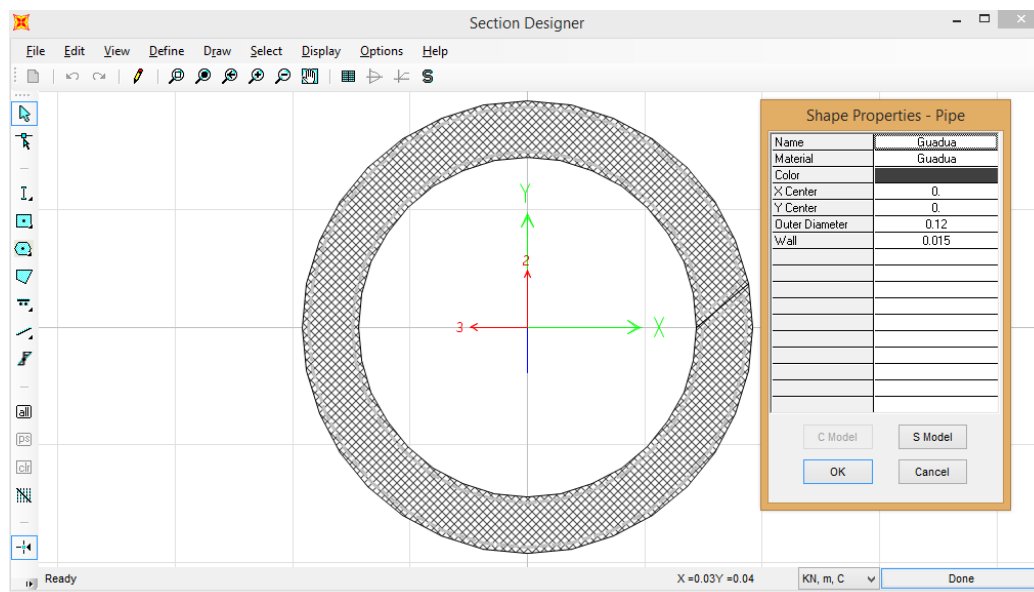
The image shows a 'Material Property Data' dialog box with the following sections and values:

- General Data**
 - Material Name and Display Color:
 - Material Type:
 - Material Notes:
- Weight and Mass**
 - Weight per Unit Volume:
 - Mass per Unit Volume:
 - Units:
- Isotropic Property Data**
 - Modulus of Elasticity, E:
 - Poisson:
 - Coefficient of Thermal Expansion, A:
 - Shear Modulus, G:
- ☐ Switch To Advanced Property Display
-

Fuente: Propia

La creación del material con un peso y una masa cero fue necesaria para la modelación de las losas tanto de entrepiso y cubierta, esto debido a que las losas no aportaran rigidez al sistema estructural de la vivienda y no son parte del sistema de resistencia sísmica ante cargas horizontales, en el módulo de elasticidad de este material es necesario colocar un valor diferente cero, esto debido a que la flexibilidad es inversamente proporcional al módulo de elasticidad, al dividir un valor sobre cero el software no realizaría su análisis matricial de una forma correcta.

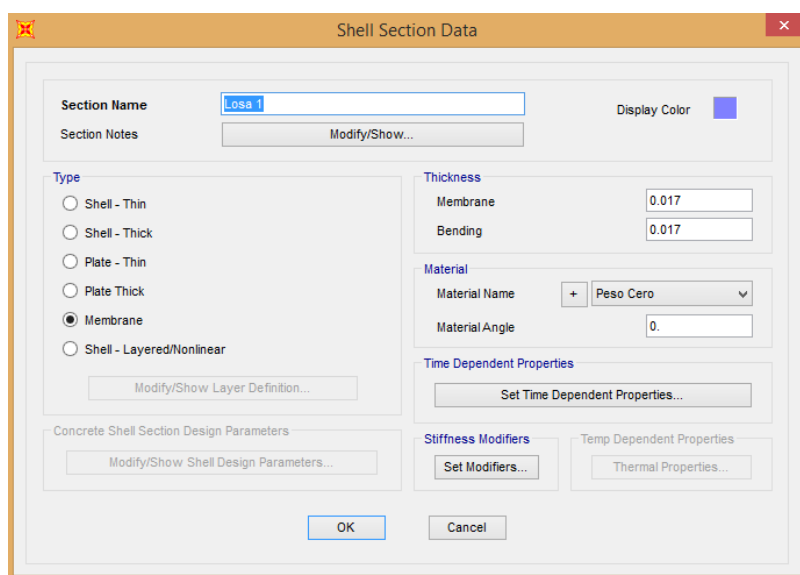
Figura 11. Geometría de la sección guadua – Culmo



Fuente: Propia

Se creó una sección hueca con un diámetro de 0.12 m y un espesor de pared de 0.015m, esta con el fin de realizar la modelación de los culmos de guadua.

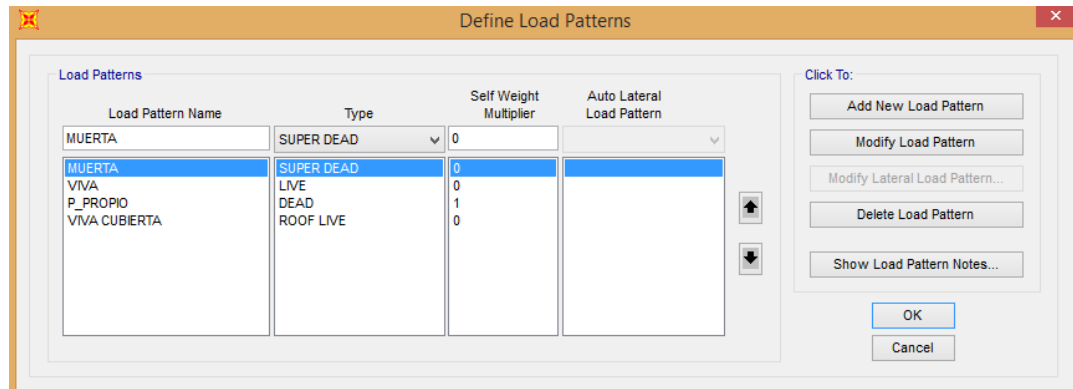
Figura 12. Sección – Propiedades Losa – Tipo Membrane



Fuente: Propia

Para las losas de entepiso y cubierta, se creó un elemento de área tipo “Membrane”, esta fue la encargada de soportar y transferir cargas y deformaciones perpendiculares al plano, para este elemento se le asignó el material Peso Cero explicado previamente.

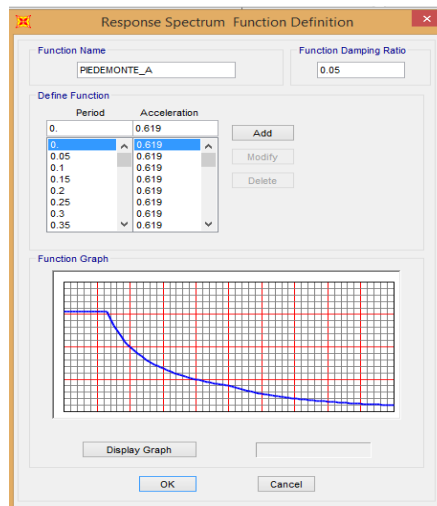
Figura 13. Patrones de carga



Fuente: Propia

Se definen los patrones de carga que serán impuestos en la vivienda, Muerta, Viva, Peso Propio y Viva de cubierta, el Peso propio se colocó un factor multiplicador de 1, esto indica al Software que tenga 1 vez en cuenta el valor del peso de la vivienda.

Figura 14. Espectro utilizado para el análisis Sísmico, Piedemonte A – Bogotá



Fuente: Propia

Se elaboró el espectro de respuesta sísmica que actuó sobre las viviendas para el análisis dinámico, ubicándolas en la zona piedemonte A en Bogotá, se utilizó los parámetros del decreto 523 de 2010 que describen la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

Parámetros:

$A_a = 0.15$, $A_v = 0.20$.

$F_a = 1.65$, $F_v = 2.00$.

7.2.1.1. Combinaciones de carga.

De acuerdo al título B.2.3 de la NSR-10 las combinaciones de carga utilizadas para el análisis de las viviendas fueron por el método de esfuerzos de trabajo.

Figura 15. Combinaciones de carga método esfuerzo de trabajo

D+F	(B.2.3-1)
D+H+F+L+T	(B.2.3-2)
D+H+F+(L_r ó G ó L_e)	(B.2.3-3)
D+H+F+0.75(L+T)+0.75(L_r ó G ó L_e)	(B.2.3-4)
D+H+F+W	(B.2.3-5)
D+H+F+0.7E	(B.2.3-6)
D+H+F+0.75W+0.75L+0.75(L_r ó G ó L_e)	(B.2.3-7)
D+H+F+0.75(0.7E)+0.75L+0.75(L_r ó G ó L_e)	(B.2.3-8)
0.6D+W+H	(B.2.3-9)
0.6D+0.7E+H	(B.2.3-10)

Fuente: NSR-10(2010)⁴³

⁴³ REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10). Titulo B – Subtitulo B.2.3.1. Pag. B5-330. BOGOTÁ. 2010

Figura 16. Combinaciones de carga utilizadas en el cálculo

	MUERTA (SD)	PESO PROPIO(D)	VIVA(L)	VIVA(Lr)	SISMOS X(EX)	SISMO Y(EY)	
COMBO 1	1	1	0	0	0	0	(SD + D) - (B.2.3-1)
COMBO 2	1	1	1	0	0	0	(SD + D + L) - (B.2.3-2)
COMBO 3	1	1	0	1	0	0	(SD + D + Lr) - (B.2.3-3)
COMBO 4	1	1	0.75	0.75	0	0	(SD + D + 0.75L + 0.75Lr) (B.2.3-4)
COMBO 5	1	1	0	0	0.35	1	(SD + D + 0.7EX) (B.2.3-6)
COMBO 6	1	1	0	0	-0.35	-1	(SD + D + 0.7EX) (B.2.3-6)
COMBO 7	1	1	0	0	0.35	-1	(SD + D + 0.7EX) (B.2.3-6)
COMBO 8	1	1	0	0	-0.35	1	(SD + D + 0.7EX) (B.2.3-6)
COMBO 9	1	1	0	0	1	0.35	(SD + D + 0.7EY) (B.2.3-6)
COMBO 10	1	1	0	0	-1	-0.35	(SD + D + 0.7EY) (B.2.3-6)
COMBO 11	1	1	0	0	-1	0.35	(SD + D + 0.7EY) (B.2.3-6)
COMBO 12	1	1	0	0	1	-0.35	(SD + D + 0.7EY) (B.2.3-6)
COMBO 13	1	1	0.75	0.75	0.263	1	(SD + D + 0.75L + 0.75Lr + 0.75(0.7EX)) (B.2.3-8)
COMBO 14	1	1	0.75	0.75	-0.263	-1	(SD + D + 0.75L + 0.75Lr + 0.75(0.7EX)) (B.2.3-8)
COMBO 15	1	1	0.75	0.75	0.263	-1	(SD + D + 0.75L + 0.75Lr + 0.75(0.7EY)) (B.2.3-8)
COMBO 16	1	1	0.75	0.75	-0.263	1	(SD + D + 0.75L + 0.75Lr + 0.75(0.7EY)) (B.2.3-8)
COMBO 17	1	1	0.75	0.75	1	0.263	(SD + D + 0.75L + 0.75Lr + 0.75(0.7EX)) (B.2.3-8)
COMBO 18	1	1	0.75	0.75	-1	-0.263	(SD + D + 0.75L + 0.75Lr + 0.75(0.7EX)) (B.2.3-8)
COMBO 19	1	1	0.75	0.75	-1	0.263	(SD + D + 0.75L + 0.75Lr + 0.75(0.7EY)) (B.2.3-8)
COMBO 20	1	1	0.75	0.75	1	-0.263	(SD + D + 0.75L + 0.75Lr + 0.75(0.7EY)) (B.2.3-8)
COMBO 21	0.6	0.6	0	0	0	0	(0.6 SD + 0.6 D) - (B.2.3-9)
COMBO 22	0.6	0.6	0	0	0.35	1	(0.6 SD + 0.6 D + 0.7EX) - (B.2.3-10)
COMBO 23	0.6	0.6	0	0	-0.35	-1	(0.6 SD + 0.6 D + 0.7EX) - (B.2.3-10)
COMBO 24	0.6	0.6	0	0	0.35	-1	(0.6 SD + 0.6 D + 0.7EX) - (B.2.3-10)
COMBO 25	0.6	0.6	0	0	-0.35	1	(0.6 SD + 0.6 D + 0.7EX) - (B.2.3-10)
COMBO 26	0.6	0.6	0	0	1	0.35	(0.6 SD + 0.6 D + 0.7EY) - (B.2.3-10)
COMBO 27	0.6	0.6	0	0	-1	-0.35	(0.6 SD + 0.6 D + 0.7EY) - (B.2.3-10)
COMBO 28	0.6	0.6	0	0	-1	0.35	(0.6 SD + 0.6 D + 0.7EY) - (B.2.3-10)
COMBO 29	0.6	0.6	0	0	1	-0.35	(0.6 SD + 0.6 D + 0.7EY) - (B.2.3-10)

R = 2

Fuente: Propia

El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía R utilizado en las combinaciones de carga, se calculó a lo descrito en el título A.3 de la NSR-10, de acuerdo a lo siguiente:

$$R = \phi_a * \phi_p * \phi_r * R_o$$

$$\phi_a = \text{Irregularidad en altura} \quad \phi_a = 1$$

$$\phi_p = \text{Irregularidad en planta} \quad \phi_p = 1$$

$$\phi_r = \text{Ausencia por redundancia} \quad \phi_r = 1$$

$$R_o = \text{Coeficiente de capacidad de disipación de energía básico}$$

$$R_o = 2$$

Para los dos tipos de viviendas se consideró que no tienen irregularidad en altura, en planta, ni por ausencia de redundancia, en este caso se toma un valor de 1, de acuerdo a lo descrito en el Título A.3 de la NSR10.

El coeficiente de capacidad de disipación de energía básico R_o utilizados para estructuras en guadua, es de un valor de 2, cuyo sistema de resistencia sísmica sea porticos con diagonales de acuerdo a lo descrito en el título G.12.6.1.6 de la NSR10.

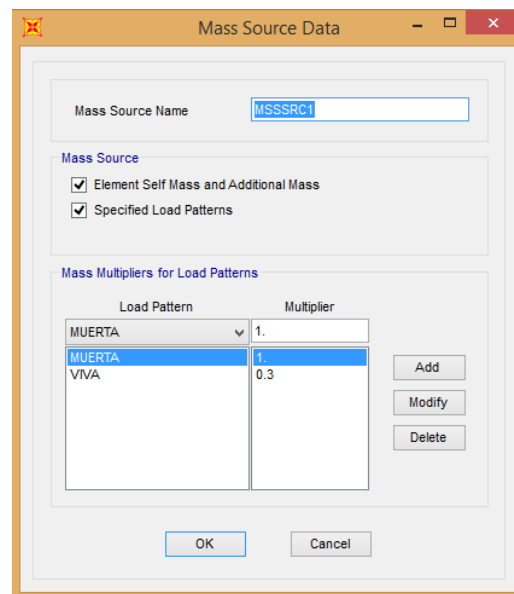
Aplicando la formula descrita a continuación el valor total fue $R=2$

$$R = \phi_a * \phi_p * \phi_r * R_o$$

$$R = 1 * 1 * 1 * 2$$

$$R = 2$$

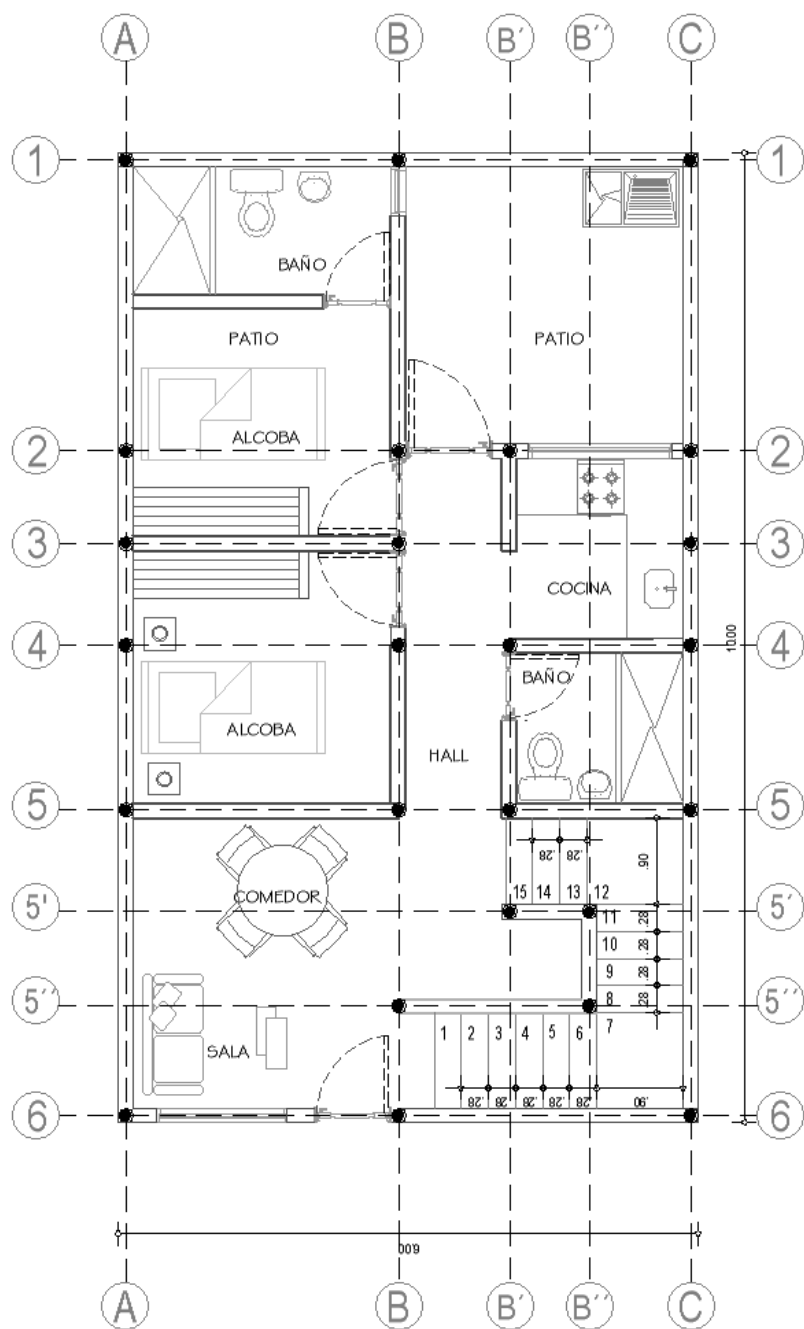
Figura 17. Fuentes de masas utilizadas en las modelaciones de las viviendas.



