

**DISEÑO DE CONEXIONES EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE
BAMBÚ- GUADUA LAMINADA PEGADA PENSADA, PARA UN
PROYECTO DE VIVIENDA**

ANA MILENA OLARTE ARENAS
Ingeniera Civil

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AGRICOLA
SECCION ACADEMICA DE ESTRUCTURAS Y CONSTRUCCIÓN
MAESTRIA EN INGENIERIA – ESTRUCTURAS
BOGOTÁ
2012**

**DISEÑO DE CONEXIONES EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE
BAMBÚ- GUADUA LAMINADA PEGADA PENSADA, PARA UN
PROYECTO DE VIVIENDA**

ANA MILENA OLARTE ARENAS

**Trabajo final de maestría para optar al título de Magister en Ingeniería-
Estructuras**

**Directora
PATRICIA LUNA TAMAYO
Ingeniera Civil - MS.c. Estructuras**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AGRICOLA
SECCION ACADEMICA DE ESTRUCTURAS Y CONSTRUCCIÓN
MAESTRIA EN INGENIERIA – ESTRUCTURAS
BOGOTÁ
2012**

Nota de aceptación:

**Directora de Trabajo Final
Ing. Patricia Luna Tamayo**

Firma del jurado
Prof. _____

Firma del jurado
Prof. _____

Bogotá, 28 de Septiembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios que siempre guió mi camino y me inspiró para seguir adelante con mis propósitos.

A mis padres y hermanas que apoyaron cada uno de mis pasos y me animaron a conseguir mis logros.

A las ingenieras Patricia Luna y Caori Takeuchi por los consejos y guías en el desarrollo de esta investigación, así como a la Arquitecta Diana Ovalle y el grupo de trabajo quienes con su apoyo permitieron culminar este objetivo.

Finalmente a Francisco, gracias por cada impulso que me diste

“DISEÑO DE CONEXIONES EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE BAMBÚ-GUADUA LAMINADA PEGADA PRENSADA, PARA UN PROYECTO DE VIVIENDA”

Ana Milena Olarte Arenas

RESUMEN

Dentro del marco de un mundo preocupado por el medio ambiente y por las alternativas de industrialización ecoamigables, surgen gran cantidad de investigaciones alrededor de materiales de construcción que permitan el desarrollo de la infraestructura de una sociedad bajo parámetros ambientales aceptables mundialmente. Como uno de estos materiales sobresale el bambú guadua laminada, como una alternativa importante que mezcle el buen comportamiento estructural de la guadua rolliza junto con el manejo y buen acabado de los laminados, permitiendo así, hacer uso del bambú guadua laminada como material principal de obras de infraestructura.

A partir de esta premisa, a nivel nacional se desarrollaron diferentes investigaciones buscando la incursión de este nuevo material en el ámbito de la construcción; así lo hizo el Ministerio de Agricultura en convenio con la Universidad Nacional de Colombia al desarrollar el proyecto: *vivienda con elementos estructurales en bambú-guadua laminada pegada prensada* (GLPP), que buscaba ahondar en todos los parámetros necesarios para desarrollar una vivienda totalmente funcional en el mencionado material.

Este fue el punto de partida de esta investigación, en la cual se buscó desarrollar y analizar conexiones aptas para unir los elementos estructurales que componían la vivienda desarrollada en el proyecto del Ministerio de Agricultura.

El diseño de estas conexiones partió de encontrar las solicitaciones a las que estaría sometida cada unión y determinar así el número, diámetro y localización de los pernos que sujetarían la unión (según el Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino (JAC, 1986)) y luego se diseñaron las platinas metálicas que soportarían los pernos usando el método de esfuerzos de trabajo según la NSR-98 (AIS, 1998).

Una vez diseñadas las conexiones se construyó un prototipo de una zona de la estructura de la casa, se aplicó una carga equivalente a la carga viva de diseño

(180Kg/m²) y se instrumentó el comportamiento de algunas de las conexiones de la estructura ante la aplicación de la carga mediante la medición de desplazamientos.

Luego de la prueba real se procedió a una modelación numérica por elementos finitos de las conexiones que se habían instrumentado en la prueba de carga, con el fin de encontrar la carga límite o de falla de cada una de estas y estimar así si las conexiones presentaban un buen comportamiento y si eran aptas para unir los elementos estructurales de bambú guadua laminada de los que está compuesta la vivienda estudiada.

El modelo de prueba de carga se construyó en la Facultad de Artes y se instrumentó y probó en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia.

Palabras clave: guadua, laminados, diseño de conexiones.

"DESIGN OF STRUCTURAL ELEMENTS CONNECTIONS OF GLUED LAMINATED PRESSED BAMBOO GUADUA FOR A HOUSING PROJECT"**Ana Milena Olarte Arenas****ABSTRACT**

Within the framework of a world concerned about the environment and eco-friendly alternatives of industrialization, arise lot of research about building materials that enable the development of the infrastructure of a society under globally acceptable environmental parameters. As one of these materials laminated bamboo guadua emerges as an important alternative that mixes good structural behavior of bamboo and the handling and good finishing of the laminate, allowing the use of laminated bamboo guadua as the main material works of infrastructure.

From this premise, nationally developed different researches to the incursion of new material in the field of construction, so the Ministry of Agriculture in partnership with the Universidad Nacional de Colombia to develop the project: housing with structural elements of glued laminated pressed bamboo guadua (GLPP), which sought to delve into all the parameters necessary to develop a fully functional housing in that material.

This was the starting point of this research, which sought to develop and analyze suitable connections for joining the structural elements making up the housing developed in the project of the Ministry of Agriculture.

The design of these connections started to find the stresses to which would be subject each joint and determine the number, diameter and location of the bolts of the union (according to the Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino (JAC, 1986)) and then the plates were designed using the method of work efforts by the NSR-98 (AIS, 1998).

Once the connections are designed built a prototype of an area of the structure of the house, we applied a charge equivalent to the design live load (180Kg/m²) and implemented the behavior of some of the connections of the structure before the application of the load by measuring displacement.

After the real test it was a finite element numerical modeling of the connections that were implemented in the load test, to find the limit load or failure of each of these connections and estimate if the connections had good behavior and if they were suitable for joining the structural elements of laminated bamboo guadua which is composed of the housing project.

The load test model was built on the Art faculty and was implemented and tested in the Engineering Faculty of the Universidad Nacional de Colombia

Keywords: guadua, laminates, design of connections.

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	V
LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE FIGURAS	XIII
INTRODUCCION	1
1. ANTECEDENTES	3
1.1 LA GUADUA ANGUSTIFOLIA	3
1.2 CAMINO A LA GUADUA LAMINADA EN COLOMBIA.	4
1.3 INVESTIGACIONES PREVIAS.	5
CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL	5
Caracterización física del bambú guadua laminada pegada prensada	7
Caracterización mecánica del bambú guadua laminada pegada prensada	7
ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN BAMBÚ GUADUA LAMINADA	9
CONEXIONES ENTRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN BAMBÚ GUADUA LAMINADA.	16
2. OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GENERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. METODOLOGIA	22
3.1 ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO	22
SIMULACIÓN NUMÉRICA DE SOLICITACIONES DEL PROTOTIPO	22
DISEÑO DE CONEXIONES	27
Ejemplo de revisión conexiones resistentes a momento	30
Ejemplo de revisión conexión en cercha plana.	42
Ejemplo de revisión conexión no resistente a momento.	47
ELABORACIÓN DE DETALLES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	52
3.2 ESTRUCTURA DE LA PRUEBA DE CARGA	57
MONTAJE CONSTRUCTIVO	57

CONTENIDO	X
Construcción y preparación del modelo	58
INSTRUMENTACIÓN	60
CARGAS.	62
OBTENCIÓN DE DATOS	66
3.3 SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA ESTRUCTURA DE LA PRUEBA DE CARGA	67
SIMULACIÓN NUMÉRICA CON CARGAS APLICADAS	67
SIMULACIÓN DE CONEXIONES ESPECÍFICAS	69
Conexión 1 P2-T2	70
Conexión 2 P1-T3	77
Conexión 3 C1-T6	80
4. CALCULOS Y RESULTADOS	85
4.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA PRUEBA DE CARGA.	85
4.2 ESTADOS LÍMITES DE CONEXIONES ESPECÍFICAS MODELADAS.	93
CONEXIÓN 1 P2-T2	94
CONEXIÓN 2 P1-T3	99
Conexión 3 C1-T6	103
5. COMPARACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS	107
5.1 CONEXIÓN 1 P2-T2	107
5.2 CONEXIÓN 2 P1-T3	108
5.3 CONEXIÓN 3 C1-T6	110
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
7. BIBLIOGRAFIA	114
8. ANEXOS	115
8.1 ANEXO A	115
8.2 ANEXO B	117
8.3 ANEXO C	118

LISTA DE TABLAS

	Pag.
<i>Tabla 1: Esfuerzos admisibles de la guadua en MPa.</i>	6
<i>Tabla 2: Caracterización física de GLPP</i>	7
<i>Tabla 3: Caracterización mecánica de probetas de GLPP - Flexión</i>	7
<i>Tabla 4: Caracterización mecánica de probetas de GLPP – Corte Paralelo</i>	8
<i>Tabla 5: Caracterización mecánica de probetas de GLPP – Corte Perpendicular</i>	8
<i>Tabla 6: Caracterización mecánica de probetas de GLPP – Compresión Perpendicular</i>	9
<i>Tabla 7: Módulo de elasticidad a flexión de vigas de diferente densidad - según análisis estadístico</i>	10
<i>Tabla 8: Módulo de elasticidad a flexión de vigas macizas- según análisis estadístico</i>	11
<i>Tabla 9: Valores de esfuerzo máximo a flexión para diferentes longitudes de vigas de GLPP</i>	11
<i>Tabla 10: Módulo de elasticidad a flexión de vigas cajón - según análisis estadístico</i>	12
<i>Tabla 11: Valores de esfuerzo máximo a flexión para diferentes longitudes de vigas cajón de GLPP</i>	12
<i>Tabla 12: Módulos de elasticidad a compresión</i>	15
<i>Tabla 13: Cargas muertas y vivas usadas en la simulación numérica de la vivienda de guadua laminada</i>	26
<i>Tabla 14: Características de los elementos a conectar</i>	31
<i>Tabla 15 Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B (MPa)</i>	32
<i>Tabla 16: Valores de carga admisible para longitudes de 20 cm según tipo de madera y diámetro del perno.</i>	33
<i>Tabla 17: Factor De Reducción De La Carga Admisible En Función Del Número De Pernos Por Línea Paralela A La Dirección De La Carga Aplicada</i>	36
<i>Tabla 18: Espaciamientos Mínimos Para Pernos</i>	37
<i>Tabla 19: Espaciamientos Mínimos Para Pernos de Columna conexión P2-T2</i>	38
<i>Tabla 20: Espaciamientos Mínimos Para Pernos de Viga conexión P2-T2</i>	38
<i>Tabla 21: Cálculo de área neta en platina de viga conexión P2-T2</i>	40
<i>Tabla 22: Cálculo de área total y neta en bloque cortante de platina de viga conexión P2-T2</i>	41
<i>Tabla 23: Resistencia de diseño a corte de los pernos de la conexión P2-T2</i>	42
<i>Tabla 24: Características de los elementos a conectar</i>	43
<i>Tabla 25: Cargas admisibles para viga conexión C1-T8</i>	44
<i>Tabla 26: Cargas admisibles para diagonal principal conexión C1-T8</i>	44
<i>Tabla 27: Cargas admisibles para diagonal secundaria conexión C1-T8</i>	44
<i>Tabla 28: Espaciamientos mínimos para pernos en viga conexión C1-T8</i>	45
<i>Tabla 29: Espaciamientos mínimos para pernos en diagonales conexión C1-T8</i>	45
<i>Tabla 30: Resistencia en área total conexión C1-T8</i>	46
<i>Tabla 31: Cálculo de área neta en platina de conexión C1-T8</i>	46
<i>Tabla 32: Cálculo resistencia en área neta platina de conexión C1-T8</i>	46
<i>Tabla 33: Cálculo resistencia aplastamiento platina de conexión C1-T8</i>	46
<i>Tabla 34: Cálculo de área total y neta en bloque cortante de platina de conexión C1-T8</i>	46
<i>Tabla 35: Resistencia bloque cortante de platina de conexión C1-T8</i>	47
<i>Tabla 36: Cálculo de resistencia a corte de los pernos de la conexión C1-T8</i>	47
<i>Tabla 37: Características de los elementos a conectar</i>	48

<i>Tabla 38: Cargas admisibles para viga conexión C1-T8</i>	49
<i>Tabla 39: Cargas admisibles para columna conexión C1-T8</i>	49
<i>Tabla 40: Espaciamientos mínimos para pernos en viga conexión C1-T6</i>	50
<i>Tabla 41: Espaciamientos mínimos para pernos en columna conexión C1-T6</i>	50
<i>Tabla 42: Resistencia en área total conexión C1-T6</i>	50
<i>Tabla 43: Cálculo de área neta en platina de conexión C1-T6</i>	51
<i>Tabla 44: Cálculo resistencia en área neta platina de conexión C1-T6</i>	51
<i>Tabla 45: Cálculo resistencia aplastamiento platina de conexión C1-T6</i>	51
<i>Tabla 46: Cálculo de área total y neta en bloque cortante de platina de conexión C1-T6</i>	51
<i>Tabla 47: Resistencia bloque cortante de platina de conexión C1-T6</i>	51
<i>Tabla 48: Cálculo re resistencia a corte de los pernos de la conexión C1-T6</i>	52
<i>Tabla 49: Peso de Sacos de Arena usados en la prueba de carga</i>	62
<i>Tabla 50: Peso de Vigas de concreto usadas en la prueba de carga</i>	63
<i>Tabla 51: Peso total usado en la prueba de carga</i>	63
<i>Tabla 52: Ciclos de carga – prueba de carga</i>	66
<i>Tabla 53: Lecturas tomadas en los comparadores de caratula e incrementos encontrados.</i>	66
<i>Tabla 54: Desplazamientos en dirección y (viga) para conexión P2-T2</i>	107
<i>Tabla 55: Desplazamientos en dirección x (columna) para conexión P2-T2</i>	107
<i>Tabla 56: Esfuerzos producidos por diferentes cargas en la guadua y la platina de la conexión P2-T2</i>	108
<i>Tabla 57: Desplazamientos en dirección y (viga) para conexión P1-T3</i>	109
<i>Tabla 58: Desplazamientos en dirección x (columna) para conexión P1-T3</i>	109
<i>Tabla 59: Esfuerzos producidos por diferentes cargas en la guadua y la platina de la conexión P1-T3</i>	109
<i>Tabla 60: Desplazamientos en dirección y (viga) mitad de la luz para conexión C1-T6</i>	110
<i>Tabla 61: Esfuerzos producidos por diferentes cargas en la guadua y la platina de la conexión C1-T6</i>	110

LISTA DE FIGURAS

	Pag
<i>Figura 1: Configuraciones de secciones transversales en columnas</i>	14
<i>Figura 2: Tipos de conexiones con 2 y 3 secciones</i>	17
<i>Figura 3: Prototipos ensayados</i>	17
<i>Figura 4: Esquema pórticos ensayados</i>	18
<i>Figura 5: Arquitectura plantas de piso 1 y 2 de vivienda en guadua laminada</i>	23
<i>Figura 6: Corte arquitectónico de vivienda en guadua laminada</i>	24
<i>Figura 7: Vista 3D de elementos estructurales de vivienda de guadua laminada</i>	24
<i>Figura 8: Definición secciones de vigas planta de piso 2 de vivienda de guadua laminada</i>	25
<i>Figura 9: Definición secciones de vigas de cubierta de vivienda de guadua laminada</i>	25
<i>Figura 10: Definición secciones de vigas y columnas vivienda de guadua laminada</i>	26
<i>Figura 12: Identificación de pórticos resistentes a momento</i>	27
<i>Figura 13: Puntos de no transmisión de momentos</i>	28
<i>Figura 14: Identificación de los 3 tipos de conexiones estudiadas</i>	29
<i>Figura 15: Identificación de conexión resistente a momento</i>	30
<i>Figura 16: Esquema de Carga de los elementos de la conexión P2-T2</i>	31
<i>Figura 17: Platina usada para conectar el elemento viga de la conexión P2-T2</i>	39
<i>Figura 18: Conexión a corte C1-T8</i>	42
<i>Figura 19: Esquema de Carga de los elementos de la conexión C1-T8</i>	43
<i>Figura 20: Conexión no resistente a momento C1-T6</i>	47
<i>Figura 21: Esquema de Carga de los elementos de la conexión C1-T6</i>	48
<i>Figura 21: Identificación de conexiones de la casa de guadua laminada</i>	52
<i>Figura 22: Identificación de pórticos, cerchas y conexiones de la casa de guadua laminada</i>	53
<i>Figura 23: Identificación de elementos a conectar en cada unión del pórtico 1</i>	54
<i>Figura 24: Esquema a mano de la conexión C1-T7</i>	55
<i>Figura 25: Detalles de fabricación platinas para conexiones P2-T1, C1-T8 y I-T7</i>	56
<i>Figura 26: Modelo en 3D de conexión P1-T1 y C1-T1</i>	56
<i>Figura 27: Modelo en 3D, ubicación de platinas numeradas y fotografía de platinas de conexión P2-T1</i>	57
<i>Figura 28: Prototipo Completo y Modulo Central Usado en Prueba de Carga</i>	58
<i>Figura 29: Montaje en Piso, previo a montaje real</i>	58
<i>Figura 30: Montaje de Prueba de carga</i>	59
<i>Figura 31: Prototipo Con Vigueteria en Guadua Rolliza</i>	59
<i>Figura 32: Comparador de carátula utilizado en prueba de carga</i>	60
<i>Figura 33: Ubicación de los 6 comparadores de carátula sobre el módulo</i>	61
<i>Figura 34: Ubicación de comparadores de carátula</i>	62
<i>Figura 35: Origen del peso total usado en la prueba de carga</i>	63
<i>Figura 36: Sacos de arena y vigas de concreto usados en prueba de carga</i>	64
<i>Figura 37: Área de cargada en la prueba de carga</i>	65
<i>Figura 38: Proceso de Pesado de Sacos de Arena</i>	65
<i>Figura 39: Ciclo de Carga No. 1 (1667.5 Kg) – Distribución de Carga Viva</i>	68
<i>Figura 40: Ciclo de Carga No. 2 (2241.0 Kg) – Distribución de Carga Viva</i>	68

<i>Figura 41: Ciclo de Carga No. 3 (3626.5 Kg) – Distribución de Carga Viva</i>	69
<i>Figura 42: Imagen de conexión a momento modelada mediante elementos finitos.</i>	70
<i>Figura 43: Detalle del ángulo de unión de la conexión P2-T2, modelada mediante elementos finitos</i>	71
<i>Figura 44: Límites de modelación numérica de la conexión P2-T2</i>	71
<i>Figura 45: Nodos en los límites de modelación numérica de la conexión P2-T2</i>	72
<i>Figura 46: Áreas de modelación numérica de la conexión P2-T2</i>	73
<i>Figura 47: Discretización de la conexión P2-T2</i>	75
<i>Figura 48: Diagrama de restricciones y solicitaciones de la conexión P2-T2</i>	76
<i>Figura 49: Imagen de conexión a momento modelada mediante elementos finitos</i>	77
<i>Figura 51: Límites de modelación numérica de la conexión P1-T3</i>	78
<i>Figura 52: Áreas de modelación numérica de la conexión P1-T3</i>	79
<i>Figura 53: Discretización de la conexión P1-T3</i>	80
<i>Figura 54: Imagen de conexión no resistente a momento modelada mediante elementos finitos</i>	81
<i>Figura 56: Límites de modelación numérica de la conexión C1-T6</i>	82
<i>Figura 57: Condiciones de borde de modelación numérica de la conexión C1-T6</i>	82
<i>Figura 58: Áreas de modelación numérica de la conexión C1-T6</i>	83
<i>Figura 59: Discretización de modelación numérica de la conexión C1-T6</i>	83
<i>Figura 60 Condición de carga real de la conexión C1-T6</i>	84
<i>Figura 61: Detalle de Deducción del Giro de una Conexión mediante su desplazamiento medido</i>	85
<i>Figura 62: Comparación de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 1 (Conexión C1-T6 y C1-T5)</i>	87
<i>Figura 63: Gráfica de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 1 (Conexión C1-T6 y C1-T5)</i>	88
<i>Figura 64: Comparación de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 2</i>	89
<i>Figura 65: Grafica de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 2</i>	90
<i>Figura 66: Comparación de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 3 y 4</i>	91
<i>Figura 67: Comparación de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 5 y 6</i>	92
<i>Figura 68: Ubicación de comparadores de caratula No 3 al 6 en prueba de carga.</i>	93
<i>Figura 69: Deformada de la conexión P2-T2 para el tercer ciclo de carga</i>	94
<i>Figura 70: a. Desplazamientos verticales (y) ; b. Desplazamientos horizontales (X) de la conexión P2-T2 para el tercer ciclo de carga</i>	95
<i>Figura 71: Esfuerzos (Y) de la conexión P2-T2 para una carga unitaria</i>	96
<i>Figura 72: Esfuerzos (von mises) de la conexión P2-T2 para una carga unitaria</i>	97
<i>Figura 73: Esfuerzos (σ_y) de la conexión P2-T2 para una carga de 15248.2 N/m²</i>	98
<i>Figura 74: Esfuerzos (σ_{vm}) de la conexión P2-T2 para una carga de 15248.2 N/m²</i>	98
<i>Figura 75: Deformada de la conexión P1-T3 para el tercer ciclo de carga</i>	99
<i>Figura 76: a. Desplazamientos verticales (Y); b. horizontales (X) de la conexión P1-T3 para el tercer ciclo de carga</i>	100
<i>Figura 77: Esfuerzos (Y) de la conexión P1-T3 para una carga unitaria</i>	101
<i>Figura 78: Esfuerzos (von mises) de la conexión P1-T3 para una carga unitaria</i>	101
<i>Figura 79: Esfuerzos (σ_y) de la conexión P1-T3 para una carga de 26232.7 N/m²</i>	102
<i>Figura 80: Esfuerzos (σ_{vm}) de la conexión P1-T3 para una carga de 26232.7 N/m²</i>	103
<i>Figura 81: Deformada de la conexión C1-T6 para el tercer ciclo de carga</i>	103
<i>Figura 82: Desplazamientos verticales (y) de la conexión C1-T6 para el tercer ciclo de carga</i>	104

<i>Figura 83: Esfuerzos (γ) de la conexión C1-T6 para una carga unitaria</i>	<i>104</i>
<i>Figura 84: Esfuerzos (von mises) de la conexión C1-T6 para una carga unitaria</i>	<i>105</i>
<i>Figura 85: Esfuerzos (σ_y) de la conexión C1-T6 para una carga de 211522 N/m²</i>	<i>105</i>
<i>Figura 86: Esfuerzos (σ_m) de la conexión C1-T6 para una carga de 211522 N/m²</i>	<i>106</i>

LISTA DE GRAFICAS

	Pag.
<i>Grafica 1: Esfuerzo admisible de vigas macizas de GLPP en función de la longitud no arriostrada</i>	11
<i>Grafica 2: Esfuerzo admisible de vigas cajón de GLPP en función de la longitud no arriostrada</i>	13
<i>Grafica 3: Curva esfuerzo deformación columnas sección cajón</i>	14
<i>Grafica 4 Curva esfuerzo deformación columnas sección maciza</i>	14
<i>Grafica 5: Curva esfuerzo admisible vs. Relación de esbeltez, columnas sección cajón</i>	15
<i>Grafica 6: Curva carga deformación pórticos con arriostramiento tipo k</i>	19
<i>Gráfica 7: Interpolación Lineal Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B – Pernos ¼"</i>	33
<i>Gráfica 8: Interpolación Lineal Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B – Pernos 3/8"</i>	33
<i>Gráfica 8: interpolación Lineal Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B – Pernos 1/2"</i>	33
<i>Gráfica 9: interpolación Lineal Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B – Pernos 5/8"</i>	33
<i>Gráfica 10: interpolación Lineal Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B – Pernos 3/4</i>	34

INTRODUCCIÓN

Recientemente en el sector de la construcción a nivel nacional e internacional se ha fomentado la búsqueda de materiales renovables y sustentables que presenten un comportamiento estructural adecuado. En medio de esta búsqueda ha surgido el bambú-guadua, ya que cumple con el objetivo de ser renovable y, en investigaciones previas, se ha demostrado que presenta características mecánicas apropiadas para considerarse al nivel de materiales estructurales convencionales, como el concreto y el acero entre otros.

En este marco de búsqueda se abre el camino a investigaciones relacionadas con el bambú-guadua, donde se han destacado principalmente desarrollos con el material en su estado natural (rollizo) y en menor proporción utilizándolo en laminados, que es el caso particular del presente estudio.

Con el objetivo de ampliar un poco más el campo de los laminados en bambú-guadua y como una alternativa ecológica y funcional de materiales para vivienda, la Universidad Nacional en convenio con el Ministerio de Agricultura desarrolló un proyecto de vivienda con elementos estructurales en bambú-guadua laminada pegada prensada (GLPP), el cual es el punto de partida de la presente investigación, ya que al buscar un diseño estructural completamente funcional sus elementos de unión y conexiones deben diseñarse para que trabajen adecuadamente ante las diferentes solicitaciones a las que estará expuesta la estructura durante su vida útil.

Es allí donde a la luz de investigaciones previas de diferentes instituciones educativas, se ha definido un modelo funcional de vivienda sustentable en GLPP al cual, una vez diseñada, se le realizaron estudios y pruebas reales de conexiones, con el fin de estimar si estas son las adecuadas para un prototipo de vivienda como en el que se está trabajando en el proyecto con el Ministerio de Agricultura. Para llevar a cabo este objetivo se han generado diversos modelos de conexiones para elementos estructurales de GLPP, con unas cargas y condiciones estipuladas y de esta manera abarcar de un modo muy general la diversidad de uniones que pueden presentarse en este prototipo.

La determinación del número de pernos y posicionamiento de estos en las conexiones diseñadas en el presente trabajo se basaron en los lineamientos dados por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (Cartagena 1984) y utilizando los esfuerzos admisibles para una madera tipo B dados en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR 98 (AIS, 1998), según clasificación determinada en investigaciones previas.

El diseño de las platinas de las conexiones se realizó por el método de esfuerzos de trabajo y cobijados bajo la Norma NSR-98 (AIS, 1998), debido a que el proyecto del Ministerio de agricultura (base de esta investigación) se inició bajo la vigencia de esta norma.

Finalmente, basándose en los diseños desarrollados, se estudiaron detalladamente algunas de las conexiones, dando espacio a la comparación, corrección y sugerencias para futuros investigadores quienes quieran profundizar en el tema de los laminados de bambú-guadua y así generar un mayor conocimiento del mismo, y dar un paso más hacia su uso masivo como material de construcción.

1. ANTECEDENTES

Dentro de la búsqueda de un material sustentable y alternativo para la industria de la construcción en el país, se han realizado numerosas investigaciones sobre el bambú guadua laminada a nivel nacional e internacional. Este capítulo recopila parte de las investigaciones realizadas a nivel nacional debido a que la ***Guadua angustifolia Kunth***, especie de bambú utilizada en esta investigación, es de gran abundancia en Colombia y por tanto se han desarrollado varios trabajos en torno a esta especie como material de fabricación de elementos estructurales.

A pesar de enmarcar solo el ámbito nacional de las investigaciones en guadua, no se desconocerá la importancia histórica y el desarrollo que ha tenido ésta como material de construcción a nivel internacional.

1.1 LA GUADUA ANGUSTIFOLIA

Esta especie de guadua tuvo su primera clasificación en Colombia en el año 1806 y solo fue hasta 1822 que se clasificó con el nombre con el que hoy se le conoce; desde entonces se ha caracterizado por ser un material ampliamente utilizado para diferentes labores que hicieron y hacen parte del desarrollo económico, social y cultural del país.

La guadua como planta puede clasificarse como un bambú leñoso del cual existen aproximadamente 1000 especies, 500 de estas especies presentes en América. Esta especie particular de bambú (*Guadua angustifolia Kunth*) se encuentra principalmente en países como Colombia, Venezuela y Ecuador, aunque también existe en grandes cantidades en países centroamericanos como Panamá, que junto con Colombia se han caracterizado por el uso de esta especie en diferentes campos.

Esta especie de bambú hace parte de un género de guaduas, caracterizadas por tallos robustos. En particular, la *guadua angustifolia* sobresale por sus culmos de hasta 30 m de altura y 25 cm de diámetro y porque sus $\frac{3}{4}$ partes inferiores permanecen prácticamente verticales (lo que la hace ideal para laminados). Es importante mencionar que este bambú se desarrolla en óptimas condiciones desde los 1000 hasta los 1600 msnm, razón por la cual Colombia tiene los mejores especímenes de esta especie (García, 2004).

1.2 CAMINO A LA GUADUA LAMINADA EN COLOMBIA.

Debido a su gran abundancia en diferentes zonas del país, principalmente en Antioquia y el Eje Cafetero, y en respuesta a la necesidad creciente de viviendas en zonas inhóspitas, a mediados del siglo XIX, se desarrolló una técnica constructiva basada en el uso del bambú guadua, conocida actualmente como Bahareque encementado en la cual se integran columnas y vigas de guadua con marcos de madera que constituyen un sistema estructural, de rápido montaje, buen comportamiento y costos reducidos.

Al final de la década de los 90, el uso de este sistema constructivo se potencializó considerablemente debido a que se observó un buen comportamiento al soportar grandes deformaciones sin llegar a la falla o colapso de la estructura, luego de verse sometida a grandes solicitaciones producto de cargas sísmicas, principalmente.

Desde entonces se ha popularizado la guadua como material para el sector de la construcción y se han desarrollado diferentes investigaciones alrededor de ésta, llevando incluso a la inclusión de este material en las Normas Sismo Resistentes NSR-10 (AIS, 2010) actuales de Colombia.

Por la necesidad de industrializar un poco más este material y de darle el mayor aprovechamiento posible como elemento estructural, se empezaron a explorar nuevas formas de uso del bambú guadua, tales como los laminados los cuales consisten en utilizar estos no solo en superficies como pisos, sino hacerlos parte de la estructura; ya que por su configuración permite tener espacios más funcionales representando una ventaja con respecto a la guadua rolliza y su acabado es arquitectónicamente diferente, lo cual constituye una alternativa más de espacios y viviendas.

Con el fin de desarrollar adecuadamente este “nuevo” material y como respuesta al buen comportamiento que venían presentando las estructuras en bambú guadua rolliza, se inicia un proceso de investigación de los laminados de bambú guadua con el fin de equiparlo con una material como la madera laminada la cual se encuentra cobijada por las normas (NSR-10).

1.3 INVESTIGACIONES PREVIAS.

En búsqueda de un conocimiento más amplio del tema del presente estudio, se mencionan las investigaciones relacionadas con tres contenidos fundamentales, caracterización del material, caracterización de elementos estructurales en este material y conexiones utilizando elementos estructurales de GLPP.

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Dentro de la primera temática a explorar es pertinente evaluar diferentes características del bambú guadua, sin embargo, es de primordial interés evaluar los esfuerzos que es capaz de resistir este material ya que de ello depende en gran medida el diseño de las conexiones a realizar en la presente investigación.

Este interés particular lo muestra la publicación *Determinación experimental de valores de esfuerzos admisibles para Guadua angustifolia Kunth* (Luna et al., 2010b), donde se explora una metodología para la determinación de esfuerzos admisibles en el bambú guadua angustifolia, con el fin de enmarcar el material dentro de uno de los materiales de construcción incluidos por la normatividad sismo resistente vigente, “para la determinación de los esfuerzos admisibles fueron realizados ensayos a compresión, tracción, corte, flexión y compresión perpendicular en probetas de la cepa, basa y sobrebasa, provenientes de guaduas de tres zonas diferentes de Colombia” (Luna et al., 2010b).

La metodología descrita en la mencionada publicación, describe el procedimiento desde la codificación y marcación de cada culmo de bambú guadua de edades entre los 3 y 5 años, pasando por el proceso de medida y corte de ellos, la digitalización de datos y el ensayo de las probetas.

Como resultado de esta investigación se recomiendan los esfuerzos admisibles de la guadua para tres casos de cargas diferentes (A. Carga muerta, B. Carga Muerta + Viva, C. Carga muerta + Viva + Viento o Sismo)¹, en la tabla 1 se resumen estos resultados.

¹ De acuerdo con lo establecido en la ISO 22157.

	Flexión F_b	Tensión II F_t	Compresión II F_c	Compresión \perp F_p	Corte II F_v
A	8.3	9.0	4.5	0.4	0.8
B	10.4	11.3	5.6	0.5	1.0
C	12.5	13.6	6.8	0.6	1.2

F_b: esfuerzo admisible a flexión, F_t: esfuerzo admisible a tensión paralela a la fibra, F_c: esfuerzo admisible de compresión paralela a la fibra, F_p: esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra y F_v: corte paralelo a la fibra.

Tabla 1: Esfuerzos admisibles de la guadua en MPa.

FUENTE: (Luna et al., 2010b)

Si bien esta investigación fue realizada sobre guadua rolliza y no laminada, aporta una metodología de caracterización y ensayo que es primordial a la hora de obtener laminados en guadua, adicionalmente da una primera idea del orden de los valores de resistencia del material.

Adicionalmente a la determinación de la resistencia del material en su estado natural es pertinente hacerlo de igual forma a los laminados producidos con bambú-guadua, para ello es preciso determinar inicialmente el tipo de pegante a utilizar en el laminado y la influencia que éste tiene sobre las propiedades mecánicas del mismo.

El estudio de este adhesivo y la influencia sobre el laminado fue desarrollado por Juan Carlos Cortés (Cortes 2009), quien partiendo de los adhesivos utilizados en maderas laminadas, Resorcina Fenol Formol (RFF) y Melamina urea formol (MUF) entre otros, realizó ensayos para medir de caracterización física y mecánica de la GLPP.

Para lograr la caracterización de los laminados, tanto física como mecánicamente, se realizaron pruebas de humedad, densidad y contracción, así como ensayos de flexión, de los cuales se obtuvieron los resultados resumidos en las tablas 2 y 3.

Continuando con su investigación Cortés llevó a cabo otros ensayos documentados en el artículo *Assessment of the influence of glue type in the mechanical behavior of glued laminated guadua (bamboo)* (Cortes 2009), para determinar la resistencia mecánica de la GLPP ante otras sollicitaciones de las cuales se resaltan los resultados de ensayos de corte y compresión.

Caracterización física del bambú guadua laminada pegada prensada

Para llevar a cabo esta actividad, Cortés (Cortés, 2009) en su investigación construyó 20 probetas para cada uno de los tipos de pegante (melamina, resorcinol, PVA y cola de carpintería) y para una muestra de caracterización, concluyendo que el laminado de guadua, debido a su densidad se comportaba similar a una madera tipo A (JAC, 1986). Los resultados encontrados en esta caracterización se encuentran en la tabla 2.

Humedad Guadua Verde	=	75.00%
Humedad Guadua Seca	=	13.78%
Humedad de Equilibrio	=	8.00%
Densidad Nominal	=	0.7 gr/cm ³
Contraccion Longitudinal	=	0.13%
Contraccion Tangencial	=	11.56%
Contraccion Radial	=	14.54%
Contraccion Tangencial/Radial	=	0.80%

Tabla 2: Caracterización física de GLPP

FUENTE: (Cortes 2009)

Caracterización mecánica del bambú guadua laminada pegada prensada

Para lograr esta caracterización se elaboraron 20 probetas con los cuatro tipos de pegante donde se midieron y evaluaron los desplazamientos en los centros de luces de las probetas ensayadas a flexión encontrando características como deformaciones máximas, ductilidad, módulo de elasticidad y resistencia utilizando cada uno de los tipos de pegante como material de pega; esta información se ilustra en la tabla 3, donde se observa claramente las diferencias y la influencia que tiene el pegante en laminados de guadua sometidos a esfuerzos de flexión.

	DUCTILIDAD	RESISTENCIA MÁXIMA A FLEXIÓN (kg/cm ²)	MODULO DE ELASTICIDAD A FLEXIÓN (kg/cm ²)
MELAMINA	3.77	741.60	86016.35
RESORCINOL	4.23	743.83	80199.37
PVA	4.45	614.65	54225.70
COLA DE CARPINTERO	7.61	510.84	102071.92

Tabla 3: Caracterización mecánica de probetas de GLPP - Flexión

FUENTE: (Cortes 2009)

Adicionalmente se llevó a cabo el ensayo de 198 probetas para la evaluación de la capacidad de corte paralelo y 48 para corte perpendicular a la fibra de las secciones de GLPP. Estos ensayos, en los cuales se tomaron medidas indirectas del corte, permitieron encontrar los esfuerzos admisibles que posteriormente serían usados en el diseño de las conexiones de guadua, de la presente investigación. Los resultados se encuentran en las tablas 4 y 5.

PEGANTE	ESFUERZO MÁXIMO AL CORTE PARALELO $f_v \parallel$ (kg/cm²)
MELAMINA	47.08
RESORCINOL	51.00
PVA	17.57
COLA	32.25

Tabla 4: Caracterización mecánica de probetas de GLPP – Corte Paralelo
FUENTE: (Cortes 2009)

PEGANTE	ESFUERZO MÁXIMO AL CORTE PERPENDICULAR $f_v \perp$ (kg/cm²)
MELAMINA	49.99
RESORCINOL	43.47
PVA	49.02
COLA	36.68

Tabla 5: Caracterización mecánica de probetas de GLPP – Corte Perpendicular
FUENTE: (Cortes 2009)

Para continuar la caracterización mecánica se ensayaron 48 probetas más, esta vez con carga de compresión perpendicular a la fibra. Durante el ensayo se tomaron medidas de la carga en el momento de la falla y del área cargada directamente en la probeta, de tal manera que se pudiera determinar el esfuerzo máximo como la relación entre carga y área, encontrando así el valor de esfuerzo máximo a compresión perpendicular contenido en la tabla 6, primordial para la etapa de diseño de esta investigación.

PEGANTE	ESFUERZO MÁXIMO A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR $f_c \perp$ (kg/cm ²)
MELAMINA	216.35
RESORCINOL	206.28
PVA	245.46
COLA	239.53

Tabla 6: Caracterización mecánica de probetas de GLPP – Compresión Perpendicular
FUENTE: (Cortes 2009)

Las investigaciones del Ingeniero Juan Carlos Cortés (Cortés,2009) fueron primordiales para la determinación con mayor precisión y criterio del tipo de pegante a utilizar en los elementos estructurales de guadua que componen las conexiones a diseñar en el transcurso de esta investigación, así como la determinación de los valores de resistencia a corte y compresión que serán de ayuda para la clasificación de la GLPP dentro de uno de los grupos de madera contenidos en el Manual de Diseño de Maderas del Grupo Andino (JAC, 1986)

Al igual que la investigación anterior ésta también provee una metodología, de obtención de probetas y caracterización de las mismas generando más y mejores herramientas para la consecución del material utilizado en el proyecto.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN BAMBÚ GUADUA LAMINADA

Una vez caracterizado el material, fue preciso ahondar en el procedimiento a seguir para elaborar el diseño de elementos estructurales de GLPP.

En las investigaciones mencionadas a continuación se revisa el comportamiento del material (GLPP), cuando hace parte de un elemento estructural, tales como vigas, muros y columnas. Es pertinente mencionar estas investigaciones debido a que permiten concluir sobre el comportamiento de la guadua laminada al usarse en elementos como vigas y columnas que conforman la estructura del proyecto de vivienda al cual se le diseñarán las conexiones.

En primera instancia puede destacarse la investigación llevada a cabo por el Ing. Nelson Rodríguez (Rodríguez, 2011), quien desarrolló tablas y gráficos para el

diseño a flexión de vigas en guadua laminada pegada prensada y evaluó la influencia de la densidad de la guadua en sus esfuerzos admisibles.

Rodríguez (Rodríguez, 2011) en su investigación evaluó la influencia de la densidad de la guadua en la resistencia a flexión y la rigidez de las vigas de GLPP, clasificando las láminas utilizadas en su elaboración como de alta y baja densidad y generando 4 configuraciones diferentes de disposición de láminas. Fabricó 30 vigas por cada una de las configuraciones y encontró la densidad de la sección a partir de relaciones de peso y volumen.

Una vez fabricadas las 120 vigas, las ensayo hasta la falla encontrando la carga ultima a flexion, así como las medidas de desplazamientos en los centros de luces (medidas directamente en las probetas), con el fin de determinar el modulo de elasticidad del material tabla 7, adicionalmente encontró las máximas cargas y deformaciones elásticas de las secciones.

CONFIGURACIÓN DE DENSIDAD	MÓDULO DE ELASTICIDAD A FLEXIÓN (Kg/cm²)	DESVIACIÓN ESTANDAR (Kg/cm²)
ALTA (A)	66390.80	14569.79
BAJA (B)	60578.56	16662.48
ALTA Y BAJA INTERCALADAS (ABA)	54386.56	14828.15
ALTA/BAJA/ALTA (3A3B3A)	55741.74	15819.40

Tabla 7: Módulo de elasticidad a flexión de vigas de diferente densidad - según análisis estadístico

FUENTE: (Rodríguez, 2011)

Luego de esto y a partir de una nueva configuración de láminas, Rodríguez (Rodríguez, 2011) ensayó 50 vigas macizas con longitudes variables, las cuales ensaya a flexión y mediante la toma de datos de los desplazamientos en los centros de las luces junto con los valores de cargas aplicadas se puede determinar el módulo de elasticidad a flexión del material (tabla 8), tabla que fue la base para el valor de módulo de elasticidad utilizado en el desarrollo del presente proyecto.

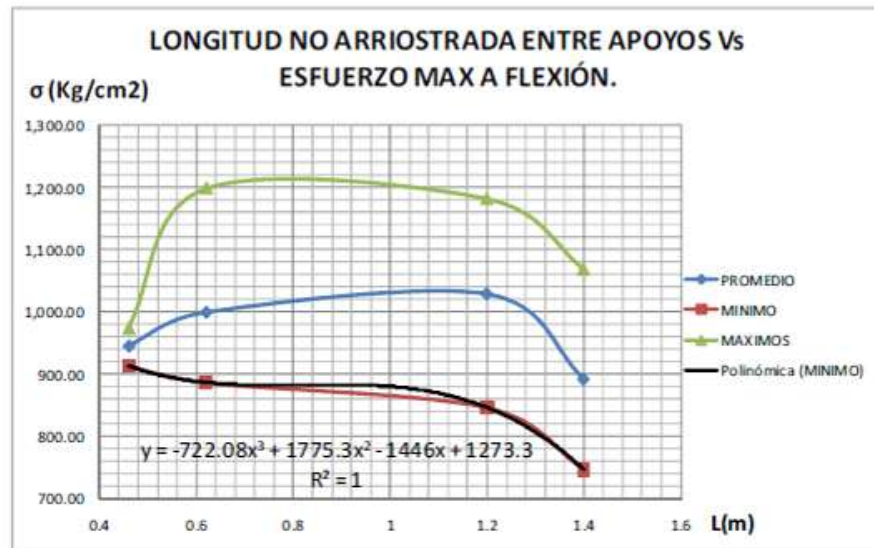
VIGAS TIPO	LUZ ENTRE APOYOS L (m)	MOD. ELASTICIDAD PROM (Kg/cm ²)	DESV. ESTANDAR (Kg/cm ²)
A	1.4	201,610	20,494
B	1.2	204,220	22,940
D	0.62	160,977	11,780
E	0.46	126,535	5,528

Tabla 8: Módulo de elasticidad a flexión de vigas macizas- según análisis estadístico
 FUENTE: (Rodríguez, 2011)

Adicionalmente al cargar las vigas hasta la falla o hasta la pérdida de resistencia pudo determinar el esfuerzo máximo a flexión de las secciones en función de su longitud (tabla No. 9), elaborando así gráficas de diseño de secciones macizas en guadua laminada pegada (grafica 1).

VIGAS TIPO	LUZ ENTRE APOYOS L (m)	ESF. MAX A FLEXIÓN PROM (Kg/cm ²)	DESV. ESTANDAR (Kg/cm ²)
A	1.4	892.63	114.28
B	1.2	1,028.47	125.12
D	0.62	999.32	101.91
E	0.46	945.26	23.26

Tabla 9: Valores de esfuerzo máximo a flexión para diferentes longitudes de vigas de GLPP
 FUENTE: (Rodríguez, 2011)



Grafica 1: Esfuerzo admisible de vigas macizas de GLPP en función de la longitud no arriostrada

FUENTE: (Rodríguez, 2011)

Complementando los resultados anteriores el ingeniero Rodríguez ensayó 50 vigas más de sección cajón, tanto sus secciones transversales como su longitud eran variables.

El ensayo consistió en la aplicación de dos cargas puntuales, debajo de estos puntos se tomaron lecturas de desplazamientos, al igual que en el centro de la luz; con esto determinó el modulo de elasticidad (tablas 10 y 11), los esfuerzos máximos admisibles y las gráficas de diseño (grafica 2), al igual que con las secciones macizas

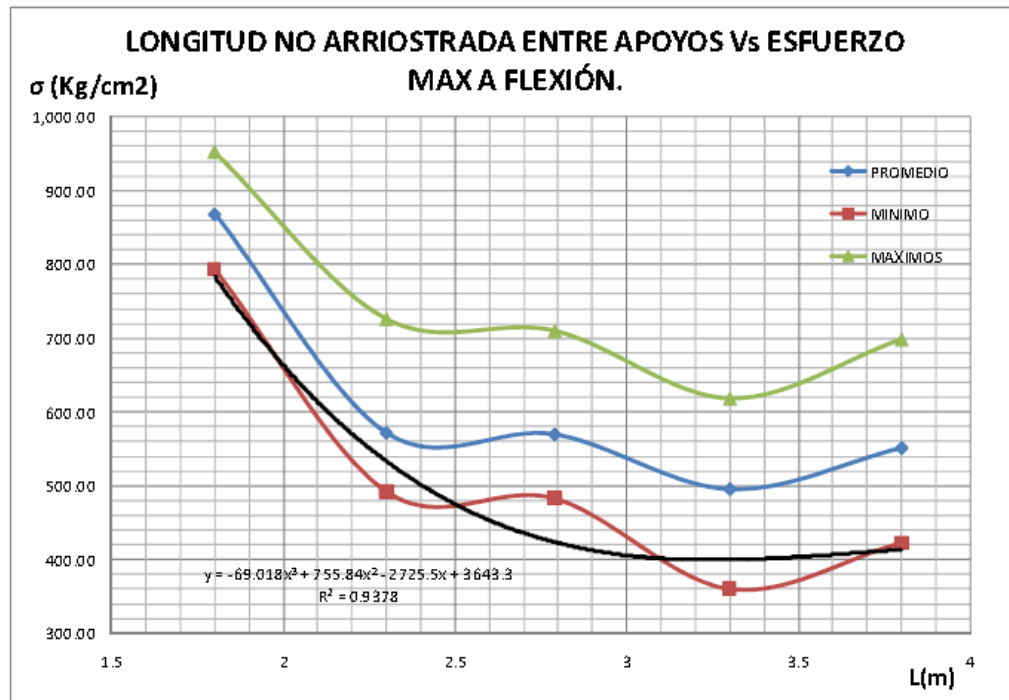
VIGAS TIPO	LUZ ENTRE APOYOS L (m)	MOD. ELASTICIDAD PROM (Kg/cm ²)	DESV. ESTANDAR (Kg/cm ²)
A	3.80	183,766	21,594
B	3.30	189,868	11,462
C	2.79	193,291	11,997
D	2.30	202,047	18,242
E	1.80	216,111	7,274

Tabla 10: Módulo de elasticidad a flexión de vigas cajón - según análisis estadístico
FUENTE: (Rodríguez, 2011)

VIGAS TIPO	LUZ ENTRE APOYOS L (m)	ESF. MAX A FLEXIÓN PROM (Kg/cm ²)	DESV. ESTANDAR (Kg/cm ²)
A	3.8	551.63	105.38
B	3.3	495.95	81.67
C	2.79	570.05	70.83
D	2.3	572.21	77.78
E	1.8	868.45	61.76

Tabla 11: Valores de esfuerzo máximo a flexión para diferentes longitudes de vigas cajón de GLPP

FUENTE: (Rodríguez, 2011)



Grafica 2: Esfuerzo admisible de vigas cajón de GLPP en función de la longitud no arriostada

FUENTE: (Rodríguez, 2011)

Con el desarrollo de estas tablas de diseño se tiene un aporte importante a la presente investigación, ya que permitió la clasificación de la guadua laminada pegada prensada, según sus esfuerzos admisibles y facilitó el proceso de diseño de elementos.

Como complemento a la investigación sobre elementos tipo viga, del ingeniero Rodríguez, es necesario conocer el comportamiento de otros tipos de elementos estructurales en este mismo material, tales como columnas. En el documento *Diseño de Columnas en Guadua Laminada Prensada Pegada* (Luna, Moreno et al. 2010), se encuentra el módulo de elasticidad y curvas esfuerzo vs relación de esbeltez de diferentes configuraciones de columnas, en secciones macizas y cajón.

En dicho documento se mencionan los ensayos de compresión para 4 diferentes configuraciones de sección transversal de columnas (figura 1) y a partir de la aplicación de las cargas y de la medición de los estados límites se generó una curva esfuerzo deformación para secciones cajón (grafica 3) y maciza (grafica 4).

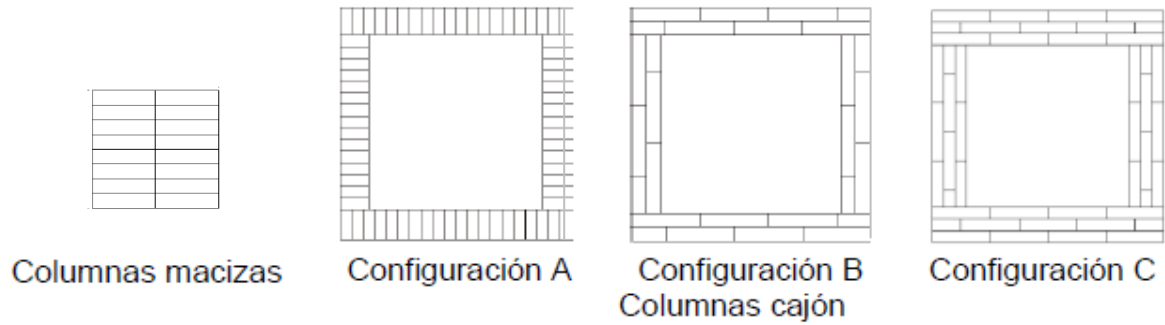
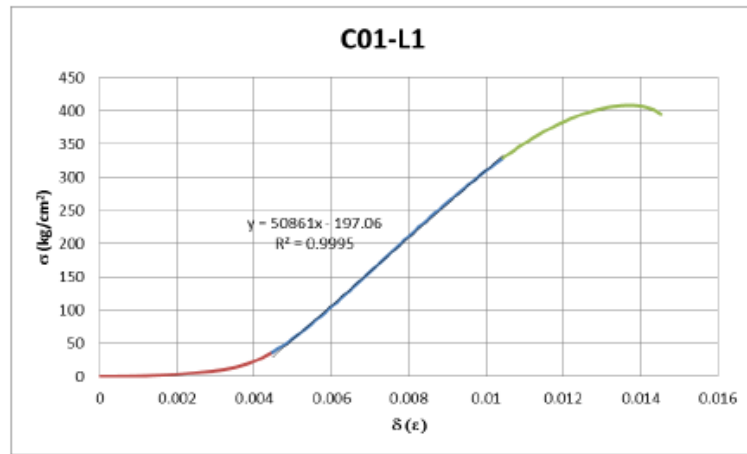
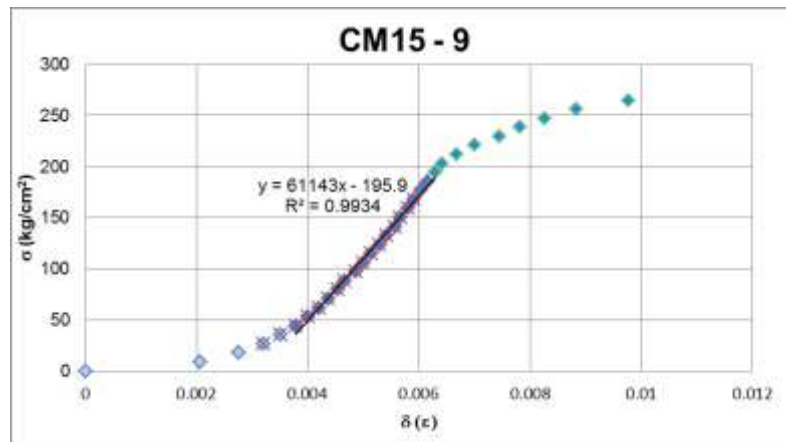


Figura 1: Configuraciones de secciones transversales en columnas
 FUENTE: (Luna et al., 2010a)



Grafica 3: Curva esfuerzo deformación columnas sección cajón
 FUENTE: (Luna et al., 2010a)



Grafica 4 Curva esfuerzo deformación columnas sección maciza
 FUENTE: (Luna et al., 2010a)

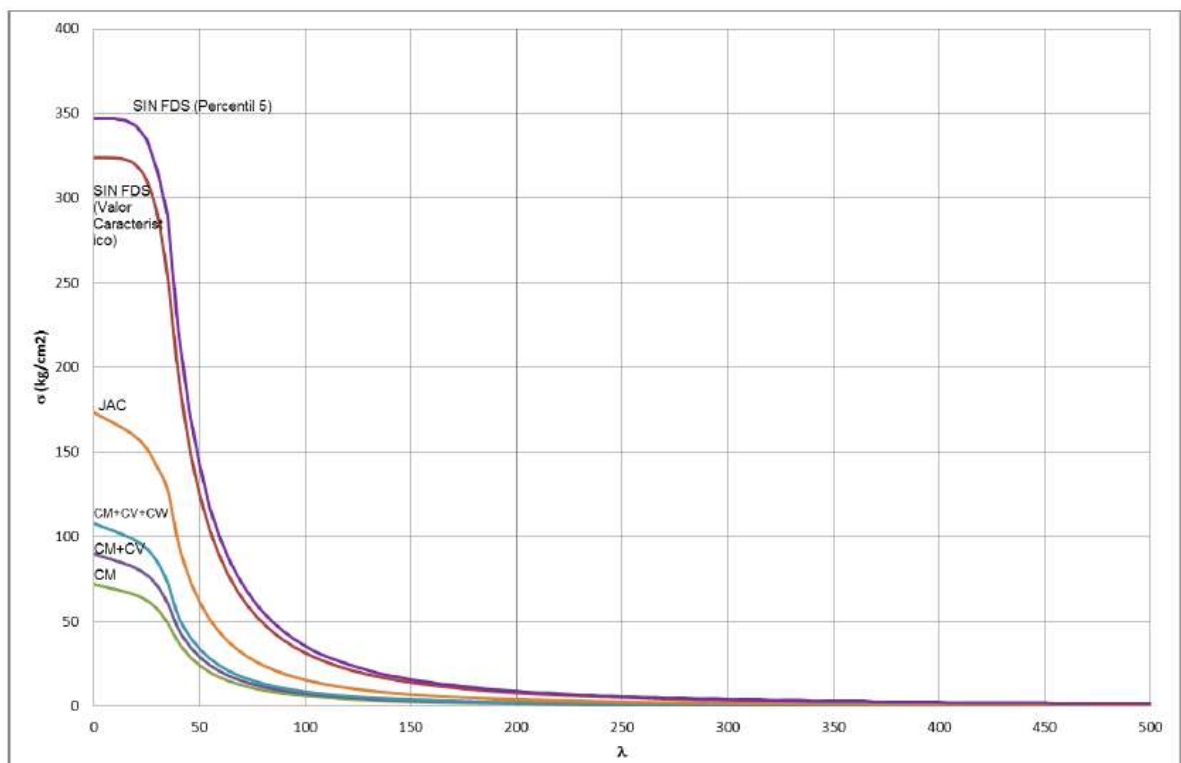
Adicionalmente a las relaciones esfuerzo deformación se encontraron los valores del módulo de elasticidad a compresión de las diferentes secciones, cuyos resultados se ilustran en la tabla 12 y la curva de diseño que relaciona el esfuerzo admisible vs la relación de esbeltez (grafica 5) en función de diferentes factores de seguridad utilizados en varios manuales y normas.

SECCION COLUMNA	E_{prom} (kg/cm ²)	$E_{0.05}$ (kg/cm ²)	E_k (kg/cm ²)
MACIZA	59239.27	20612.80	15930.94
CAJON	46532.46	35977.40	31817.70

E_{prom} (Promedio), $E_{0.05}$ (Percentil 5), E_k (Característico)

Tabla 12: Módulos de elasticidad a compresión

FUENTE: (Luna et al., 2010a)



Grafica 5: Curva esfuerzo admisible vs. Relación de esbeltez, columnas sección cajón

FUENTE: (Luna et al., 2010a)

La mencionada publicación hace un aporte importante al diseño de conexiones de esta tesis ya que clasifica la guadua como un material dúctil y contribuye con la estimación de valores de módulos de elasticidad y gráficas de diseño que permitirán un adecuado dimensionamiento y diseño de las columnas y por tanto de sus conexiones a otros elementos estructurales.

CONEXIONES ENTRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN BAMBÚ GUADUA LAMINADA.

El tema de las conexiones entre elementos de bambú guadua laminada es el componente final para llevar a cabo el proyecto de vivienda en el cual se ha venido trabajando en los últimos años, ya que esto completaría el sistema estructural de la vivienda, haciéndola totalmente funcional y parte de un sistema estructural óptimo y aplicable a casos reales.

En la actualidad existen pocas investigaciones sobre conexiones entre elementos de guadua laminada, una de ellas es la realizada por Juan Atoche: *Evaluación del comportamiento estructural de conexiones de guadua laminada* (Atoche 2009), quién realiza ensayos sobre conexiones entrabadas con varios planos de corte entre elementos de bambú guadua laminada (figura 2).

Si bien la investigación de Atoche profundiza sobre otra clase de conexiones, cabe resaltarla, ya que da algunas apreciaciones sobre el comportamiento de las conexiones dependiendo del sentido de la carga de los elementos unidos. Para ello se realizaron pruebas a corte y flexión en los dos sentidos (paralelo y perpendicular a la fibra de la guadua), encontrando como principal conclusión que las conexiones en guadua laminada prensada pegada presentan una resistencia considerablemente mayor cuando se cargan de manera paralela la fibra que, cuando se realiza el mismo procedimiento de manera perpendicular a ésta.

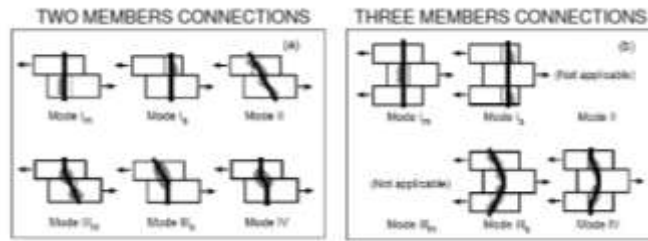


Figura 2: Tipos de conexiones con 2 y 3 secciones
FUENTE: (Atoche, 2009)

Adicionalmente también demuestra que el uso de diámetros grandes en los elementos conectores, como pasadores reducen, considerablemente el valor de la resistencia última de la conexión

Otro desarrollo importante y que puede considerarse como el primer paso del desarrollo de conexiones tipo pórtico, es el estudio desarrollado por P. Vergara: *Comportamiento viga-columna en guadua laminada, pegada y prensada* (Vergara, 2010), en el cual se observa el proceso de fabricación, prueba y falla de probetas de conexiones viga columna compuestos por secciones de guadua laminada en sección cajón y de medidas de 8 por 10 cm, cuyas uniones se hicieron mediante ángulos y láminas metálicas.

Se ensayaron dos tipos de conexiones, aplicando una carga sobre el extremo de la viga y sujetando los extremos superior e inferior de la columna (figura 3). Durante esta prueba se midieron desplazamientos verticales en la viga y horizontales en la columna, así como los giros presentados por la conexión.

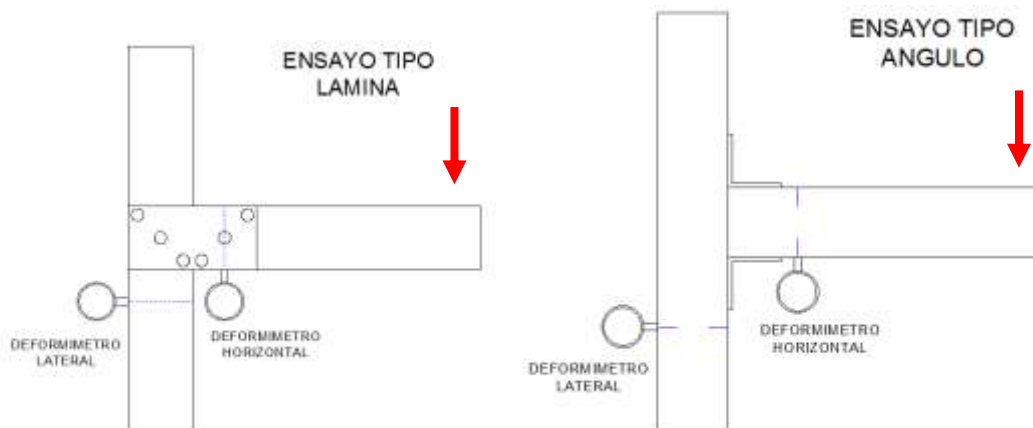


Figura 3: Prototipos ensayados
FUENTE: (Vergara,2010)

Como consecuencia de estas pruebas se encontraron tres resultados importantes, daño de la sección de guadua, desplazamiento uniforme de la unión y desplazamiento diferencial de la misma.

El desplazamiento uniforme de la unión se presentó en las conexiones tipo ángulo, por lo cual se concluyó que este tipo de unión era la más apropiada para pórticos o secciones que, como requerimiento, tuvieran que mantener el ángulo inicial entre los elementos conectados.

Basándose en el documento de Vergara (Vergara,2010) y como parte del desarrollo de la temática del proyecto: *Diseño y construcción de vivienda con elementos estructurales en Guadua laminada prensada pegada* (Luna, Moreno et al. 2010), se ensayaron pórticos fabricados con guadua laminada prensada pegada, con cargas monotónicas y cíclicas.

Estos ensayos se ejecutaron sobre ocho pórticos con las características que se ilustran en la figura 4 y cuyas uniones en ángulo correspondieron a las mismas ensayadas por Vergara (Vergara, 2010), adicionalmente se generaron arriostramientos en los pórticos ensayados mediante diagonales (tipo k) o paneles dispuestos entre ellos.

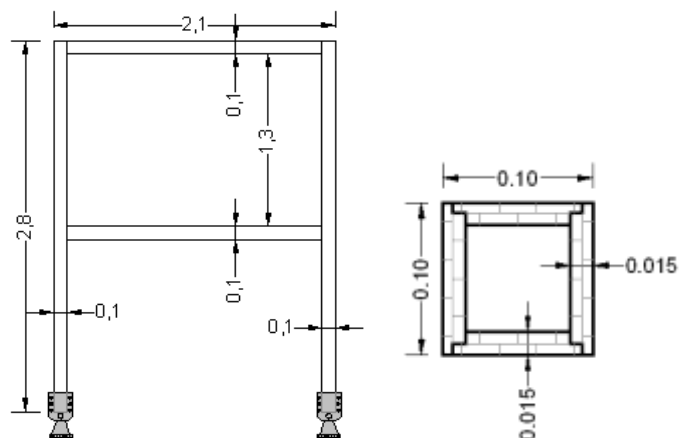
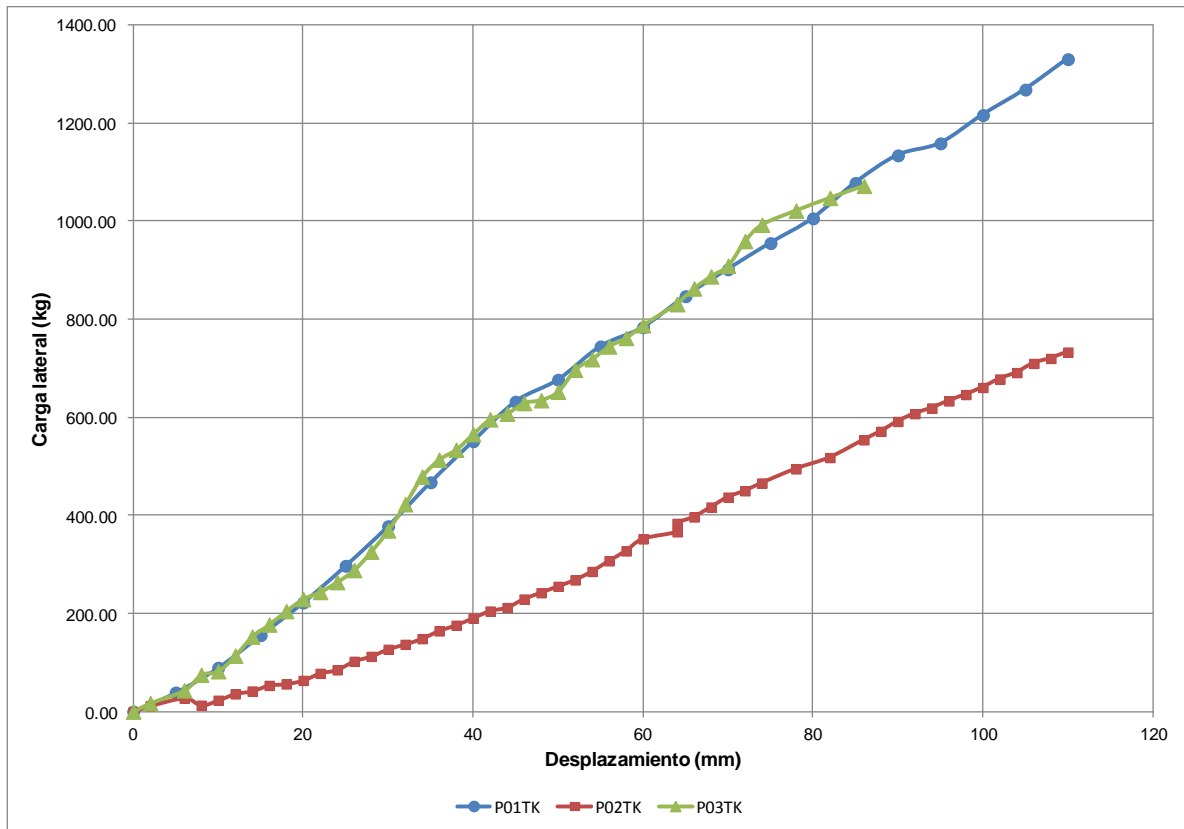


Figura 4: Esquema pórticos ensayados

FUENTE: (Vergara,2010)

El ensayo de estos prototipos se realizó mediante un gato hidráulico que desplazó lateralmente. El desplazamiento máximo en la parte superior fue de 100 mm. Con base en este ensayo se obtuvieron gráficas de carga desplazamiento (grafica 6), logrando así dilucidar el proceder del material cuando éste es usado en elementos estructurales, encontrando que presentaba un comportamiento dúctil ante la aplicación de cargas.



Grafica 6: Curva carga deformación pórticos con arriostramiento tipo k

FUENTE: (Luna, Takeuchi, 2012)

Adicionalmente dos de los prototipos se ensayaron con cargas cíclicas, logrando mediante el análisis de sus resultados obtener información sobre la capacidad de disipación de energía del material y sus valores de rigidez.

En términos generales las investigaciones anteriormente expuestas pueden enmarcarse en las temáticas desarrolladas, utilizando los criterios, respuestas y

fallas encontradas en ellas para dar el adecuado desarrollo a la presente investigación y dar un marco de referencia al área de estudios en la cual va a desenvolverse este trabajo investigativo.

A partir de los documentos y experiencias expuestas queda en evidencia la necesidad de ahondar en el desarrollo de las conexiones entre elementos estructurales de un proyecto de vivienda (principal objetivo del presente trabajo), ya que se encuentra información sobre el comportamiento de elementos de GLPP, pero para poder garantizar la estabilidad y funcionalidad de un proyecto de vivienda es de vital importancia que la estructura funcione como un todo, es decir que sus elementos se encuentren apropiadamente conectados, por lo que se generó la necesidad a desarrollar en esta investigación.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar diferentes tipos de conexiones estructuralmente funcionales en las cuales el material de los elementos sea el bambú guadua laminada prensada pegada (GLPP). Como parte de un proyecto de vivienda.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y estudiar el comportamiento de conexiones entre elementos estructurales cuyo material es el Bambú GLPP.
- Comparar el comportamiento de las conexiones modeladas computacionalmente contra los resultados obtenidos mediante el ensayo físico de las mismas.
- Evaluar la eficiencia de algunas conexiones diseñadas en una prueba de carga real.

3. METODOLOGIA

3.1 ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE SOLICITACIONES DEL PROTOTIPO

En función de una arquitectura definida que responde a unas necesidades de vivienda de interés social y como parte del proyecto, *Diseño y construcción de vivienda con elementos estructurales en Guadua laminada prensada pegada* (Luna, Takeuchi, 2012) se desarrolló una simulación numérica por medio de la cual se evaluó el comportamiento estructural de la misma, con el fin de darle la funcionalidad acorde a las reglamentaciones vigentes para la cual fue concebida y dar los datos necesarios para el desarrollo de la presente investigación.

Para el avance de este ítem se hizo uso de la herramienta informática ETABS®, mediante la cual se simuló con la mejor aproximación posible cada elemento como vigas, columnas, viguetas y placas, que conforman la estructura de la vivienda; así como las solicitaciones a la cual ésta estaría sometida una vez puesta en funcionamiento.

Como normatividad base para el desarrollo y análisis de esta simulación se utilizaron las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (AIS, 1998), teniendo en cuenta todos los parámetros de asignación de cargas y análisis sísmico y de viento que producirían las solicitaciones a las cuales se encontraba cada elemento de la vivienda.

Para proceder con la simulación se tomó la arquitectura base, ilustrada en las figuras 5 y 6, y se procedió al dimensionamiento de los elementos.