Fuente: Propia

7.2.2. Geometría y Modelación Vivienda 1 – 6m x 10 m

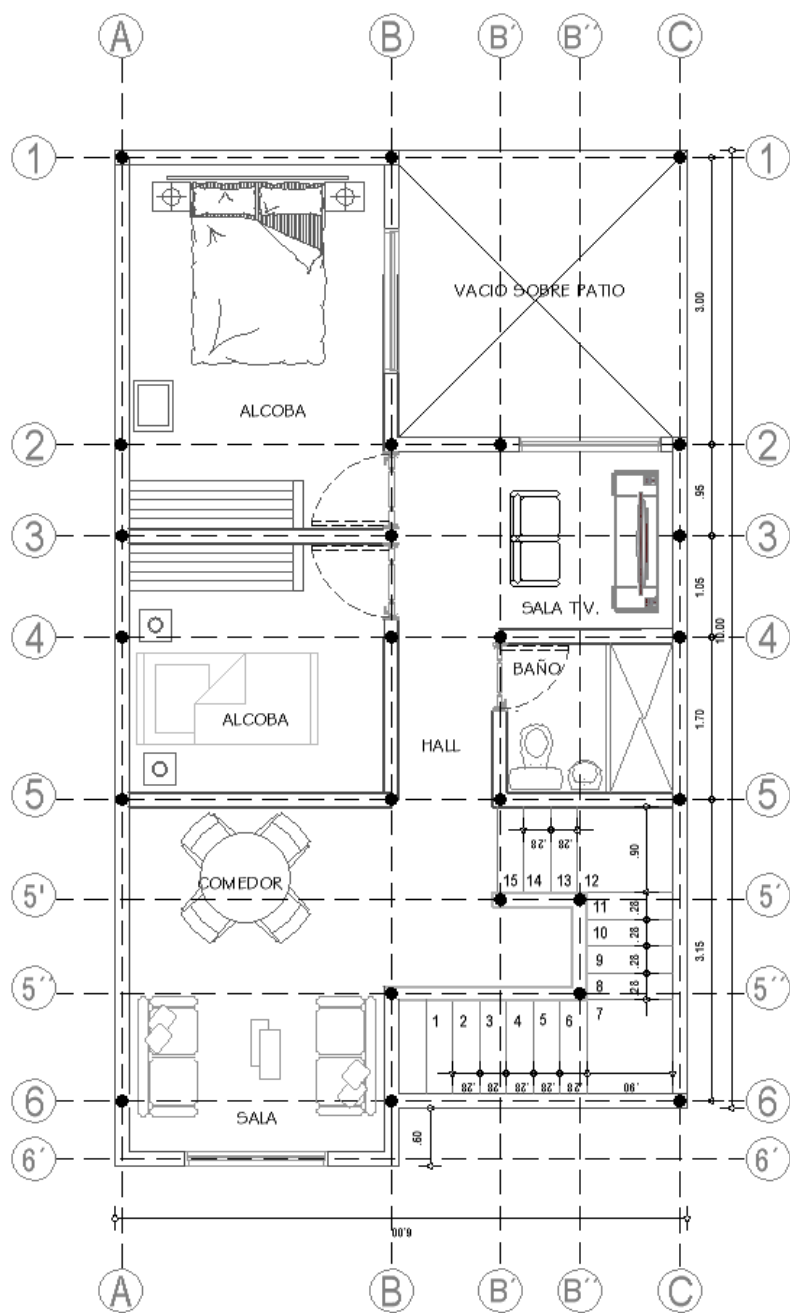
Figura 18. Planta primer piso vivienda uno.



PLANTA PRIMER PISO

Fuente: Propia

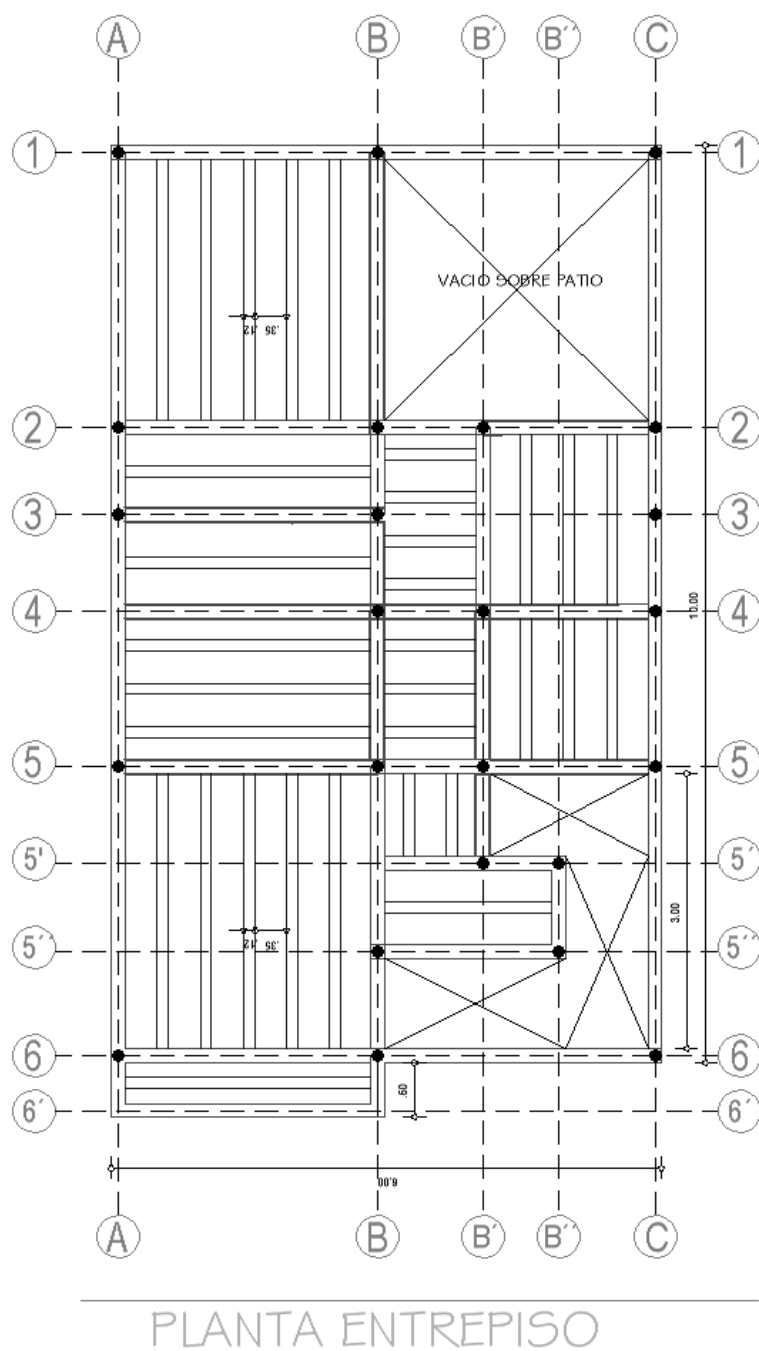
Figura 19. Planta segundo piso vivienda uno.



PLANTA SEGUNDO PISO

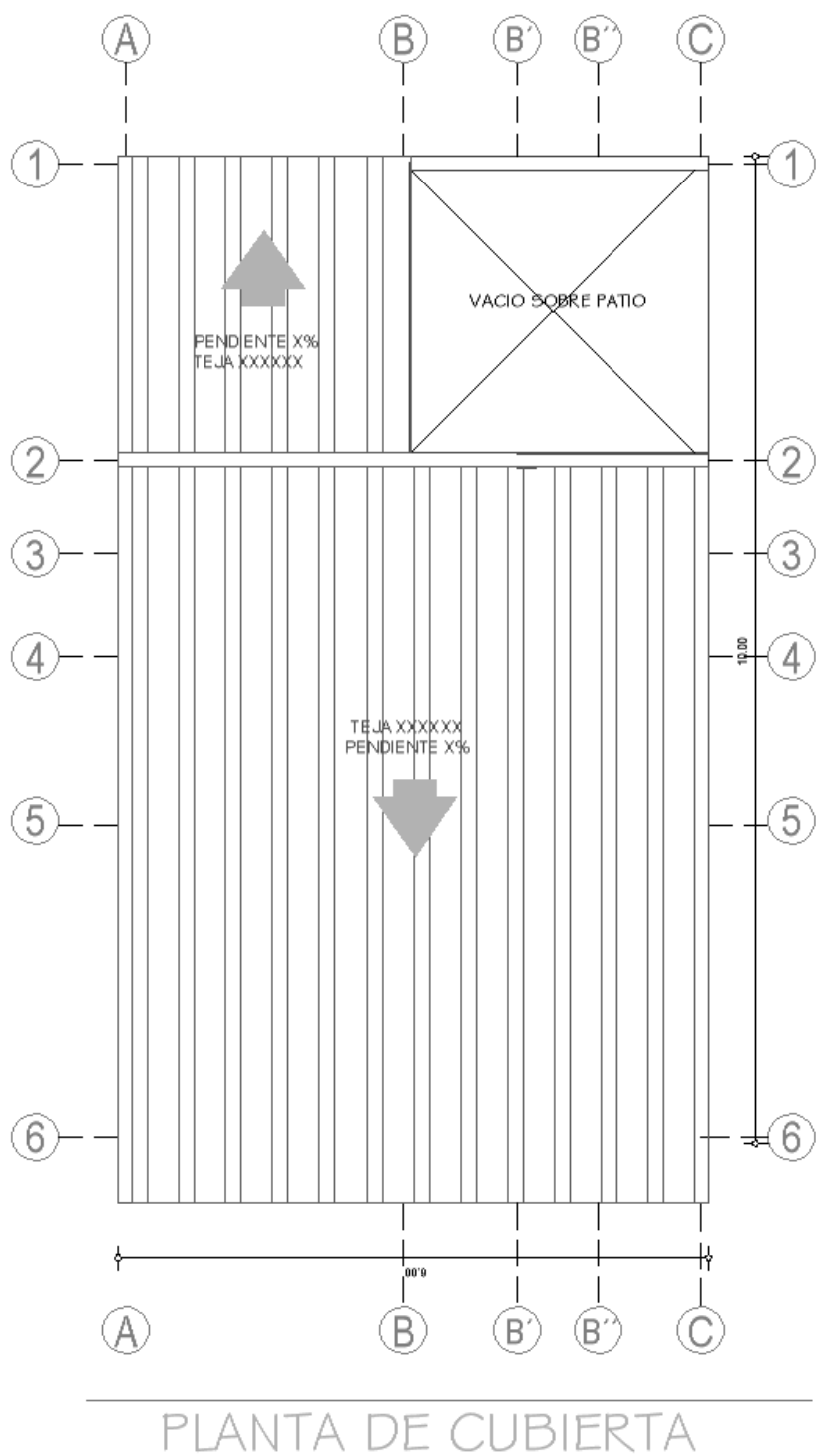
Fuente: Propia

Figura 20. Planta entrepiso vivienda uno.



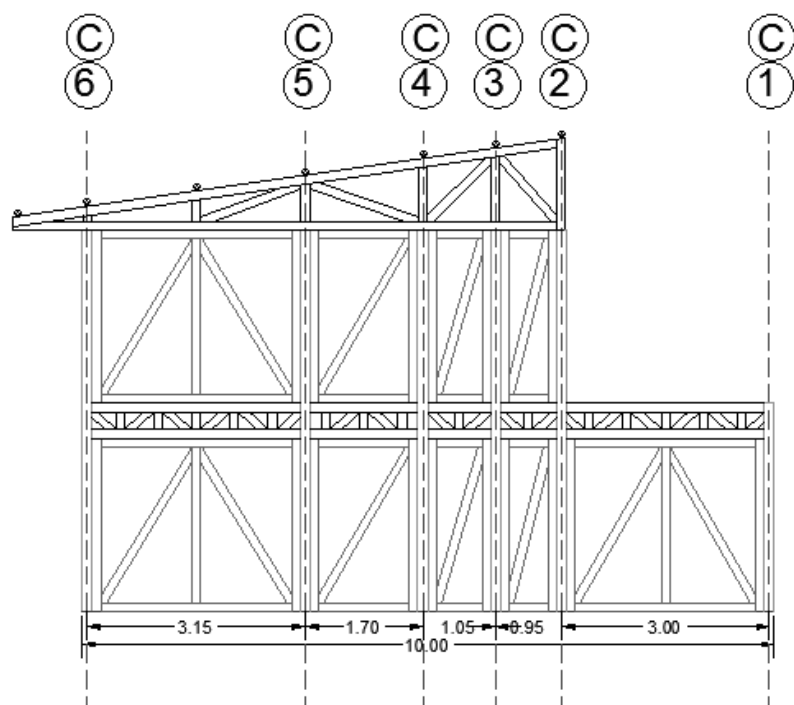
Fuente: Propia

Figura 21. Planta de cubiertas vivienda uno.



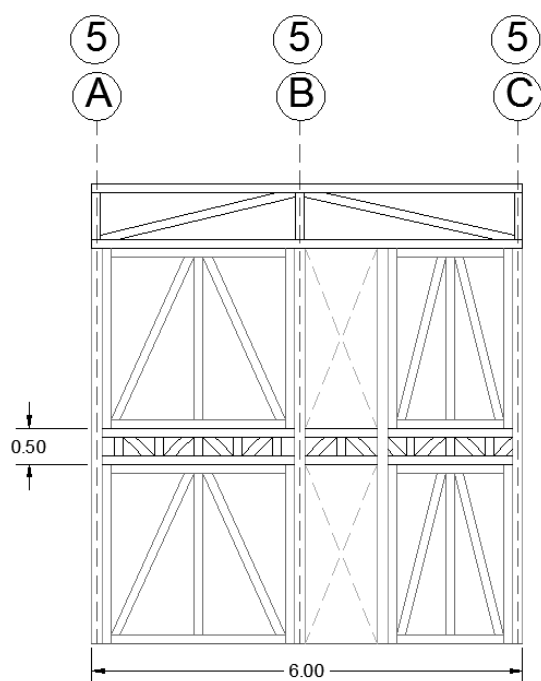
Fuente: Propia

Figura 22. Corte longitudinal vivienda uno



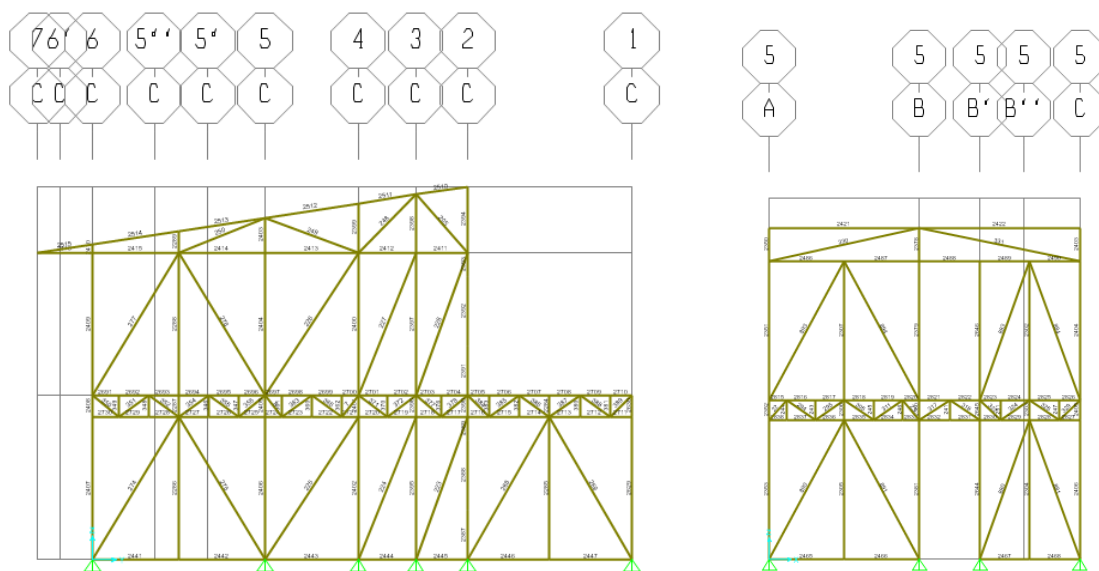
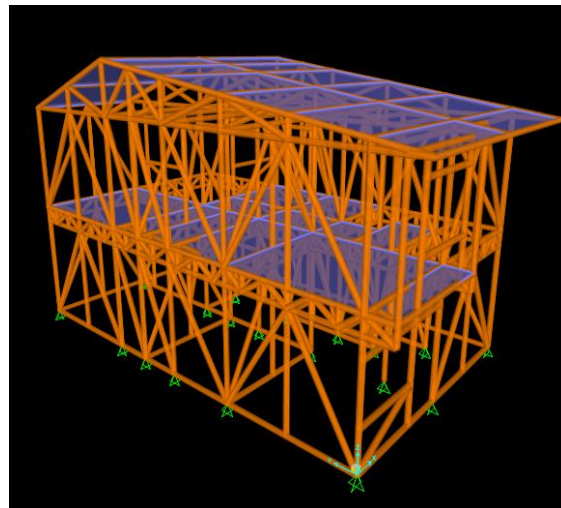
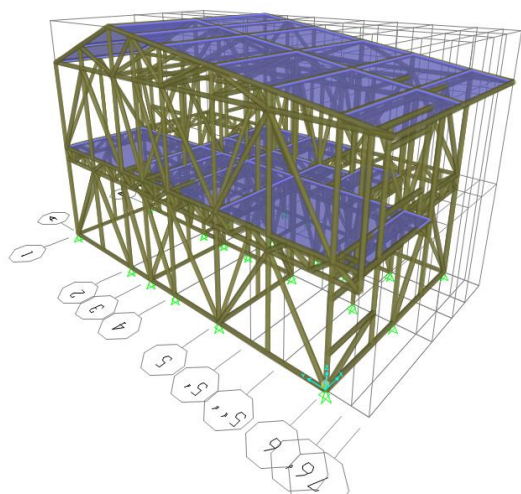
Fuente: Propia

Figura 23. Corte Transversal vivienda uno.