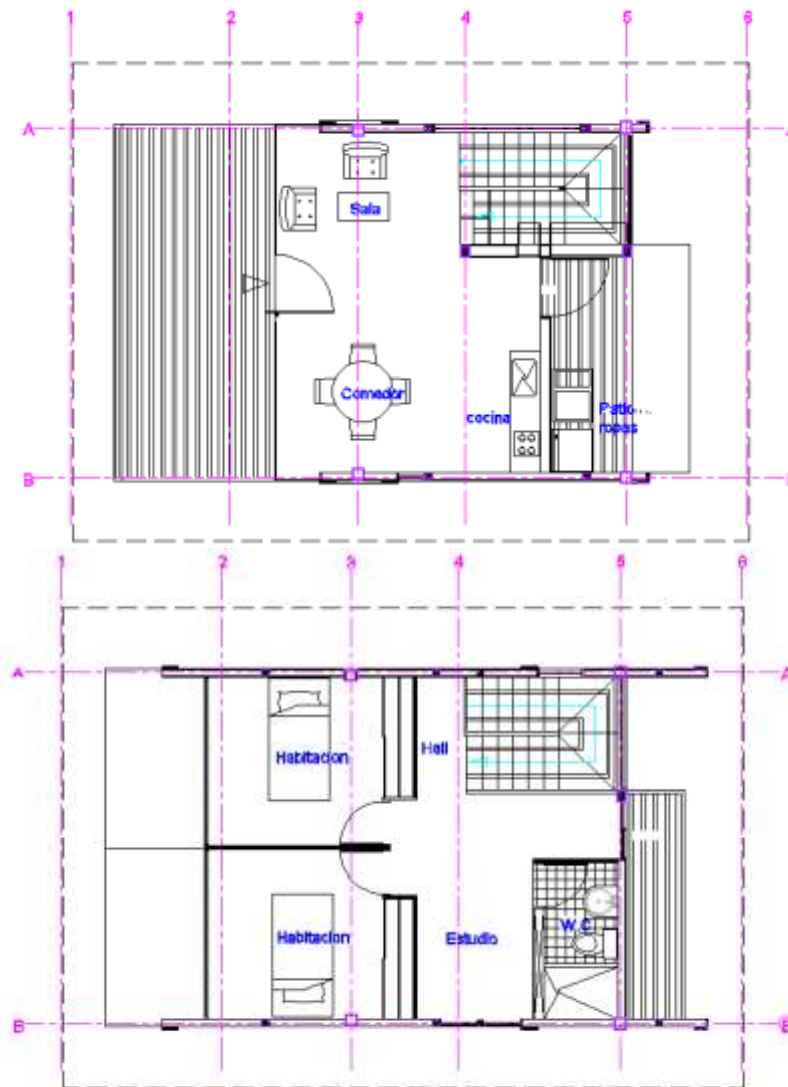


Figura 5: Arquitectura plantas de piso 1 y 2 de vivienda en guadua laminada
FUENTE: (Rodriguez J., 2010)

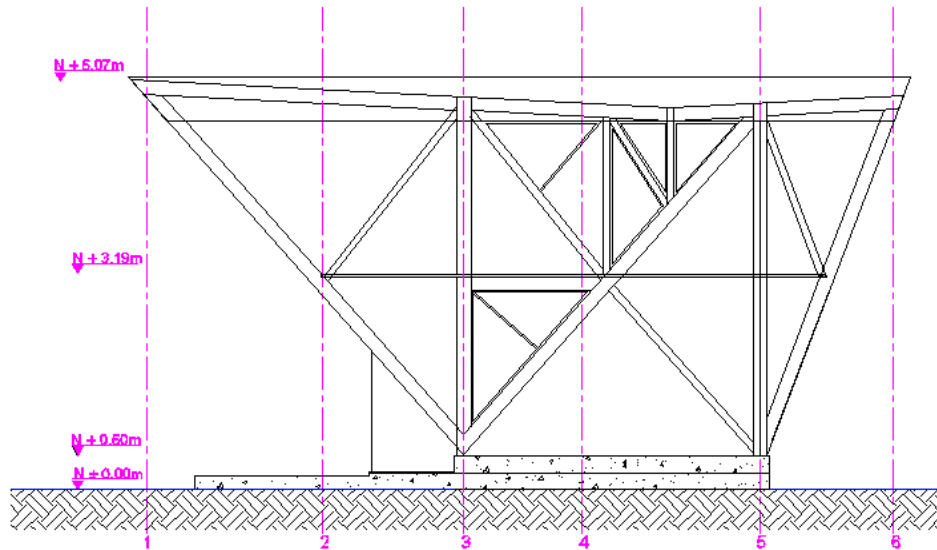


Figura 6: Corte arquitectónico de vivienda en guadua laminada
FUENTE: (Rodriguez j., 2010)

Se asignaron secciones cajón de 20x20 cm para las columnas y algunas diagonales, secciones macizas de 5x20 cm hasta 20x20 cm para las vigas y demás diagonales. Estas secciones se ilustran en las figuras No. 7, 8, 9 y 10.

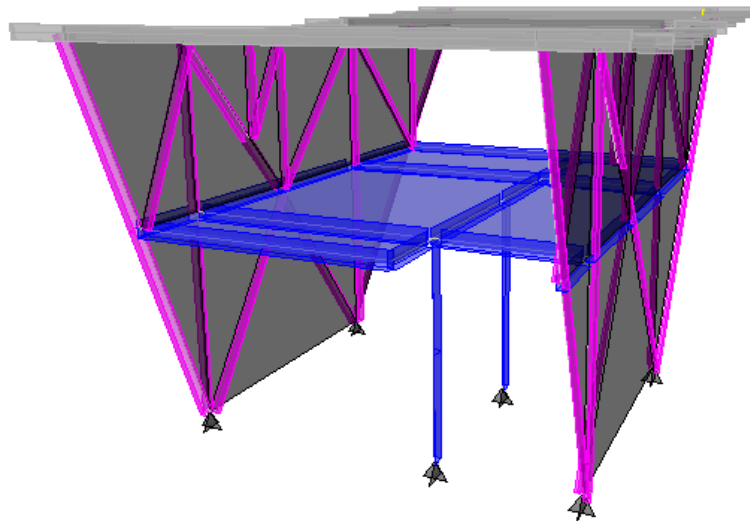


Figura 7: Vista 3D de elementos estructurales de vivienda de guadua laminada

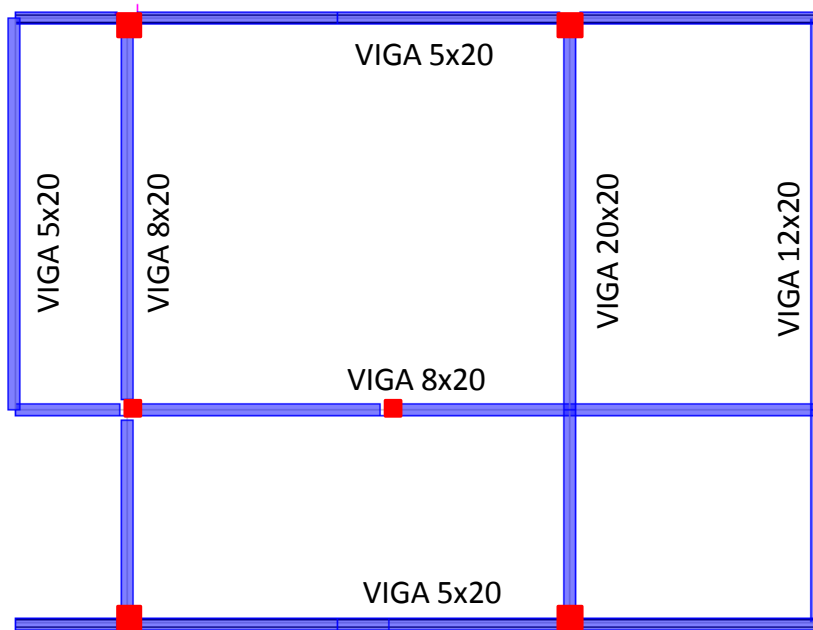


Figura 8: Definición secciones de vigas planta de piso 2 de vivienda de guadua laminada

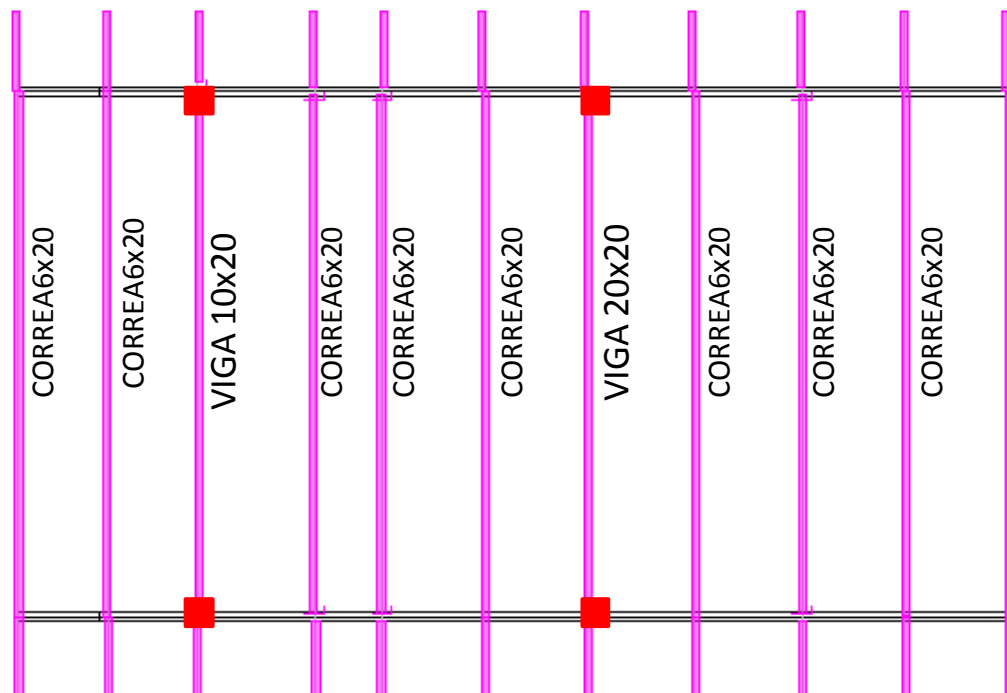


Figura 9: Definición secciones de vigas de cubierta de vivienda de guadua laminada

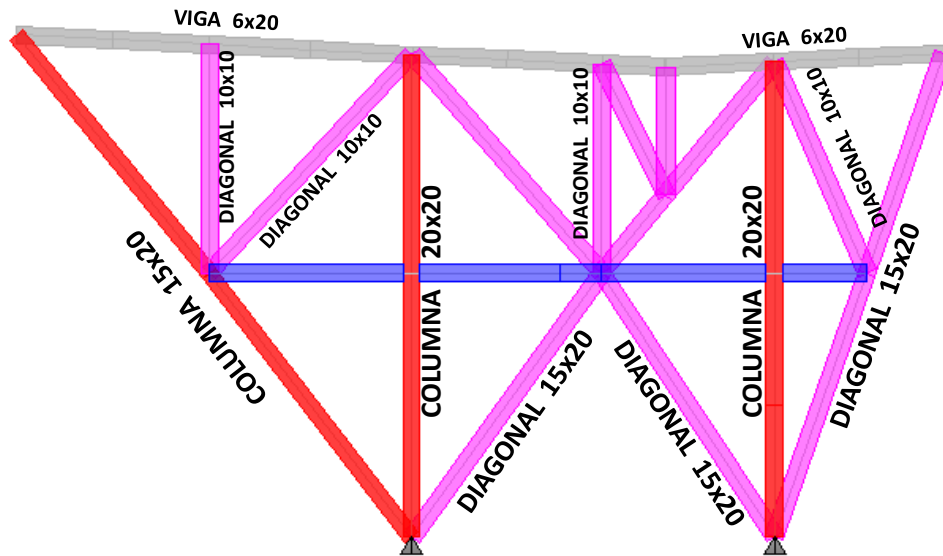


Figura 10: Definición secciones de vigas y columnas vivienda de guadua laminada

Posterior al prediseño de los elementos se asignaron las cargas muertas y vivas (tabla 13), sismo y viento (Anexo No. 1) para el análisis numérico de la estructura así como las combinaciones de carga y los requerimientos necesarios según la normatividad utilizada.

ANÁLISIS DE CARGA ENTREPISO		ANÁLISIS DE CARGA CUBIERTA	
Muertas	135.58 Kg/m²	Muertas	25.65 Kg/m²
Tbлерos OSB =	36.00 Kg/m ²	Peso Triplex =	2.40 Kg/m ²
Viguetas Madera =	11.25 Kg/m ²	Viguetas Madera =	11.25 Kg/m ²
Divisiones Livianas =	87.80 Kg/m ²	Teja Termoacustica =	12.00 Kg/m ²
Acabado en Madera =	0.53 Kg/m ²		
Vivas	180.00 Kg/m²	Vivas	180.00 Kg/m²
Residencial =	180.00 Kg/m ²	Residencial =	180.00 Kg/m ²

Tabla 13: Cargas muertas y vivas usadas en la simulación numérica de la vivienda de guadua laminada

Con los resultados del análisis numérico contenidos en el documento de Luna – Takeuchi (Luna, Takeuchi, 2012) se obtuvo la información necesaria para la etapa de diseño de conexiones de la presente investigación.

DISEÑO DE CONEXIONES

En términos generales la estructura de guadua laminada está conformada por tres pórticos resistentes a momento² y los demás elementos y diagonales se unen mediante conexiones que no transmiten momento; esta situación se ilustra en la figura 12 donde los pórticos se identifican con color rojo y los demás elementos en color verde.

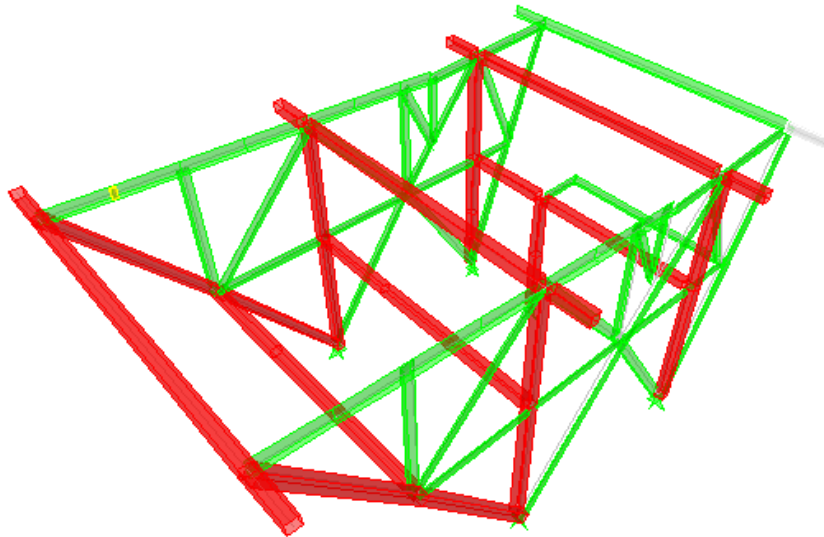
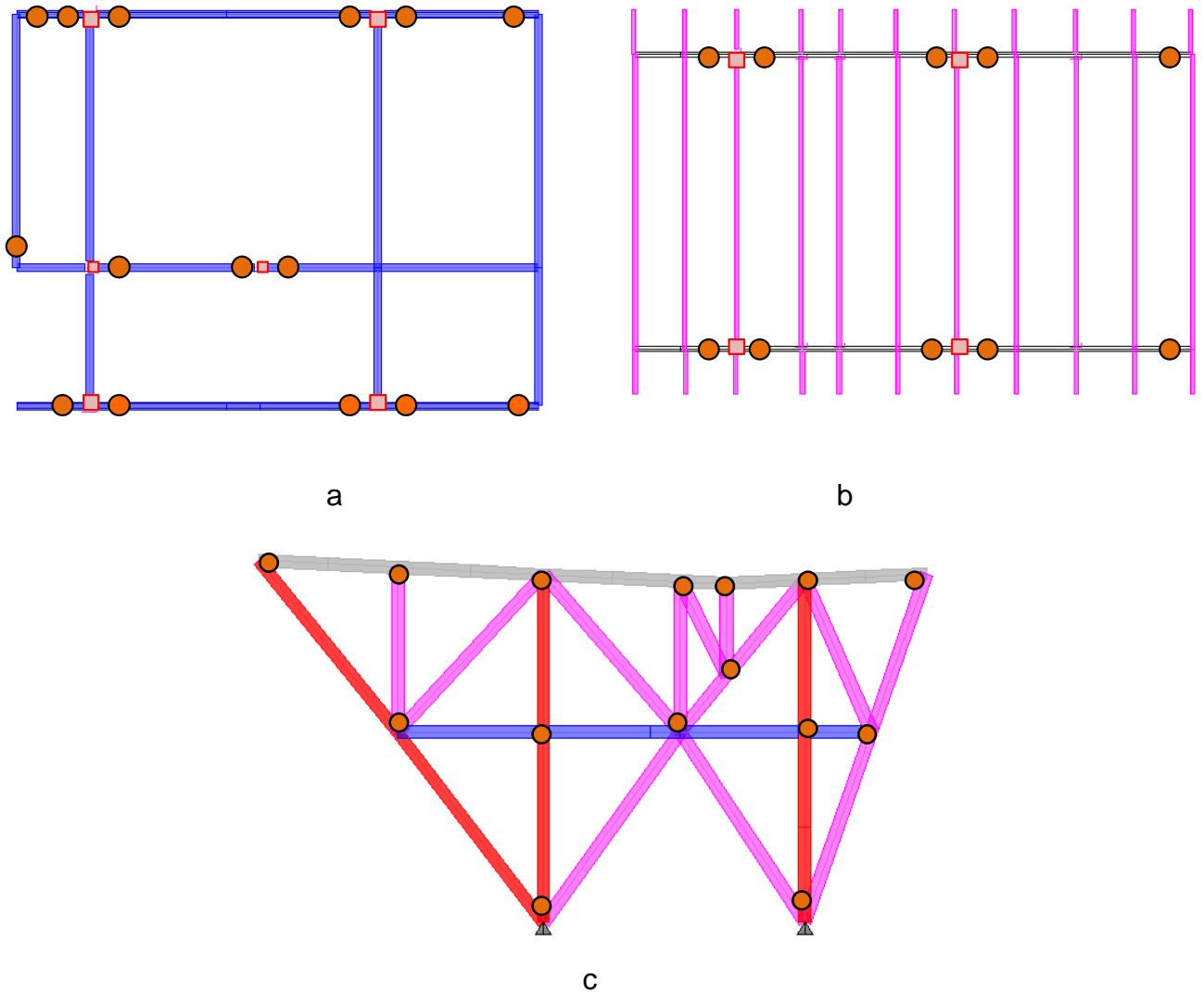


Figura 12: Identificación de pórticos resistentes a momento

Como parte de la simulación y siguiendo la concepción de pórticos de la estructura se definieron elementos con uniones a momento y otros con uniones articuladas, en la figura 13 se pueden apreciar en cada piso las uniones donde no hay transferencia de momentos (articulaciones), representados con los puntos resaltados de color naranja. Se observa que las vigas que unen los pórticos, no asumen momentos en sus extremos, al igual que todas las diagonales y elementos que conforman las cerchas planas de los costados laterales de la estructura.

² El pórtico más a la izquierda de la figura 16 es inclinado y recibe el nombre de pórtico 3, el que se encuentra en el medio es el pórtico 2 y el de la derecha el pórtico 1.



a (Estructura piso 2), b (Estructura cubierta), c (Vista lateral)

Figura 13: Puntos de no transmisión de momentos

Con base en su funcionamiento las conexiones se dividieron en tres grupos identificados en la figura 14: conexiones resistentes a momento (conexión P2-T2)³, conexiones no resistentes a momento (C1-T6)⁴ y conexiones de empates entre elementos (D1-T1)⁵.

³ Conexión tipo 2 perteneciente al pórtico No. 2

⁴ Conexión tipo 6 perteneciente a la cercha No. 1

⁵ Conexión de empate tipo 1 de la diagonal No. 1

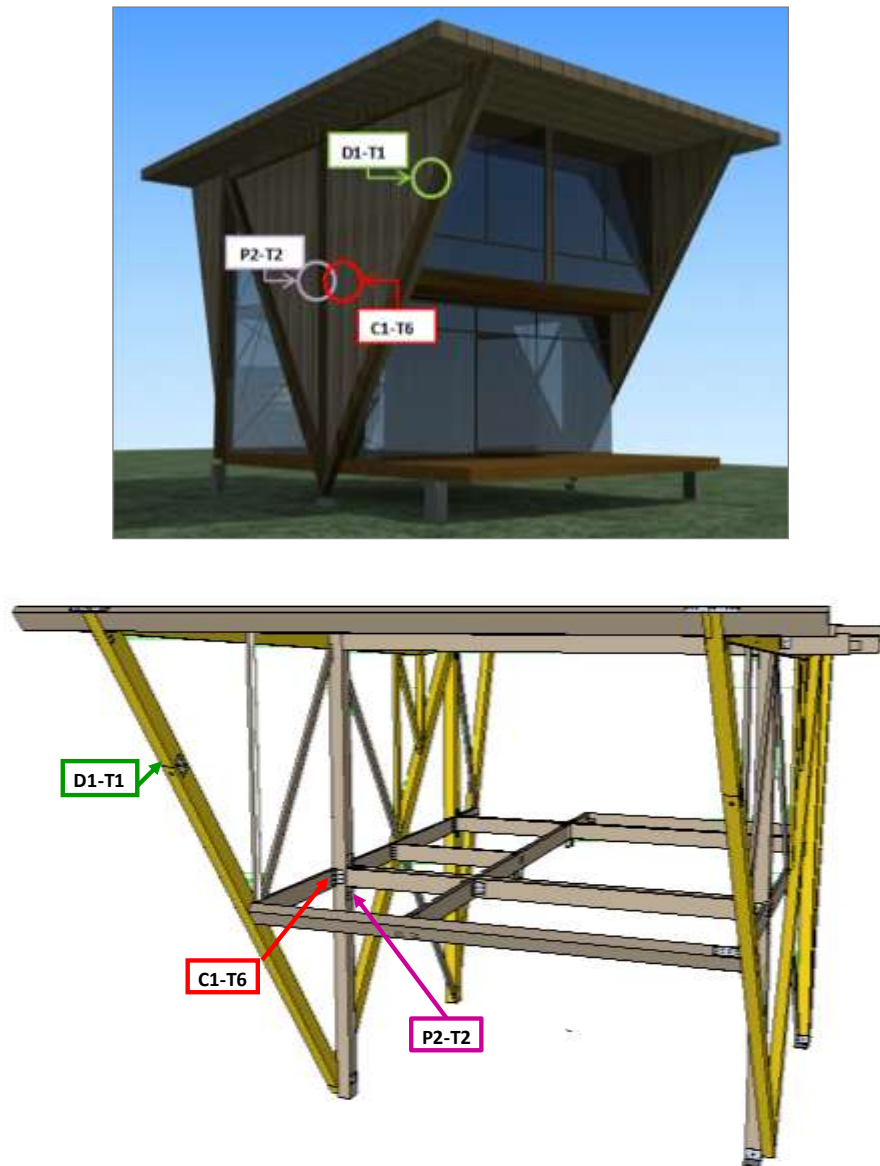


Figura 14: Identificación de los 3 tipos de conexiones estudiadas

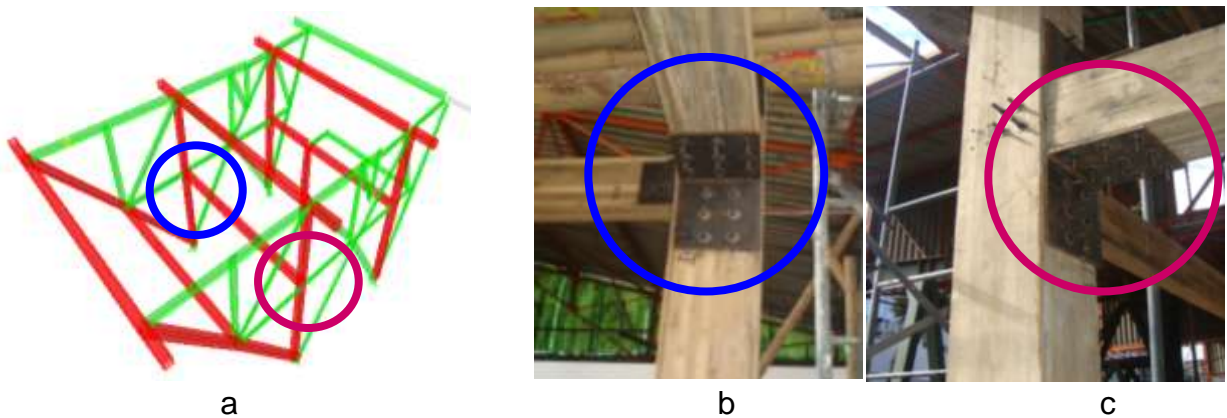
Con los resultados obtenidos a partir de la simulación numérica⁶, fue posible encontrar la condición de esfuerzos en las que se encontraban las uniones entre elementos estructurales de la casa y de esta manera diseñar una conexión que estuviera en capacidad de soportar estos esfuerzos y garantizar la estabilidad de la misma.

⁶ Resultados de la envolvente, que corresponde a la unión de las combinaciones de carga Anexo.1

A continuación se dará la explicación del procedimiento de diseño de cada uno de estos tres grupos de conexiones, tomando en consideración una conexión representativa de los mismos, en el anexo C se encuentra las tablas de diseño de cada una de las conexiones de la vivienda.

Ejemplo de revisión conexiones resistentes a momento

Como conexión representativa de este grupo se tomó la denominada P2-T2 en la figura 14, la cual se puede observar con más detalle en la figura 15



Conexión Tipo 2 del pórtico 2 (P2-T2)⁷

Figura 15: Identificación de conexión resistente a momento

Como medida inicial se procede a la identificación de los elementos a conectar, es decir conocer las secciones, la ubicación de las mismas y las cargas máximas encontradas para cada uno de estos.

En la figura 16 se ilustra un esquema de la conexión, así como el número del elemento⁸ (correspondiente al modelo de ETABS®) y las solicitaciones encontradas con la envolvente generada por ETABS®, con las cuales se procedió al diseño.

En la tabla 14 se observan las características de las secciones a conectar teniendo en cuenta que en el área de conexión la columna es maciza.

⁷ Las fotos corresponden a la prueba de carga donde únicamente se ensayaron los pórticos verticales mas no el pórtico inclinado.

⁸ Elemento B117 corresponde a la viga de conexión
Elemento C-2 corresponde a la columna de la conexión

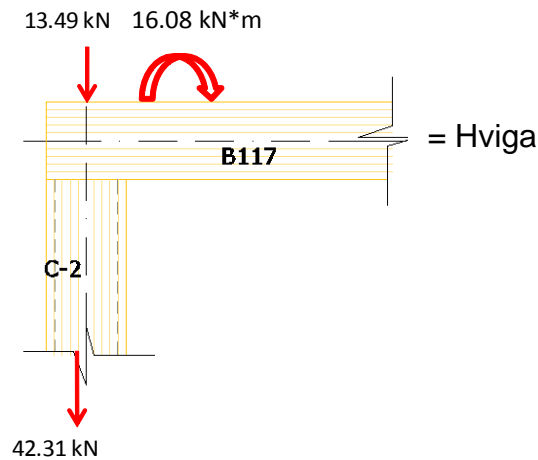


Figura 16: Esquema de Carga de los elementos de la conexión P2-T2

	B (cm)	H (cm)	E (mm)	
VIGA INTERMEDIA	15	20	—	VIGA INTERMEDIA(15X20)
COLUMNA	20	20	21	COLUMNA(20X20X21)

(B-Base, H-Altura, E-Espesor de pared sección cajón)

Tabla 14: Características de los elementos a conectar

Una vez definida por completo la conexión, se procedió a evaluar cada uno de los elementos teniendo en cuenta parámetros como tipo de madera, cargas admisibles, tipo de cizallamiento, número de pernos etc.

Los valores para número de pernos y posicionamiento de los mismos se realizó siguiendo los lineamientos dados por el Manual de Diseño de Maderas del Grupo Andino (JAC,1986), mientras que el diseño de las platinas de unión se ejecutó con los parámetros de la Norma Sismoresistente NSR 98 (AIS, 1998).

- *Elección del tipo de madera*

Ya que el bambú guadua laminada como tal no se considera una madera y por tanto no está especificada en el manual de diseño usado se procedió a la clasificación de la misma según el comportamiento mecánico determinado en el

ensayo de probetas de este material en investigaciones previas; encontrando que las secciones de bambú guadua laminado a conectar presentan un comportamiento mecánico similar al de una madera tipo B, la cual según la NSR-98 (AIS, 1998) resiste los esfuerzos admisibles mostrados en la tabla 15.

GRUPO	F_b	F_t	F_c	F_p	F_v
B	15	10.5	11.0	2.8	1.2

(F_b -Flexión, F_t -Tensión Paralela, F_c -Compresión Paralela, F_v -Corte Paralelo)

Tabla 15 Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B (MPa)

FUENTE: (AIS,1998)

La ubicación del bambú guadua laminada dentro de un grupo de maderas conocido, permitió encontrar los valores máximos de resistencia de los elementos estudiados.

- *Determinación de la carga admisible.*

Tal como se observó en la tabla 14 los dos elementos a conectar (viga y columna) son de 20 cm de ancho, lo que permitió una vez conocido este valor ingresar a la tabla 12.7⁹ (Anexo B) de la referencia No. 7 (JAC, 1986) y en función del diámetro del perno encontrar la carga en cada una de las direcciones (paralela y perpendicular a la fibra).

Ya que la tabla 12.7 mencionada anteriormente solo posee valores de ancho hasta 10 cm, se realizó una extrapolación de los datos mediante una aproximación lineal, obteniendo los valores para los anchos requeridos, en este caso 20 cm y para cada uno de los diámetros de pernos a usar en la conexión. Las graficas 7-10, muestran esta aproximación lineal con base al Anexo B.

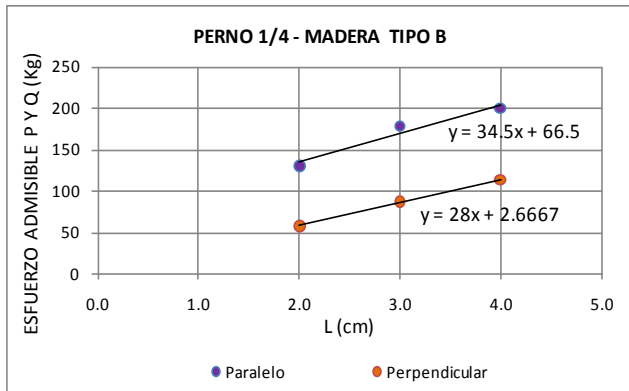
Mediante la interpolación mostrada en las graficas 7-10 (aplicado a los tres tipos de madera) se encuentran los valores de carga admisible para longitudes de 20 cm, representados en la tabla 16.

⁹ Cargas admisibles para uniones emperradas, doble cizallamiento, la cual aplica para este caso debido a que los elementos a conectar están en medio de dos platinas metálicas.

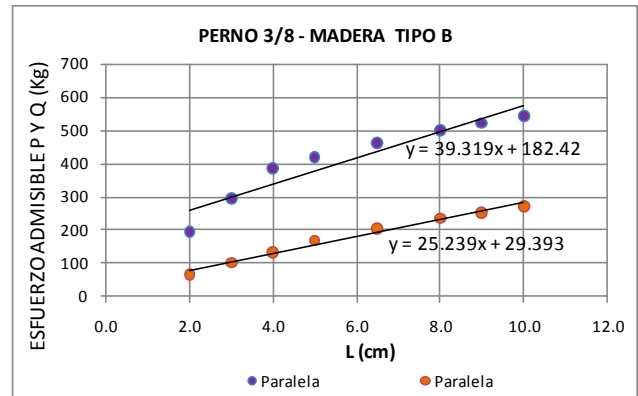
l	d	d	l/d	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
				P	Q	P	Q	P	Q
cm	cm	in		kg	kg	kg	kg	kg	kg
20.0	0.95	3/8	21.0	1185	603	969	534	631	369
	1.27	1/2	15.7	2000	843	1666	707	1104	455
	1.59	5/8	12.6	3016	1091	2520	863	1645	512
	1.91	3/4	10.5	3050	1039	2355	997	1915	580

(l = espesor del elemento a unir, d = diámetro en cm y in respectivamente, l/d = relación espesor diámetro, P =carga paralela a la fibra, Q = carga perpendicular a la fibra)

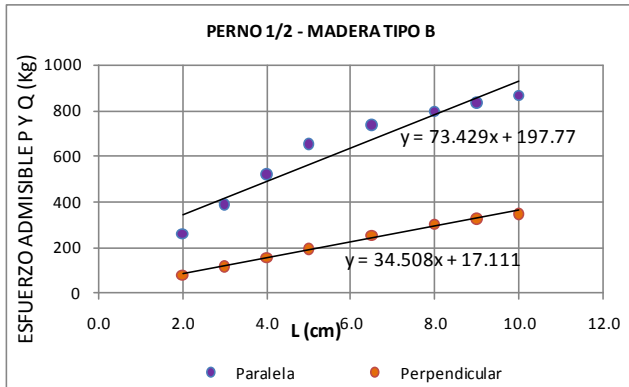
Tabla 16: Valores de carga admisible para longitudes de 20 cm según tipo de madera y diámetro del perno.



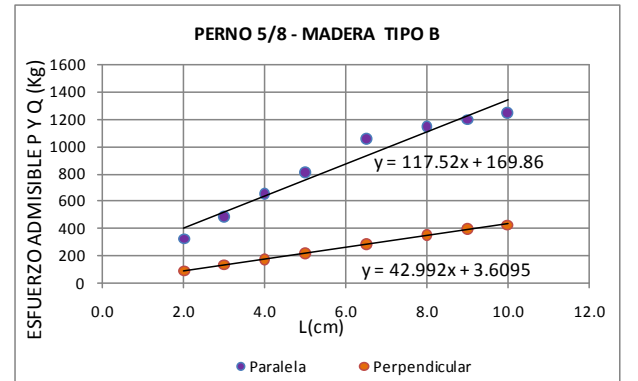
Gráfica 7: Interpolación Lineal Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B – Pernos 1/4"



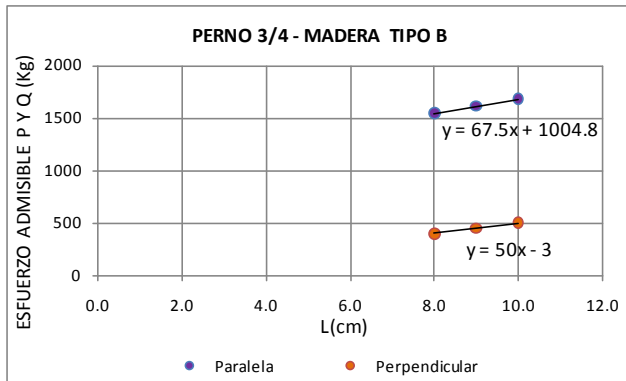
Gráfica 8: Interpolación Lineal Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B – Pernos 3/8"



Gráfica 8: interpolación Lineal Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B – Pernos 1/2"



Gráfica 9: interpolación Lineal Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B – Pernos 5/8"



Gráfica 10: interpolación Lineal Esfuerzos Admisibles Madera Tipo B – Pernos 3/4

- *Determinación del número de pernos.*

Una vez estimada la carga resistida por la sección en función de la dirección de aplicación de la fuerza se puede determinar el número de pernos requeridos para la conexión, para ello se realiza el cociente de la carga aplicada¹⁰ y la carga resistida (ecuaciones 1 y 1a) encontrando así el número de pernos para el caso de la columna (carga paralela) y la viga (carga perpendicular) respectivamente.

Con el fin de aplicar estas ecuaciones es necesario primero asumir un diámetro de perno a usar, para este caso se asumen pernos de 3/8" para la columna y de 1/2" para la viga.

$$\#pernos = \frac{4312.95Kg}{969 Kg} = 5 \text{ pernos} \quad Ec. 1$$

$$\#pernos = \frac{5688.07Kg}{707 Kg} = 9 \text{ pernos} \quad Ec. 1a$$

Como se observa, se requirieron cinco pernos en la columna para dar la resistencia de diseño a la conexión, estos pernos se localizaron por conveniencia en dos filas pero, con el fin de mantener la simetría, se colocaron tres pernos por cada fila, llegando a un total de seis pernos ubicados en la columna.

Para el caso de la viga se encontró que el número de pernos necesario era nueve, esto debido a que la resistencia es menor por la dirección de aplicación de carga, por lo tanto se usaran tres pernos en tres filas.

¹⁰ La cual se obtiene para el caso de la columna como el valor de la carga axial en Kg (42310 N/9.81 = 4312.9 Kg) y para la viga el cortante mas el momento convertido en fuerza por medio de la excentricidad, este valor también en Kg.

		Numero de Pernos Por línea				
		2	3	4	5	6
1	Uniones con elementos laterales de madera	1.00	0.92	0.84	0.76	0.68
2	Uniones con elementos laterales de acero	1.00	0.94	0.87	0.80	0.73

Tabla 17: Factor De Reducción De La Carga Admisible En Función Del Número De Pernos Por Línea Paralela A La Dirección De La Carga Aplicada

FUENTE: (JAC,1986)

Esta disposición de tres pernos por fila generará una reducción de la carga admisible por efecto de grupo de pernos, ya que los valores de la tabla del Anexo B corresponden a valores para uniones de un solo perno. Por esta razón se consideran unos factores de reducción de la carga como se indican en la tabla 17.

En vista de que en la conexión (para viga y columna) se ubicaron tres pernos por línea y ya que esta es una sección con elementos laterales de acero (platinas) el factor de reducción fue 0.94, por tanto la carga admisible (P_{adm}) es el producto de la anterior carga admisible, P_{adm} , por el factor de reducción (Ecuaciones 2 y 2a)

$$P_{adm}^* = P_{adm} * 0.94 = 969Kg * 0.94 = 911Kg \quad Ec. 2$$

$$P_{adm}^* = P_{adm} * 0.94 = 707Kg * 0.94 = 665Kg \quad Ec. 2a$$

Una vez modificada la carga admisible fue necesario recalcular el número de pernos a usar en cada elemento de la conexión, como se observa en las ecuaciones 3 y 3a.

$$\#pernos = \frac{4312.95Kg}{911 Kg} = 5 \text{ pernos} \quad Ec. 3$$

$$\#pernos = \frac{5688.07Kg}{665 Kg} = 9 \text{ pernos} \quad Ec. 3a$$

Como se observa, la reducción por efecto de grupo no aumentó el número de pernos necesarios por lo que se mantuvo la disposición inicial de estos tanto para viga como para la columna.

Cabe aclarar que las cargas usadas son las mismas del esquema de la figura 16, solo que en Kg y para el caso de la viga la carga fue afectada por el momento y la excentricidad¹¹.

- *Espaciamientos mínimos entre pernos.*

Una vez determinado el número de pernos se hallaron los espaciamientos mínimos entre estos, lo cual determinó el tamaño de la platina a usar y a partir de allí se verificó si estos caben dentro de la sección a conectar, de lo contrario habría sido necesario reestimar el número de pernos de la conexión.

Los espaciamientos dependen de la dirección de aplicación de la carga y del sentido en el que se evalúe dicho espaciamiento (tabla 18), de tal manera que las distancias entre perno y perno y, perno y borde sean las necesarias para desarrollar completamente la capacidad de los pernos y en sí de la conexión como un todo.

	Carga Con respecto a la fibra	Sentido de la Separación	Factor a Considerar	Factor a Considerar	Multiplicador del diámetro
1	Paralela	Paralela	S entre pernos		4
			D. al extremo en tracc		5
			D. al extremo en comp.		4
		Perpendicular	S. entre lineas de pernos		2
D. a bordes			2		
2	Perpendicular	Paralela	S. entre lineas de pernos		
				$l/d < 2$	2.5 d
				$l/d > 6$	5 d
			$2 < l/d < 6$	3.5 d	
		Perpendicular	S entre pernos		4 d
			D. al borde cargado		4 d
D. al borde no cargado			2 d		

(S = separación, D = Distancia, l/d = relación espesor diámetro, d = diámetro del perno)

Tabla 18: Espaciamientos Mínimos Para Pernos

Mediante el uso de la tabla 18, se determinó que para la columna (carga paralela) se requieren las separaciones consignadas en la tabla No. 19

¹¹ Excentricidad calculada como el cociente entre el momento de la viga y la carga axial de la columna.

Factor a Considerar	S - Espaciamento
S entre pernos	38
D. al extremo en tracc	48
D. al extremo en comp.	38
S. entre lineas de pernos	19
D. a bordes	19

(S en milímetros)

Tabla 19: Espaciamientos Mínimos Para Pernos de Columna conexión P2-T2

Para el caso de la viga, por ser carga perpendicular, las separaciones son las ilustradas en la tabla 20

Factor a Considerar	S - Espaciamento
S entre pernos	51
D. al borde cargado	51
D. al borde no cargado	25

(S en milímetros)

Tabla 20: Espaciamientos Mínimos Para Pernos de Viga conexión P2-T2

- *Revisión de las Platinas Metálicas.*

Mediante los pasos anteriores se determinó la cantidad de pernos en función de la sección y el material, y los espaciamientos, sin embargo, ya que la conexión está compuesta por platinas metálicas es pertinente revisar la resistencia de las mismas, de tal manera que ni la guadaña ni la platina alcancen la falla, conservando así la integridad de la conexión diseñada.

Por lo tanto haciendo uso de la teoría de esfuerzos admisibles contenida en el Título F de la Norma Sismoresistente NSR-98 (AIS, 1998) las platinas se revisaron por sus estados límites de fluencia en área total, fractura en área neta, aplastamiento y bloque cortante, así como la resistencia de los conectores (pernos).

a. **Fluencia en área total**

Se procede inicialmente determinando el tamaño de la platina a usar (figura 17) en función del número de pernos y su ubicación, para ello se tiene en cuenta el ancho del elemento a conectar razón por la cual se tomó un ancho de 20 cm con el cual se cumple ampliamente las distancias entre pernos y se asumió un espesor de platina 3/8" cuyo material es acero ASTM-36.

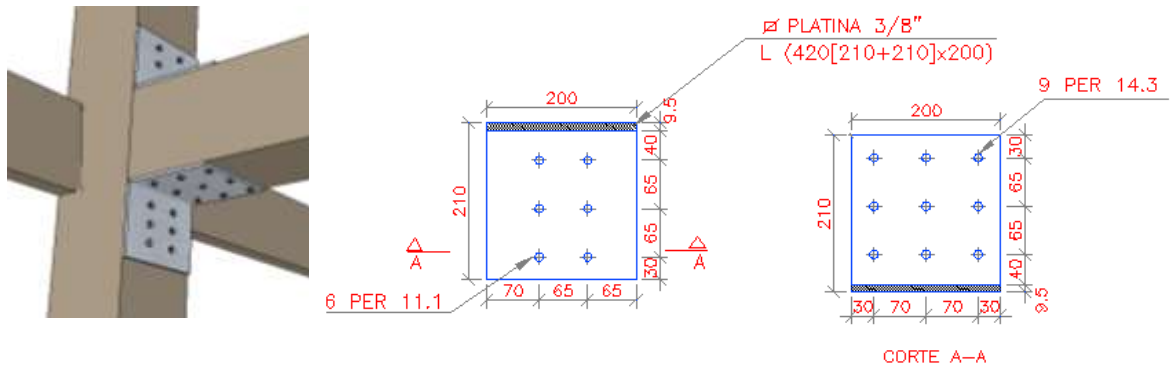


Figura 17: Platina usada para conectar el elemento viga de la conexión P2-T2
(PER= perforaciones)

Una vez determinadas las dimensiones se procede al cálculo del área total A_g que estará dada por el producto entre el ancho de la platina (200mm) y su espesor (9.53mm), ecuación 4.

$$A_g = 200mm * 9.53mm = 1906 mm^2 \quad Ec. 4$$

Haciendo uso de los esfuerzos admisibles se halla la carga admisible de la platina (F_{adm}) como 0.6 veces el esfuerzo de fluencia del material F_y en el área total A_g , como se muestra en la ecuación 5, donde se comprueba que la resistencia aportada por la platina es mayor que la requerida.

$$F_{adm} = 0.6 * F_y * A_g = 0.6 * 0.248 \frac{kN}{mm^2} * 1906 mm^2 = 283.7 kN \quad Ec. 5$$

b. Fractura en área neta

Este estado límite de la platina está determinado como 0.45 veces el esfuerzo último del material F_u en el área neta A_n (ecuación 6), la cual se calculó como se muestra en la tabla 21.

No. PERNOS	DIAMETRO	D. PERFOR	D. TOTAL	ESPEJOR PLATINA	AREA PERF.	A.TOTAL	A. NETA
	mm	mm	mm	mm	mm2	mm2	mm2
3	12.7	1.6	14.3	9.5	136.2	1905.0	1496.4

Tabla 21: Cálculo de área neta en platina de viga conexión P2-T2

(D= diámetro, A = área, Agujeros estándar)

$$F_{adm} = 0.5 * F_u * A_n = 0.5 * 0.399 \frac{kN}{mm^2} * 1496.4 mm^2 = 299 kN \quad Ec. 6$$

c. Aplastamiento

La carga admisible de aplastamiento es función del tipo de agujero utilizado, que para este caso es un agujero estándar, lo cual implica que la fuerza de diseño estará dada por 1.2 veces el esfuerzo último del material multiplicado por el área de la perforación A_p .

$$F_{adm} = 1.2 * F_u * A_p = 1.2 * 0.399 \frac{kN}{mm^2} * 12.7mm * 9.5mm = 116.1 kN \quad Ec. 6$$

d. Bloque de cortante

Debido a que este estado límite se presenta por la generación de un plano de corte a tensión y otro a compresión de una trayectoria determinada, se hallaron las áreas totales y netas a tensión y a compresión de estos planos tal como se consigna en la tabla 22 y se aplican las ecuaciones 7 y 7a para determinar la resistencia última aportada por la platina.

Agv (mm²)	967.7
Anv (mm²)	627.2
Agt (mm²)	899.6
Ant (mm²)	831.5

(Agv= área total a cortante, Anv = área neta a cortante, Agt = área total a tensión, Ant = área neta a tensión)

Tabla 22: Cálculo de área total y neta en bloque cortante de platina de viga conexión P2-T2

$$F_{adm} = 0.3 * F_u * A_{nv} = 0.3 * 0.399 \frac{kN}{mm^2} * 627.2mm^2 = 75.2 kN \quad Ec. 7$$

$$F_{adm} = 0.5 * F_u * A_{nt} = 0.5 * 0.399 \frac{kN}{mm^2} * 831.5mm^2 = 103.2 kN \quad Ec. 7a$$

e. Revisión de conectores a corte

La carga admisible de los pernos R_{vn} está dada por la calidad y el área de los mismos así como los planos de corte y la cantidad de ellos que se encuentren presentes en la conexión, siendo la carga admisible el producto del área de pernos A_p, por el esfuerzo último a corte de los mismos y por la cantidad de ellos, los datos obtenidos tanto para vigas como para columnas están consignados en la tabla 23.

En la figura 19, se ilustra un esquema de la conexión, así como el número del elemento¹² (correspondiente al modelo de ETABS®) y la carga máxima encontrada con la envolvente generada por ETABS®.

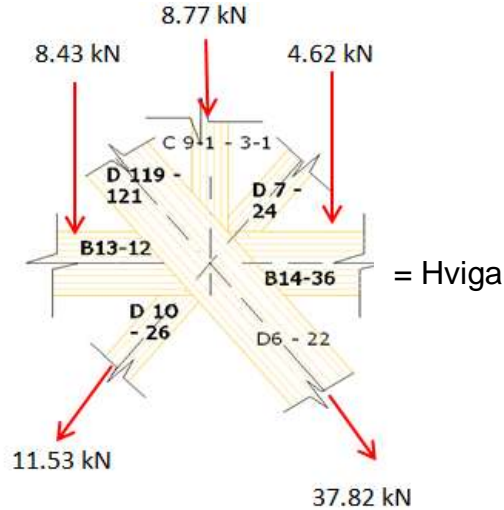
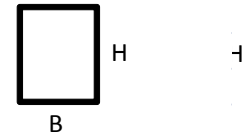


Figura 19: Esquema de Carga de los elementos de la conexión C1-T8

	B (cm)	H (cm)	
VIGA	5	20	VIGA (5X20X)
DIAG PRINCIPAL	15	20	DIAG PRINCIPAL(15X20X)
DIAG SECUND	10	10	DIAG SECUND(10X10X)
COLUMNA	10	10	COLUMNA(10X10X)



(B-Base, H-Altura, E-Espesor)

Tabla 24: Características de los elementos a conectar

¹² Elementos B13, B14 y los del la cercha del lado opuesto B12, B36 corresponden a la viga de conexión

Elementos D119 y D6 y los de la cercha del lado opuesto D121 y D22 corresponde a la diagonal principal (mayor) de la conexión

Elementos D7y D10 y los de la cercha del lado opuesto D24 y D26 corresponde a la diagonal secundaria (menor) de la conexión

Elemento C9-1 y el de la cercha del lado opuesto C3-1 corresponde a la columna de la conexión

- *Elección del tipo de madera.*

Madera Tipo B

- *Determinación de la carga admisible.*

Para la viga de ancho¹³=5 cm usando pernos de 3/8" se obtienen los resultados de carga admisible de la tabla 25

P (Kg)	Q (Kg)
420	168

(P =carga paralela a la fibra, Q = carga perpendicular a la fibra)

Tabla 25: Cargas admisibles para viga conexión C1-T8

Para la diagonal de B=15 cm (Diagonal principal) usando pernos de 3/8" se encuentran los valores consignados en la tabla 26

P (Kg)	Q (Kg)
772	408

(P =carga paralela a la fibra, Q = carga perpendicular a la fibra)

Tabla 26: Cargas admisibles para diagonal principal conexión C1-T8

Para la diagonal de B=10 cm (Diagonal Secundaria) usando pernos de 3/8" se encuentran los valores consignados en la tabla 27.

P (Kg)	Q (Kg)
544	270

(P =carga paralela a la fibra, Q = carga perpendicular a la fibra)

Tabla 27: Cargas admisibles para diagonal secundaria conexión C1-T8

¹³ B= ℓ para usar la tabla del anexo B

- *Determinación del número de pernos.*

Pernos en la Viga:
6 Pernos

Pernos en la Diagonal Principal:
6 Pernos.

Pernos en la Diagonal Secundaria:
3 Pernos.

- *Espaciamientos mínimos entre pernos.*

Para el Caso de la Viga los resultados encontrados se observan en la tabla 28

S entre pernos	38
D. al borde cargado	38
D. al borde no cargado	19

(S = separación, D= distancia, separación dada en mm)

Tabla 28: Espaciamientos mínimos para pernos en viga conexión C1-T8

En el caso de las diagonales estos datos se encuentran en la Tabla 29

S. entre líneas de pernos	19
D. a bordes	19

(S = separación, D= distancia, separación dada en mm)

Tabla 29: Espaciamientos mínimos para pernos en diagonales conexión C1-T8

- *Revisión de las platinas metálicas.*

Se revisan las platinas de la misma manera explicada anteriormente, asegurando que la platina y los pernos darán la resistencia requerida por la conexión. El ejemplo se hace para la platina de ancho menor y/o condición más crítica.

a. Fluencia en área total (tabla 30)

AREA TOTAL (mm ²)	RESISTENCIA (kN)
635.0	94.6

Tabla 30: Resistencia en área total conexión C1-T8

b. Fractura en área neta (tabla 31)

No. PERNOS	DIAMETRO	D. PERFOR	D. TOTAL	ESPEJOR PLATINA	AREA PERF.	A. TOTAL	A. NETA
	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²
3	9.5	1.6	11.1	6.4	70.6	635.0	423.1

(D= diámetro, A = área, Agujeros estándar)

Tabla 31: Cálculo de área neta en platina de conexión C1-T8

RESISTENCIA DE DISEÑO kN
85

Tabla 32: Cálculo resistencia en área neta platina de conexión C1-T8

c. Aplastamiento (tabla 33)

Rn (Kn)	58.0
---------	------

Tabla 33: Cálculo resistencia aplastamiento platina de conexión C1-T8

d. Bloque cortante

Agv (mm ²)	458.2
Anv (mm ²)	352.2
Agt (mm ²)	422.8
Ant (mm ²)	387.5

(Agv= área total a cortante, Anv = área neta a cortante, Agt = área total a tensión, Ant = área neta a tensión)

Tabla 34: Cálculo de área total y neta en bloque cortante de platina de conexión C1-T8

Fv (Kn)	42.3
Ft (Kn)	48.1

(Fv= resistencia a cortante, Ft = resistencia a tensión)

Tabla 35: Resistencia bloque cortante de platina de conexión C1-T8

e. Evaluación de conectores a corte

REVISION A CORTE DE LOS PERNOS DE COLUMNA

Corte	Doble	
P (kN)	37.82	
Ap (mm²)	142.5	
Perno	A325	
Fn (Kn/mm²)	0.118	
Rv (Kn)	100.66	OK

REVISION A CORTE DE LOS PERNOS DE LA VIGA

Corte	Doble	
P (kN)	8.43	
Ap (mm²)	142.5	
Perno	A325	
Fn (Kn/mm²)	0.118	
Rv (Kn)	100.66	OK

(P= carga solicitada, Ap= área de pernos A325, Fv = esfuerzo admisible a corte de pernos, Rv =carga admisible)

Tabla 36: Cálculo de resistencia a corte de los pernos de la conexión C1-T8

Ejemplo de revisión conexión no resistente a momento.

Al igual que existían conexiones a momento también se evaluó conexiones no resistentes a momento, para este caso en particular, se diseñara la conexión denominada C1-T6 en la figura 14 la cual se ilustra en la figura 20.



Figura 20: Conexión no resistente a momento C1-T6

Procedimentalmente, es igual el diseño de una conexión resistente a momento a una que no, la única variación se encuentra en el tipo y asignación de carga, por lo

tanto no se explicará nuevamente el procedimiento de diseño sino que solo se plasmaran los valores encontrados mediante el procedimiento antes desarrollado.

En la figura 21 se ilustra un esquema de la conexión, así como el número del elemento¹⁴ (correspondiente al modelo de ETABS®) y la carga máxima encontrada con la envolvente generada por ETABS®.

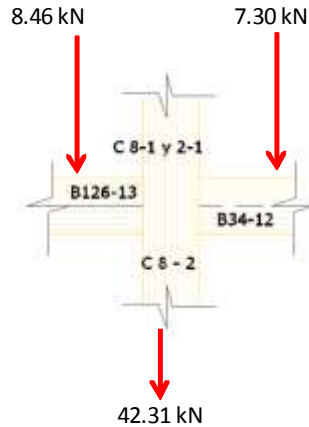
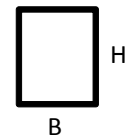


Figura 21: Esquema de Carga de los elementos de la conexión C1-T6

	B (cm)	H (cm)	E (mm)	
VIGA DERECHA	5	20		VIGA DERECHA(5X20X)
VIGA IZQUIERDA	5	20		VIGA IZQUIERDA(5X20X)
COLUMNA	20	20		COLUMNA(20X20X)



(B-Base, H-Altura, E-Espesor)

Tabla 37: Características de los elementos a conectar

Repitiendo el proceso de la conexión resistente a momento se obtienen los siguientes resultados.

¹⁴ Elementos B126, B34 y los del la cercha del lado opuesto B12, B13 corresponden a la viga de conexión

Elementos C8 y 8-1 y los de la cercha del lado opuesto C 2 y 2-1 corresponde a la columna de la conexión

- *Elección del tipo de madera*

Madera Tipo B

- *Determinación de la carga admisible.*

Para la viga de B=5 cm usando pernos de 3/8" se obtienen los resultados de carga admisible de la tabla 38.

P (Kg)	Q (Kg)
525	168

(P =carga paralela a la fibra, Q = carga perpendicular a la fibra)

Tabla 38: Cargas admisibles para viga conexión C1-T8

Para la Columna de B=20 cm usando pernos de 3/8" se encuentran los valores consignados en la tabla 39.

P (Kg)	Q (Kg)
1211	534

(P =carga paralela a la fibra, Q = carga perpendicular a la fibra)

Tabla 39: Cargas admisibles para columna conexión C1-T8

- *Determinación del número de pernos.*

Pernos en las Vigas:

6 Pernos

Pernos en las Columnas:

4 Pernos.

- *Espaciamientos mínimos entre pernos.*

Para el caso de la viga los resultados encontrados se observan en la tabla 40.

S entre pernos	38
D. al borde cargado	38
D. al borde no cargado	19

(S = separación, D= distancia, separación dada en mm)

Tabla 40: Espaciamientos mínimos para pernos en viga conexión C1-T6

En el caso de la columna estos datos se encuentran en la tabla 41.

S. entre líneas de pernos	19
D. a bordes	19

(S = separación, D= distancia, separación dada en mm)

Tabla 41: Espaciamientos mínimos para pernos en columna conexión C1-T6

- *Revisión de las platinas metálicas.*

Se realiza la misma revisión por los diferentes factores, asegurando que la platina y los pernos darán la resistencia requerida por la conexión.

a. Fluencia en área total (tabla 42)

AREA TOTAL (mm ²)	RESISTENCIA (kN)
952.5	141.9

Tabla 42: Resistencia en área total conexión C1-T6

b. Fractura en área neta (tabla 43)

No. PERNOS	DIAMETRO	D. PERFOR	D. TOTAL	ESPESOR PLATINA	AREA PERF.	A.TOTAL	A. NETA
	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²
3	9.5	1.6	11.1	6.4	70.6	952.5	740.6

(D= diámetro, A = área, Agujeros estándar)

Tabla 43: Cálculo de área neta en platina de conexión C1-T6

RESISTENCIA DE DISEÑO kN
148

Tabla 44: Cálculo resistencia en área neta platina de conexión C1-T6

c. Aplastamiento (tabla 45)

Rn (Kn)	58.0
---------	------

Tabla 45: Cálculo resistencia aplastamiento platina de conexión C1-T6

d. Bloque cortante

Agv (mm ²)	458.2
Anv (mm ²)	352.2

Agt (mm ²)	422.8
Ant (mm ²)	387.5

(Agv= área total a cortante, Anv = área neta a cortante, Agt = área total a tensión, Ant = área neta a tensión)

Tabla 46: Cálculo de área total y neta en bloque cortante de platina de conexión C1-T6

Fv (Kn)	42.4
Ft (Kn)	48.1

(Fv= resistencia a cortante, Ft = resistencia a tensión)

Tabla 47: Resistencia bloque cortante de platina de conexión C1-T6

e. Evaluación de conectores a corte

**REVISIÓN A CORTE DE LOS
PERNOS DE COLUMNA**

Corte	Doble	
P (kN)	8.46	
Ap (mm ²)	142.5	
Perno	A325	
Fn (Kn/mm ²)	0.118	
Rv (Kn)	100.66	OK

**REVISIÓN A CORTE DE LOS
PERNOS DE LA VIGA**

Corte	Doble	
P (kN)	42.31	
Ap (mm ²)	142.5	
Perno	A325	
Fn (Kn/mm ²)	0.118	
Rv (Kn)	67.11	OK

(P= carga solicitada, Ap= área de pernos A325, Fv = esfuerzo admisible a corte de pernos, Rv =carga admisible)

Tabla 48: Cálculo re resistencia a corte de los pernos de la conexión C1-T6

ELABORACIÓN DE DETALLES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Con el fin de llevar a cabo la construcción del prototipo simulado se realizaron diferentes detalles para la ubicación y montaje de las platinas diseñadas para cada conexión, así como otras numeraciones y ayudas visuales que permitieron el montaje tal como se concibió en etapa de diseño.

Inicialmente se procedió a realizar una identificación y numeración plena de cada una de las conexiones existentes en la casa tal como se ilustra en la figura 21.

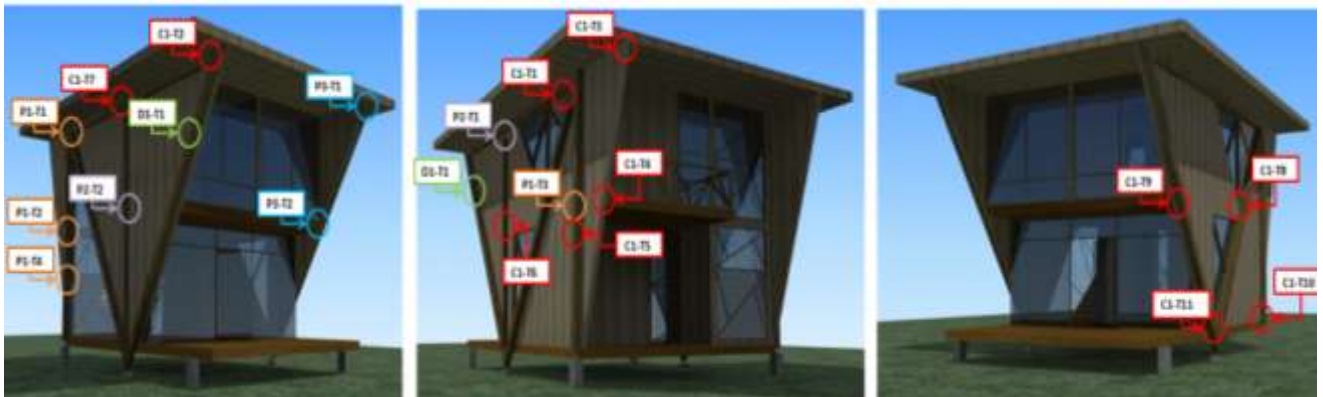


Figura 21: Identificación de conexiones de la casa de guadua laminada

Posterior a esto las conexiones se identificaron mediante un código que indicaba si pertenecía a un pórtico¹⁵ (P), cercha¹⁶ (C), diagonal (D) o una unión interna de la casa, seguido del número de la conexión que se iba diseñando, la primera como T1, la segunda como T2, etc.

Por ejemplo, según esta nomenclatura la segunda conexión diseñada perteneciente al pórtico 1 será P1-T2, la cual se encuentra resaltada en un círculo azul en la figura 22.

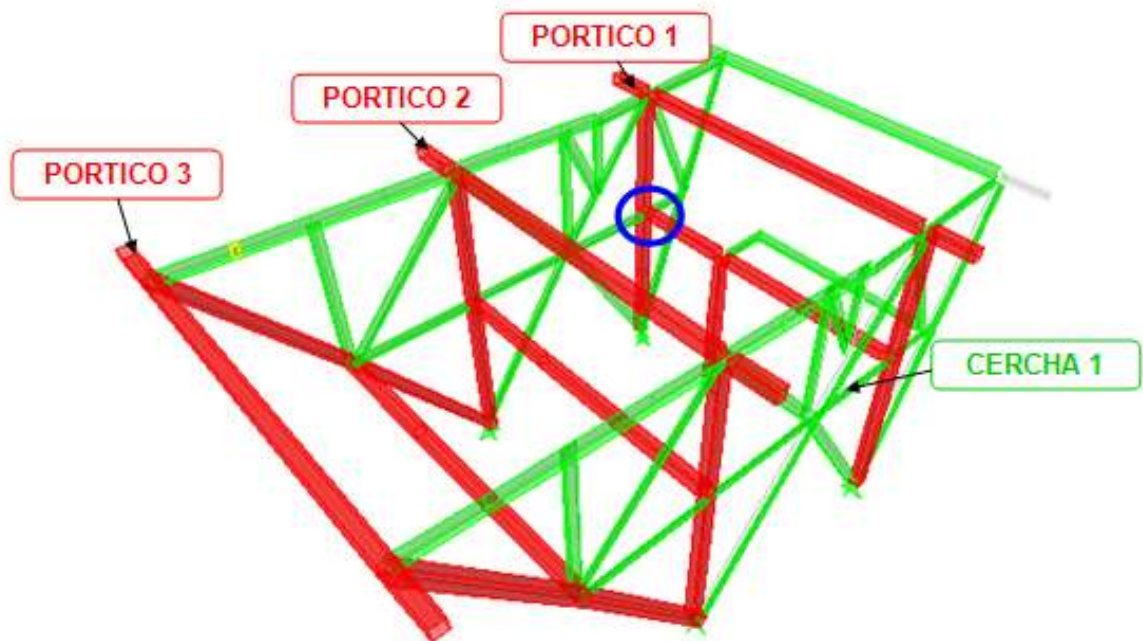


Figura 22: Identificación de pórticos, cerchas y conexiones de la casa de guadua laminada

Posterior a la tipificación de la conexión, se identificaron las secciones de cada uno de los elementos que llegaban a la misma, de tal manera que se tuviera claridad absoluta sobre qué elementos serían conectados, tal como se ilustra en la figura 23.

¹⁵ Pórticos en color rojo en la figura No. 32

¹⁶ Cerchas en color verde en la figura No. 32

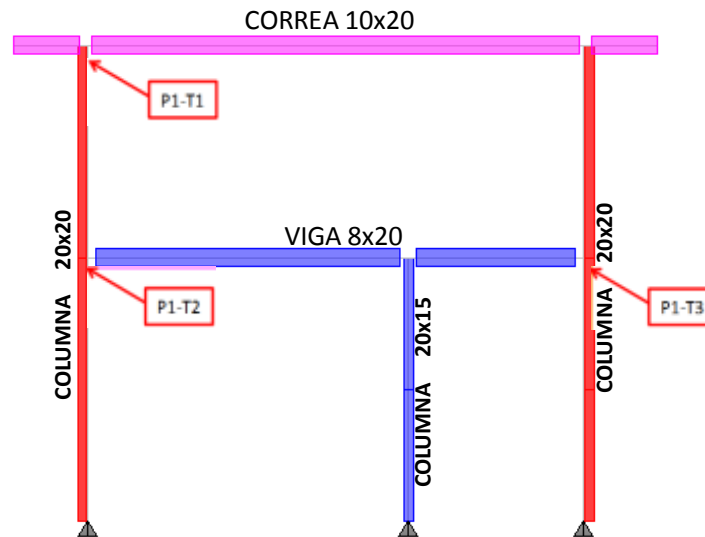


Figura 23: Identificación de elementos a conectar en cada unión del pórtico 1

Ya con todas las conexiones reconocidas y diseñadas, se procedió a la generación de esquemas a mano alzada para cada una de las conexiones de la casa como los mostrados en la figura 24¹⁷ para visualizar la conexión completa y partir de allí para la generación de planos de taller¹⁸ (figura 25) que permitieran la fabricación de las platinas que conectarían cada elemento, así como la reproducción de modelos en tres dimensiones¹⁹ (figura 26), que facilitaron la exploración de las conexiones a fondo con el fin de evitar cruces indeseados entre pernos o secciones insuficientes para la conexión, entre otros errores que podían suscitarse.

Finalmente una vez fabricadas y numeradas las platinas para cada conexión se identificaron en imágenes del modelo y se tomaron fotografías con las ubicaciones de las mismas (figura 27), para tener claro la ubicación de cada una de ellas y así poder llevar a cabo el montaje del prototipo.

¹⁷ Esquema a mano de la conexión C1-T7

¹⁸ En los planos se asignó un número a cada una de las platinas que componían cada una de las conexiones,

¹⁹ Desarrollados por la Arq. Diana Ovalle

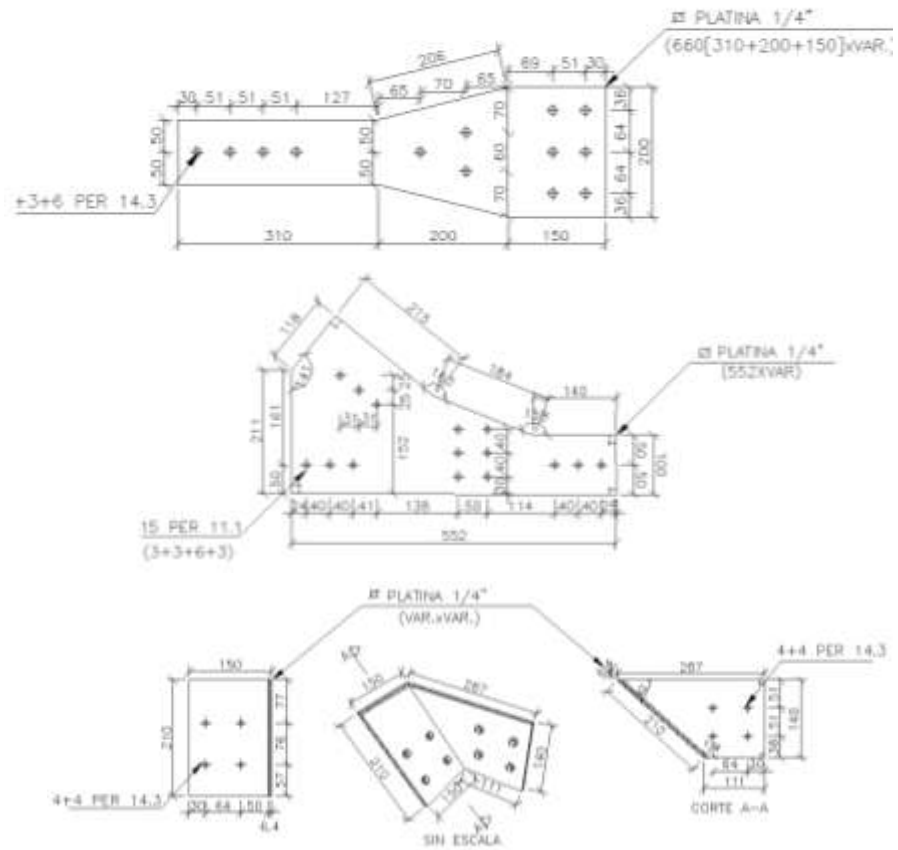


Figura 25: Detalles de fabricación platinas para conexiones P2-T1, C1-T8 y I-T7

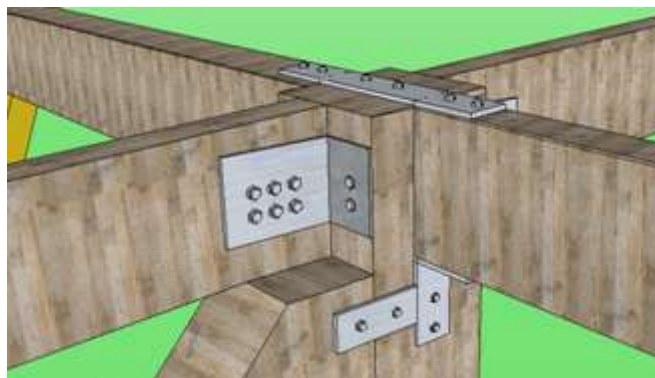


Figura 26: Modelo en 3D de conexión P1-T1 y C1-T1

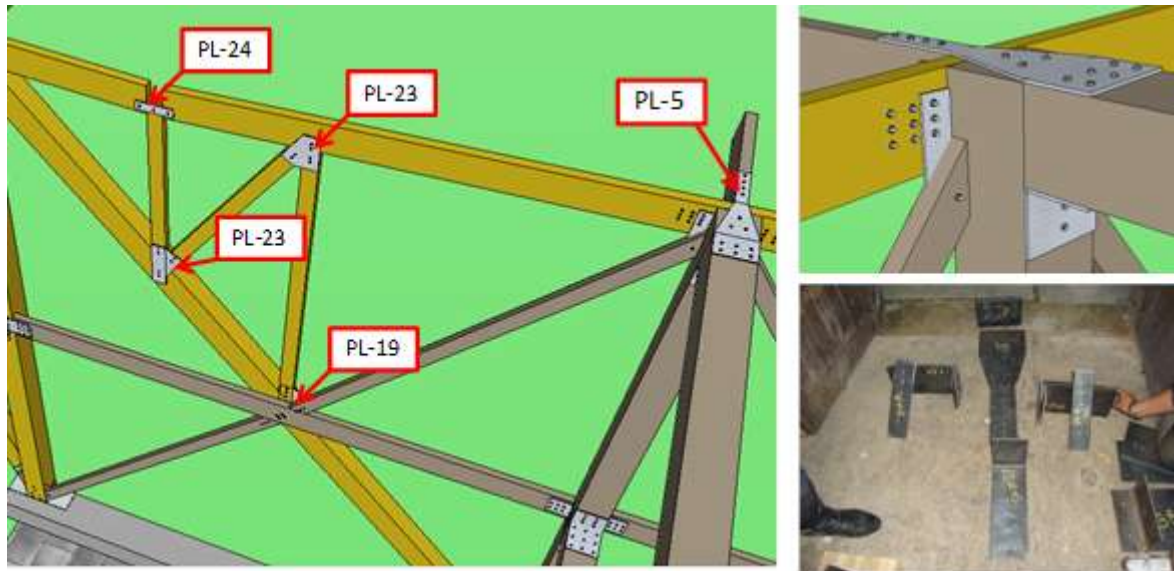


Figura 27: Modelo en 3D, ubicación de platinas numeradas y fotografía de platinas de conexión P2-T1

3.2 ESTRUCTURA DE LA PRUEBA DE CARGA

MONTAJE CONSTRUCTIVO

Con el objetivo de evaluar el comportamiento real de las conexiones diseñadas, se construyó un módulo de la vivienda a escala real, el cual se cargó con el valor de carga viva establecida en el avalúo²⁰ y se instrumentó de tal manera que se midieran los desplazamientos de determinados puntos, con el fin de hallar los giros y el comportamiento en general de algunas conexiones representativas de la estructura.