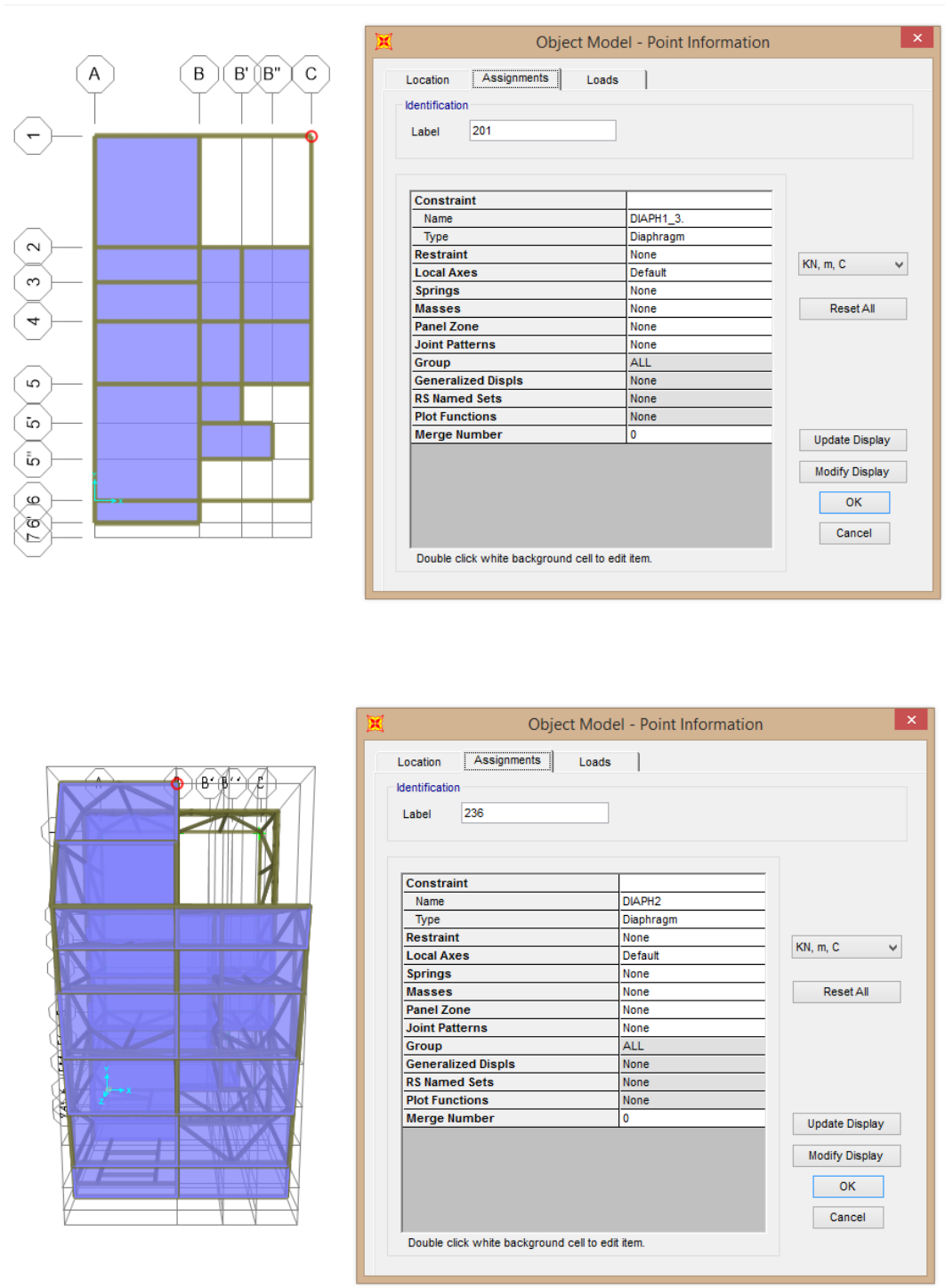
Fuente: Propia

Figura 24. Vista 3D Modelo Isotrópico y Ortotrópico – Corte Longitudinal – Corte Transversal, (SAP2000), **vivienda uno.**



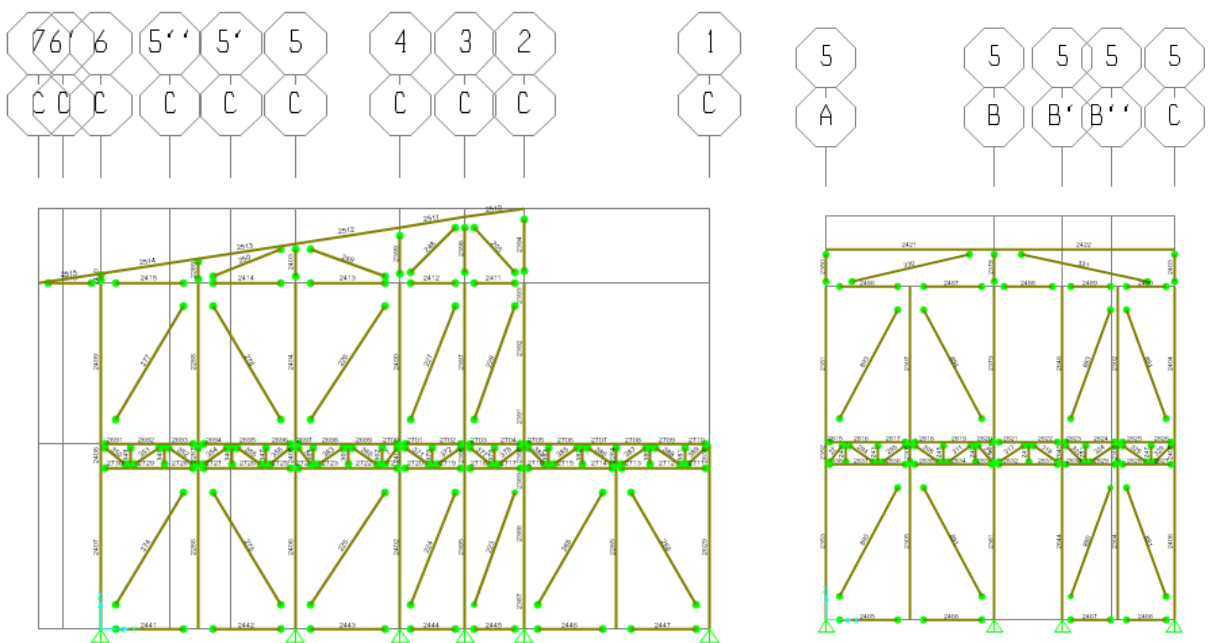
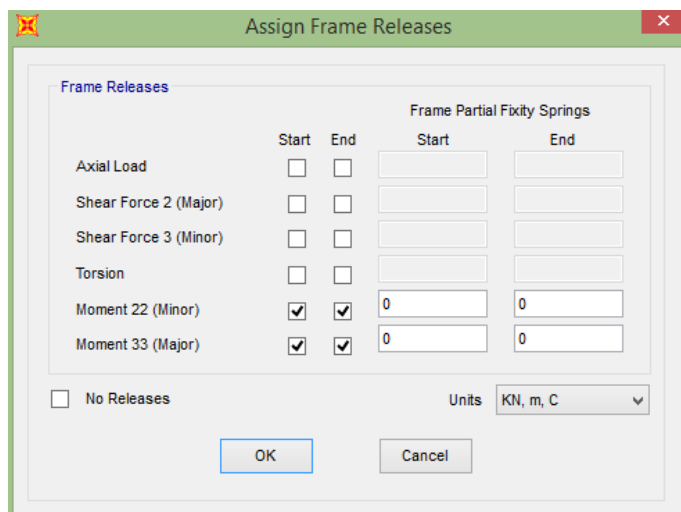
Fuente: Propia

Figura 25. Diafragmas nivel entepiso y nivel cubierta para vivienda uno.



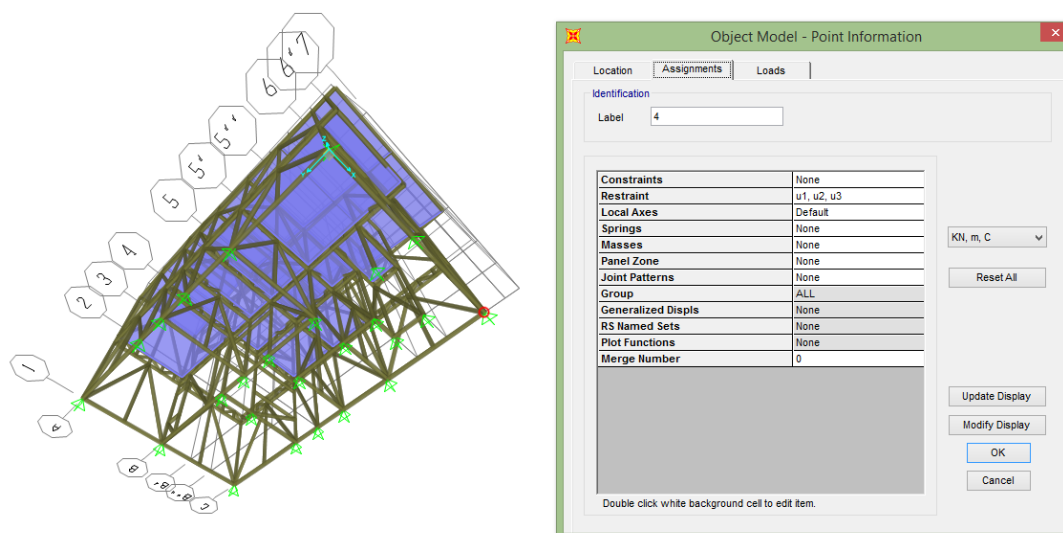
Fuente: Propia

Figura 26. Releases aplicados a dos paneles de la vivienda uno.



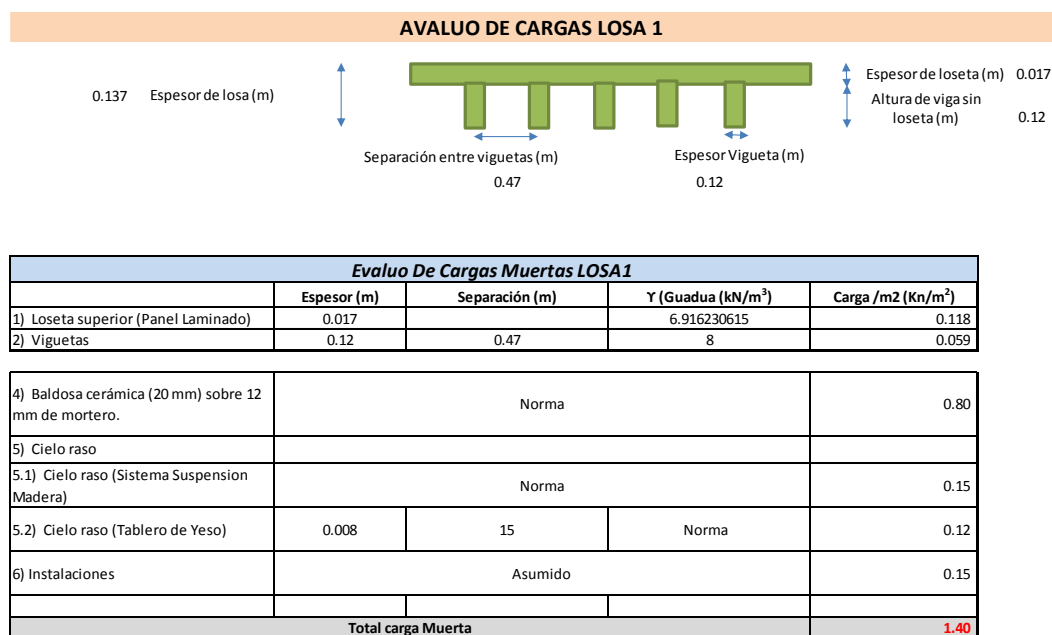
Fuente: Propia

Figura 27. Restricciones apoyos vivienda uno.



Fuente: Propia

Figura 28. Cargas muertas para losa de entrepiso – vivienda uno.



Fuente: Propia

Figura 29. Cargas vivas para losa de entrepiso – vivienda uno.

Evaluo De Cargas Vivas (Kn/m2) LOSA 1	
Residenciales	
Cuartos Privados y Corredores	1.8
Balcones	5
Escaleras	3

Fuente: Propia

Figura 30. Cargas muertas para cubierta – vivienda uno.

AVALUO DE CARGAS CUBIERTA

Evaluo De Cargas Muertas Cubierta				
	Espesor (m)	Separación (m)	Y (Guadua (kN/m³))	Carga /m2 (Kn/m²)
1) Teja (Cubierta Corrugada de Asbesto-Cemento)	Norma			0.200
2) Correas	0.12	1.5	8	0.018
5) Cielo raso				
5.1) Cielo raso (Sistema Suspension Madera)	Norma			0.15
5.2) Cielo raso (Tablero de Yeso)	0.008	15	Norma	0.12
6) Instalaciones	Asumido			0.15
Total carga Muerta				0.64

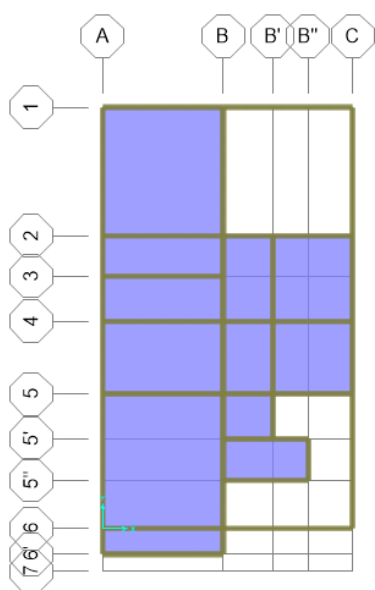
Fuente: Propia

Figura 31. Cargas vivas cubierta – vivienda uno.

Evaluación De Cargas Vivas (Kn/m²) Cubierta	
Residenciales	
Cubiertas Inclınadas con mas de 15° de Pendiente.	0.35
Cubiertas Inclınadas con Pendientes de 15° o Menos.	0.50

Fuente: Propia

Figura 32. Cargas en losa entrepiso vivienda uno.



Object Model - Area Information

Location Assignments Loads

Identification

Label 4

Load Pattern	MUERTA
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	1.4
Distribution Type	One way
Load Pattern	VIVA
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	1.8
Distribution Type	One way

Assign Load...

KN, m, C

Reset All

Update Display

Modify Display

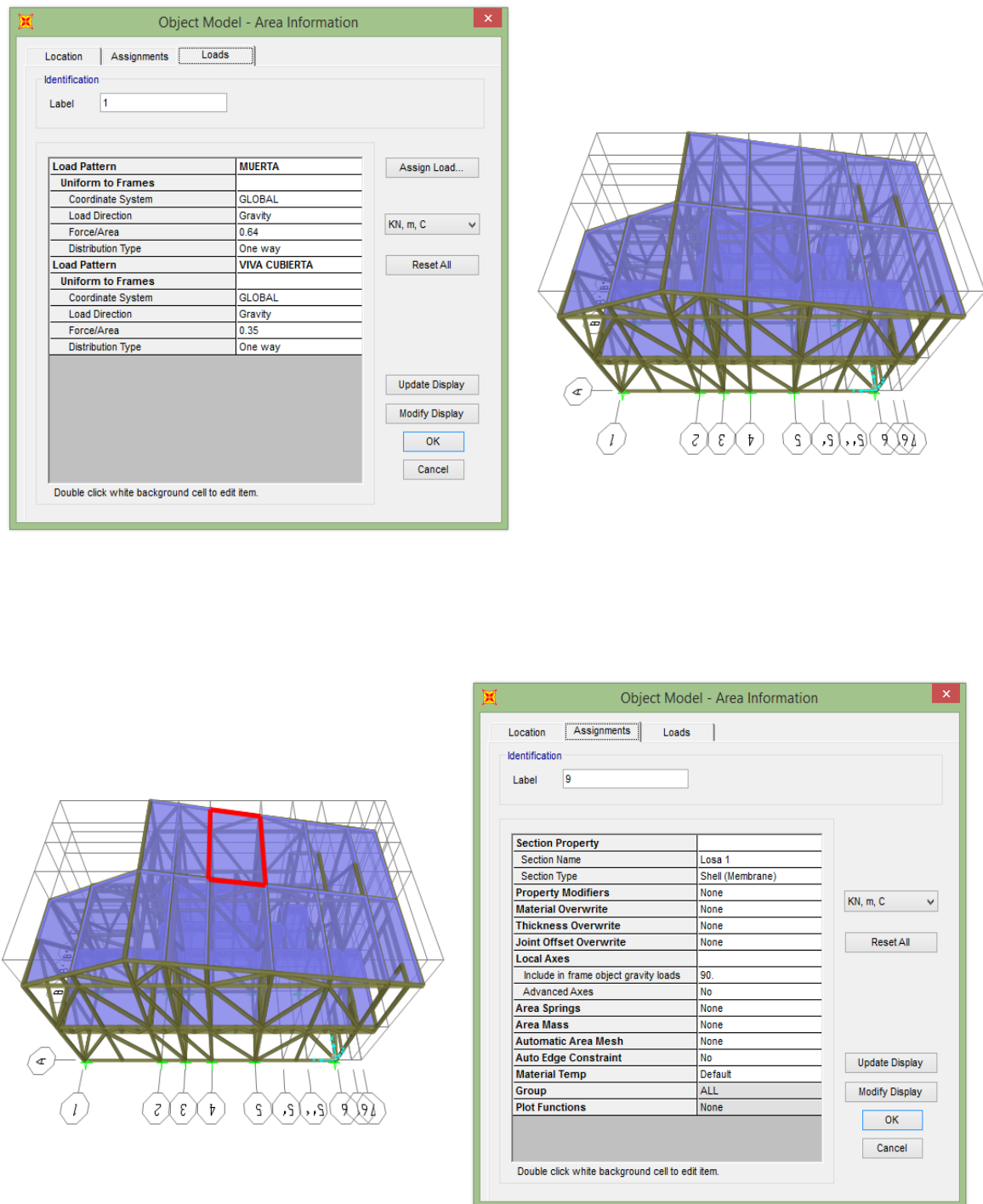
OK

Cancel

Double click white background cell to edit item.

Fuente: Propia

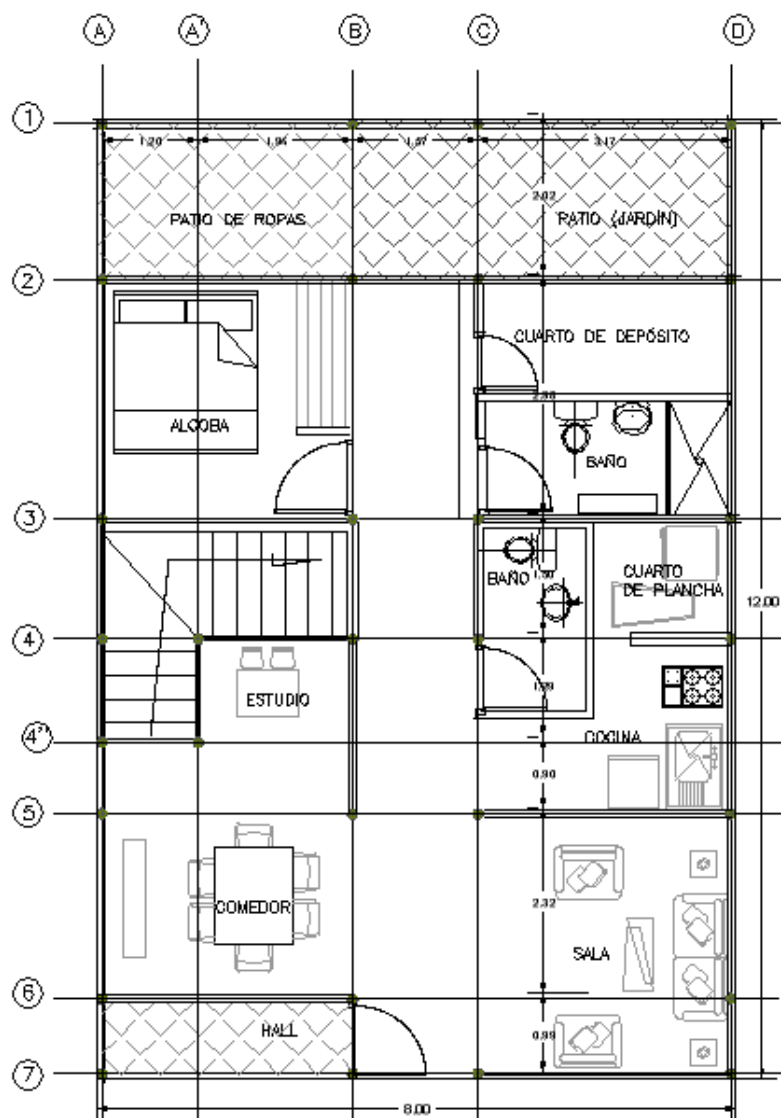
Figura 33. Cargas en cubiertas inclinadas para vivienda uno.