Se realizó la prueba de carga el día 18 de diciembre de 2011 al módulo central del prototipo el cual se ilustra en la figura 28.

²⁰ Carga que corresponde a la misma usada en la modelación numérica.

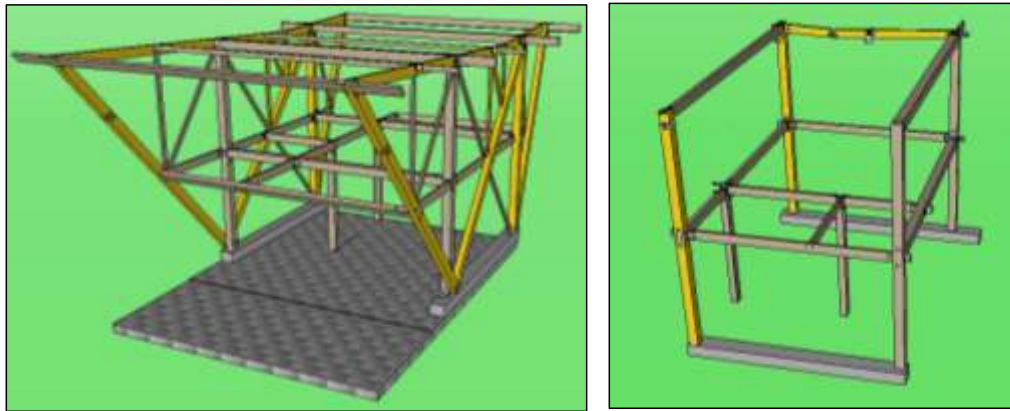


Figura 28: Prototipo Completo y Modulo Central Usado en Prueba de Carga

Construcción y preparación del modelo

La construcción del módulo de la prueba de carga se realizó con base en los esquemas y detalles constructivos generados con anterioridad.

Para la construcción de este módulo inicialmente se hizo un armado previo en suelo (figura 29) donde se realizaron las correcciones necesarias de precisión para garantizar el adecuado montaje de los elementos.



Figura 29: Montaje en Piso, previo a montaje real

Una vez ejecutado el armado previo se procedió al montaje en el lugar definido (figura 30) para la prueba de carga; para ello se usaron sogas y un montacargas que permitieran la correcta ubicación de los elementos, de tal manera que en el momento del ensamblaje no se generarán esfuerzos que no fueron considerados en el diseño, para no afectar los resultados y el comportamiento del prototipo a cargar.



Figura 30: Montaje de Prueba de carga

Para la ejecución de la prueba, una vez construido el módulo a ensayar, se ubicaron culmos de guadua rolliza simulando un sistema de viguetería, con el fin de distribuir las cargas de la misma manera que se hizo en las consideraciones de diseño, tal como se observa en la figura 31



Figura 31: Prototipo Con Viguetería en Guadua Rolliza

INSTRUMENTACIÓN

Con el fin de encontrar los desplazamientos en las conexiones en estudio se utilizaron comparadores de carátula mecánicos ubicados estratégicamente para encontrar los datos necesarios.

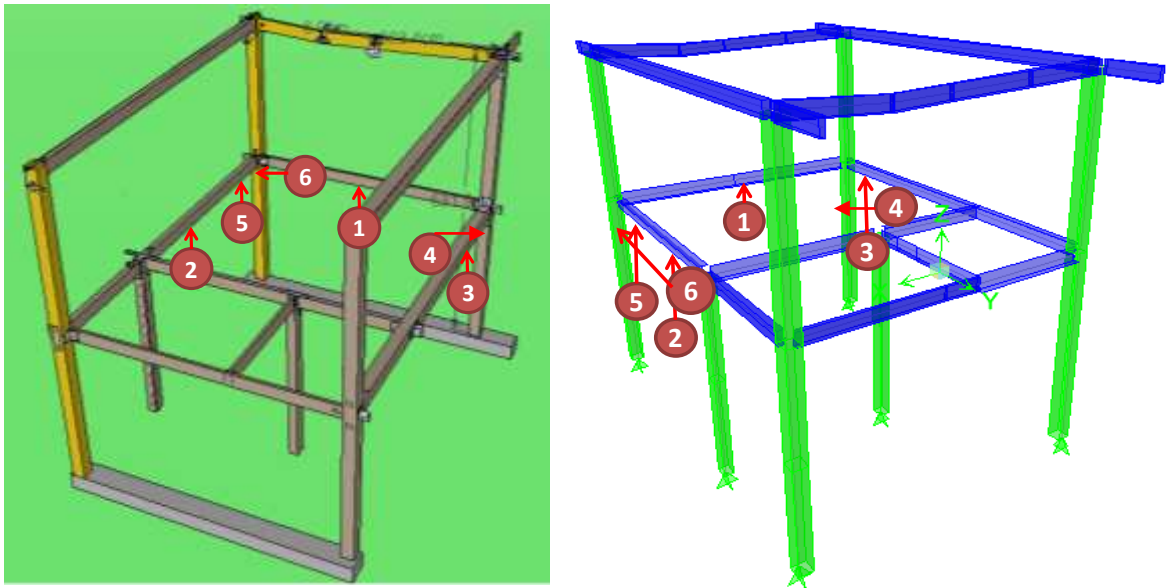


Figura 32: Comparador de carátula utilizado en prueba de carga

Se utilizaron 6 comparadores de carátula marca Starrett, con una precisión de centésimas de centímetro.

La ubicación de los mismos se realizó de tal manera que se pudieran instrumentar conexiones diseñadas a cortante y a momento. Para ello se ubicaron algunos en centros de luces de vigas (midiendo la deflexión máxima) y otros en escuadra directamente en las conexiones para evaluar el giro de éstas.

El lugar de medición de cada uno de estos comparadores de carátula se ilustra en la figura 33.



(No. 1 ubicado en centro de luz de viga, No. 2 ubicado en centro de luz de viga, No. 3 ubicado en extremo de la viga de la conexión, No. 4 ubicado en columna de la conexión, No. 5 ubicado en extremo de la viga de la conexión, No. 6 ubicado en columna de la conexión)

Figura 33: Ubicación de los 6 comparadores de carátula sobre el módulo

Los comparadores 1 y 2 se ubicaron en mitad de luz indicando el desplazamiento vertical, siendo el 1 el correspondiente a una viga conectada por corte y el 2 a una conexión a momento, adicionalmente se ubicaron los comparadores 3 y 4 y 5 y 6 cada pareja en una conexión a momento, para evaluar el giro de las mismas, en función de sus desplazamientos verticales de las vigas y horizontales de las columnas que llegan a la conexión.

La ubicación de los comparadores de carátula se hizo sobre superficies planas y rígidas, de tal manera que se garantizara la estabilidad de los mismos y la correcta medición de datos.



Figura 34: Ubicación de comparadores de carátula

CARGAS.

El proceso de aplicación de carga vertical del modelo físico se llevó a cabo mediante la ubicación de sacos de arena, con un peso promedio de 24 Kg y unas vigas de concreto cuyos pesos se indicaran en las tablas No. 49, 50 y 51 y se ilustran en la figura 35.

CARGA IMPUESTA SACOS		CARGA IMPUESTA SACOS		CARGA IMPUESTA SACOS		CARGA IMPUESTA SACOS		CARGA IMPUESTA SACOS	
SACO	PESO	SACO	PESO	SACO	PESO	SACO	PESO	SACO	PESO
No. 1	24.0 Kg	No. 26	24.5 Kg	No. 51	25.0 Kg	No. 76	24.0 Kg	No. 101	25.0 Kg
No. 2	24.5 Kg	No. 27	24.0 Kg	No. 52	24.5 Kg	No. 77	24.0 Kg	No. 102	25.0 Kg
No. 3	25.0 Kg	No. 28	25.0 Kg	No. 53	22.0 Kg	No. 78	24.5 Kg	No. 103	25.0 Kg
No. 4	25.0 Kg	No. 29	23.0 Kg	No. 54	24.5 Kg	No. 79	22.0 Kg	No. 104	25.0 Kg
No. 5	25.0 Kg	No. 30	22.5 Kg	No. 55	24.0 Kg	No. 80	24.0 Kg		
No. 6	22.0 Kg	No. 31	23.0 Kg	No. 56	24.0 Kg	No. 81	24.5 Kg		
No. 7	22.5 Kg	No. 32	24.5 Kg	No. 57	24.5 Kg	No. 82	25.0 Kg		
No. 8	24.5 Kg	No. 33	24.5 Kg	No. 58	24.5 Kg	No. 83	25.0 Kg		
No. 9	25.0 Kg	No. 34	23.0 Kg	No. 59	24.0 Kg	No. 84	25.0 Kg		
No. 10	22.0 Kg	No. 35	25.0 Kg	No. 60	25.0 Kg	No. 85	24.0 Kg		
No. 11	25.0 Kg	No. 36	24.0 Kg	No. 61	61.0 Kg	No. 86	24.0 Kg		
No. 12	25.5 Kg	No. 37	24.0 Kg	No. 62	24.5 Kg	No. 87	23.0 Kg		
No. 13	25.0 Kg	No. 38	23.0 Kg	No. 63	24.0 Kg	No. 88	24.0 Kg		
No. 14	24.0 Kg	No. 39	23.0 Kg	No. 64	18.0 Kg	No. 89	24.0 Kg		
No. 15	24.5 Kg	No. 40	25.0 Kg	No. 65	22.5 Kg	No. 90	23.5 Kg		
No. 16	23.0 Kg	No. 41	24.5 Kg	No. 66	24.0 Kg	No. 91	24.5 Kg		
No. 17	25.0 Kg	No. 42	23.5 Kg	No. 67	25.5 Kg	No. 92	24.5 Kg		
No. 18	22.5 Kg	No. 43	23.5 Kg	No. 68	25.0 Kg	No. 93	25.0 Kg		
No. 19	22.5 Kg	No. 44	25.0 Kg	No. 69	22.0 Kg	No. 94	24.5 Kg		
No. 20	24.5 Kg	No. 45	24.5 Kg	No. 70	24.0 Kg	No. 95	25.0 Kg		
No. 21	23.0 Kg	No. 46	25.0 Kg	No. 71	24.5 Kg	No. 96	25.0 Kg		
No. 22	25.0 Kg	No. 47	21.5 Kg	No. 72	24.5 Kg	No. 97	24.0 Kg		
No. 23	22.5 Kg	No. 48	25.0 Kg	No. 73	25.0 Kg	No. 98	25.0 Kg		
No. 24	24.0 Kg	No. 49	23.5 Kg	No. 74	24.0 Kg	No. 99	24.0 Kg		
No. 25	23.0 Kg	No. 50	23.0 Kg	No. 75	23.0 Kg	No. 100	23.5 Kg		

Tabla 49: Peso de Sacos de Arena usados en la prueba de carga

CARGA IMPUESTA VIGAS CONCRETO		
VIGA	CANTIDAD	PESO
VG. 96 Kg	4	384.0 Kg
VG. 177 Kg	4	708.0 Kg
TOTAL		1,092 Kg

Tabla 50: Peso de Vigas de concreto usadas en la prueba de carga

CARGA IMPUESTA TOTAL	
CONCEPTO	PESO
Sacos	2,535 Kg
Vigas	1,092 Kg
TOTAL	3,627 Kg

Tabla 51: Peso total usado en la prueba de carga



Figura 35: Origen del peso total usado en la prueba de carga

Con el fin de lograr la distribución más uniforme de las cargas se procedió inicialmente a ubicar las vigas de concreto sobre las viguetas de guadua y posterior a esto se ubicaron los sacos de arena en tres ciclos de carga,

aumentando cada vez el peso suministrado a la estructura, tal como se muestra en las imágenes de la figura 36.



Figura 36: Sacos de arena v vigas de concreto usados en prueba de carga

Se manejaron tres ciclos de carga con el fin de obtener más de una medida de los comparadores dando mayores datos estadísticos y una información del comportamiento del pórtico ante cargas en el tiempo.

Teniendo en cuenta el área cargada en el modelo 20.25 m² (figura 37), se llegó a una carga de 179 Kg /m², aproximadamente igual a la carga viva de diseño.

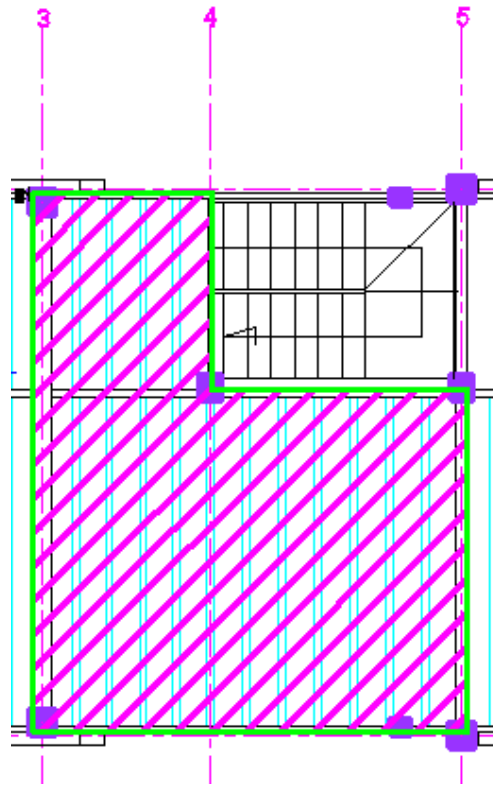


Figura 37: Área de cargada en la prueba de carga

La evaluación de cargas se hizo en el caso de las vigas de concreto según sus dimensiones y peso unitario, y en el caso de los sacos de arena se peso uno a uno en una balanza (figura 38), seguidamente los datos de cada saco numerado fueron anotados y tabulados como se observó en la tabla 48.



Figura 38: Proceso de Pesado de Sacos de Arena

Finalmente con la ubicación de los sacos se lograron los tres ciclos de carga, obteniendo los siguientes pesos, para cada uno de los ciclos (tabla 52).

ETAPA	CARGA ADIC.	CARGA ACUM
INICIAL	0.0 Kg	0.0 Kg
CICLO 1	1667.5 Kg	1667.5 Kg
CICLO 2	573.5 Kg	2241.0 Kg
CICLO 3	1385.5 Kg	3626.5 Kg

Tabla 52: Ciclos de carga – prueba de carga

Una vez aplicadas estas cargas se procedió a hacer la lectura de los comparadores de carátula.

OBTENCIÓN DE DATOS

Con los comparadores de carátula ubicados se tomaron cuatro lecturas, correspondientes a la lectura inicial, ciclo 1, ciclo 2 y ciclo 3.

El inicio de toma de lecturas se realizó a partir de la ubicación de las vigas concreto e incrementando de la siguiente manera:

- Carga Inicial = Vigas de Concreto
- Ciclo 1 = 24 Sacos de Arena
- Ciclo 2 = 24 Sacos de Arena
- Ciclo 3 = 56 Sacos de Arena

Una vez impuesta la carga inicial se ubicaron los comparadores y se tomó la lectura del desplazamiento mostrado en el comparador, como lectura inicial y se tomó nuevamente las lecturas de cada uno de ellos una vez finalizado cada ciclo de carga; las lecturas obtenidas se visualizan en la tabla 53.

DEFORMIMETRO STARNET		LECTURAS				INCREMENTOS			
UBICACIÓN	REFERENCIA	INICIAL	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	INC - C1	C1 - C2	C2 - C3	TOTAL
No. 1	No. 25781	0.785 cm	0.924 cm	0.985 cm	0.960 cm	0.139 cm	0.061 cm	-0.025 cm	0.175 cm
No. 2	No. 25881	0.700 cm	0.748 cm	0.817 cm	0.989 cm	0.048 cm	0.069 cm	0.172 cm	0.289 cm
No. 3	No. 25781	0.400 cm	0.496 cm	0.499 cm	0.423 cm	0.096 cm	0.003 cm	-0.076 cm	0.023 cm
No. 4	No. 25881	0.088 cm	0.089 cm	0.088 cm	0.089 cm	0.001 cm	-0.001 cm	0.001 cm	0.001 cm
No. 5	No. 25881	0.520 cm	0.734 cm	0.734 cm	0.734 cm	0.214 cm	0.000 cm	0.000 cm	0.214 cm
No. 6	No. 25881	0.250 cm	0.476 cm	0.359 cm	0.346 cm	0.226 cm	-0.117 cm	-0.013 cm	0.096 cm

Tabla 53: Lecturas tomadas en los comparadores de caratula e incrementos encontrados.

Con estos datos fue posible estimar los desplazamientos reales de la estructura así como los giros presentados en las conexiones.

3.3 SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA ESTRUCTURA DE LA PRUEBA DE CARGA

SIMULACIÓN NUMÉRICA CON CARGAS APLICADAS

Con el fin de evaluar el comportamiento del módulo de la estructura ensayado se usó el modelo numérico con el cual se había realizado el diseño de las conexiones, haciendo las correcciones pertinentes del caso, tal como eliminar los elementos que no se utilizaron en la prueba de carga real y ubicar las cargas de la misma manera como se realizó el ensayo, así como en las mismas magnitudes.

Para ello fue necesario aplicar carga al modelo en tres oportunidades correspondientes a los tres ciclos de carga que se usaron en la prueba.

Dentro del modelo numérico se conservaron las condiciones de restricciones en los extremos de las secciones y de transmisión de esfuerzos que en el modelo original del diseño de conexiones; estas condiciones se ilustran en las figuras No. 49, 50 y 51, donde se muestran las variaciones en la carga viva del modelo para emular las condiciones de la prueba de carga.

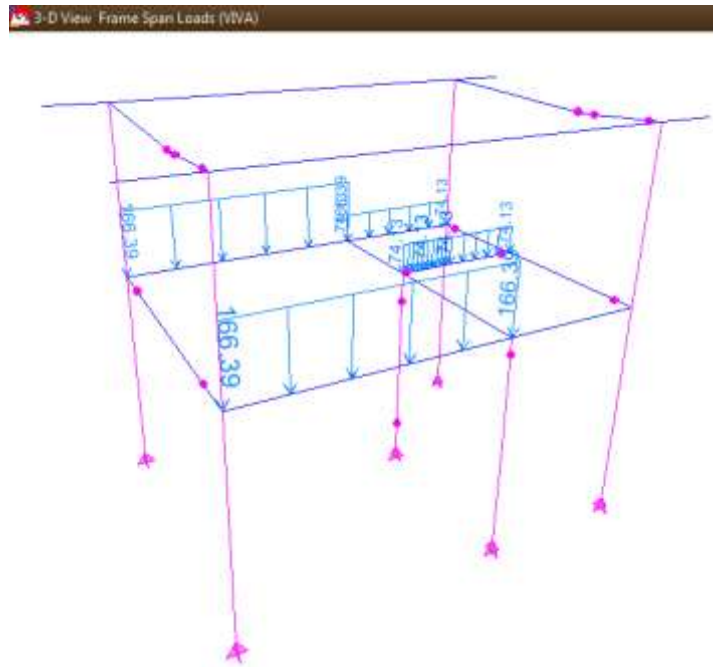


Figura 39: Ciclo de Carga No. 1 (1667.5 Kg) – Distribución de Carga Viva

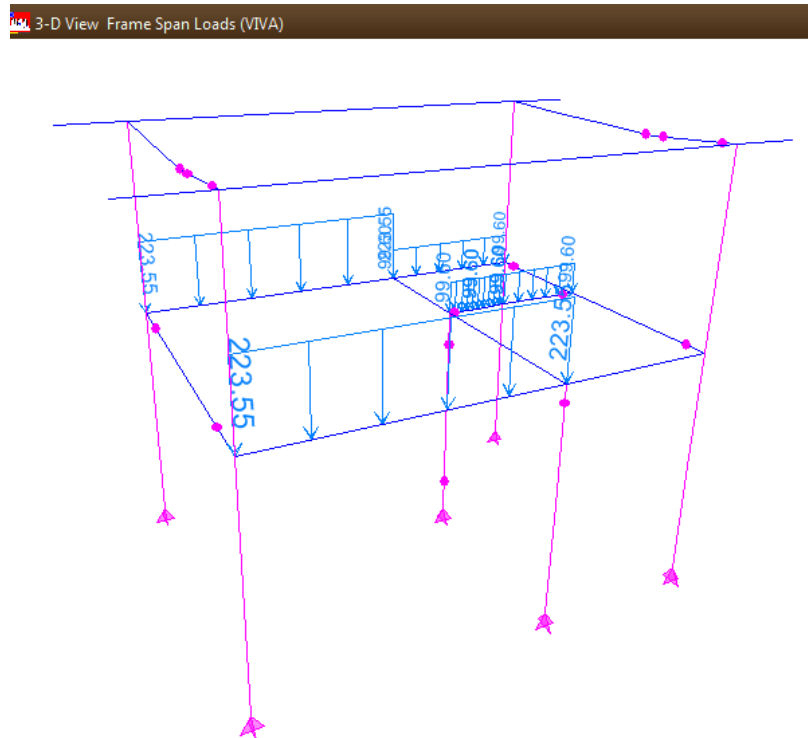


Figura 40: Ciclo de Carga No. 2 (2241.0 Kg) – Distribución de Carga Viva

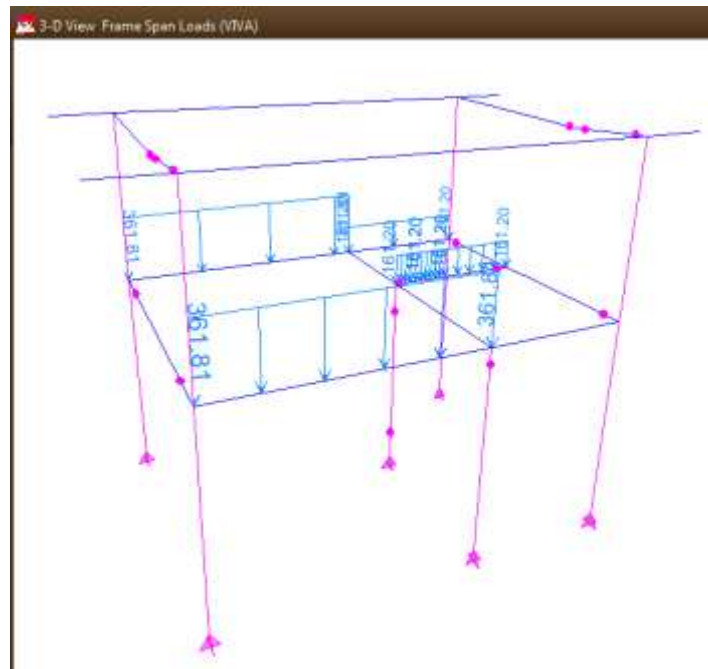


Figura 41: Ciclo de Carga No. 3 (3626.5 Kg) – Distribución de Carga Viva

Teniendo los datos medidos en la prueba de carga y con el modelo numérico (usando el programa ETABS®), se calcularon los desplazamientos y giros de las conexiones tanto teóricos como experimentales.

SIMULACIÓN DE CONEXIONES ESPECÍFICAS

Como la prueba de carga se llevó cabo hasta alcanzar la carga viva de diseño y las conexiones instrumentadas no fallaron, se hizo uso de un análisis con elementos finitos como herramienta para conocer los estados límites de estas conexiones y así estimar la carga que debería aplicarse al módulo de la estructura para llegar a la falla de las conexiones.

Únicamente se simuló las conexiones instrumentadas en la prueba de carga con el fin de tener valores y comportamientos reales comparables al modelo de elementos finitos ejecutado.

Para el desarrollo de esta simulación se utilizó el programa comercial ANSYS® v.13, donde se modeló la geometría de estas conexiones instrumentadas y se impusieron las cargas de la prueba de carga, con el fin de tener un patrón del

comportamiento de la conexión y así poder incrementar las solicitaciones de las mismas, hasta llevarlas a un estado límite de esfuerzos, donde se evaluaría en qué porcentaje de trabajo se encuentra la conexión con respecto a su estado límite.

Conexión 1 P2-T2

Se estudió la conexión a momento denominada P2-T2 mostrada en la figura 18, que hizo parte de la prueba de carga. Esta conexión hace parte del pórtico No. 2 y conecta una viga y una columna de 20x20 cm cada una, como se observa en figura 42.

En esta unión se usaron dos ángulos metálicos que unen la viga a la columna mediante pernos pasantes, conformando una conexión rígida; el detalle de las platinas de esta unión está representado en la figura 43, donde se observa que uno de los patines del ángulo tiene seis perforaciones, los cuales corresponden a la unión a la columna y las otras nueve restantes a la unión a la viga.



Figura 42: Imagen de conexión a momento modelada mediante elementos finitos.

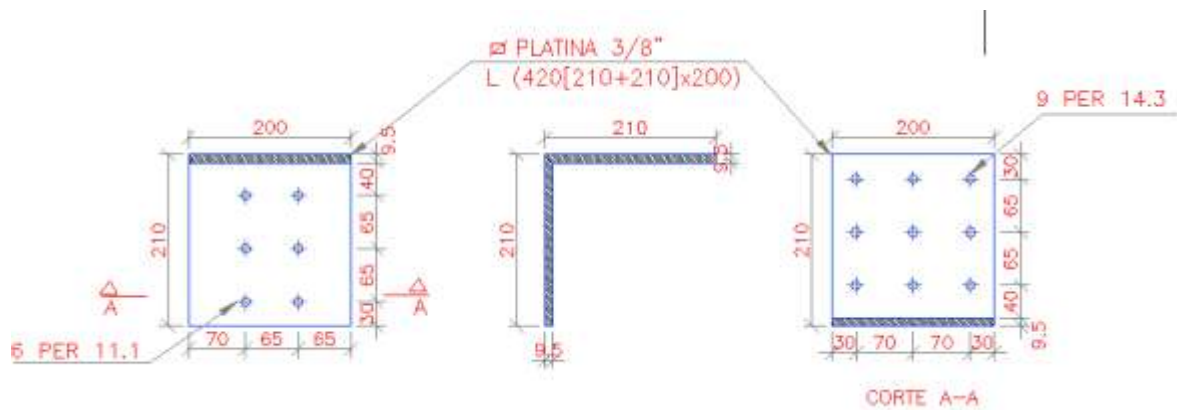


Figura 43: Detalle del ángulo de unión de la conexión P2-T2, modelada mediante elementos finitos

Debido a esta simetría en uno de los ejes que presenta la conexión y debido a que se busca medir los desplazamientos verticales y horizontales en la zona de la unión (para garantizar el ángulo recto en la misma), se simulará la conexión mencionada en una condición plana.

Para la simulación fue necesario establecer los límites en los que se modelaría la unión, buscando que estos correspondieran a valores conocidos o que fuera posible determinarlos, de tal manera que la simulación se podría calibrar mediante estos valores.

Como límites de la simulación se decidió modelar la viga hasta el centro de su luz debido a que allí se conoce su deformación y una fracción de columna que correspondió a 5 veces la altura de la viga, longitud asumida arbitrariamente. Estos límites se observan en la figura 44.

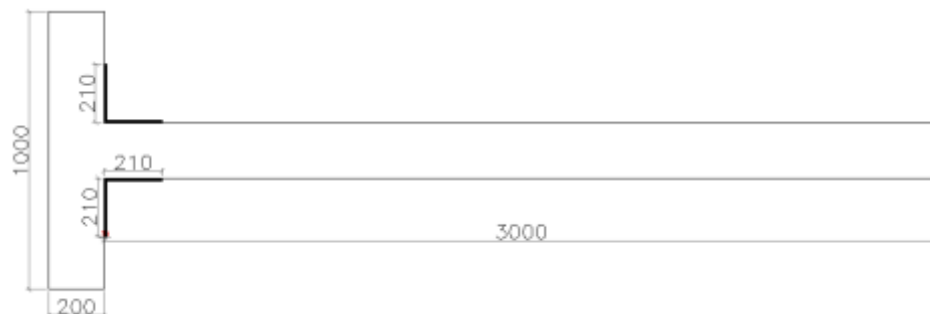


Figura 44: Límites de modelación numérica de la conexión P2-T2

Posteriormente al la definición de límites se procedió a ingresar los datos en el programa Ansys iniciando por establecer un plano de trabajo que facilitara la etapa de dibujo de la conexión. En dicho plano se dibujaron los nodos de los límites estipulados (figura 45) incluyendo los ángulos y los pernos de conexión y posteriormente se convirtieron a áreas para su futuro análisis. (figura 46).

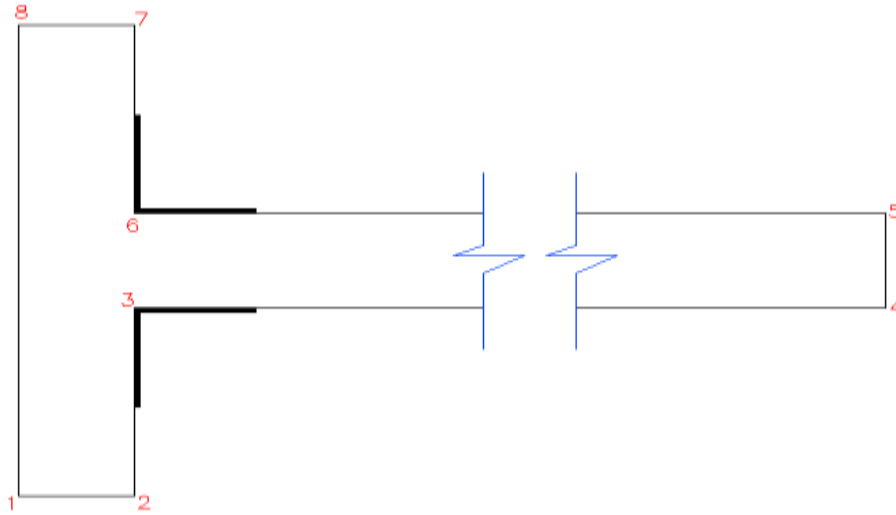


Figura 45: Nodos en los límites de modelación numérica de la conexión P2-T2

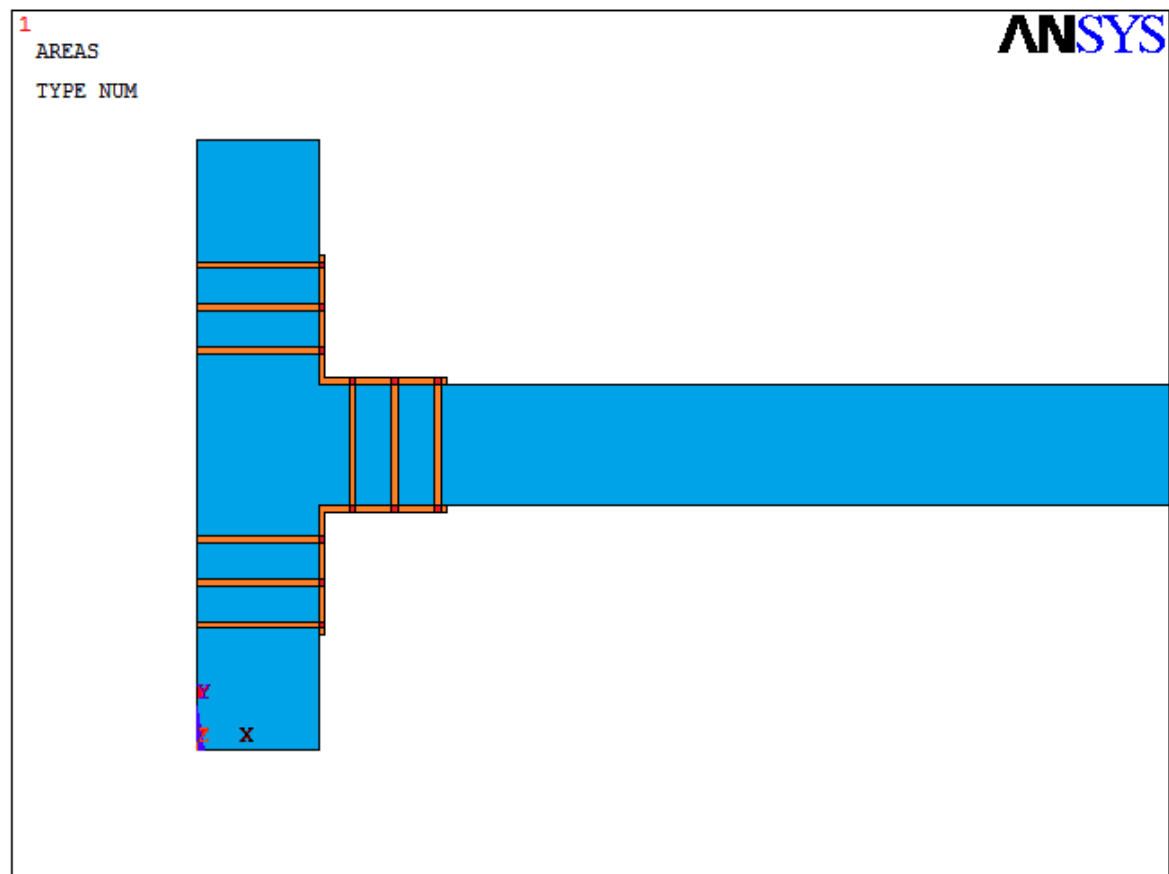


Figura 46: Áreas de modelación numérica de la conexión P2-T2

Las áreas definidas e ilustradas en la figura 46 se generaron mediante elementos tipo plane42 que corresponden a elementos apropiados para representar estados planos de esfuerzos o deformaciones. Este tipo de elementos se definen a partir de cuatro nodos los cuales poseen dos grados de libertad (X, Y), lo que es suficiente para el desarrollo del análisis deseado mediante esta simulación. Adicionalmente se puede trabajar un espesor en estos elementos, en el caso de requerirse, para el caso particular de esta conexión se usó un espesor de 0.05 m lo que permitía tomar una franja de espesor donde se alojará una línea de pernos.

Además de la geometría de la conexión se definieron los materiales que hacen parte de ésta es decir las propiedades de la guadua laminada y del acero de los ángulos y pernos.

Los dos materiales se definieron mediante su módulo de elasticidad²¹ (E) y la relación de poisson²² (μ), como materiales lineales, elásticos, isotrópicos de las siguientes características.

- Bambú guadua laminada:
 $E = 2e10 \text{ N/m}^2$
 $\mu = 0.20$
- Acero de lámina y pernos:
 $E = 2e11 \text{ N/m}^2$
 $\mu = 0.30$

Una vez definidos los materiales y tipos de elementos se procedió a la discretización de la sección estudiada mediante elementos triangulares lineales, los cuales se eligieron por la finura que puede darle a la malla y por la mejor precisión que se puede obtener en puntos críticos de la zona de la unión mediante la platina.

Con el fin de mejorar aun más esta aproximación y en función del espesor de los elementos de acero se tomaron tamaños máximos de 0.01 m para la discretización de la conexión, como se ilustra en la figura 47.

Para realizar el enmallado observado en la figura 47, se aplicaron mediante la malla el tipo de elemento y el material para cada una de las áreas que componen la conexión.

Una vez definida completamente la sección estudiada, se procedió a la asignación de condiciones de borde necesarias para simular el comportamiento real de la misma. Estas condiciones de borde corresponden a restricciones y condiciones de carga.

En cuanto a las restricciones del modelo, se asignó una al desplazamiento vertical (Y) en la columna simulando el apoyo real de segundo género que existe en la base del elemento; también se asignó una restricción al desplazamiento lateral (X) porque en el centro de la luz de la viga se asumió que puede desplazarse verticalmente pero no horizontalmente y por lo tanto se restringió su desplazamiento en esta dirección.

²¹ Usado en la modelación numérica de ETABS®

²² Usado en la modelación numérica de ETABS®

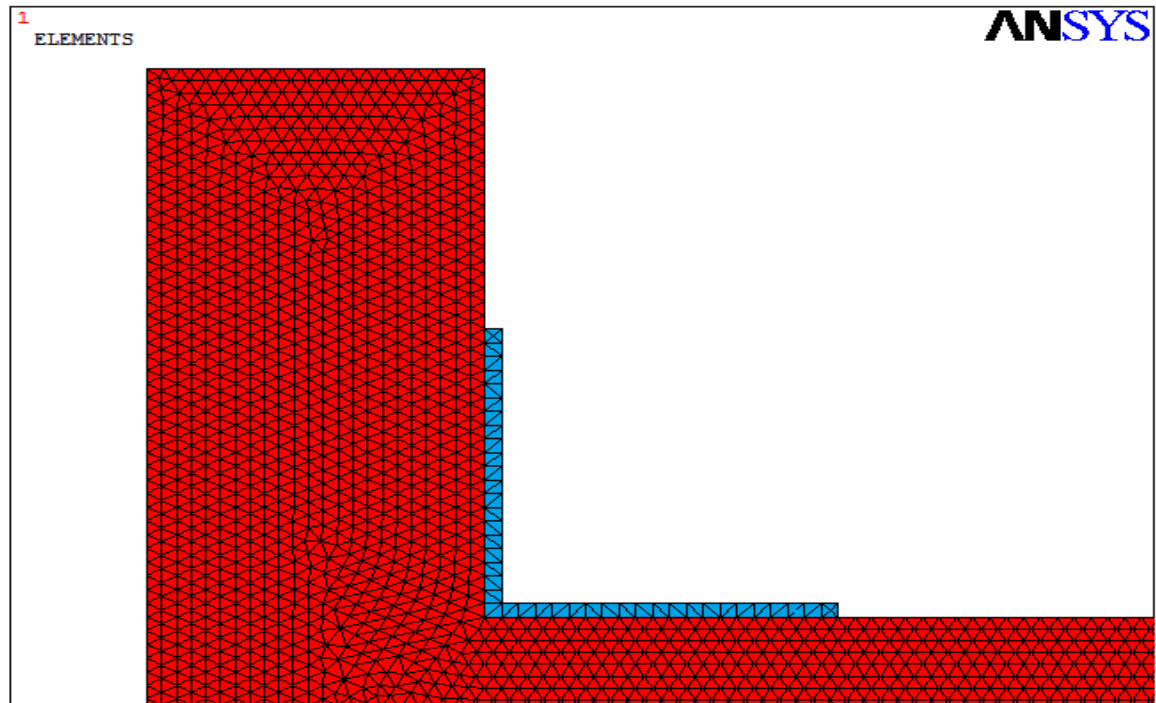


Figura 47: Discretización de la conexión P2-T2

La modelación se inició con la carga máxima impuesta en la prueba real de carga, es decir 3548.14 N*m correspondiente al tercer ciclo, donde se alcanzó la carga viva máxima de diseño. Esta sollicitación fue aplicada como una presión sobre un área ya que se había introducido un espesor a los elementos de la conexión por tanto era preciso hacer una distribución correcta.

Se utilizó esta sollicitación con el fin de calibrar la aproximación del modelo de elementos finitos al compararlos con los datos reales obtenidos en la prueba de carga, de esta manera al lograrse una buena aproximación, supondría que al aumentar las sollicitaciones para llevar la conexión a su estado límite elástico se obtendrían resultados aproximados a la realidad.

El diagrama de restricciones y sollicitaciones utilizado para el modelo de calibración de la conexión se observa en la figura 48.

Una vez asignados estos valores se obtuvieron resultados de desplazamiento para la comparación contra los datos medidos en la prueba de carga.

Inicialmente del ensayo experimental se observó la deformada de la sección para evaluar si esta presentó el comportamiento esperado y posteriormente se obtuvieron los datos de desplazamiento en “y” para la viga y en “x” para la columna y así conocer si se mantiene el ángulo de 90° en la conexión y adicionalmente comparándolos con los encontrados mediante la simulación numérica usando el programa ETABS®.

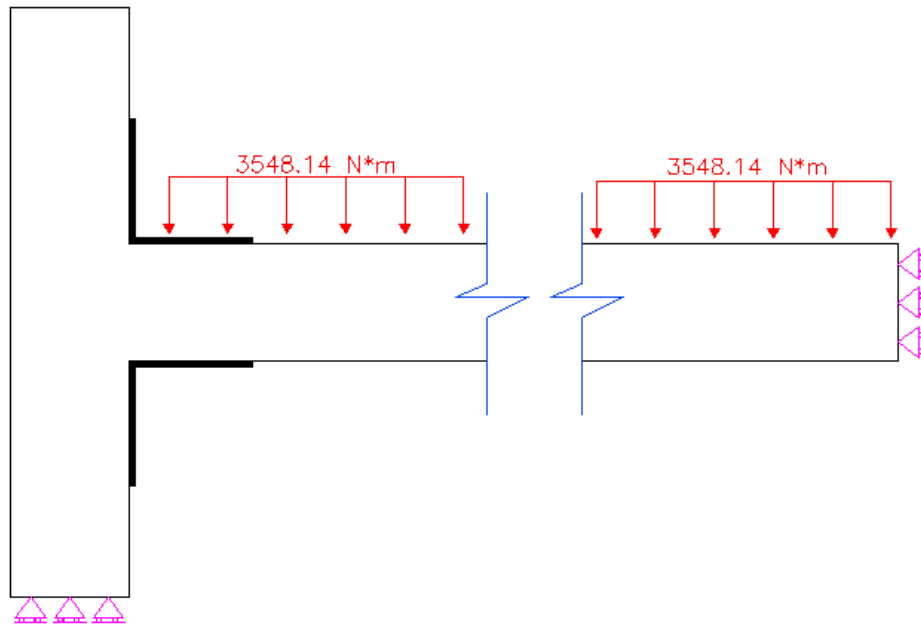


Figura 48: Diagrama de restricciones y solicitaciones de la conexión P2-T2

Una vez comprobados estos resultados se procedió al incremento gradual de solicitaciones, variando únicamente la carga aplicada a la viga y manteniendo las restricciones de la figura 48. Este incremento de solicitaciones se realizó hasta encontrar desplazamientos en la conexión que indiquen que esta ya no es rígida y por lo tanto ya no existe la restricción a momento que se pretende con la unión modelada o cargas en los elementos que componen la unión que superan las condiciones admisibles de los materiales de los mismos.

Conexión 2 P1-T3

La conexión estudiada será la conexión a momento denominada P1-T3 en la figura 23, que hizo parte de la prueba de carga. Esta conexión hace parte del pórtico No. 1 y conecta una viga de 11x20cm y una columna de 20x20 cm, como se observa en figura 49.



Figura 49: Imagen de conexión a momento modelada mediante elementos finitos

Esta unión está conformada por dos ángulos metálicos que unen tanto a la viga como a la columna mediante pernos pasantes, conformando una conexión rígida; el detalle de las platinas de esta unión está representado en la figura 50, donde se observa que uno de los patines del ángulo tiene dos perforaciones, los cuales corresponden a la unión a la columna y las otras cuatro restantes a la unión a la viga.

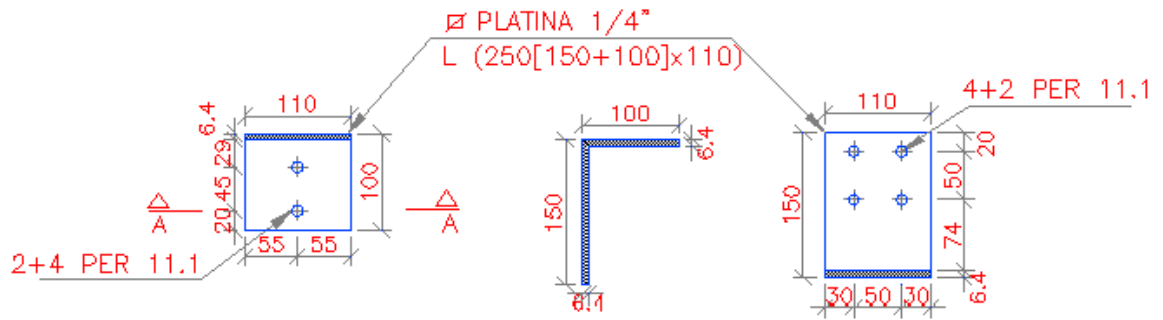


Figura 50: Detalle de ángulo de unión de la conexión P1-T3, modelada mediante elementos finitos

Debido a esta simetría en uno de los ejes que presenta la conexión y debido a que se busca medir los desplazamientos verticales y horizontales en la zona de la unión (para garantizar el ángulo recto en la misma), se simulará la conexión mencionada en una condición plana.

Para la simulación fue necesario establecer las condiciones de borde al igual que en la conexión anterior, en valores conocidos o posibles de determinar

Como límites de la simulación se decidió modelar la viga hasta el centro de su luz debido a que allí se conoce su deformación (medida en prueba de carga comparador de caratula No.2), y una fracción de columna que correspondió a cinco veces la altura de la viga, longitud asumida arbitrariamente. Estos límites se observan en la figura 51.

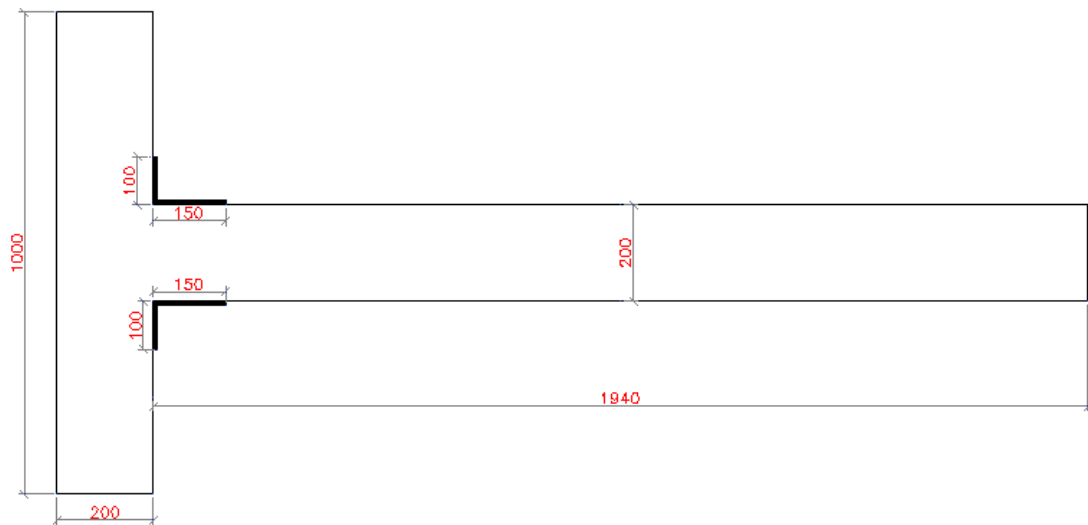


Figura 51: Límites de modelación numérica de la conexión P1-T3

Luego de establecidos los límites de modelación se procedió a la modelación de la conexión en el programa Ansys®, siguiendo la misma metodología explicada en la conexión 1 de creación de nodos, áreas y materiales (iguales a los de la conexión 1) los cuales se aplicarán durante la discretización de la sección y mediante elementos plane42, la modelación y discretización de esta sección se muestra en las figuras 52 y 53.

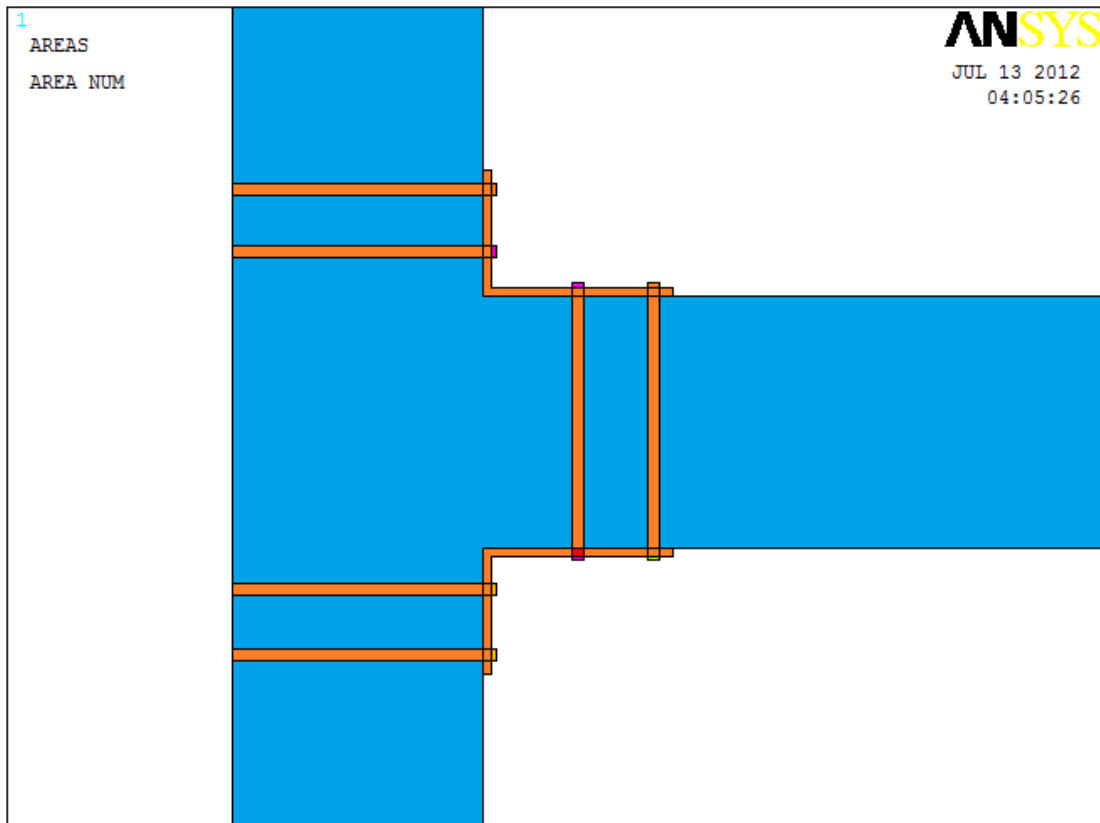


Figura 52: Áreas de modelación numérica de la conexión P1-T3

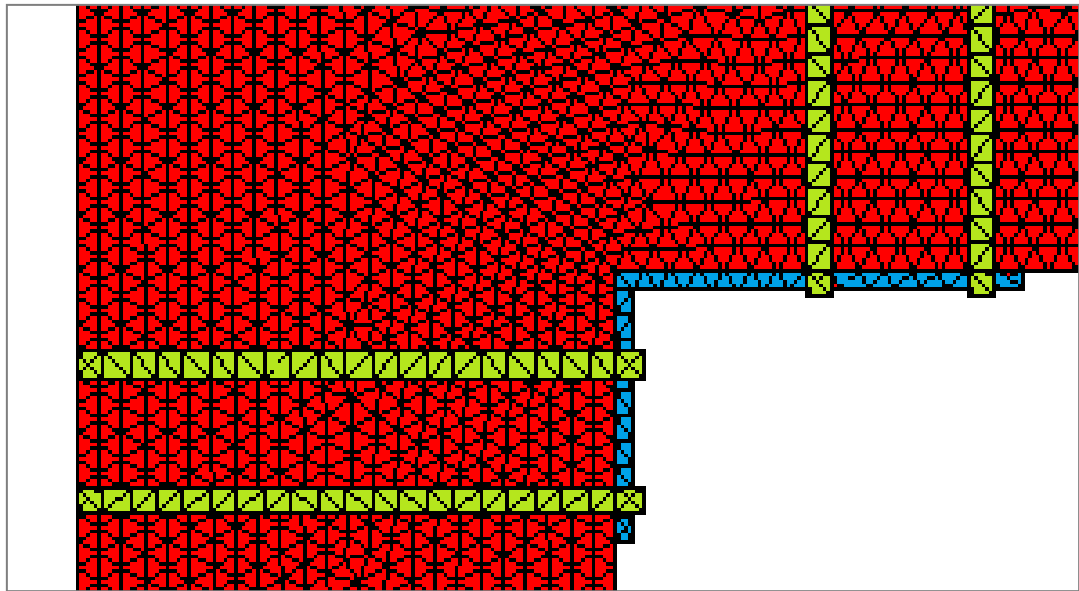


Figura 53: Discretización de la conexión P1-T3

La modelación se inició con la carga máxima impuesta en la prueba real de carga, es decir 3548.14 N*m correspondiente al tercer ciclo, donde se alcanzó la carga viva máxima de diseño. Esta solicitación fue aplicada como una presión sobre un área ya que se había introducido un espesor a los elementos de la conexión.

Al igual que en la anterior conexión esto se hizo con el fin de calibrar la conexión y los resultados que ésta arrojaría.

Las condiciones de borde o frontera corresponden a las mismas utilizadas en la conexión P2-T2 (figura 48), desplazamiento vertical restringido en la columna y desplazamiento horizontal restringido en la viga.

Conexión 3 C1-T6

La conexión estudiada será la conexión no resistente a momento denominada C1-T6 en la Figura 14, que hizo parte de la prueba de carga. Esta conexión hace parte de la cercha y conecta una viga de 5x20cm y una columna de 20x20 cm, como se observa en figura 54.



Figura 54: Imagen de conexión no resistente a momento modelada mediante elementos finitos

Esta unión está conformada mediante dos ángulos metálicos que unen la viga a la columna horizontalmente mediante pernos pasantes, el detalle de las platinas de esta unión está representado en la figura 55, donde se observa que uno de los patines del ángulo tiene dos perforaciones, los cuales corresponden a la unión a la columna y las otras 6 restantes a la unión a la viga.

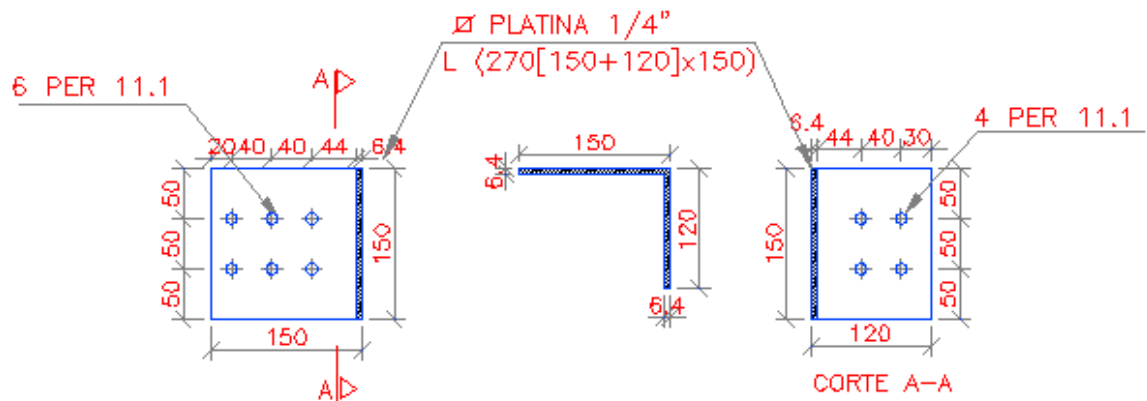


Figura 55: Detalle de ángulo de unión de la conexión C1-T6, modelada mediante elementos finitos

Debido a que ésta es una conexión que solo resiste solicitaciones de corte se modeló únicamente la parte del ángulo correspondiente a la viga, ya que éste es el que se pudo instrumentar mediante la ubicación de un comparador de caratula (comparador No.1) en la mitad de la luz de la viga sostenida por dicha conexión.

Como límites de la simulación (figura 56) y complementando lo anteriormente dicho se decidió modelar únicamente la viga hasta el centro de su luz y se determinaron las condiciones de borde como las observadas en la figura 57, donde se aprecia que por el costado de la platina metálica se restringió el desplazamiento vertical (Y) únicamente en la línea resaltada en rojo simulando la restricción generada por el otro patín del ángulo que va conectado a la columna.

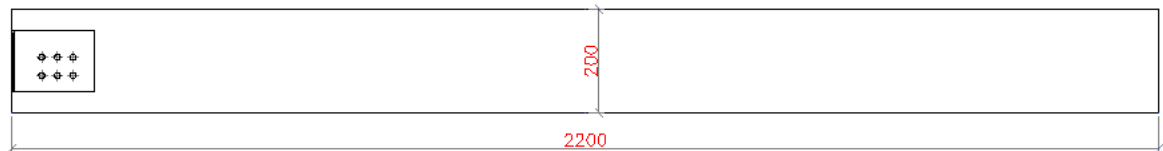


Figura 56: Límites de modelación numérica de la conexión C1-T6

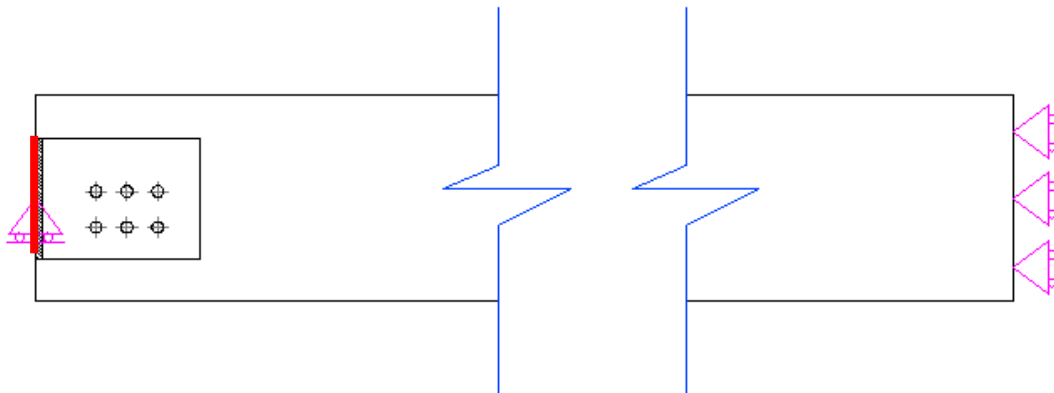


Figura 57: Condiciones de borde de modelación numérica de la conexión C1-T6

Luego de establecidas las condiciones de borde se procedió a la creación de la conexión en el programa Ansys®, siguiendo la misma metodología explicada en la conexión 1 de creación de nodos, áreas y materiales (iguales a los de la conexión 1) los cuales se aplicaron durante la discretización de la sección y mediante elementos plane42, la modelación y discretización de esta sección se muestra en las figuras 58 y 59.

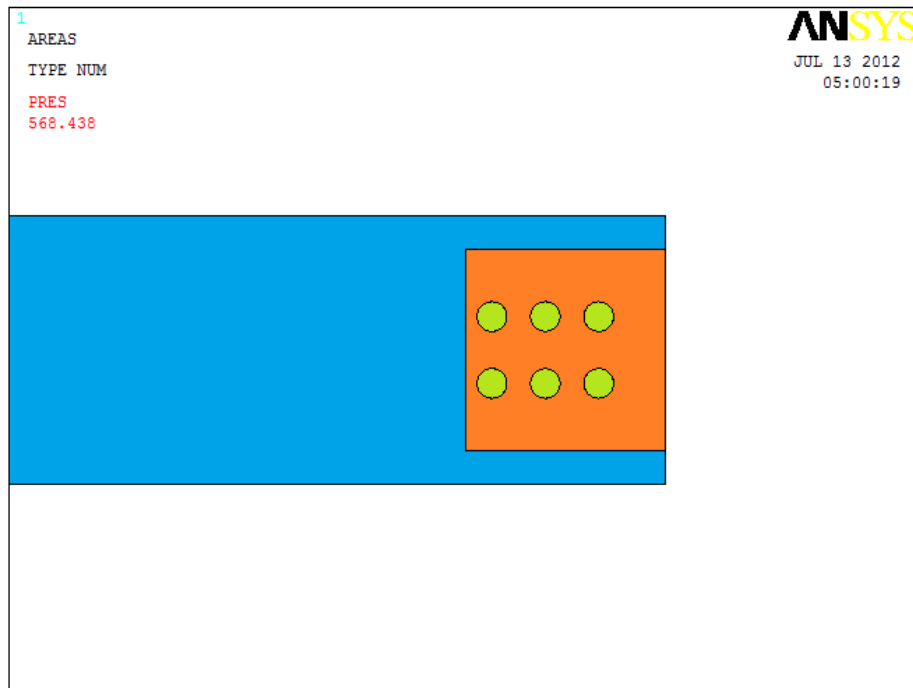


Figura 58: Áreas de modelación numérica de la conexión C1-T6

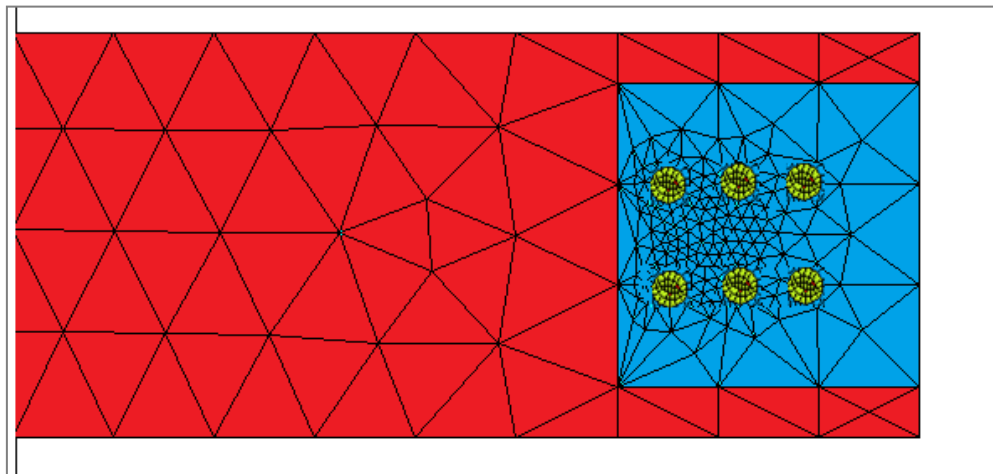


Figura 59: Discretización de modelación numérica de la conexión C1-T6

Según la concepción de diseño de esta conexión, la viga sostenida por esta conexión solo se encontraba sometida a una carga equivalente a su peso propio, sin embargo por efectos constructivos de la prueba de carga se instalaron unos listones de madera que llegaban a esta viga, los cuales no se verían sometidos a

carga, sin embargo, al deflectarse las viguetas de guadua rolliza, estas generaron carga sobre los listones inicialmente previstos y por consiguiente sobre la viga estudiada incrementando las solicitaciones de ésta. Este fenómeno se puede observar en la figura 60.

Debido a este incremento de carga no considerado se decidió, en la modelación, ubicar una carga equivalente al 35% de la carga aplicada en el ciclo 3 de la prueba de carga para simular en parte el fenómeno explicado anteriormente.

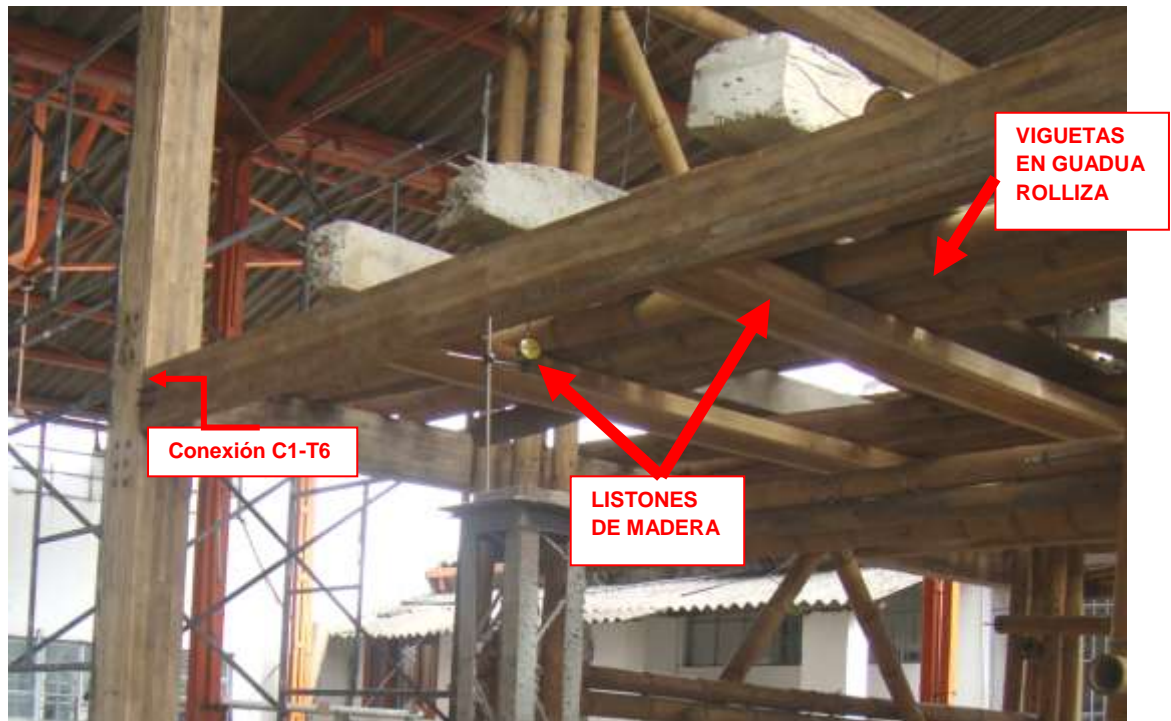


Figura 60 Condición de carga real de la conexión C1-T6

4. CALCULOS Y RESULTADOS

4.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA PRUEBA DE CARGA.

Con las lecturas de desplazamiento de la prueba de carga y con los resultados del modelo numérico (usando el programa ETABS®), se calcularon los desplazamientos y giros reales y teóricos del módulo cargado.

Con los comparadores de carátula 1 y 2 se midieron desplazamientos en los centros de la luz de la viga instrumentada y con base en la geometría básica se hallaron los giros en los apoyos de las mismas. Por otro lado los demás comparadores de carátula fueron ubicados directamente a la conexión, uno a viga y otro a columna, con el fin de revisar que los desplazamientos encontrados fuesen similares, indicando que se mantenía un ángulo recto entre los dos elementos estructurales, nuevamente por geometría se pudieron hallar los giros en los apoyos.

Una vez encontrados los datos experimentales obtenidos con la prueba de carga se compararon con los encontrados en el programa ETABS® que corresponden a desplazamientos a lo largo de cada uno de los elementos y giros en los nodos conectores.

Para encontrar los giros en los apoyos se partió de conocer el desplazamiento marcado por 1 en la figura 61 y la distancia a la que se ubicó el comparador “X”, se podrá hallar el giro 2 mediante la relación trigonométrica indicada en la ecuación 8.

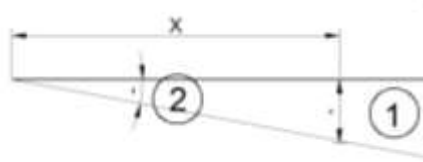


Figura 61: Detalle de Deducción del Giro de una Conexión mediante su desplazamiento medido

$$\textcircled{2} = \text{tang}^{-1} \left(\frac{\textcircled{1}}{X} \right) \quad \text{Ec. 8}$$

De esta manera se obtuvieron los datos de giros en las conexiones de los extremos de las vigas instrumentadas con los comparadores de caratula 1 y 2. Los resultados de estos datos de campo y de ETABS® para estos dos casos están contenidos en las figuras 62 – 65.

El procedimiento para encontrar giros en las conexiones instrumentadas por pares, es el mismo teniendo en cuenta que la distancia x de la viga de la figura 61 ya no será el centro de la luz de la viga si no la distancia a la que se ubicó el comparador de carátula y la distancia y a la que se ubico el comparador de la columna. Los datos encontrados para los comparadores del 3 al 6 se encuentran en las figuras 66 y 67.