Fuente: Propia

7.2.3. Geometría y Modelación Vivienda 2 – 8m x 12m

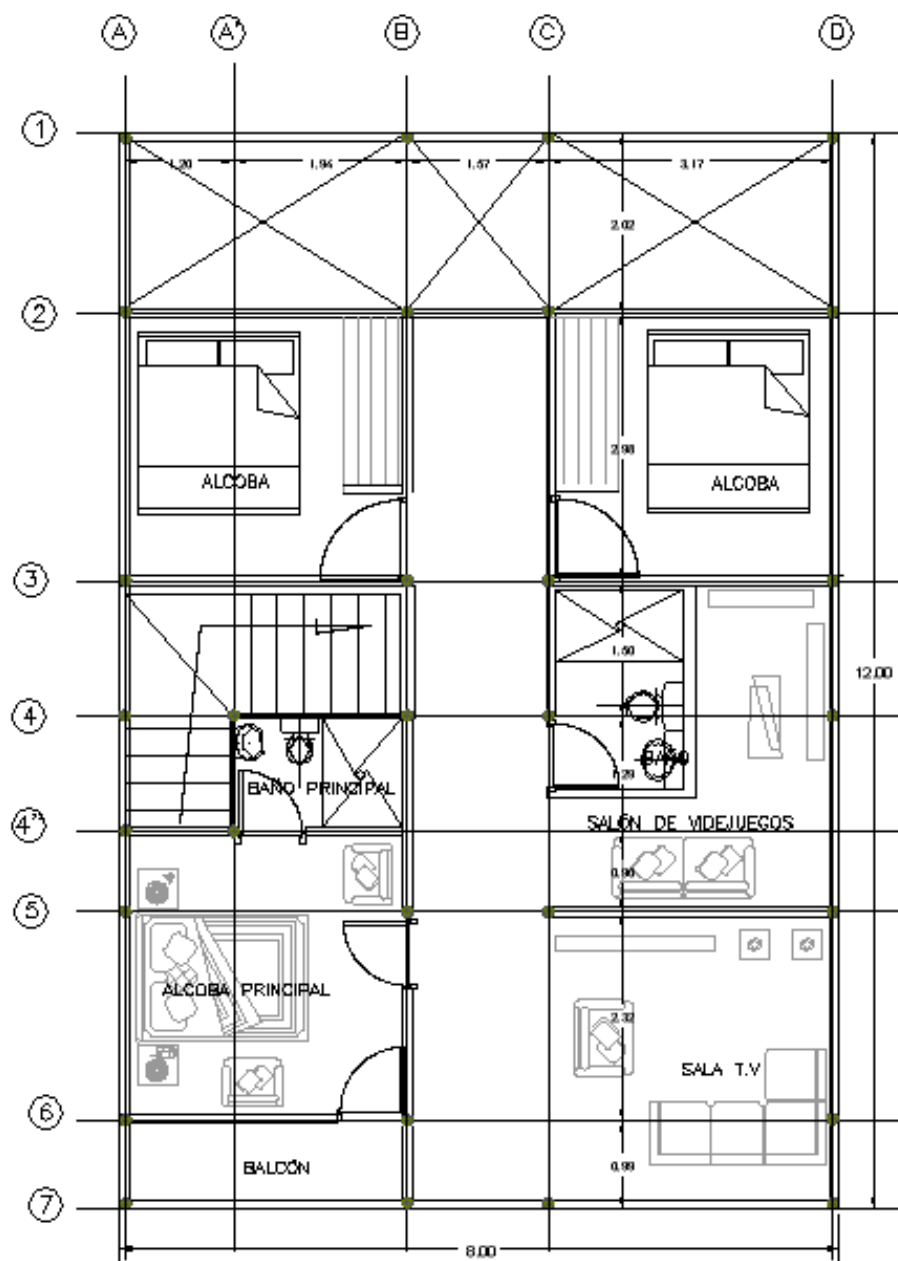
Figura 34. Planta primer piso vivienda dos.



Planta Primer Piso

Fuente: Propia

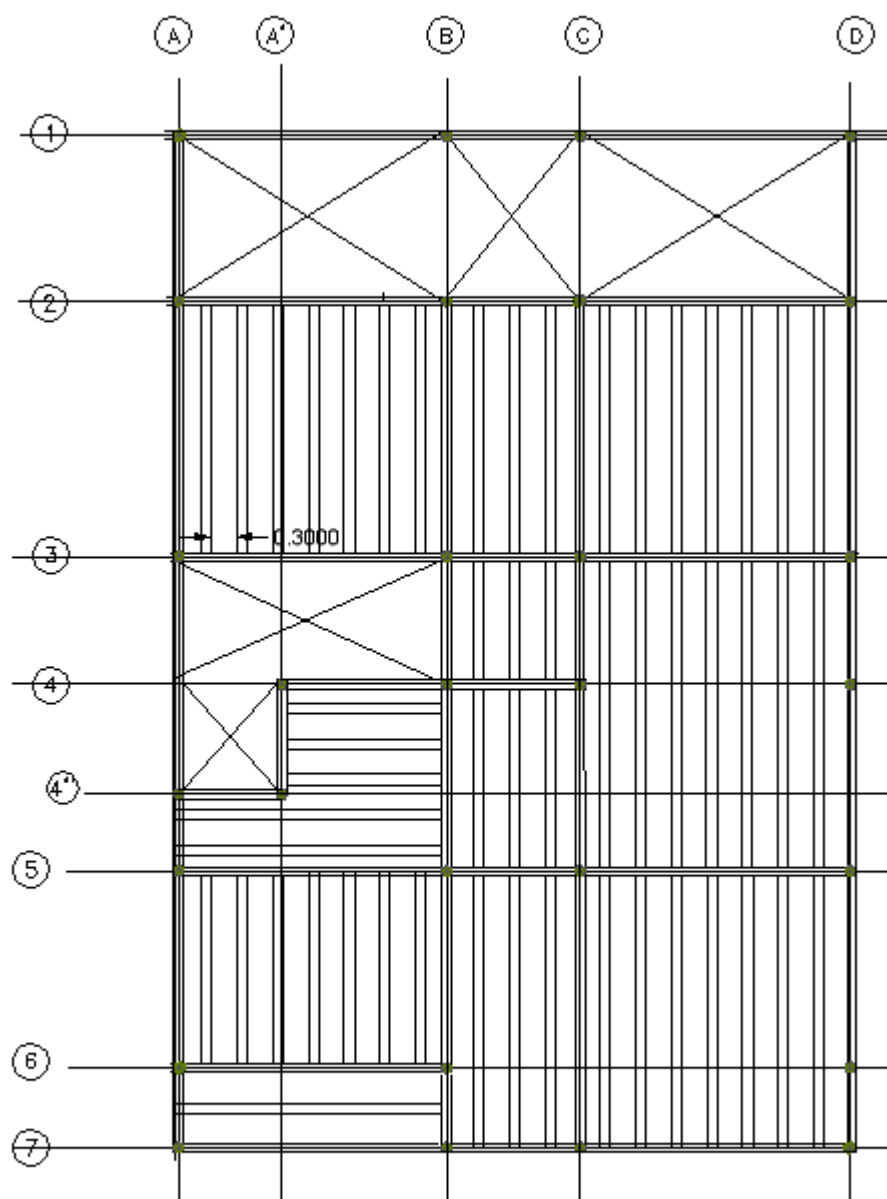
Figura 35. Planta segundo piso vivienda dos.



Planta Segundo Piso

Fuente: Propia

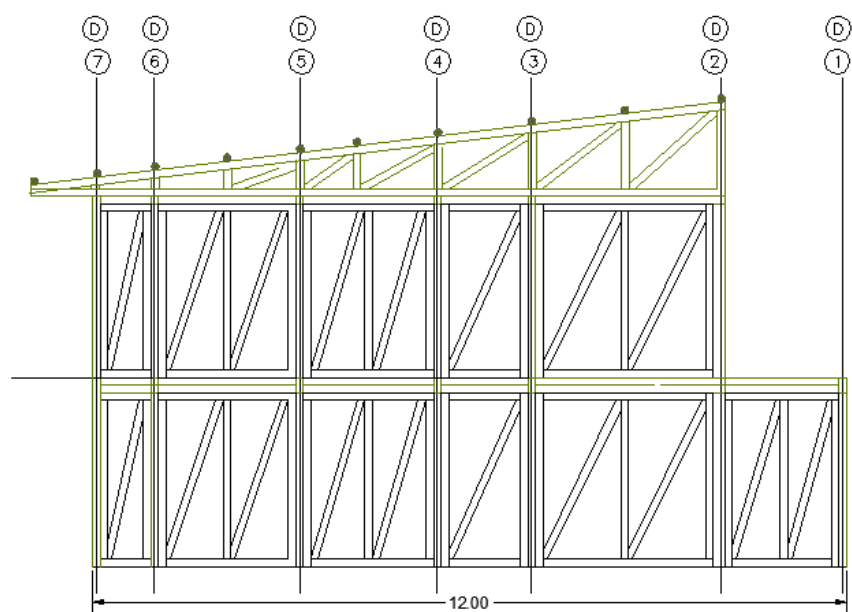
Figura 36. Planta entre piso vivienda dos.



Planta entre piso

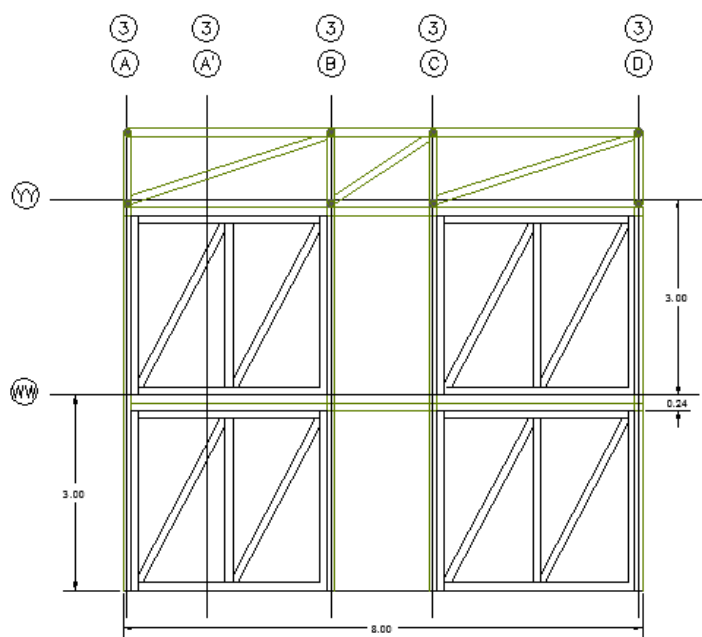
Fuente: Propia

Figura 37. Corte Longitudinal vivienda dos.



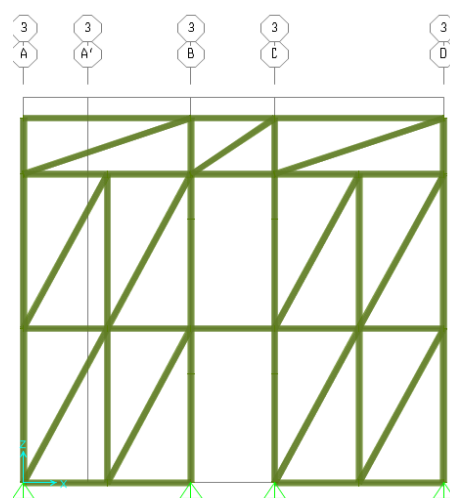
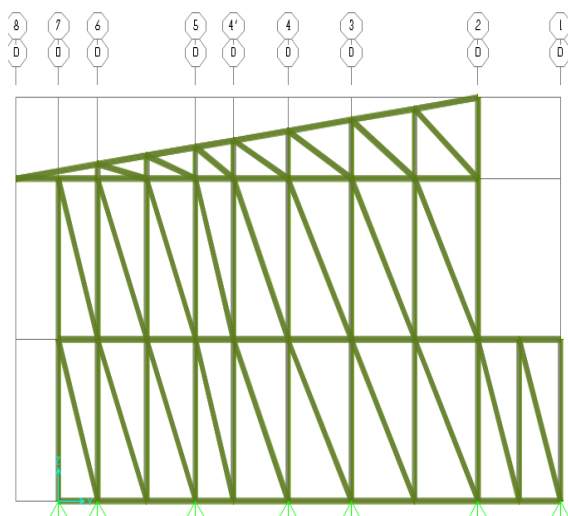
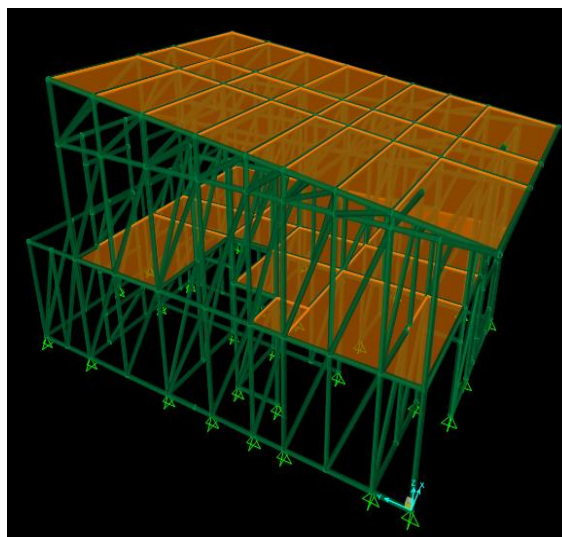
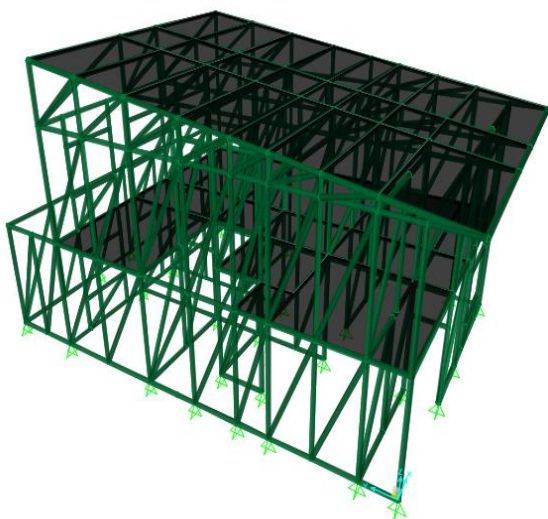
Fuente: Propia

Figura 38. Corte transversal vivienda dos.



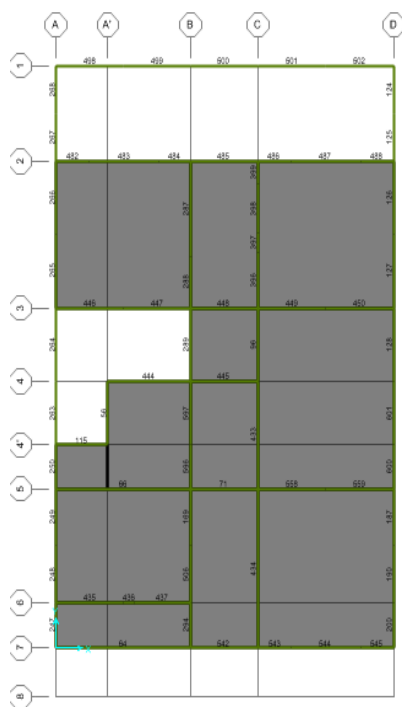
Fuente: Propia

Figura 39. Vista 3D Modelo Isotrópico y Ortotrópico - Corte longitudinal- Corte Transversal, SAP2000, vivienda dos.



Fuente: Propia

Figura 40. Diafragmas nivel entepiso y nivel cubierta para vivienda dos.



Object Model - Point Information

Location Assignments Loads

Identification

Label 83

Constraint	
Name	DIAPH1_3000.
Type	Diaphragm
Restraint	None
Local Axes	Default
Springs	None
Masses	None
Panel Zone	None
Joint Patterns	None
Group	ALL
Generalized Displs	None
RS Named Sets	None
Plot Functions	None
Merge Number	0

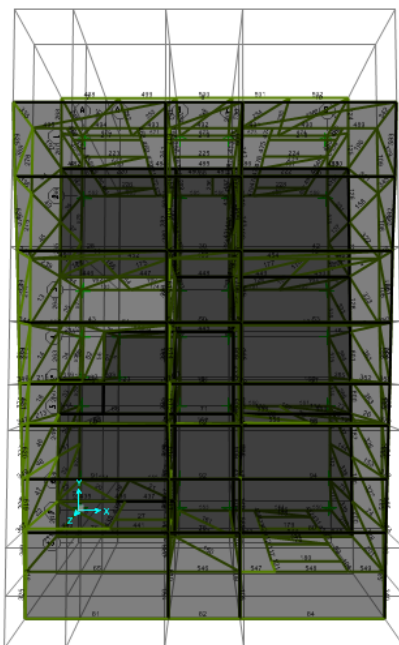
KN, m, C

Update Display

Modify Display

OK

Cancel



Object Model - Point Information

Location Assignments Loads

Identification

Label 85

Constraint	
Name	DIAPH2
Type	Diaphragm
Restraint	None
Local Axes	Default
Springs	None
Masses	None
Panel Zone	None
Joint Patterns	None
Group	ALL
Generalized Displs	None
RS Named Sets	None
Plot Functions	None
Merge Number	0

KN, m, C

Update Display

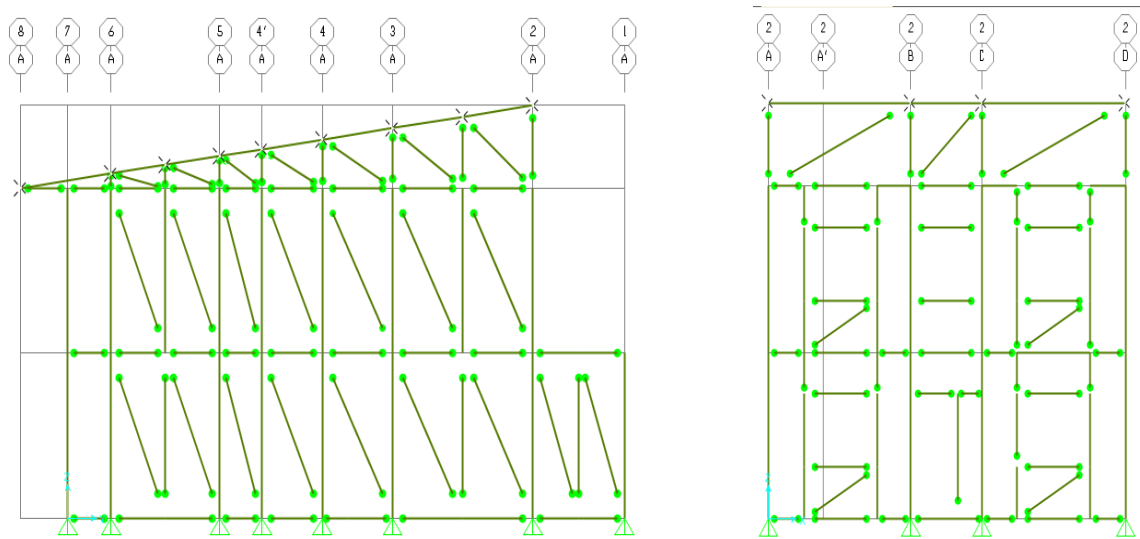
Modify Display

OK

Cancel

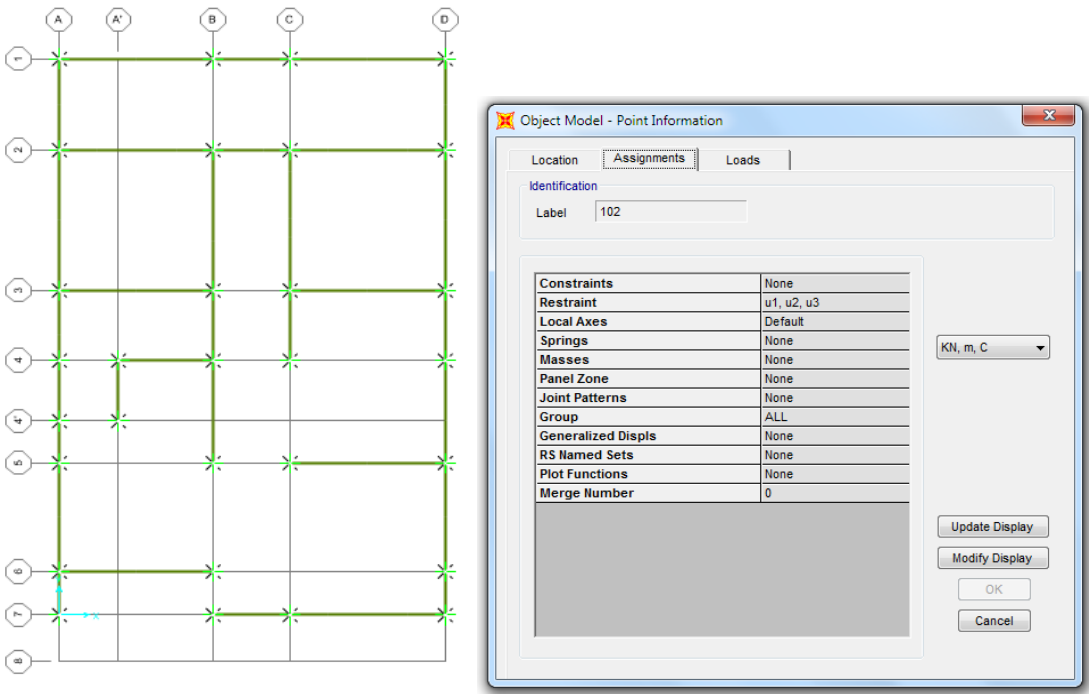
Fuente: Propia

Figura 41. Raleases aplicados a dos paneles de la vivienda dos.