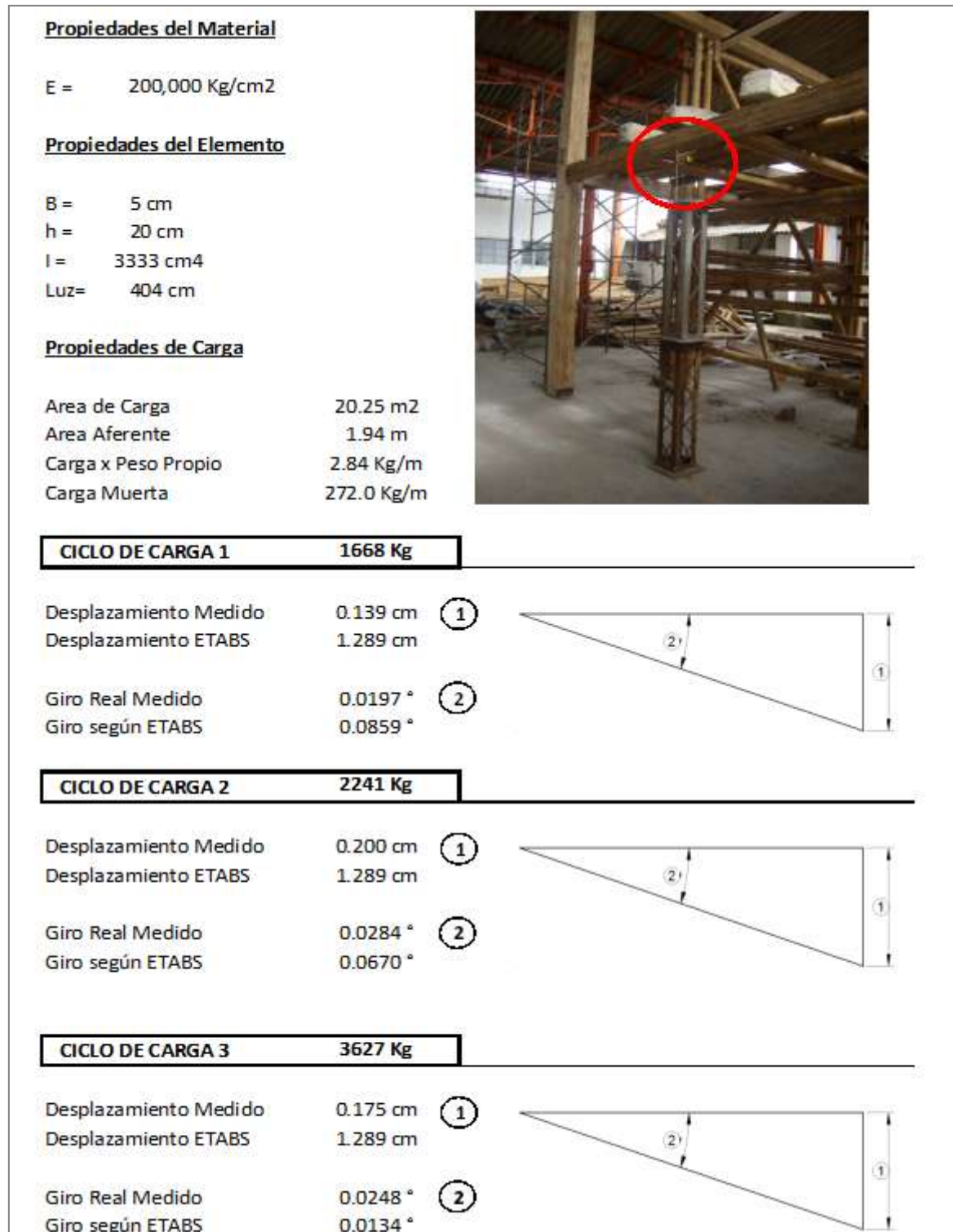


Figura 62: Comparación de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 1 (Conexión C1-T6 y C1-T5)

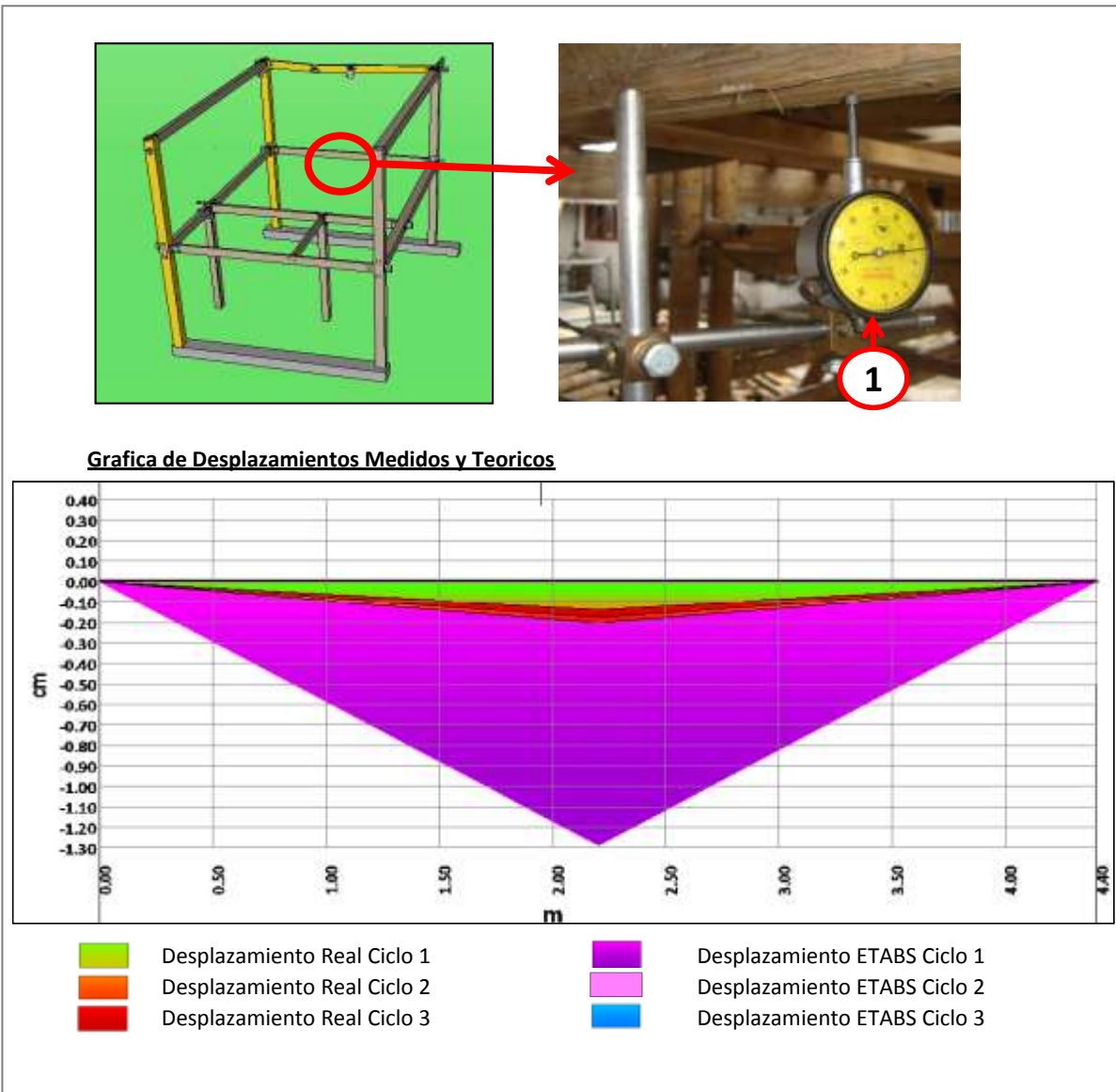


Figura 63: Gráfica de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 1 (Conexión C1-T6 y C1-T5)

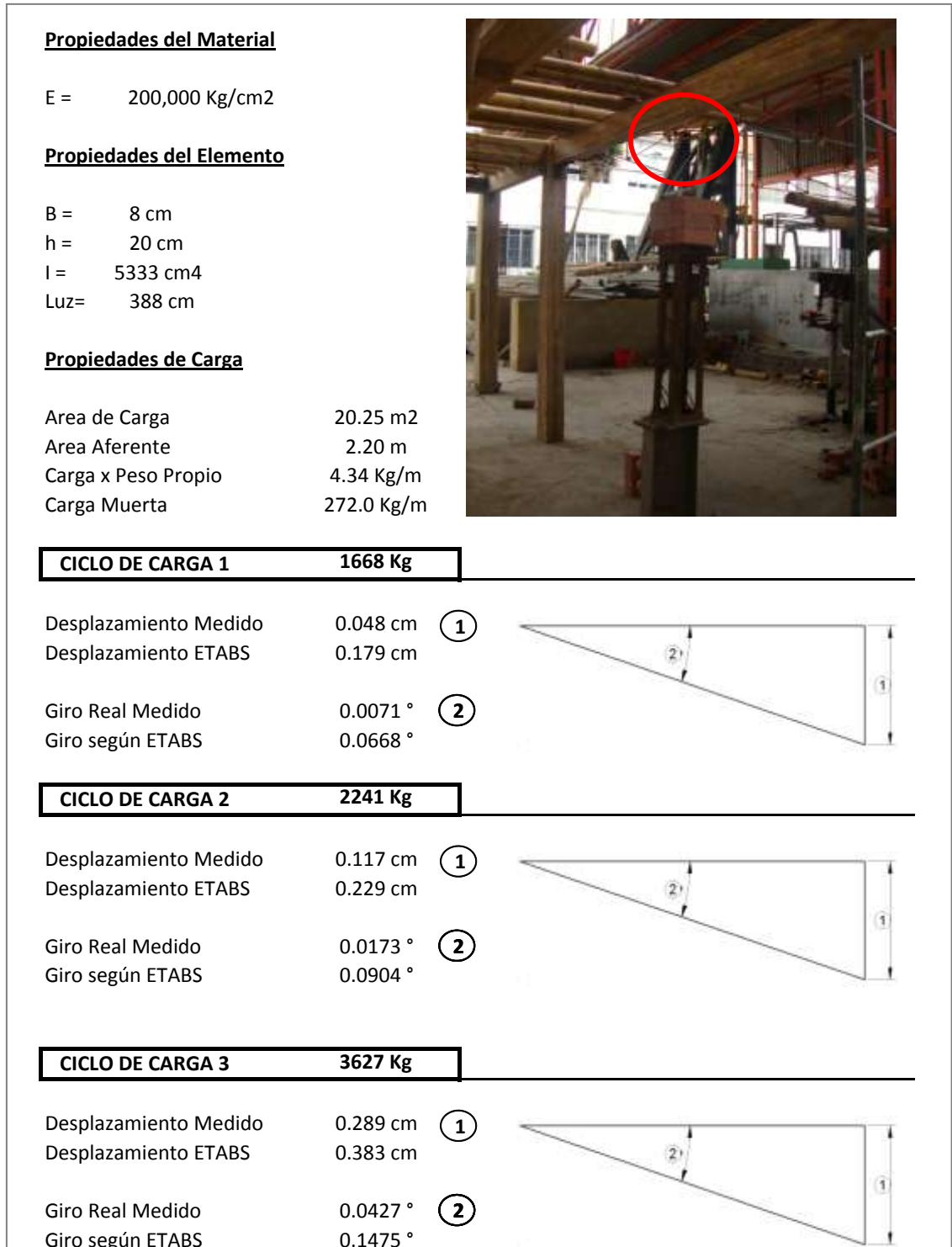
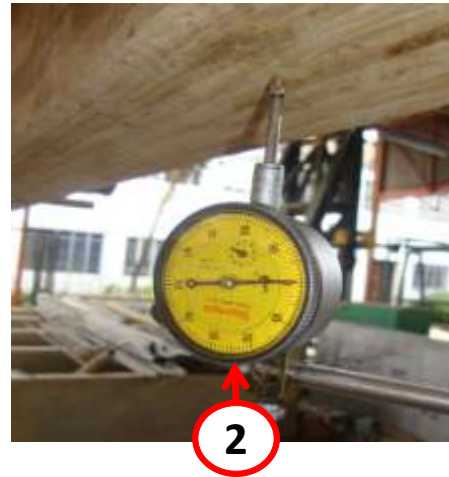
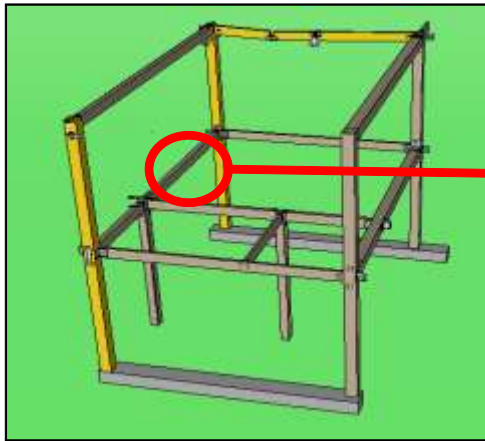


Figura 64: Comparación de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 2



Grafica de Desplazamientos Medidos y Teóricos

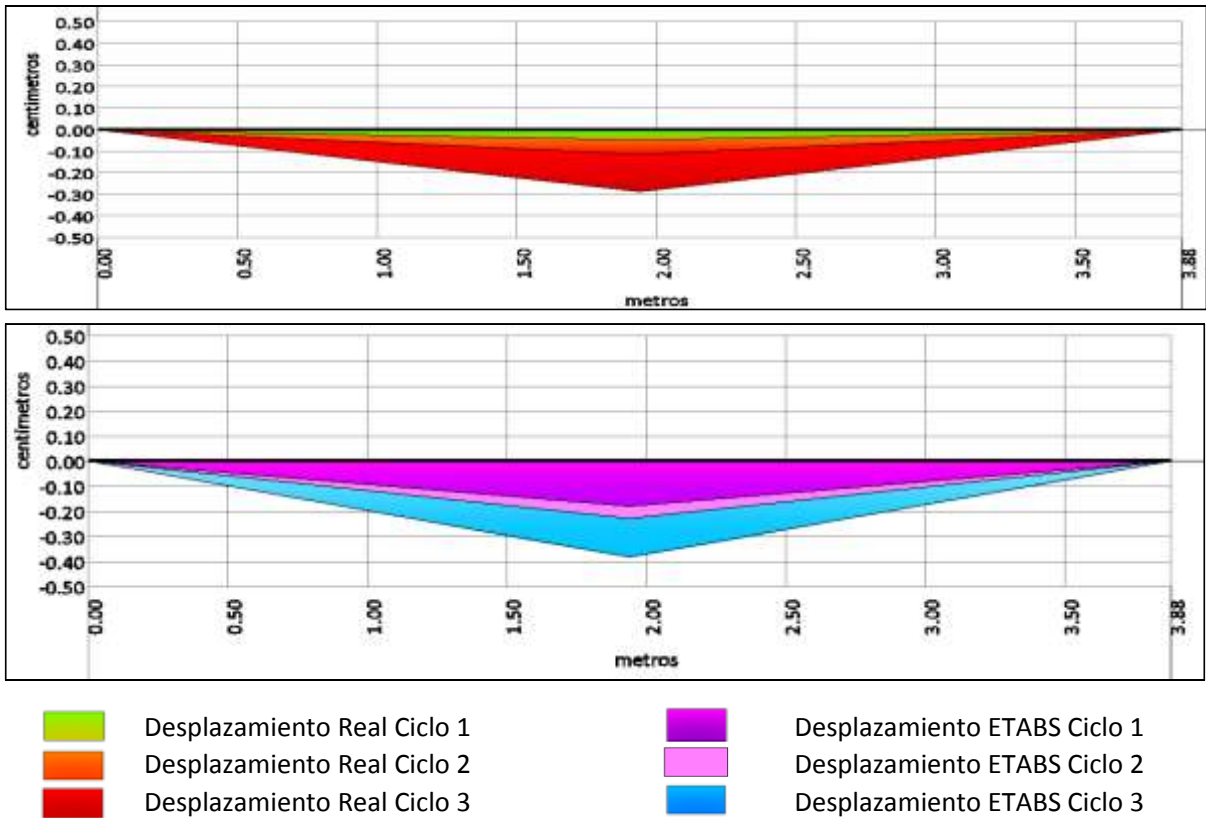


Figura 65: Grafica de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 2

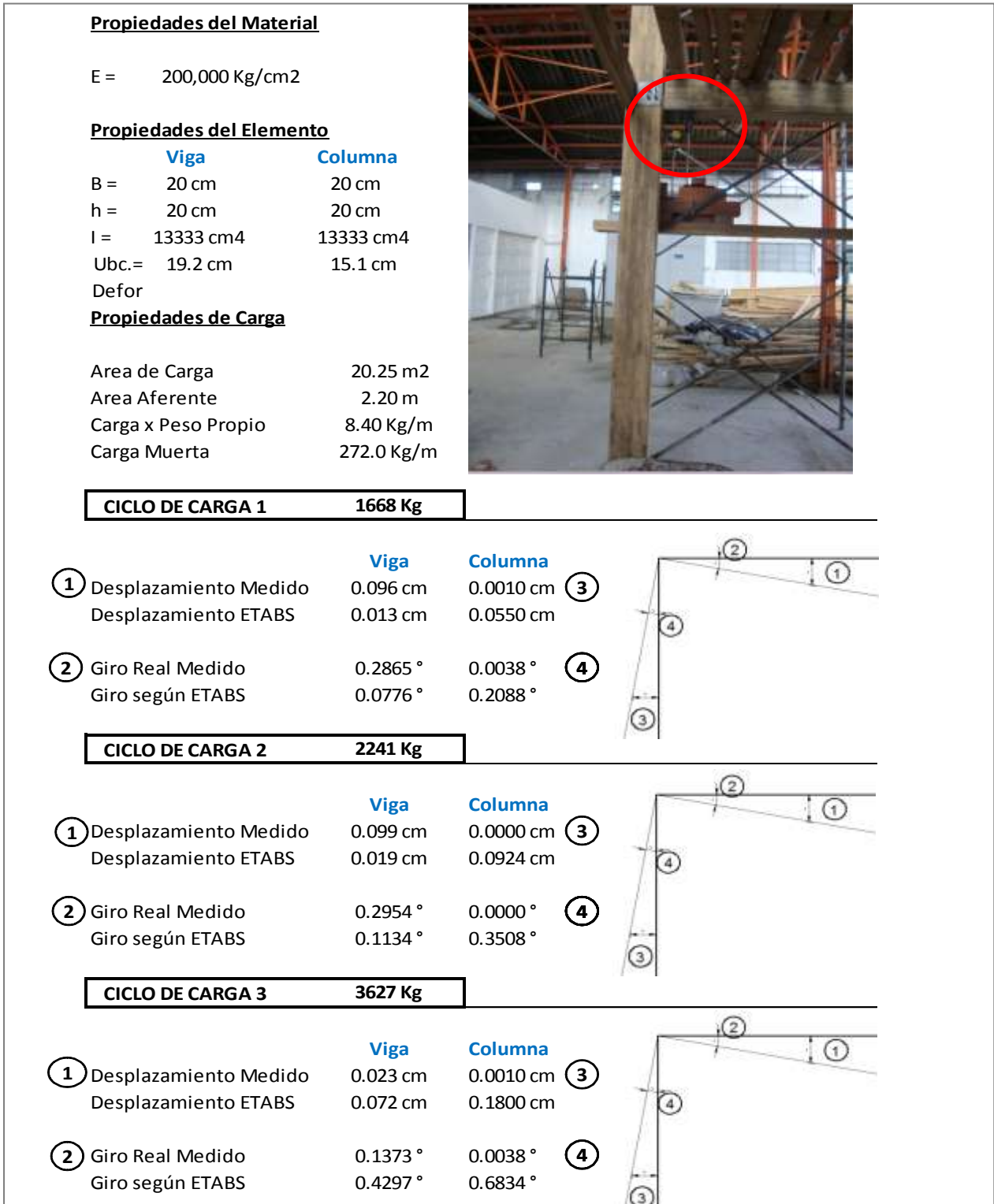


Figura 66: Comparación de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 3 y 4

Propiedades del Material

E = 200,000 Kg/cm²

Propiedades del Elemento

	Viga	Columna
B =	8 cm	20 cm
h =	20 cm	20 cm
I =	5333 cm ⁴	13333 cm ⁴
Ubc.=	19.7 cm	15.9 cm
Defor		

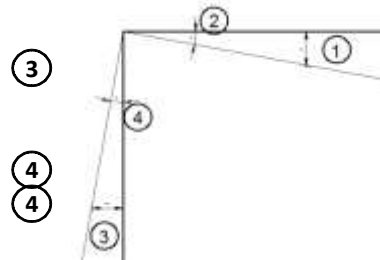
Propiedades de Carga

Area de Carga	20.25 m ²
Area Aferente	2.20 m
Carga x Peso Propio	4.35 Kg/m
Carga Muerta	272.0 Kg/m



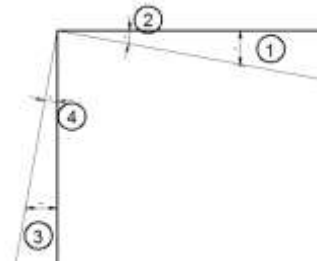
CICLO DE CARGA 1 1668 Kg

	Viga	Columna
① Desplazamiento Medido	0.214 cm	0.226 cm
Desplazamiento ETABS	0.230 cm	0.279 cm
② Giro Real Medido	0.6224 °	0.8143 °
Giro según ETABS	0.6689 °	1.0046 °



CICLO DE CARGA 2 2241 Kg

	Viga	Columna
① Desplazamiento Medido	0.214 cm	0.1090 cm
Desplazamiento ETABS	0.310 cm	0.3722 cm
② Giro Real Medido	0.6224 °	0.3928 °
Giro según ETABS	0.9015 °	1.3410 °



CICLO DE CARGA 3 3627 Kg

	Viga	Columna
① Desplazamiento Medido	0.214 cm	0.0960 cm
Desplazamiento ETABS	0.500 cm	0.5982 cm
② Giro Real Medido	1.2446 °	0.3459 °
Giro según ETABS	2.9059 °	2.1547 °

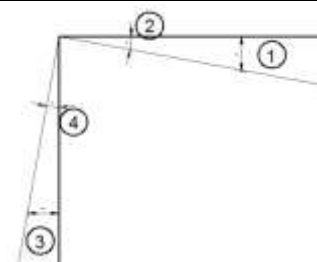


Figura 67: Comparación de resultados teóricos y experimentales comparador de caratula No. 5 y 6

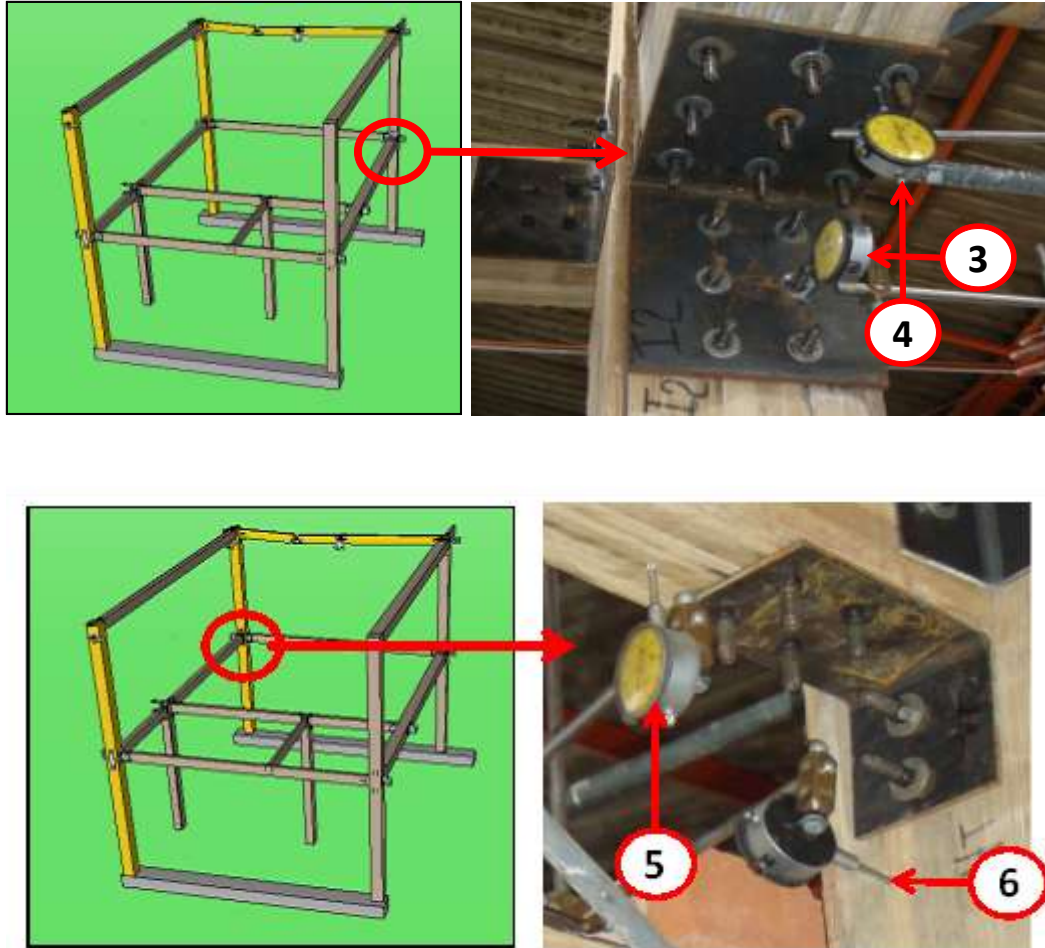


Figura 68: Ubicación de comparadores de caratula No 3 al 6 en prueba de carga.

4.2 ESTADOS LÍMITES DE CONEXIONES ESPECÍFICAS MODELADAS.

Una vez realizada la modelación de elementos finitos de las tres conexiones instrumentadas se procedió a hacer incrementos de carga de tal manera que se llegase a la carga máxima soportada por la conexión. Para ello se partió de imponer una carga unitaria en los tres modelos y encontrar los esfuerzos generados, perpendicular a la fibra para el caso de la guadua (δ_y), por ser crítico este esfuerzo en los elementos de bambú guadua laminada y de von mises para la platina metálica (δ_{vm}).

Una vez hallados estos valores se procedió a la extrapolación e iteración de la información conociendo los esfuerzos admisibles tanto para la guadua²³ como para el acero²⁴ de las platinas, encontrando una carga que llevará a la falla bien sea al elemento ó a la platina.

De tal manera que en el momento en que alguno de los dos materiales alcanzara la fluencia se considerará el fallo de la conexión.

CONEXIÓN 1 P2-T2

Como ya se mencionó previamente, primero fue necesario encontrar los resultados de desplazamientos en las conexiones modeladas y compararlas contra los datos de la prueba de carga, lo que corresponde a una calibración de los resultados.

- *Calibración de resultados*

La comparación de resultados se llevó a cabo mediante la revisión de la deformada (figura 69) y los desplazamientos verticales (y) y horizontales (X) ilustrados en la figura 70.

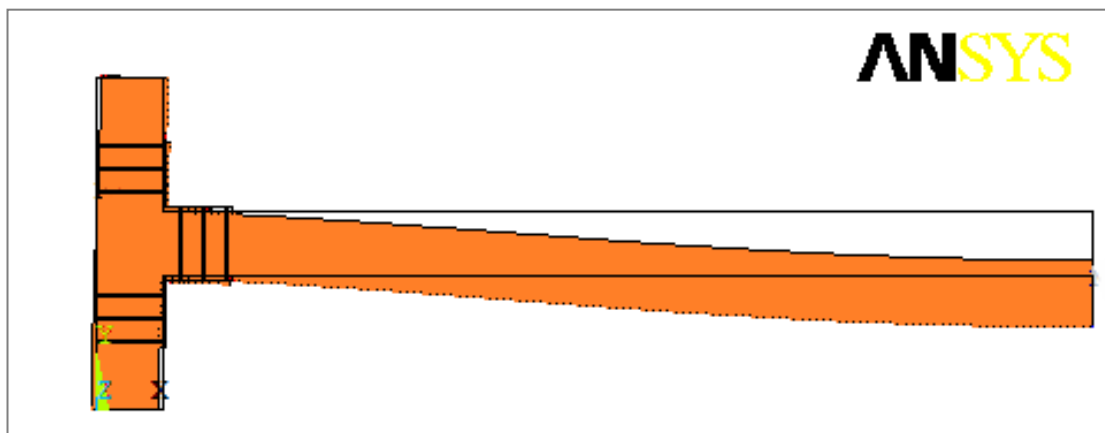
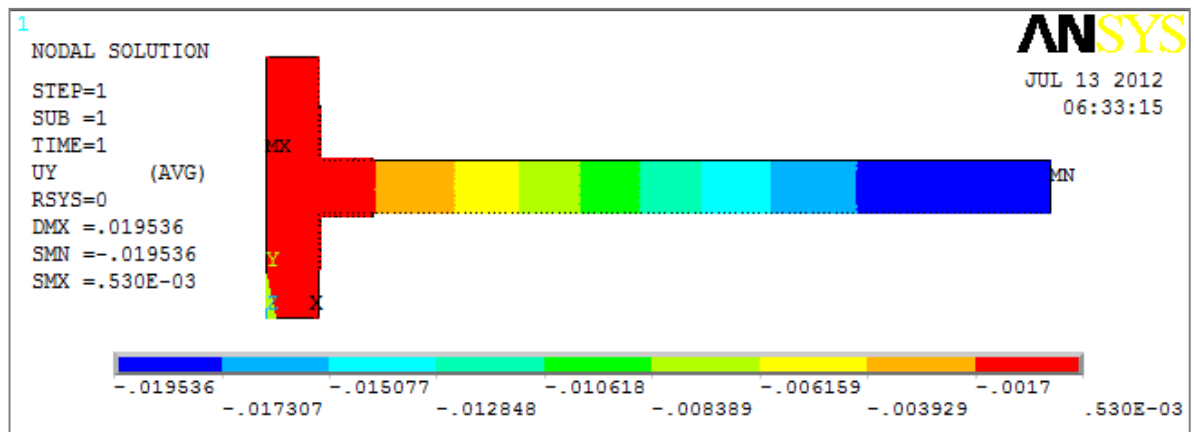


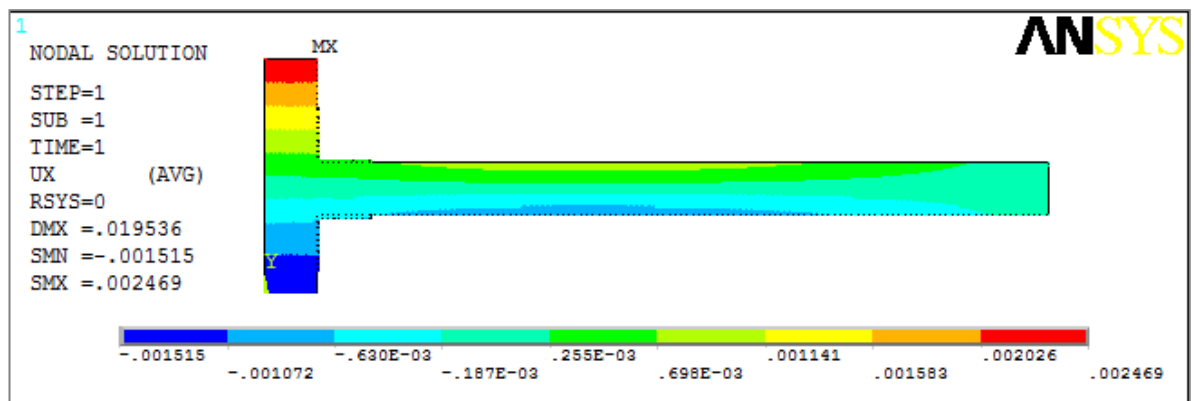
Figura 69: Deformada de la conexión P2-T2 para el tercer ciclo de carga

²³ $\sigma_y L = 13.260.000 \text{ N/m}^2$

²⁴ $\sigma_y = 25.000.000 \text{ N/m}^2$



a



b

Figura 70: a. Desplazamientos verticales (y) ; b. Desplazamientos horizontales (X) de la conexión P2-T2 para el tercer ciclo de carga
(Unidades en m)

Como se observa en la figura 70a el desplazamiento vertical (y) en la zona de inicio de la platina (la misma donde se ubicó el comparador de carátula), fue de -0.0017 m es decir -0.017 cm, muy similar a los -0.023 cm obtenidos por el comparador No. 4 en el tercer ciclo de la prueba de carga. Adicionalmente en la figura 70b se observa que el desplazamiento en x en la zona instrumentada fue de 0.0011m, es decir 0.011 cm que no es similar al 0.0010 obtenido en la prueba de carga. Sin embargo, esto se debe a que este comparador no presentó un buen comportamiento durante la prueba, por tanto sus datos no se consideraron confiables, aun así en la viga se obtuvo una buena aproximación lo que implica que se puede considerar calibrada la conexión.

- Efecto de la carga unitaria sobre la conexión

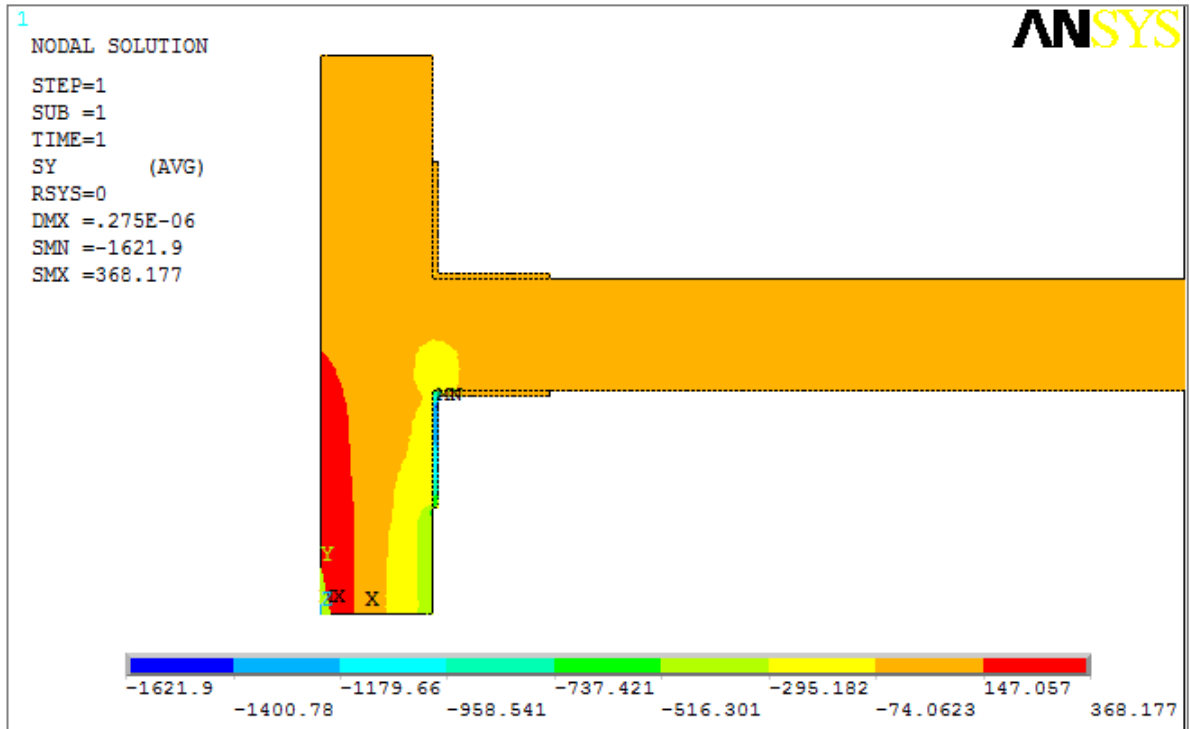


Figura 71: Esfuerzos (Y) de la conexión P2-T2 para una carga unitaria
 (Unidades en N-m)

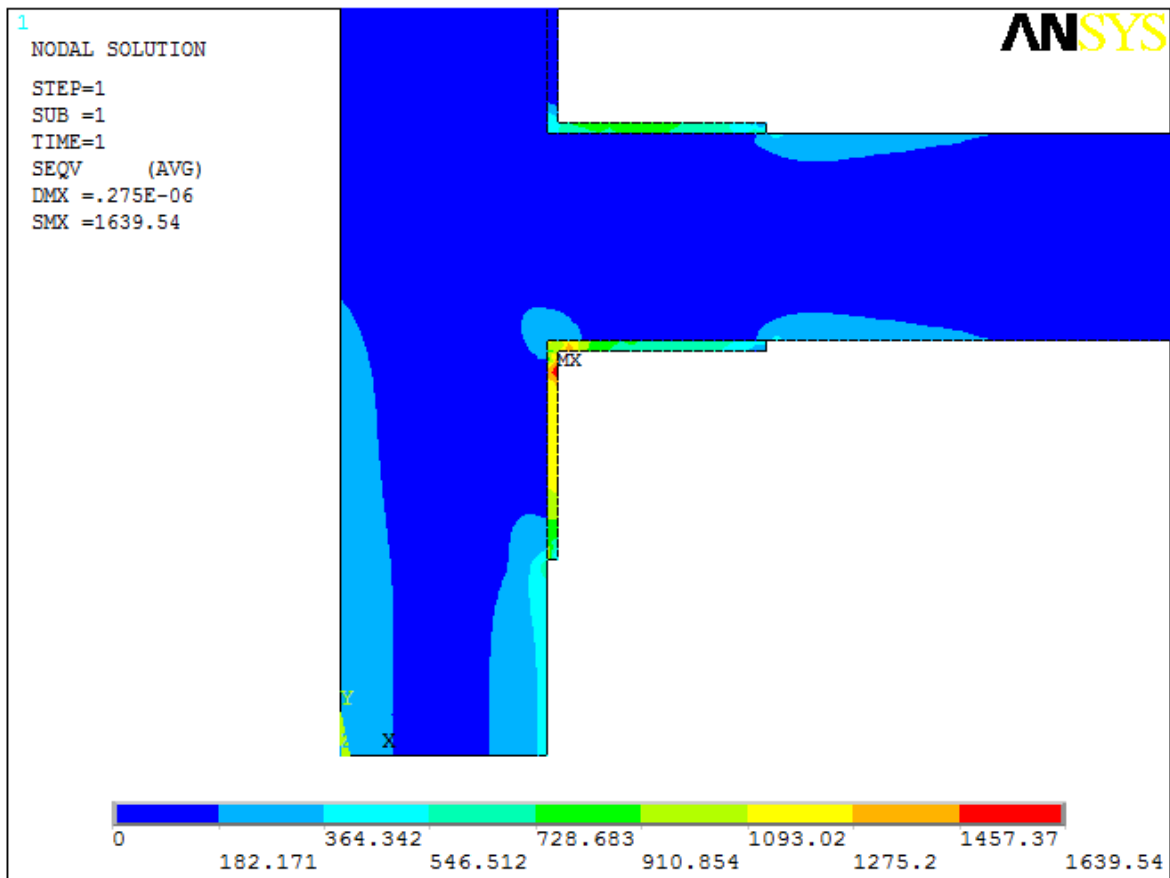


Figura 72: Esfuerzos (von mises) de la conexión P2-T2 para una carga unitaria
 (Unidades en N-m)

- Carga de falla de la conexión 15248.2 N/m² – fluencia de la platina

Una vez conocidos los esfuerzos para el bambú guadua laminada y para el acero con base en las figuras 71 y 72, se itera la carga hasta llegar a un valor de 15248.2 N/m²²⁵ distribuida sobre la viga, carga en la cual alguno de los elementos falló, para este caso cuando la platina entró en fluencia; encontrando los resultados mostrados en las figuras 73 y 74.