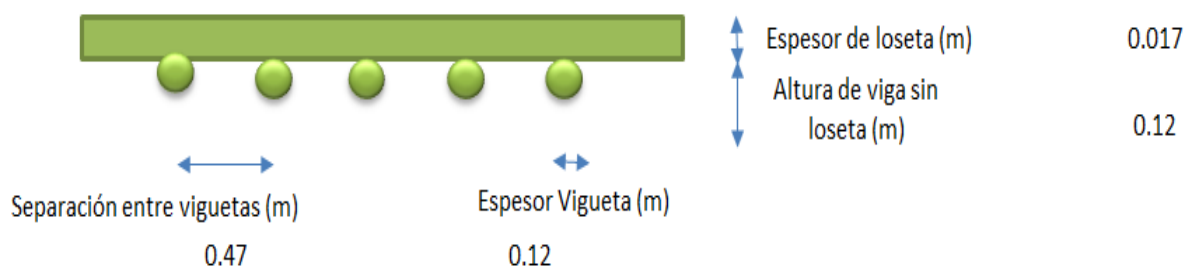
Fuente: Propia

Figura 42. Restricciones en apoyos vivienda dos.



Fuente: Propia

Figura 43. Cargas muertas para losa de entrepiso – vivienda dos.



Evaluación De Cargas Muertas LOSA1				
	Espesor (m)	Separación (m)	Y (Guadua (kN/m ³))	Carga /m2 (Kn/m ²)
1) Loseta superior (Panel Laminado)	0.017		6.916230615	0.118
2) Viguetas	0.12	0.42	8	0.066
3) Baldosa cerámica (20 mm) sobre 12 mm de mortero.	Norma			0.80
4) Cielo raso				
4.1) Cielo raso (Sistema Suspensión Madera)	Norma			0.15
4.2) Cielo raso (Tablero de Yeso)	0.008	15	Norma	0.12
5) Instalaciones				0.15
Total carga Muerta				1.40

Fuente: Propia

Figura 44. Cargas vivas para losa de entrepiso – vivienda dos.

Evaluación De Cargas Vivas (Kn/m2) LOSA 1	
Residenciales	
Cuartos Privados y Corredores	1.8
Balcones	5
Escaleras	3

Fuente: Propia

Figura 45. Cargas muertas para cubierta – vivienda dos.

Evaluación De Cargas Muertas Cubierta				
	Espesor (m)	Separación (m)	Y (Guadua (kN/m ³))	Carga /m2 (kN/m ²)
1) Teja (Cubierta Corrugada de Asbesto-Cemento)	Norma			0.200
2) Correas	0.12	1.5	8	0.018
3) Cielo raso	Norma			0.15
3.1) Cielo raso (Sistema Suspension Madera)	Norma			0.15
5.2) Cielo raso (Tablero de Yeso)	0.008	15	Norma	0.12
Instalaciones				0.15
Total carga Muerta				0.64

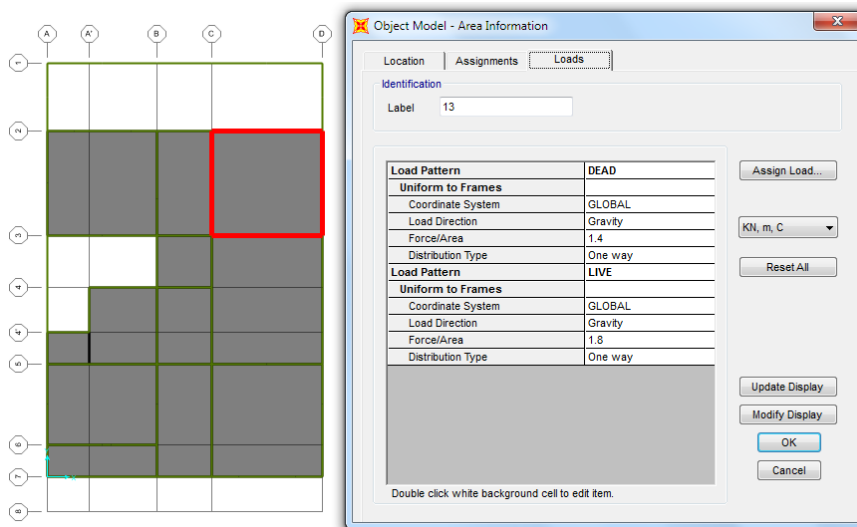
Fuente: Propia

Figura 46. Cargas vivas para cubierta – vivienda dos.

Evaluación De Cargas Vivas (kN/m ²) Cubierta	
Residenciales	
Cubiertas Inclınadas con mas de 15° de Pendiente.	0.35
Cubiertas Inclınadas con Pendientes de 15° o Menos.	0.50

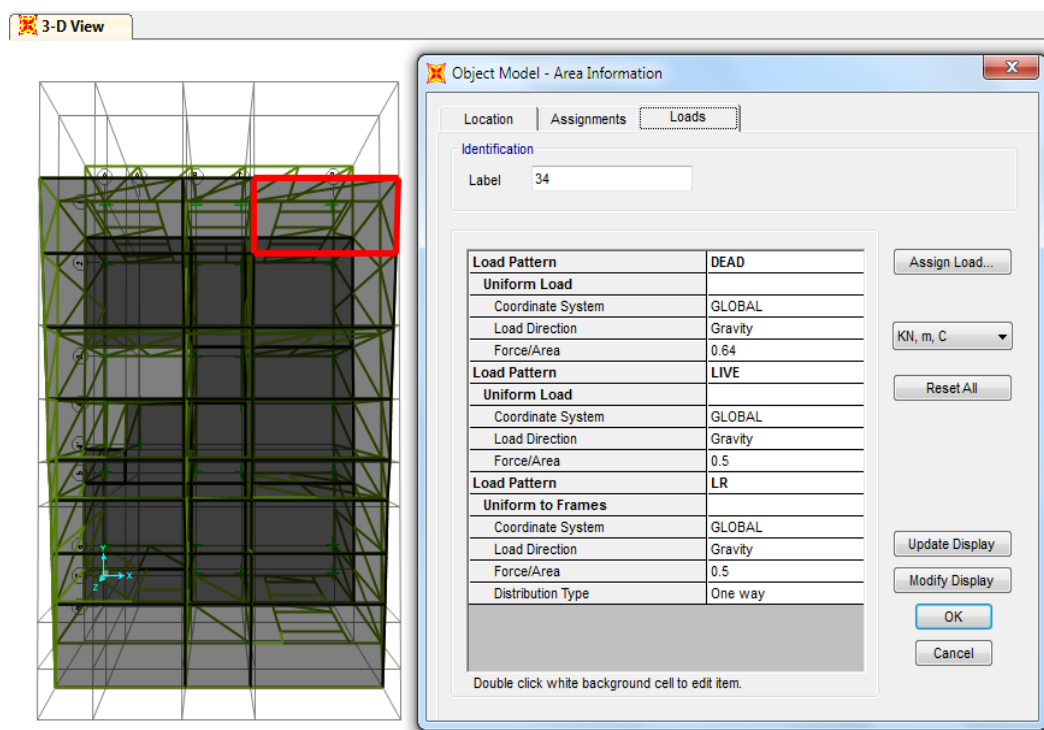
Fuente: Propia

Figura 47. Cargas en losa entrepiso vivienda dos.



Fuente: Propia

Figura 48. Cargas en cubiertas inclinadas para vivienda dos.



Fuente: Propia

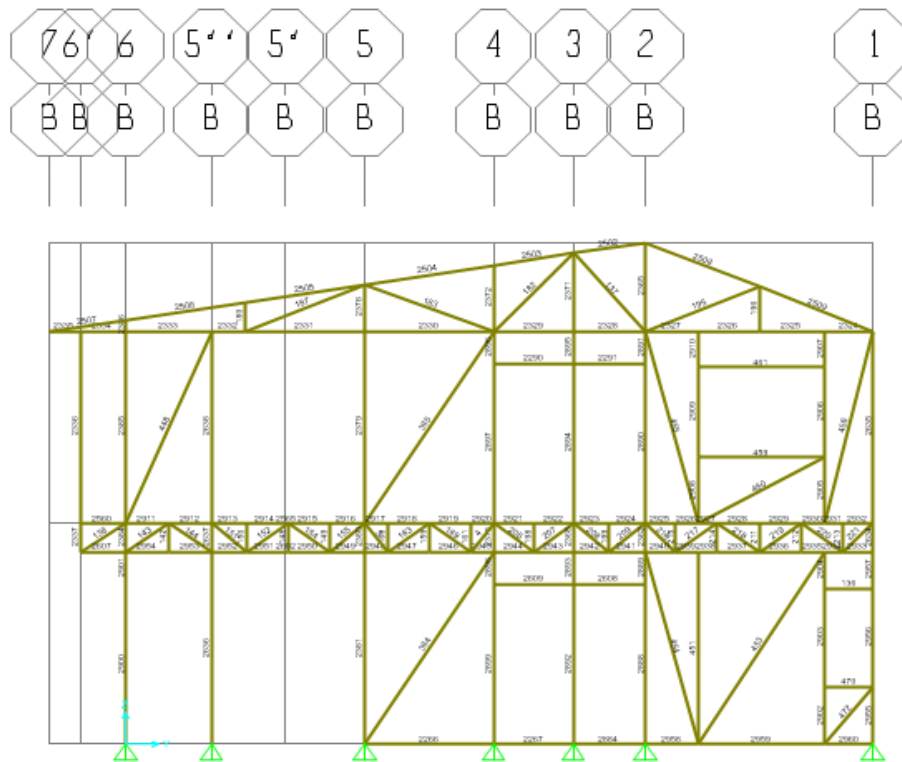
7.3. COMPARACIÓN ENTRE COMPORTAMIENTOS DEL MATERIAL

De acuerdo con la comparación en el análisis estructural realizado a las dos viviendas en el software SAP2000, con un comportamiento isotrópico y ortotrópico del material, se analizaron sus diferencias en su comportamiento estructural a partir de las fuerzas internas, momentos y cortantes de algunos elementos.

Los elementos seleccionados se analizaron por medio de la envolvente creada a partir de las combinaciones de carga mayoradas para las dos viviendas.

7.3.1. Análisis isotrópico vs ortotrópico de cortantes – Vivienda uno.

Figura 49. Corte longitudinal eje B - vivienda uno.

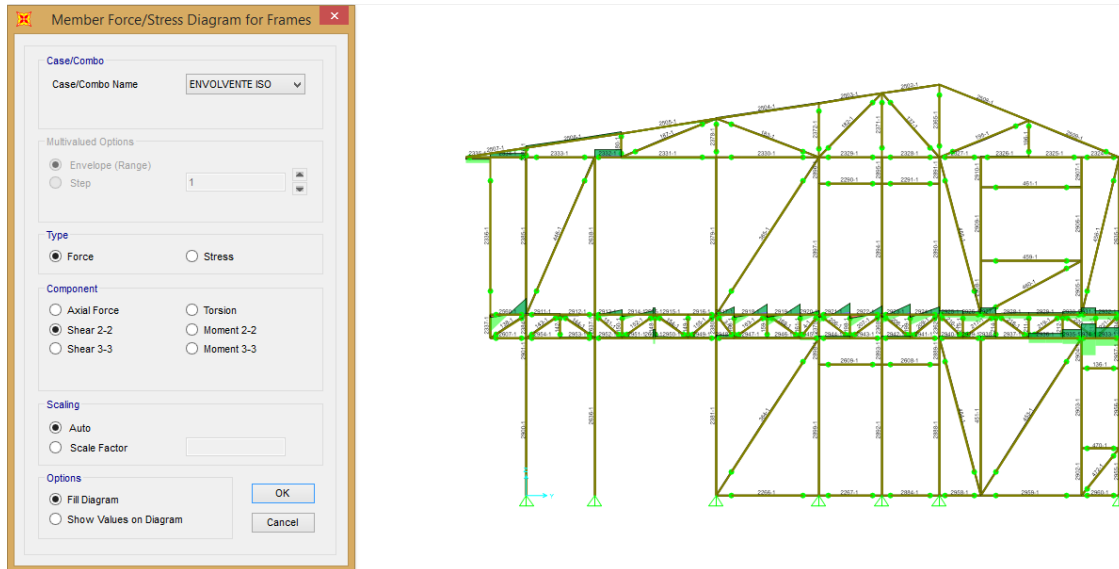


Fuente: Propia

Tabla 5. Valores de cortantes en frame 2560 - vivienda uno – modelo isotrópico

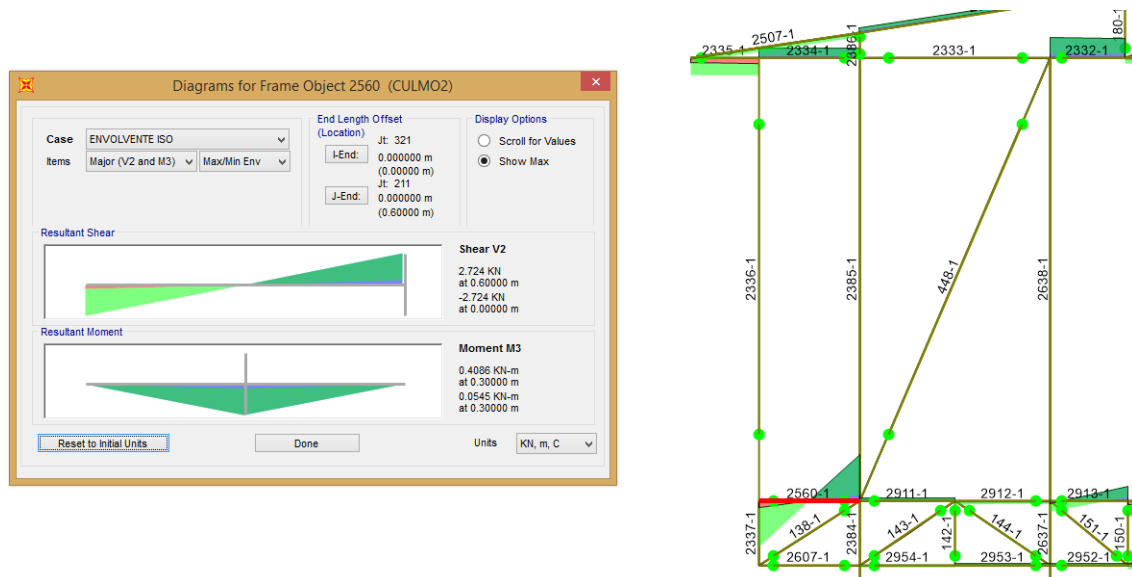
TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	Text	m
2560	0	ENVOLVENTE ORTO	Combination	Max	0	-0.363	0	2560-1	0
2560	0.3	ENVOLVENTE ORTO	Combination	Max	0	5.586E-16	0	2560-1	0.3
2560	0.6	ENVOLVENTE ORTO	Combination	Max	0	2.724	0	2560-1	0.6
2560	0	ENVOLVENTE ORTO	Combination	Min	0	-2.724	0	2560-1	0
2560	0.3	ENVOLVENTE ORTO	Combination	Min	0	6.87E-17	0	2560-1	0.3
2560	0.6	ENVOLVENTE ORTO	Combination	Min	0	0.363	0	2560-1	0.6

Figura 50. Diagramas de cortante eje B - vivienda uno – modelo isotrópico.



Fuente: Propia

Figura 51. Diagrama de cortante en frame 2560 - vivienda uno – modelo isotrópico



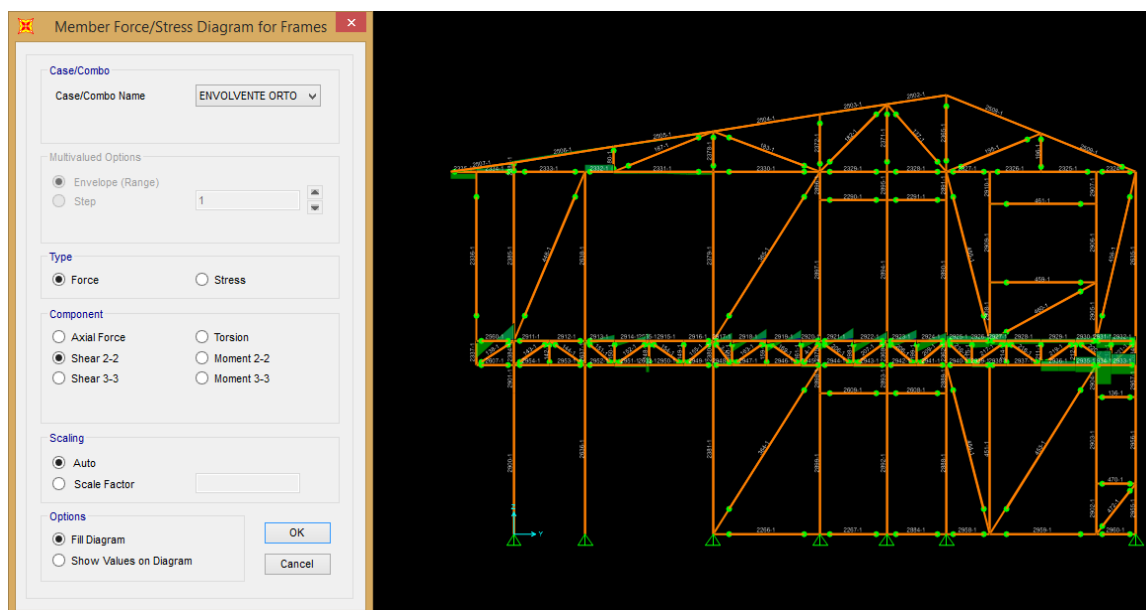
Fuente: Propia

Tabla 6. Valores de cortantes en frame 2560 - vivienda uno – modelo ortotrópico.

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	Text	m
2560	0	ENVOLVENTE ISO	Combination	Max	0	-0.363	0	2560-1	0
2560	0.3	ENVOLVENTE ISO	Combination	Max	0	5.586E-16	0	2560-1	0.3
2560	0.6	ENVOLVENTE ISO	Combination	Max	0	2.724	0	2560-1	0.6
2560	0	ENVOLVENTE ISO	Combination	Min	0	-2.724	0	2560-1	0
2560	0.3	ENVOLVENTE ISO	Combination	Min	0	6.87E-17	0	2560-1	0.3
2560	0.6	ENVOLVENTE ISO	Combination	Min	0	0.363	0	2560-1	0.6

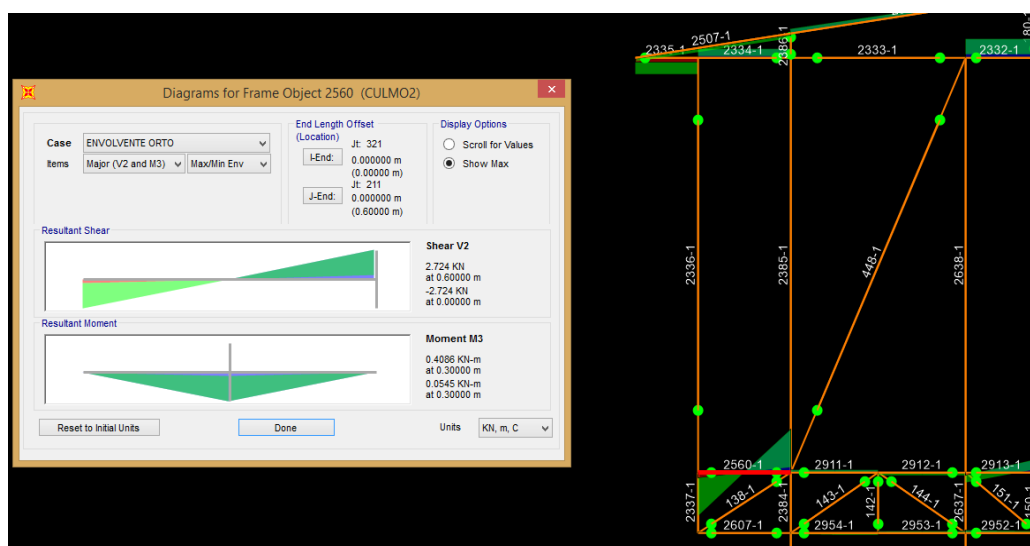
Fuente: Propia

Figura 52. Diagramas de cortante eje B - vivienda uno – modelo ortotrópico.



Fuente: Propia

Figura 53. Diagrama de cortante en frame 2560 - vivienda uno – modelo ortotrópico.

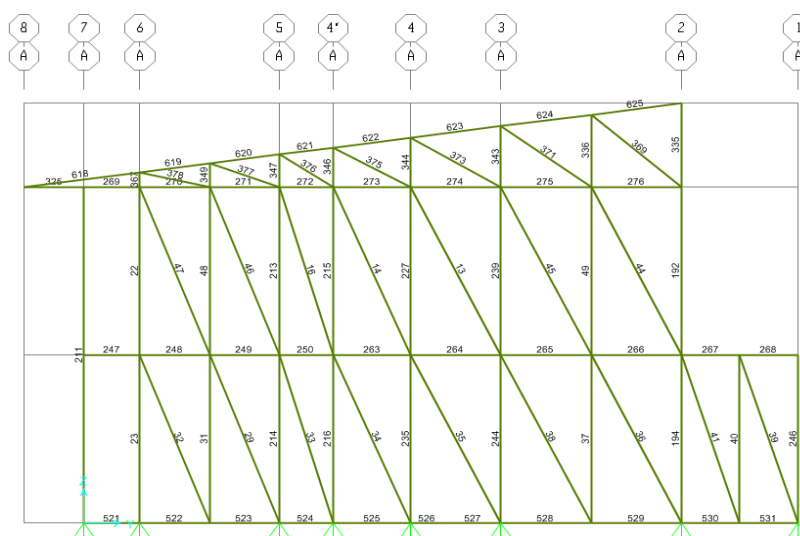


Fuente: Propia

Se analizó el cortante máximo para el elemento frame 2560, se obtuvo un valor en el análisis isotrópico de 2.724 kN como lo muestra la Tabla 5 y Figura 51, y para el análisis ortotrópico un valor de 2.724 kN como se puede observar en las Tabla 6 y Figura 53, obteniendo un 0% de variación.

7.3.2. Análisis isotrópico vs ortotrópico de momentos – Vivienda dos.

Figura 54. Corte longitudinal eje A - vivienda dos.



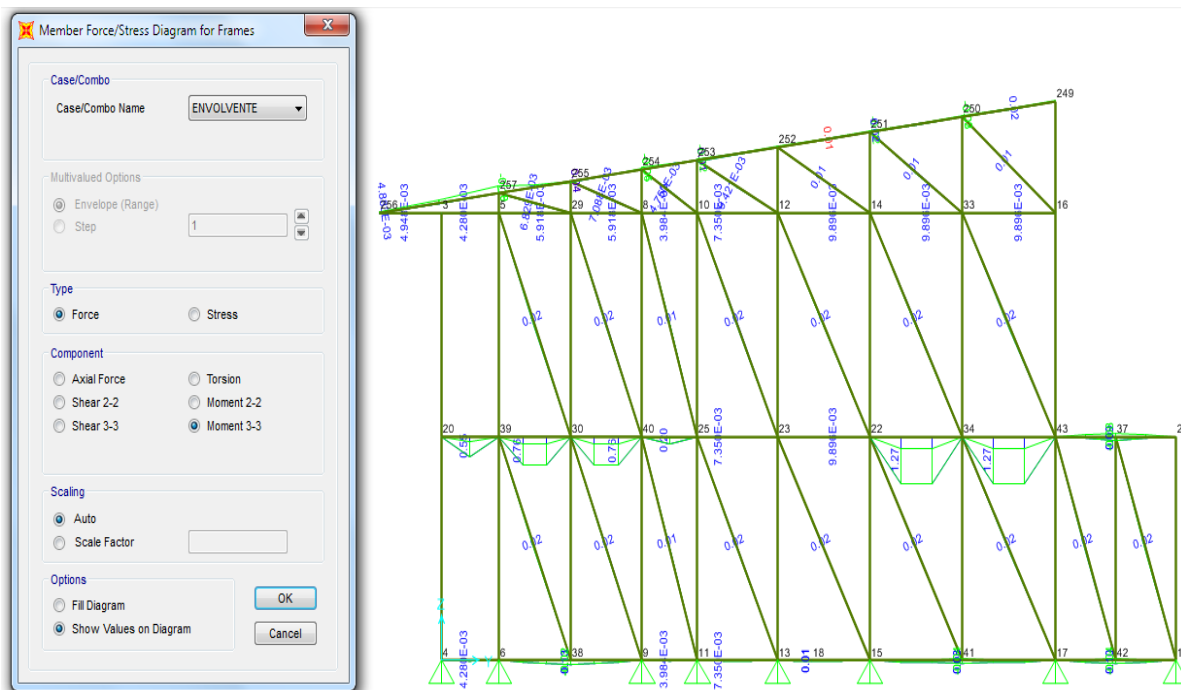
Fuente: Propia

Tabla 7. Valores de momentos en frame 266 - vivienda dos – modelo isotrópico.

TABLE: Element Forces - Frames												
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m
266	0.5	ENVOLVENTE	Combination	Max	0	-0.336	0	0.2817	0	1.2659	266-1	0.5
266	1	ENVOLVENTE	Combination	Max	0	1.266	0	0.2817	0	1.2659	266-1	1
266	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Max	0	3.798	0	0.2817	0	1.364E-17	266-1	1.5
266	0	ENVOLVENTE	Combination	Min	0	-3.798	0	-0.2945	0	0	266-1	0
266	0.5	ENVOLVENTE	Combination	Min	0	-1.266	0	-0.2945	0	0.3356	266-1	0.5
266	1	ENVOLVENTE	Combination	Min	0	0.336	0	-0.2945	0	0.3356	266-1	1
266	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Min	0	1.007	0	-0.2945	0	8.185E-18	266-1	1.5

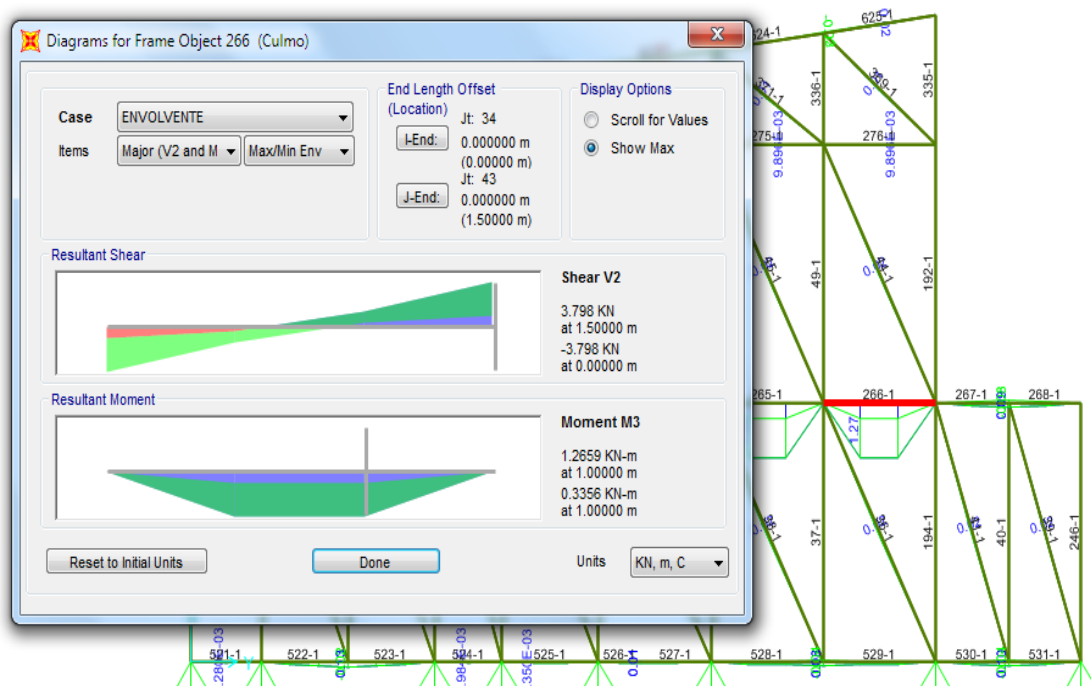
Fuente: Propia

Figura 55. Diagramas de momentos eje A - vivienda dos – modelo isotrópico.



Fuente: Propia

Figura 56. Diagrama de momento en frame 266 - vivienda dos – modelo isotrópico.



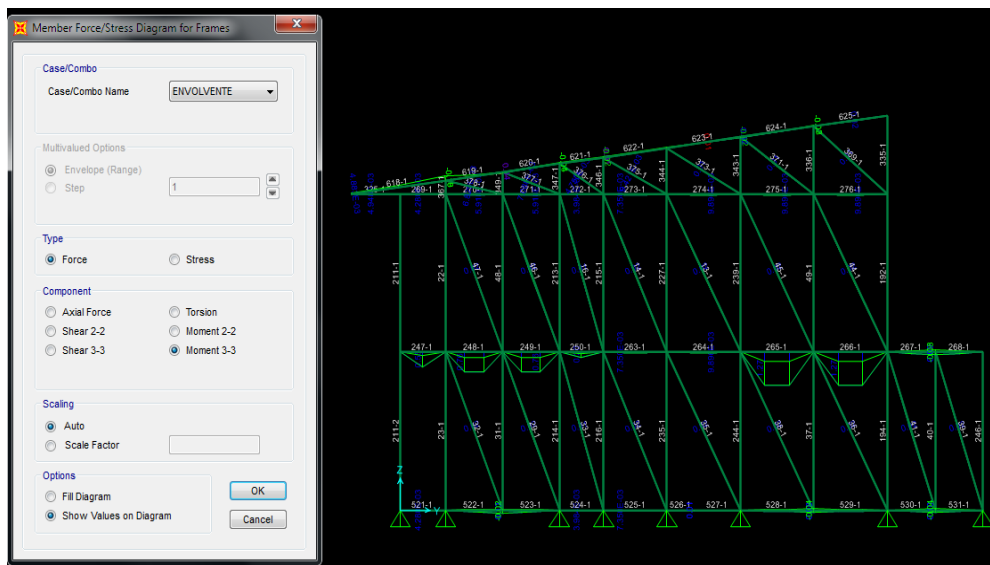
Fuente: Propia

Tabla 8. Valores de momentos en frame 266 - vivienda dos – modelo ortotrópico.

ABLE: Element Forces - Frames												
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m
:66	0.5	ENVOLVENTE	Combination	Max	0	-0.336	0	0.2817	0	1.2659	266-1	0.5
:66	1	ENVOLVENTE	Combination	Max	0	1.266	0	0.2817	0	1.2659	266-1	1
:66	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Max	0	3.798	0	0.2817	0	1.364E-17	266-1	1.5
:66	0	ENVOLVENTE	Combination	Min	0	-3.798	0	-0.2945	0	0	266-1	0
:66	0.5	ENVOLVENTE	Combination	Min	0	-1.266	0	-0.2945	0	0.3356	266-1	0.5
:66	1	ENVOLVENTE	Combination	Min	0	0.336	0	-0.2945	0	0.3356	266-1	1
:66	1.5	ENVOLVENTE	Combination	Min	0	1.007	0	-0.2945	0	8.185E-18	266-1	1.5

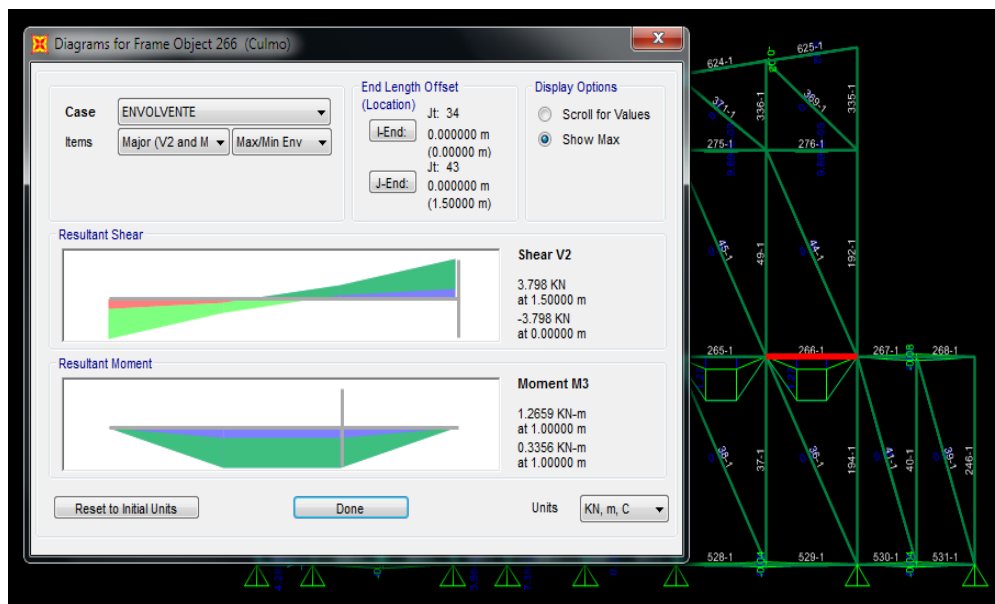
Fuente: Propia

Figura 57. Diagramas de momentos eje A - vivienda dos – modelo ortotrópico.



Fuente: Propia

Figura 58. Diagrama de momento en frame 266 - vivienda dos – modelo ortotrópico.

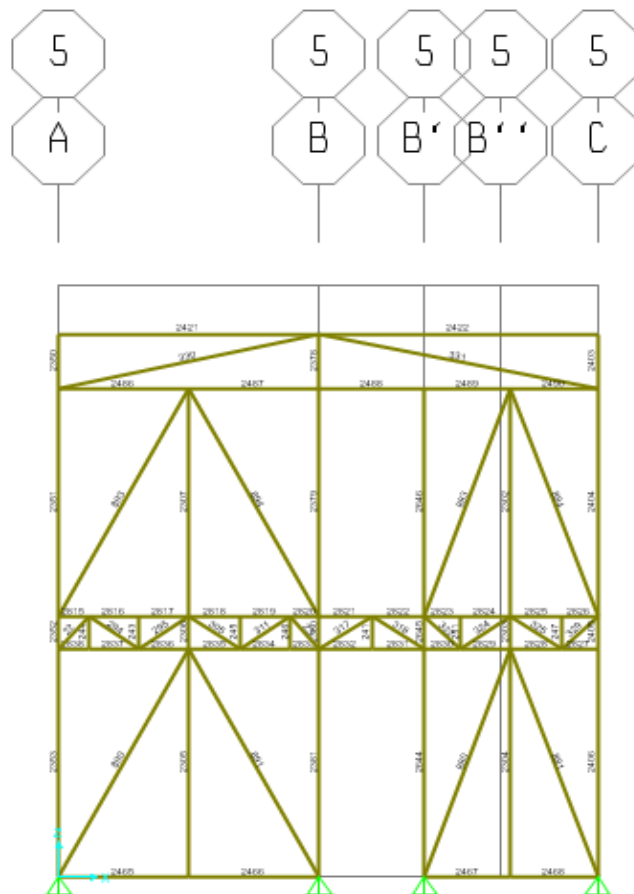


Fuente: Propia

Se analizó el momento máximo y mínimo para el elemento frame 266, se obtuvo un valor en el análisis isotrópico de 1.2659 kN*m para el máximo y 0.3356 kN*m para el mínimo, como lo muestra la Tabla 7 y Figura 56, y para el análisis ortotrópico un valor de 1.2659 kN*m para el máximo y 0.3356 kN*m para el mínimo como se puede observar en las Tabla 8 y Figura 58, obteniendo un 0% de variación.

7.3.3. Análisis isotrópico vs ortotrópico de axiales – Vivienda uno.

Figura 59. Corte transversal eje 5 - vivienda uno.



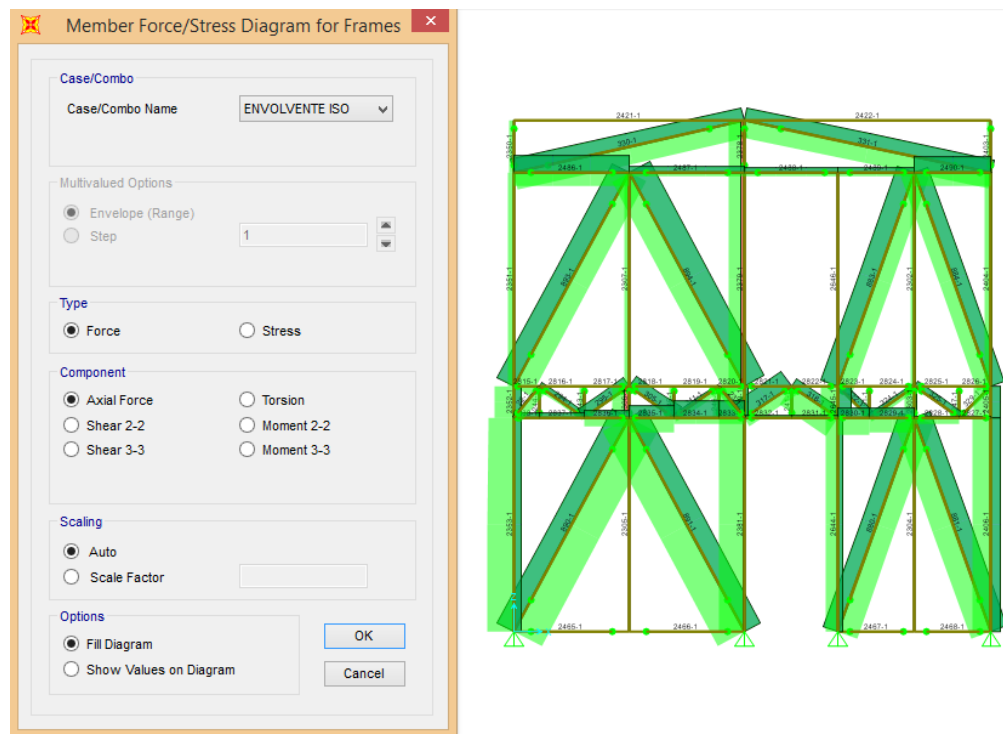
Fuente: Propia

Tabla 9. Valores de axiales en frame 2353 - vivienda uno – modelo isotrópico.

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	T	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN-m	Text	m
2353	0	ENVOLVENTE ISO	Combinator	Max	4.892	0.0086	2353-1	0
2353	1.31	ENVOLVENTE ISO	Combinator	Max	4.861	0.0086	2353-1	1.31
2353	2.62	ENVOLVENTE ISO	Combinator	Max	4.83	0.0086	2353-1	2.62
2353	0	ENVOLVENTE ISO	Combinator	Min	-15.861	-0.0085	2353-1	0
2353	1.31	ENVOLVENTE ISO	Combinator	Min	-15.913	-0.0085	2353-1	1.31
2353	2.62	ENVOLVENTE ISO	Combinator	Min	-15.964	-0.0085	2353-1	2.62

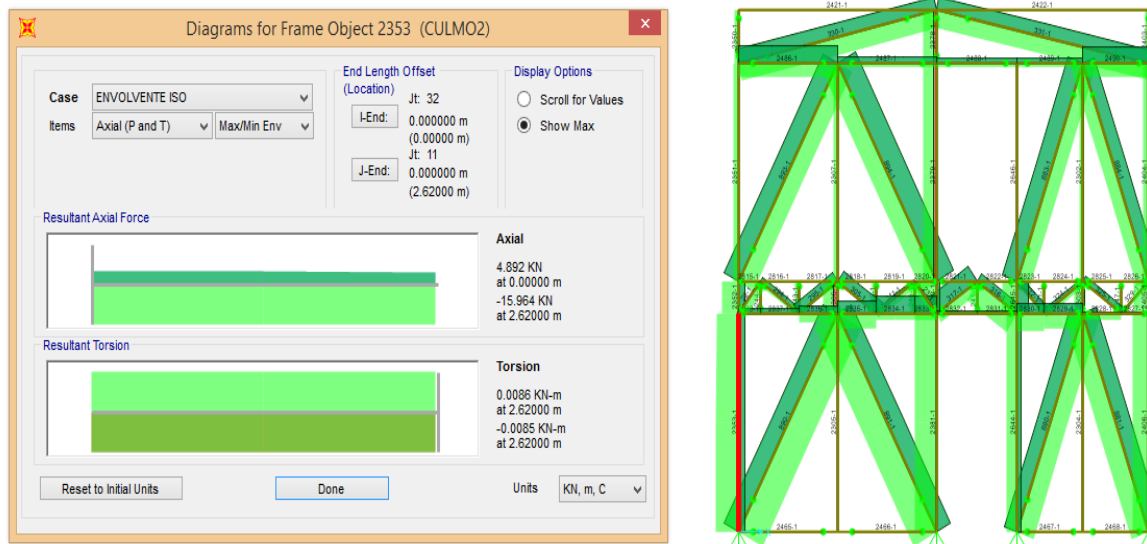
Fuente: Propia

Figura 60. Diagramas de axiales eje 5 - vivienda uno – modelo isotrópico.



Fuente: Propia

Figura 61. Diagrama de axial en frame 2353 - vivienda uno – modelo isotrópico.



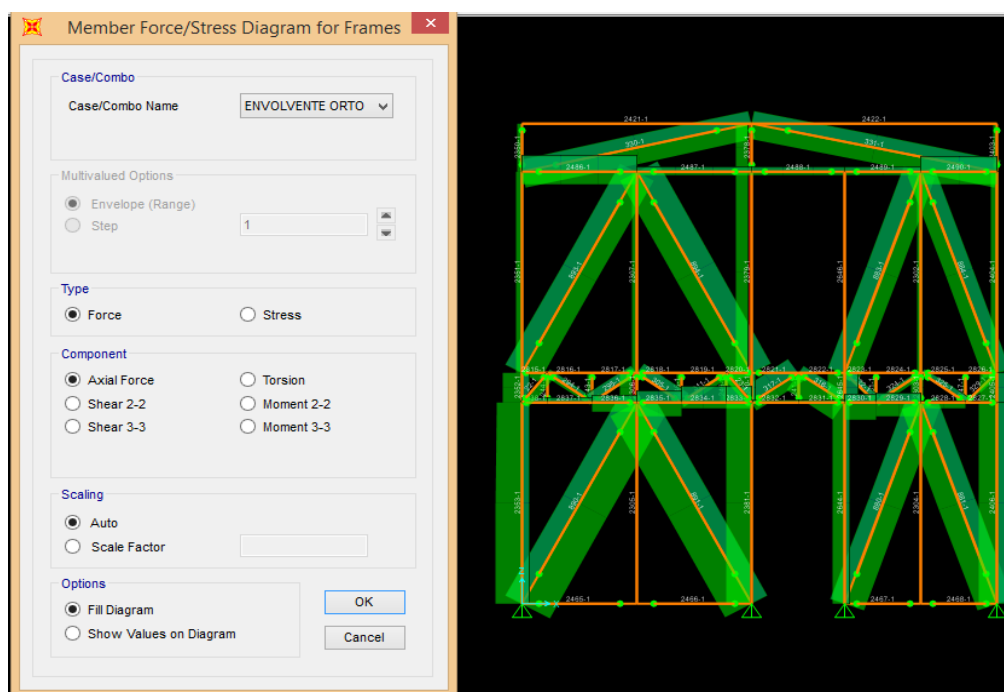
Fuente: Propia

Tabla 10. Valores de axiales en frame 2353 - vivienda uno – modelo ortotrópico.

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	T	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN-m	Text	m
2353	0	ENVOLVENTE ORTO	Combinator	Max	4.892	0.0086	2353-1	0
2353	1.31	ENVOLVENTE ORTO	Combinator	Max	4.861	0.0086	2353-1	1.31
2353	2.62	ENVOLVENTE ORTO	Combinator	Max	4.83	0.0086	2353-1	2.62
2353	0	ENVOLVENTE ORTO	Combinator	Min	-15.861	-0.0085	2353-1	0
2353	1.31	ENVOLVENTE ORTO	Combinator	Min	-15.913	-0.0085	2353-1	1.31
2353	2.62	ENVOLVENTE ORTO	Combinator	Min	-15.964	-0.0085	2353-1	2.62

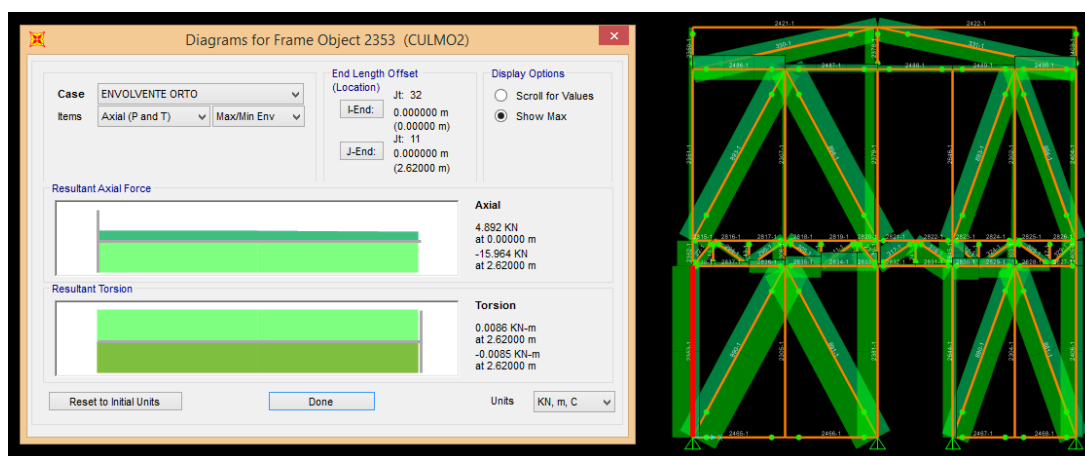
Fuente: Propia

Figura 62. Diagramas de axiales eje 5 - vivienda uno – modelo ortotrópico.



Fuente: Propia

Figura 63. Diagrama de axial en frame 2353- vivienda uno – modelo ortotrópico.

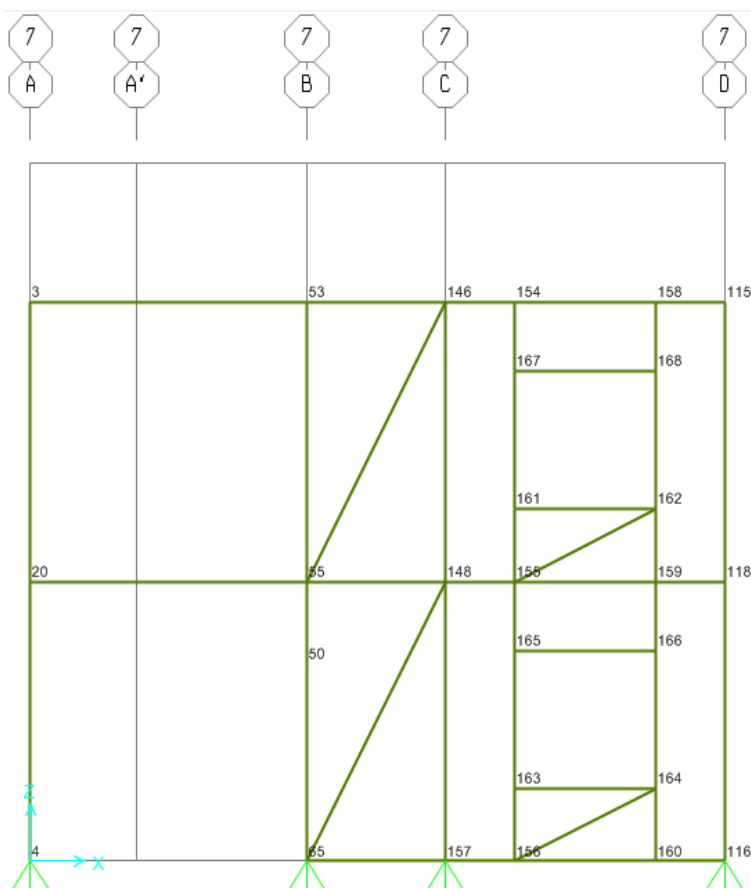


Fuente: Propia

Se analizó la fuerza axial máxima y mínima para el elemento frame 2353, se obtuvo un valor en el análisis isotrópico de 4.892 kN para el máximo y -15.984 kN para el mínimo, como lo muestra la Tabla 9 y Figura 61, y para el análisis ortotrópico un valor de 4.892 kN para el máximo y -15.984 kN para el mínimo como se puede observar en las Tabla 10 y Figura 63, obteniendo un 0% de variación.

7.3.4. Análisis isotrópico vs ortotrópico de desplazamientos - Vivienda dos.

Figura 64. Corte transversal eje 7 - vivienda dos.



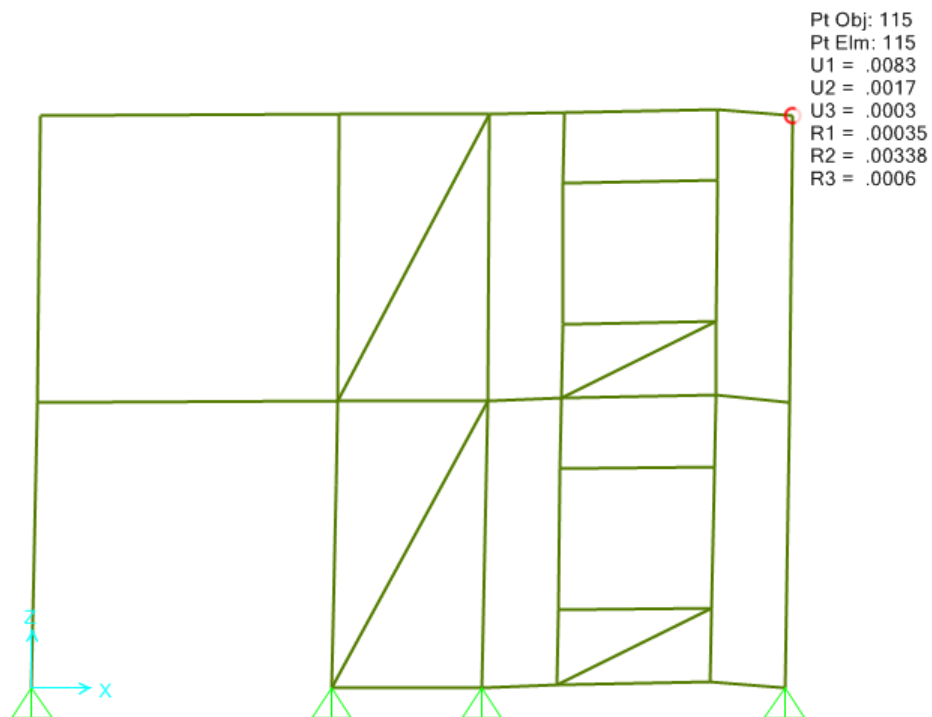
Fuente: Propia

Tabla 11. Valores de desplazamientos en joint 115 - vivienda dos – modelo isotrópico

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
112	SISMOX	LinRespSpec Max		0	0	0	0.000368	0.002062	0.002806
113	SISMOX	LinRespSpec Max		0.038161	0.00165	0.000371	0.000357	0.011428	0.000602
114	SISMOX	LinRespSpec Max		0	0	0	0.000372	0.003453	0.000706
115	SISMOX	LinRespSpec Max		0.008318	0.001664	0.000298	0.000348	0.003383	0.0006
116	SISMOX	LinRespSpec Max		0	0	0	0.000722	0.002709	0.000277
117	SISMOX	LinRespSpec Max		0.002601	0.000972	0.000551	0.000326	0.001128	0.000277
118	SISMOX	LinRespSpec Max		0.005753	0.000972	0.000189	0.000299	0.001699	0.000277
120	SISMOX	LinRespSpec Max		0.010063	0.001691	0.000696	0.000408	0.000415	0.000606
121	SISMOX	LinRespSpec Max		0.009218	0.011929	0.005714	0.000429	0.005533	0.000277

Fuente: Propia

Figura 65. Desplazamientos en joint 115 - vivienda dos – modelo isotrópico.



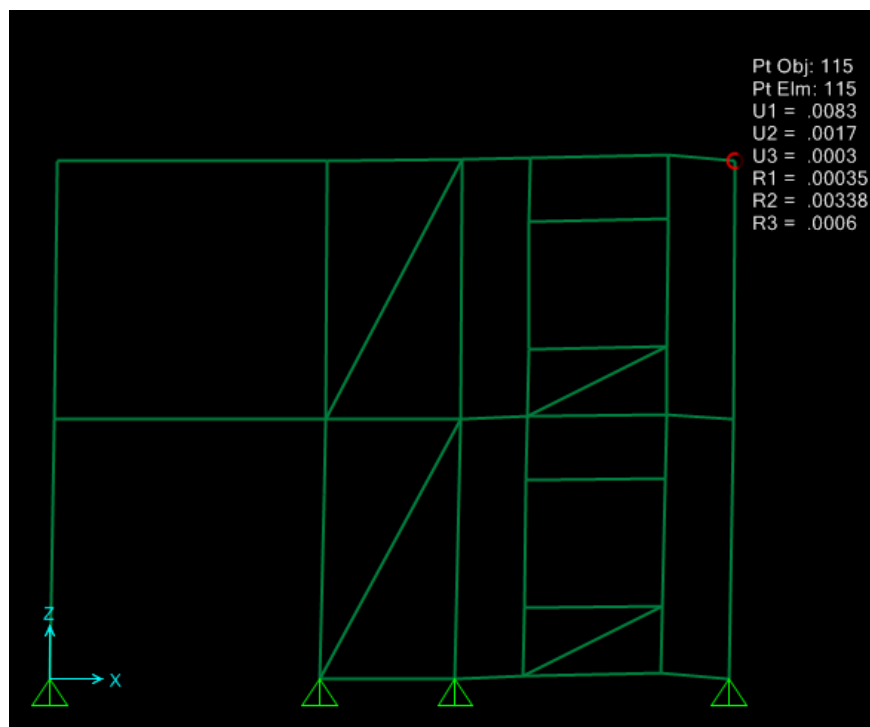
Fuente: Propia

Tabla 12. Valores de desplazamientos en joint 115 - vivienda dos – modelo ortotrópico.

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
112	SISMOX	LinRespSpec	Max	0	0	0	0.000368	0.002062	0.002806
113	SISMOX	LinRespSpec	Max	0.038161	0.00165	0.000371	0.000357	0.011428	0.000602
114	SISMOX	LinRespSpec	Max	0	0	0	0.000372	0.003453	0.000706
115	SISMOX	LinRespSpec	Max	0.008318	0.001664	0.000298	0.000348	0.003383	0.0006
116	SISMOX	LinRespSpec	Max	0	0	0	0.000722	0.002709	0.000277
117	SISMOX	LinRespSpec	Max	0.002601	0.000972	0.000551	0.000326	0.001128	0.000277
118	SISMOX	LinRespSpec	Max	0.005753	0.000972	0.000189	0.000299	0.001699	0.000277
120	SISMOX	LinRespSpec	Max	0.010063	0.001691	0.000696	0.000408	0.000415	0.000606
121	SISMOX	LinRespSpec	Max	0.009218	0.011929	0.005714	0.000429	0.005533	0.000277

Fuente: Propia

Figura 66. Desplazamientos en joint 115 - vivienda dos – modelo ortotrópico.



Fuente: Propia

Se analizó el desplazamiento para el Joint 115, se obtuvo un valor en el análisis isotrópico con SISMOX de 8.3 mm para la componente U1 como lo muestra la Tabla 11 y Figura 65, y para el análisis ortotrópico con SISMOX de 8.3 mm para la componente U1 como se puede observar en las Tabla 12 y Figura 66, obteniendo un 0% de variación.

7.3.5. Resultados de análisis realizado en SAP2000

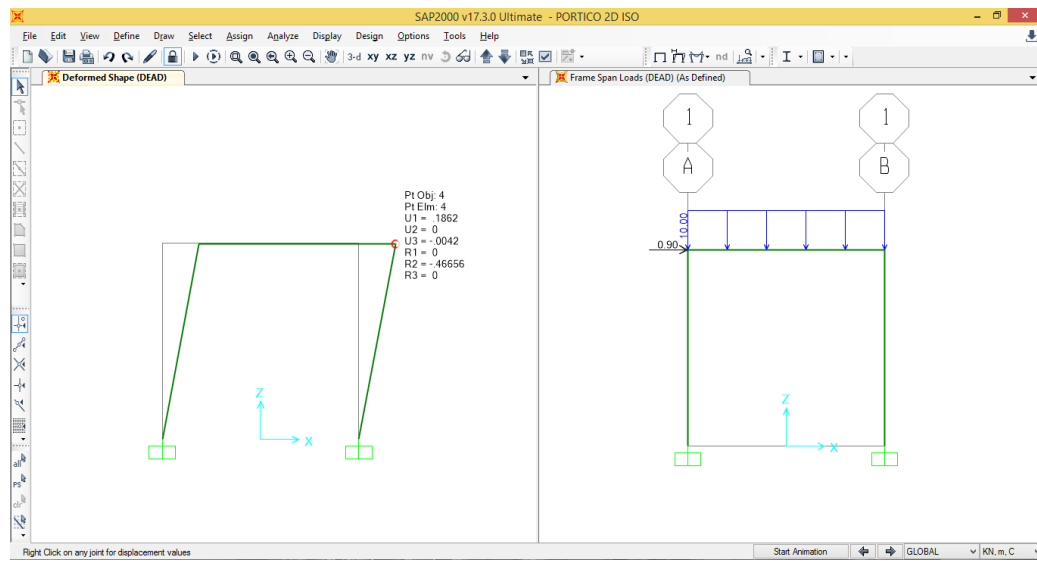
De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis estructural con un comportamientos isotrópico y ortotrópico del material para las dos viviendas, se puede evidenciar que hay un 0% de variación en momentos, cortantes, axiales y desplazamientos.

Los valores en los sentidos ortogonales (E2, E3, U13, U23, G13, G23) que definen la ortotropía de la GAK, varían de forma significativa respecto a los valores en el sentido longitudinal (E1, U12, G12) que son las direcciones principales para un material isotrópico.

Para las modelación realizada en SAP2000, los valores longitudinales (E1, U12, G12), fueron los mismos tanto para material isotrópico como para material ortotrópico, a partir de esto se genera una nueva hipótesis respecto al análisis matricial de los elementos tipo FRAME en SAP2000 para materiales ortotrópico, donde el sentido longitudinal predomina en un 100% respecto a los otros dos sentidos ortogonales. Esto se puede evidenciar en las Tablas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12, donde se muestra un 0% de variación entre los dos comportamientos.

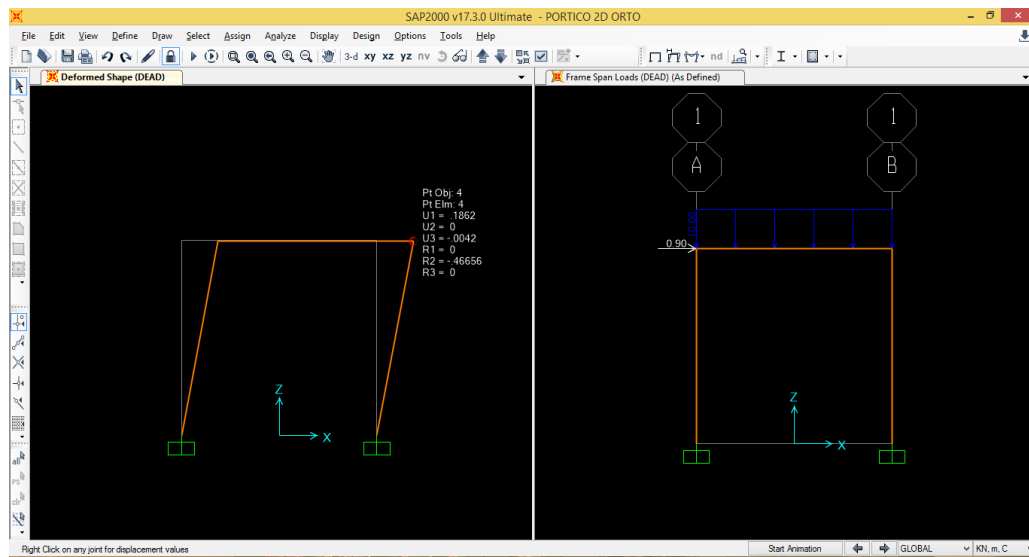
Para comprobar que los valores en los sentidos ortogonales de los elementos tipo FRAME no afectan el comportamiento estructural de las viviendas, se modelo un pórtico simple resistente a momentos en dos dimensiones con los mismos valores utilizados en las viviendas tanto para material isotrópico como ortotrópico, con ello se pretendió descartar algún error de modelación que posiblemente hubiera generado los mismos resultados para los dos comportamientos.

Figura 67. Desplazamiento isotrópico pórtico 2D



Fuente: Propia

Figura 68. Desplazamiento ortotrópico pórtico 2D

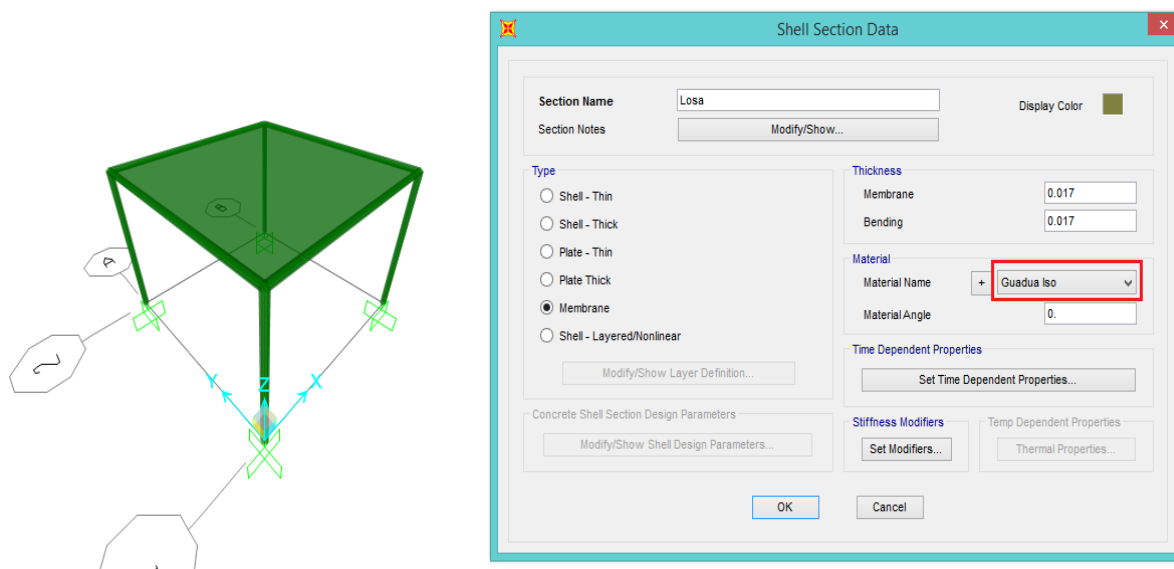


Fuente: Propia

Para el pórtico mostrado en la figura 67 y figura 68., se analizó desplazamientos por carga muerta para los elementos tipo FRAME, evidenciando que se mantiene el mismo 0% de variación en los resultados obtenidos.

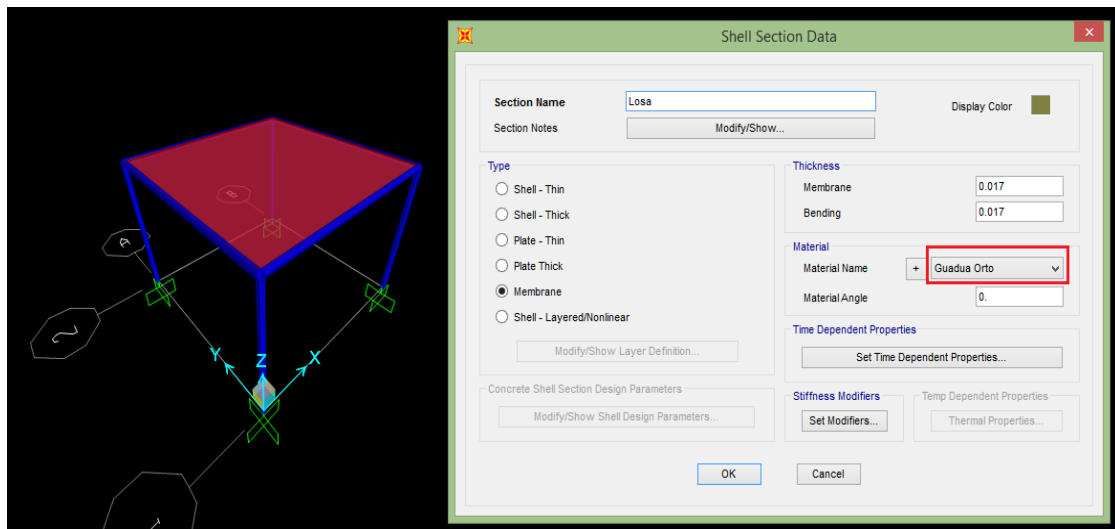
Para comprobar donde se ve reflejado el análisis matricial ortotrópico que maneja SAP2000, se realizó un sistema compuesto por cuatro pórticos resistentes a momento con un elemento tipo SHELL en la parte superior que trabajara como losa transfiriendo las cargas a los pórticos, con el fin de revisar si se presenta algún cambio en las deformaciones de la losa, se realizaron las modelaciones contemplando los dos tipos de material tanto isotrópico como ortotrópico.

Figura 69. Shell con material isotrópico



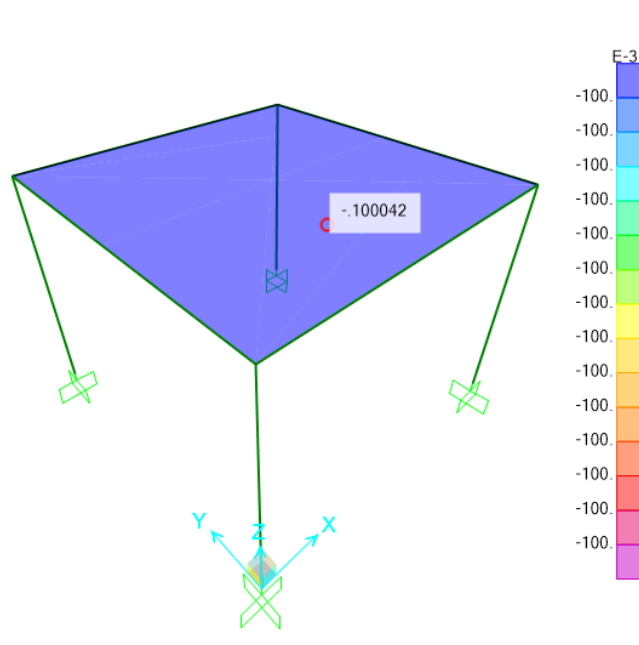
Fuente: Propia

Figura 70. Shell con material ortotrópico



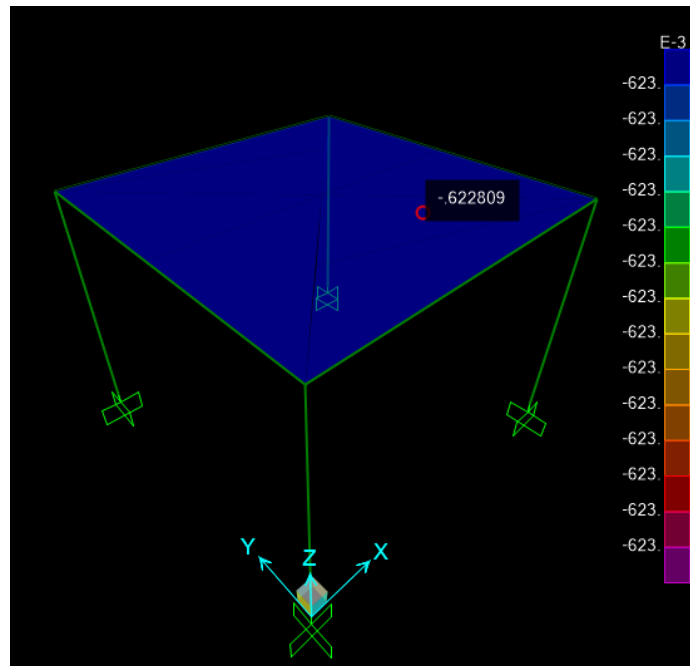
Fuente: Propia

Figura 71. Deformación por carga Muerta para la losa con material isotrópico.



Fuente: Propia

Figura 72. Deformación por carga Muerta para la losa con material ortotrópico.



Fuente: Propia

Para el análisis realizado al elemento tipo Shell se mantuvo las mismas condiciones de cargas y dimensiones de los elementos, obteniendo la deformación por carga muerta para material isotrópico de -0.10m como se observa en la Figura 71, y una deformación por carga muerta con material ortotrópico de 0.623m como se muestra en la Figura 72, presentado una variación de 6 veces más entre los casos.

8. CONCLUSIONES

Los valores ortotrópico escogidos para la modelación fueron los obtenidos en las investigaciones de Lamus⁴⁴, Luna⁴⁵ y Ghavami⁴⁶, esto debido a que buscan determinar las propiedades mecánicas en el sentido radial a la dirección de las fibras y utilizan la guadua *Angustifolia Kunth* en su estado natural sin sufrir ninguna alteración física o química. Los resultados de estas investigaciones fueron necesarios para el análisis estructural de las viviendas con un comportamiento ortotrópico del material.

Los dos tipos de vivienda utilizados en la investigación, se realizaron con unas configuraciones arquitectónicas adecuadas para un comportamiento urbano de tipo unifamiliar, conformada por paneles arriostrados y con cubiertas tipo cercha. Las modelaciones de las viviendas para los dos comportamientos del material, se realizaron en SAP2000, siguiendo las condiciones y requisitos que contempla la NSR10, entre estos se encuentran avalúo de cargas, zona de amenaza sísmica y análisis modal. Para la mayoración de las cargas se utilizó las combinaciones de carga con el método de esfuerzo trabajo descrito en el título B.2.3 de la NSR10, los momentos, cortantes, fuerzas axiales y desplazamiento fueron calculados con una envolvente la cual producía el efecto más desfavorable a las vivienda.

Al comparar el análisis estructural realizado a las viviendas considerando los dos comportamientos del material, se llegó a un 0% de variación, observando que el software SAP2000 en su análisis matricial no contempla la ortotropía en los elementos tipo frame, como se comprobó modelando un pórtico resistente a momento en 2D, el cual no presento variaciones en sus resultados.

⁴⁴ LAMUS F. Clasificación de una conexión Viga-Columna resistente a momento en guadua angustifolia, Universidad Nacional de Colombia. 2008.

⁴⁵ LUNA P., LOZANO J., TAKEUCHI C., Determinación experimental de valores característicos de resistencia para guadua angustifolia, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia, 2014.

⁴⁶ GARCÍA J., RANGEL C., GHAVAMI K.; Experiments with rings to determine the anisotropic elastic constants of bamboo; Universidad del Valle Colombia, Universidad Católica Rio de Janeiro Brasil, 2012.

Al introducir un material nuevo a SAP2000 se da como opción escoger si este tendrá un comportamiento isotrópico, ortotrópico o anisotrópico, esperando que cualquier elemento de dibujo contemple los comportamientos mencionados, de acuerdo a lo anterior se modelo una estructura simple para analizar si los elementos tipo Shell contempla en su análisis matricial la ortotropía de un material, obteniendo que en sus resultados si se presentan variaciones respecto a un análisis con material isotrópico.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir con la investigación de las variaciones entre la isotropía de la guadua planteada en la NSR-10 y el verdadero comportamiento ortotrópico que posee la guadua, mediante teoría y softwares que faciliten un análisis estático y dinámico, utilizando estructuras similares a las trabajadas en esta investigación.

Seguir con la búsqueda de las propiedades mecánicas en los sentidos ortogonales que tiene la guadua *Angustifolia Kunth*, será de gran utilidad para poder establecer un rango de valores cada vez más preciso para estos parámetros en los sentidos ortogonales y así complementar el título G.12 de la NSR10 incluyendo el verdadero comportamiento de la guadua.

Generar investigaciones que contemplen análisis matricial de elementos tipos frame para materiales ortotrópicos como la guadua, incluyendo la aplicación en software de análisis estructural.

10.BIBLIOGRAFÍA

CAMPO. RIVERA, JEINST, una Guadua prodigio. En: Un Periódico. 07, mayo, 2011. Extraído de: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/una-guadua-prodigio.html>.

COBOS J; LEÓN X. Propiedades físicas-mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del iasa II”, documento tesis, sangolquí, 2007.

DASSAULT SYSTEMES SOFTWARE SOLIDWORKS [en línea]. <http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Art/wood.gif>. [Citado en 2 de marzo de 2016]

DECRETO No. 523 DE 16-DICIEMBRE-2010, Microzonificación Sísmica De Bogotá D.C.

DURÁN, A., & URIBE, M. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. Universidad Nacional de Colombia: 2002.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO, Ensayo de tensión, Facultad ingeniería industrial. Laboratorio de producción. Edición 2011-2.

GARCÍA J., RANGEL C., GHAVAMI K.; Experiments with rings to determine the anisotropic elastic constants of bamboo; Universidad del Valle Colombia, Universidad Católica Rio de Janeiro Brasil, 2012.

GIRALDO, H. Edgar Y SABOGAL, O. Aureliano. Una alternativa sostenible: La Guadua. Corporación Autónoma Regional del Quindío C.R.Q., 1999.

LAMUS F. Clasificación de una conexión Viga-Columna resistente a momento en guadua angustifolia, Universidad Nacional de Colombia. 2008-

LUNA P., LOZANO J., TAKEUCHI C., Determinación experimental de valores característicos de resistencia para guadua angustifolia, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia, 2014.

MARTIN ESTRADA MEJÍA, Extracción y caracterización mecánica de las fibras del bambú (Guadua Angustifolia): Universidad de los andes: 2010.

MEIROVITCH L., Analytical methods in vibrations (Ed. McMillan/ New York, 1976).

OSORIO J., ESPINOSA A., GARCÍA E.; Evaluación de las propiedades mecánicas de la estructura interna de la guadua con un modelo matemático. Colombia. 2008

OSORIO J; CIRO H; VELEZ J. Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. Revista DYNA., 2007.

PEÑARANDA D., Análisis estructural de una vivienda prototipo prefabricada de guadua *angustifolia kunth*. Universidad la Gran Colombia, Bogotá, 2015.

PEREZ, Antonio. Módulo de Elasticidad [Online]: Universitat Jaume I - [Castellón – España, 2014] Tomado de:
http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente_de_Poisson.htm

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10). Título A, título B y título G.12

TAKEUCHI C., Caracterización mecánica del bambú Guadua laminado para uso estructural. Universidad Nacional de Colombia Bogotá: 2014.

TORRES, L. Modelo anisótropo de elementos finitos para el análisis mecánico del bambú y su verificación experimental. Trabajo de Grado. Universidad del Valle. Colombia. 2005.

VILADOMS W. Análisis de las propiedades de los materiales compuestos sometidos a tensión o flexión. Tesis licenciatura. 2003.