²⁵ Se utiliza m², debido a que las cargas se introdujeron como un presión aplicada al área conformada por el espesor 0.05 m y el largo del elemento

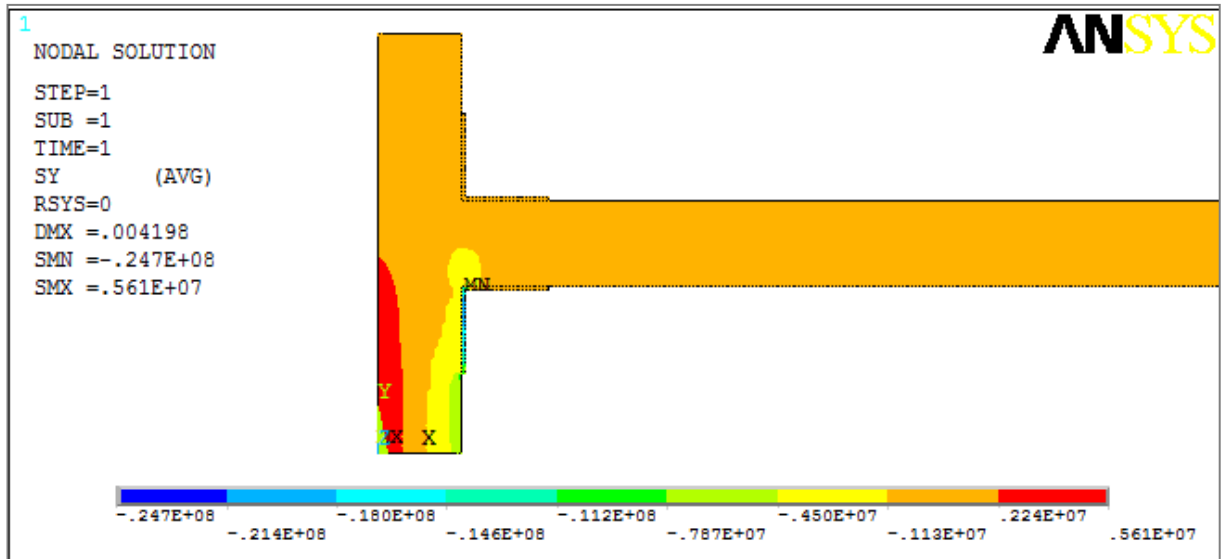


Figura 73: Esfuerzos (σ_y) de la conexión P2-T2 para una carga de 15248.2 N/m² (Unidades en N-m)

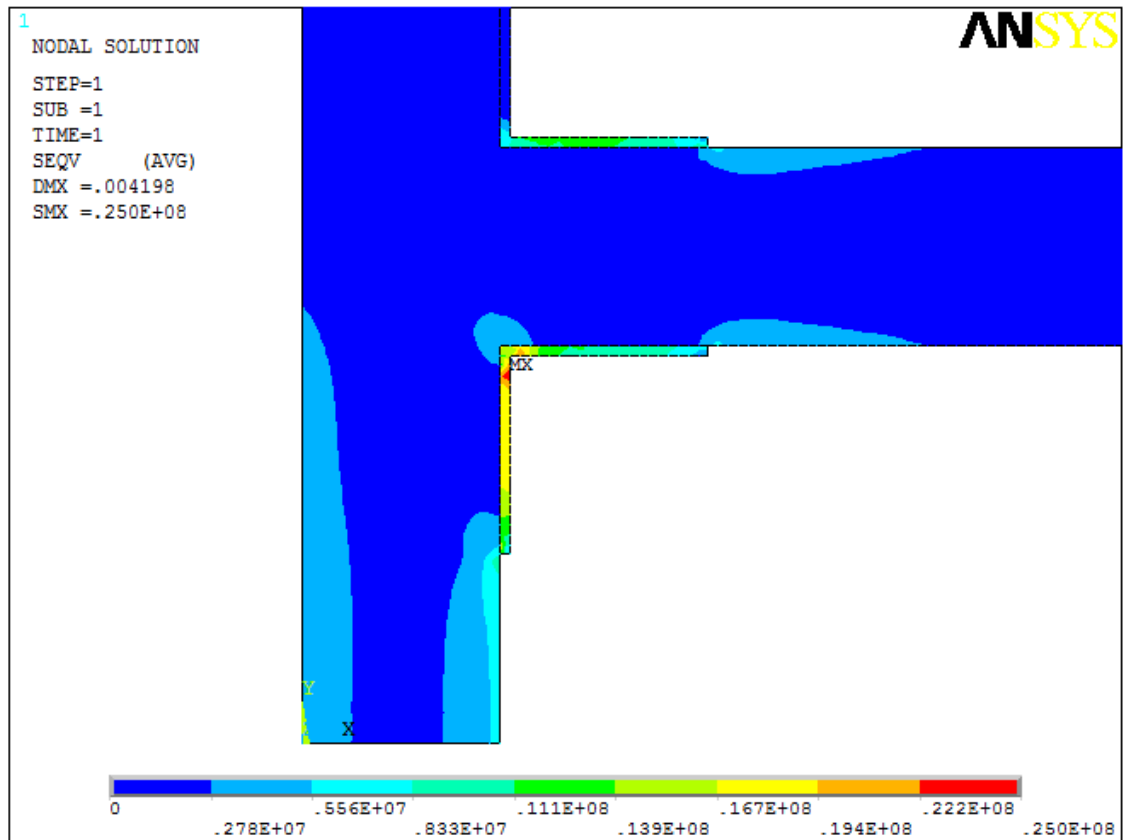


Figura 74: Esfuerzos (σ_{vm}) de la conexión P2-T2 para una carga de 15248.2 N/m² (Unidades en N-m)

CONEXIÓN 2 P1-T3

- *Calibración de resultados*

La comparación de resultados se llevó a cabo mediante la revisión de la deformada (figura 75) y los desplazamientos verticales (y) y horizontales (X) ilustrados en la figura 76.

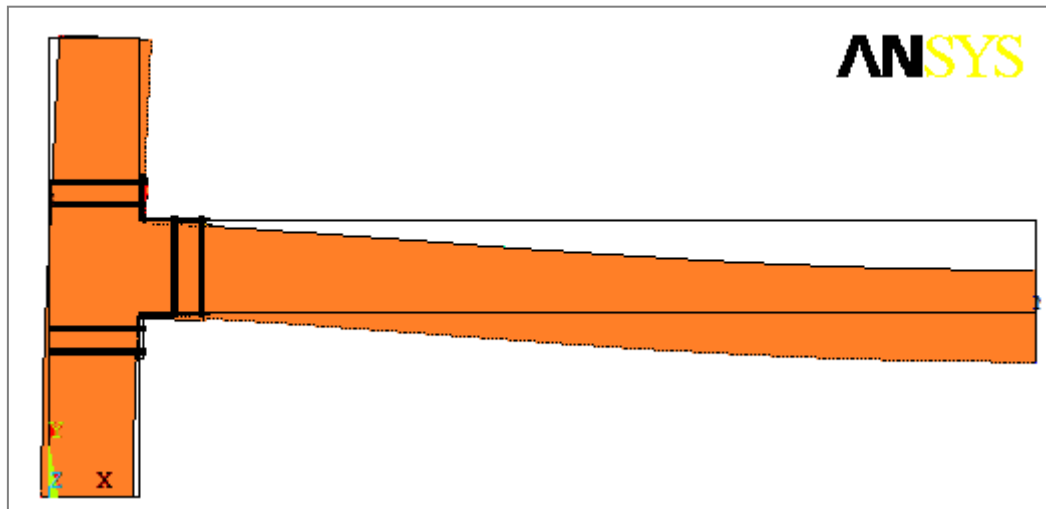
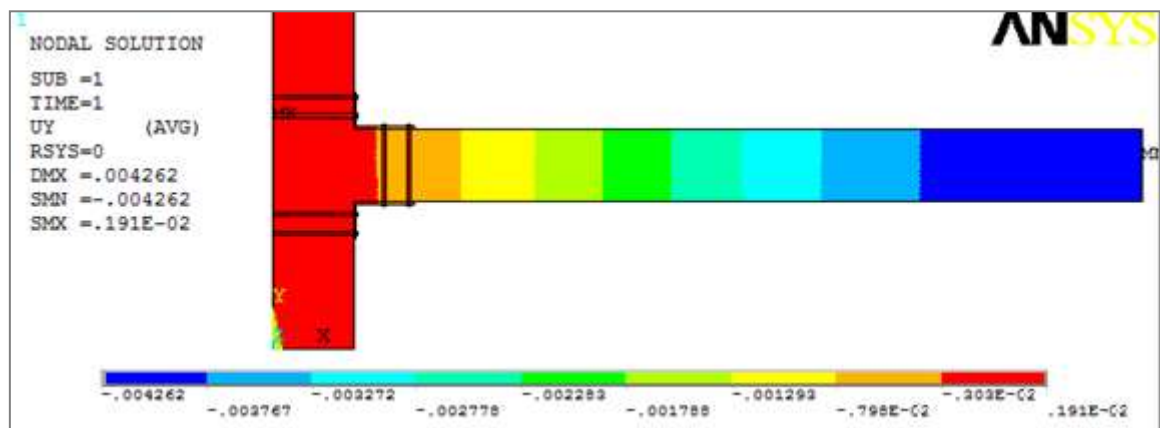


Figura 75: Deformada de la conexión P1-T3 para el tercer ciclo de carga



a

(a)

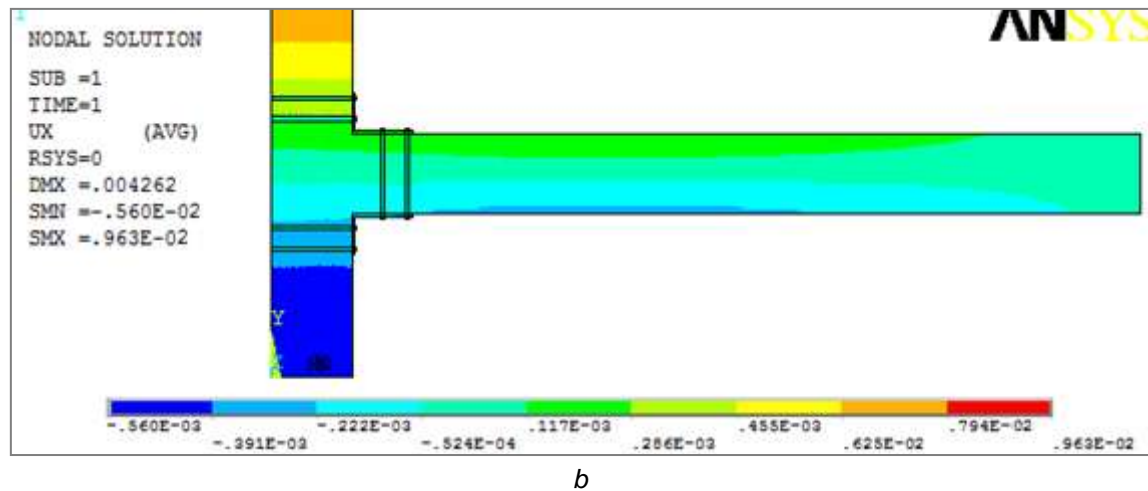


Figura 76: a. Desplazamientos verticales (Y); b. horizontales (X) de la conexión P1-T3 para el tercer ciclo de carga
(Unidades en m)

Como se observa los resultados son bastante similares a los de la prueba de carga y a los resultados obtenidos con el modelo numérico de ETABS® y adicionalmente son entre sí del mismo orden de magnitud, por lo cual se asumió como una buena aproximación y calibración de resultados.

Se debe tener en cuenta que los resultados del modelo numérico de ETABS® para la conexión anterior fueron similares tanto para la prueba de carga como para el análisis por elementos finitos

- Efecto de la carga unitaria sobre la conexión

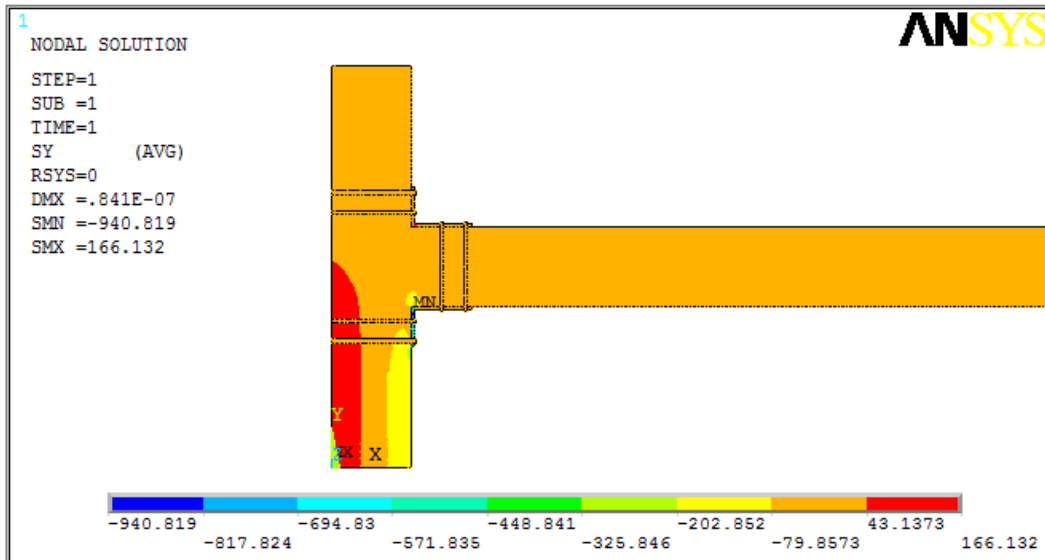


Figura 77: Esfuerzos (Y) de la conexión P1-T3 para una carga unitaria (Unidades en N-m)

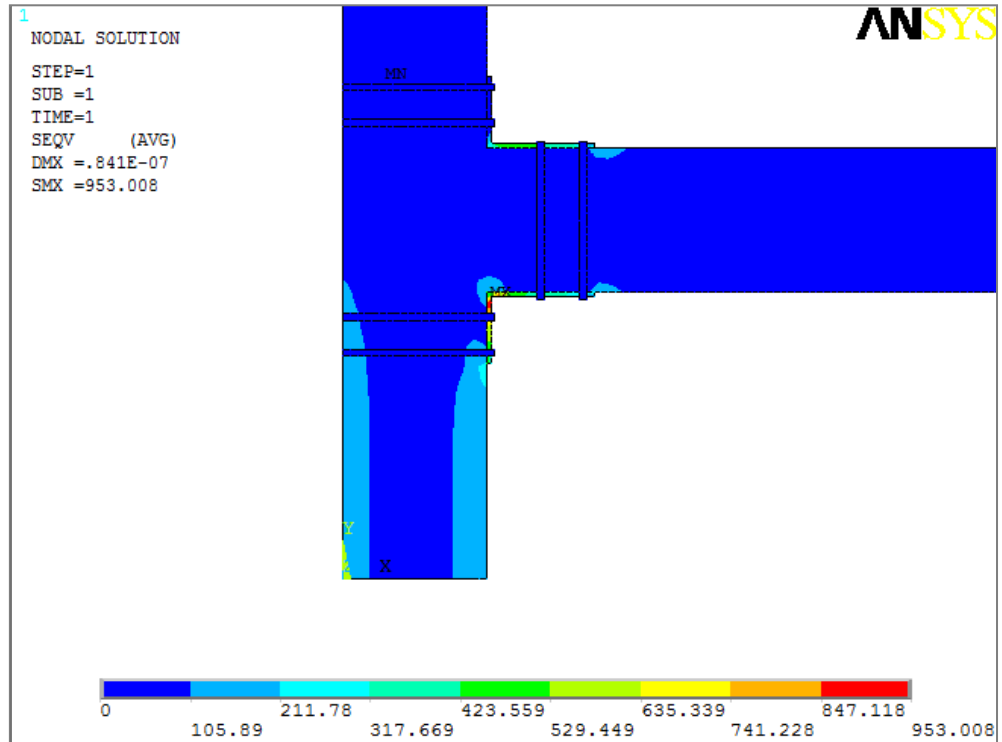


Figura 78: Esfuerzos (von mises) de la conexión P1-T3 para una carga unitaria (Unidades en N-m)

- Carga de falla de la conexión 26232.7 N/m² – fluencia de la platina

Una vez conocidos los esfuerzos para el bambú guadua laminada y para el acero con base en las figuras 77 y 78, e iterando la carga hasta llegar a un valor de 26232.7 N/m² distribuida sobre la viga, carga en la cual alguno de los elementos falló, para este caso cuando la platina entró en fluencia; encontrando los resultados mostrados en las figuras 79 y 80.

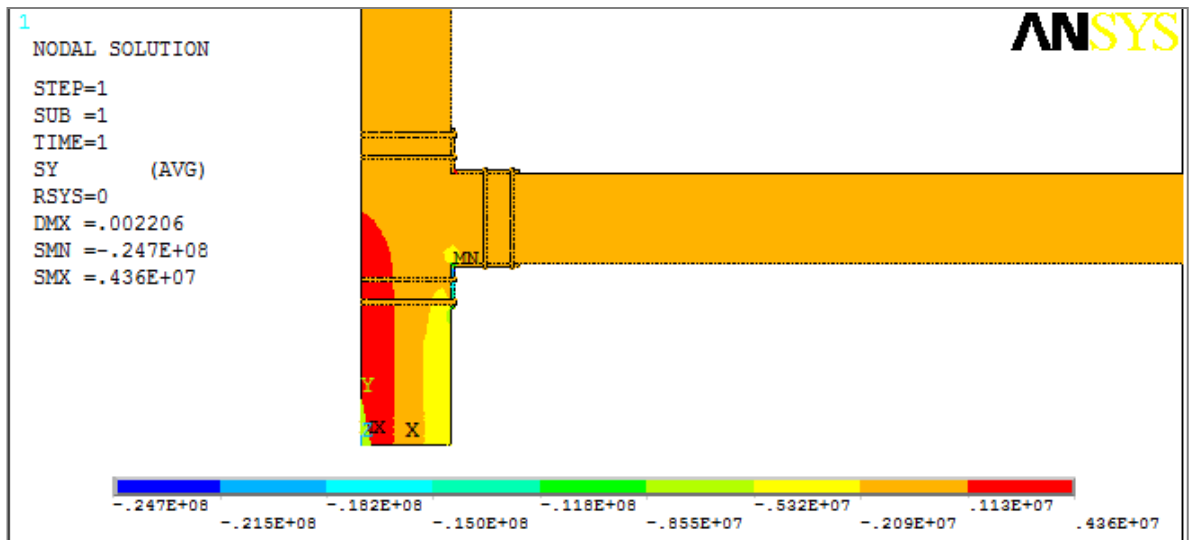


Figura 79: Esfuerzos (σ_y) de la conexión P1-T3 para una carga de 26232.7 N/m²
(Unidades en N-m)

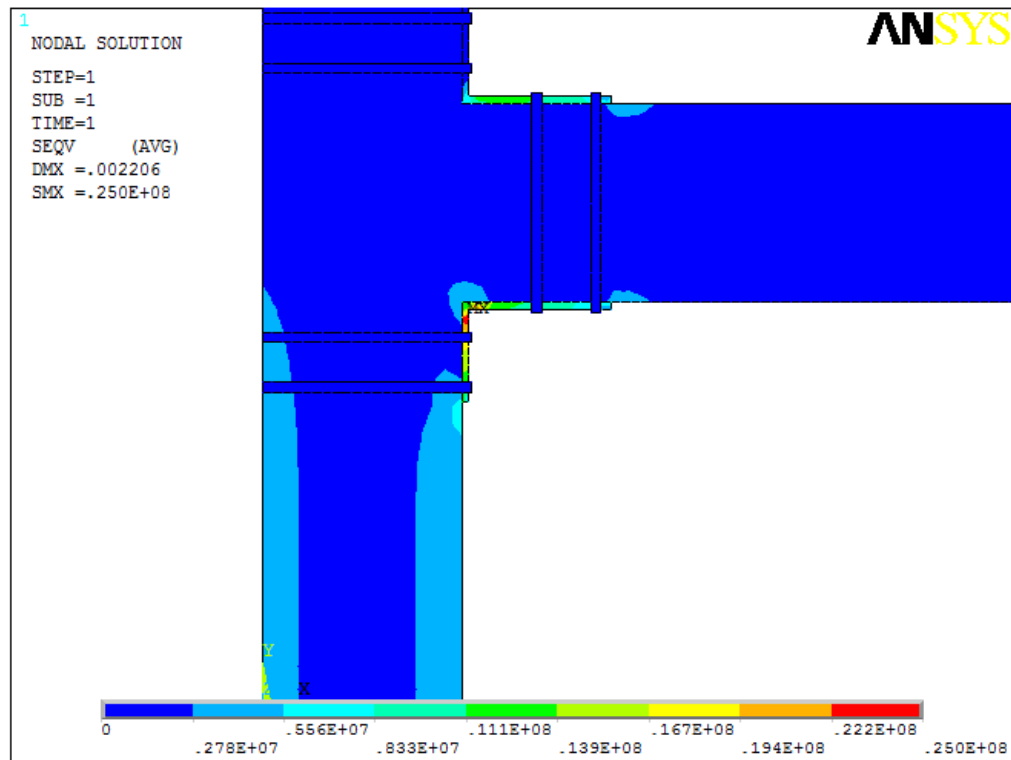


Figura 80: Esfuerzos (σ_{vm}) de la conexión P1-T3 para una carga de 26232.7 N/m² (Unidades en N-m)

Conexión 3 C1-T6

- Calibración de resultados

La comparación de resultados se lleva a cabo mediante la revisión de la deformada (figura 81) y los desplazamientos verticales (y) y horizontales (X) ilustrados en la figura 82.

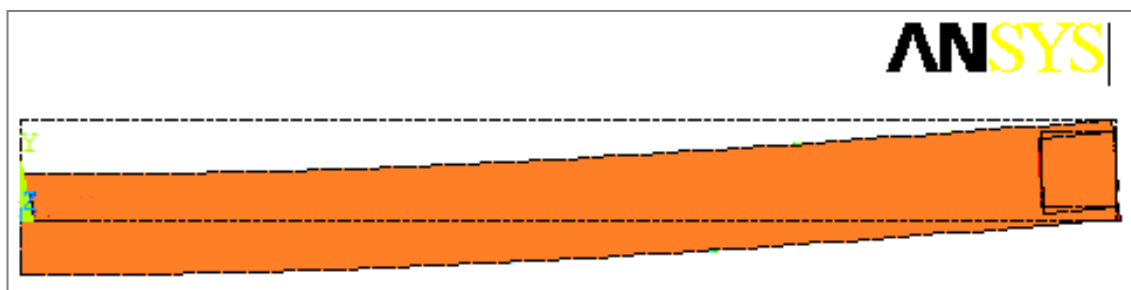


Figura 81: Deformada de la conexión C1-T6 para el tercer ciclo de carga

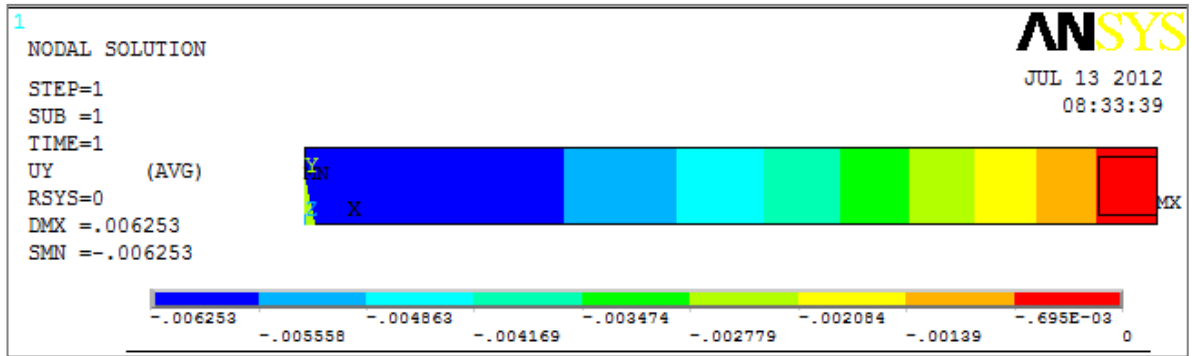


Figura 82: Desplazamientos verticales (y) de la conexión C1-T6 para el tercer ciclo de carga
 (Unidades en m)

Al igual que en la conexión 2 los resultados no fueron similares, siendo los valores obtenidos en la modelación numérica por elementos finitos un poco inferiores a los de la prueba de carga. En esta viga en particular, por el fenómeno de la carga no considerada se le asignó una carga del 40 % de la carga colocada en el prototipo, porcentaje que puede no ser del todo real ya que esa carga que se transmitió a la viga no puede ser determinada con exactitud. De igual manera se fallará la conexión para hallar su carga última.

- *Efecto de la carga unitaria sobre la conexión*

En esta conexión en particular los esfuerzos al centro de la luz son mayores que los generados en la vecindad de la conexión, como el objetivo de esta investigación es encontrar el estado de falla de la conexión, se utilizarán los valores hallados en esa zona despreciando los cercanos al centro de la luz.

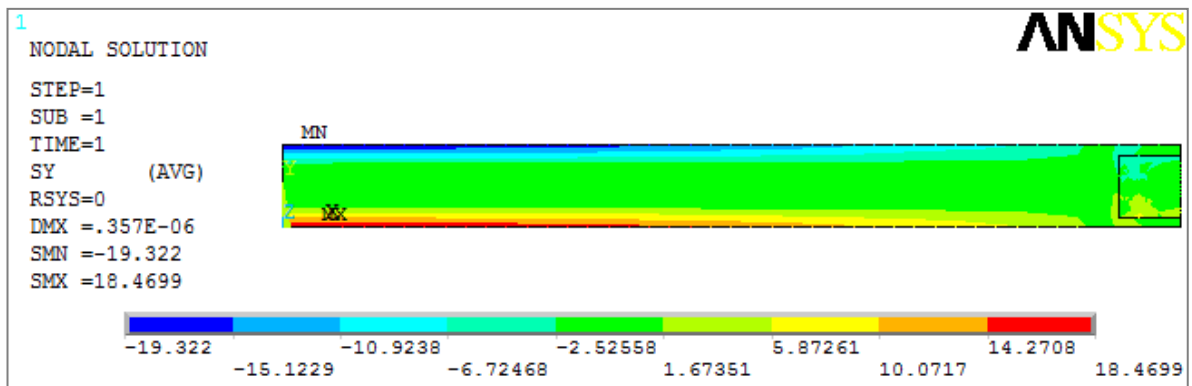


Figura 83: Esfuerzos (Y) de la conexión C1-T6 para una carga unitaria
 (Unidades en N-m)

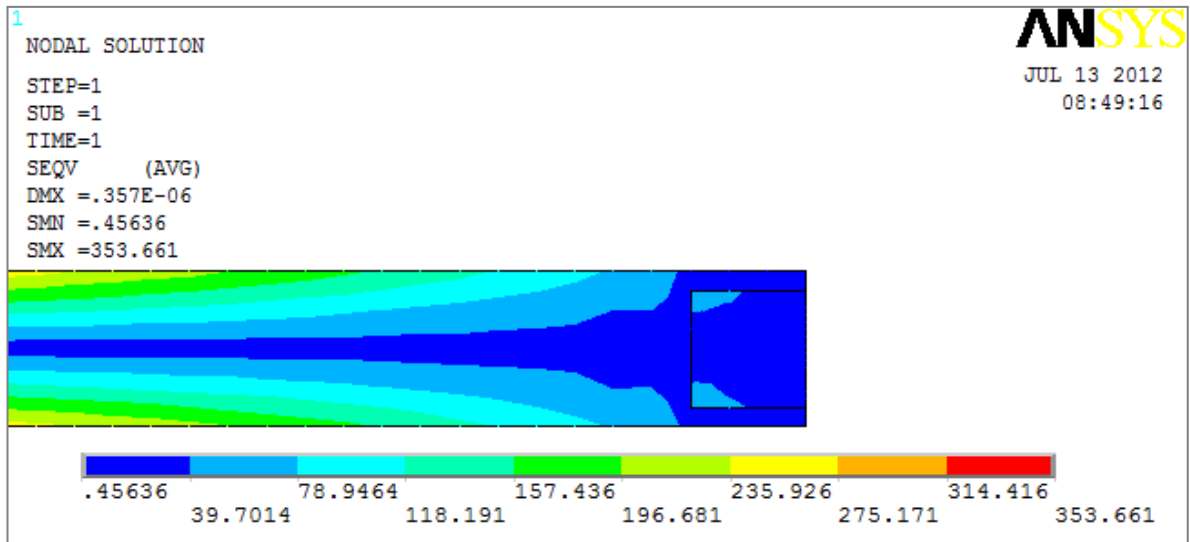


Figura 84: Esfuerzos (von mises) de la conexión C1-T6 para una carga unitaria (Unidades en N-m)

- Carga de falla de la conexión 211522 N/m² – falla de la platina

Una vez conocidos los esfuerzos para el bambú guadua laminada y para el acero con base a las figuras 83 y 84, se itera la carga hasta llegar a un valor de 211522 N/m² distribuida sobre la viga, carga en la cual alguno de los elementos falló, para este caso cuando la platina entró en fluencia; encontrando los resultados mostrados en las figuras 85 y 86.

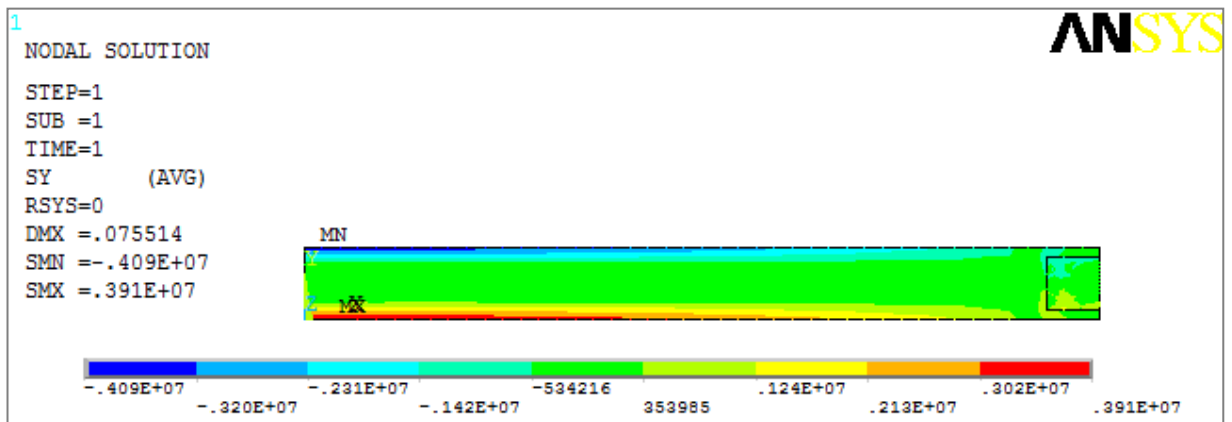
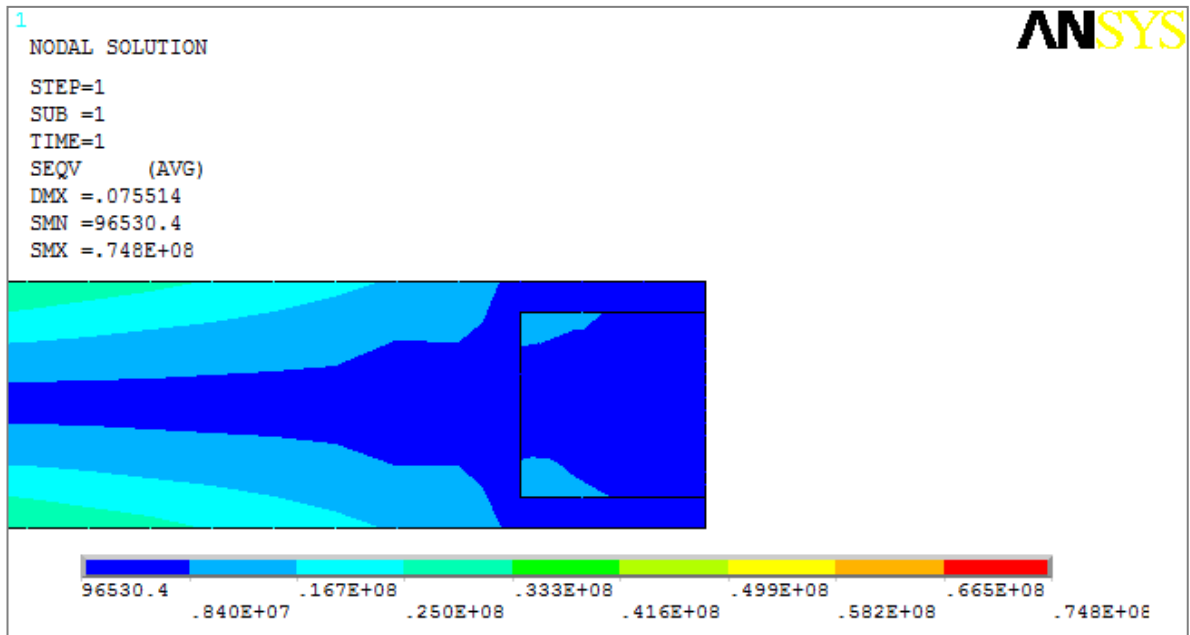


Figura 85: Esfuerzos (σ_y) de la conexión C1-T6 para una carga de 211522 N/m² (Unidades en N-m)



**Figura 86: Esfuerzos (σ_{vm}) de la conexión C1-T6 para una carga de 211522 N/m²
 (Unidades en N-m)**

5. COMPARACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

En términos generales las conexiones modeladas presentaron un comportamiento similar a encontrado durante la prueba de carga, con excepción de algunos datos atípicos el comportamiento fue el esperado según la teoría manejada.

5.1 CONEXIÓN 1 P2-T2

Esta conexión fue la que presentó una mejor aproximación entre la modelación numérica por elementos finitos y la prueba de carga real. En las tablas 54 y 55 se observa los valores de desplazamiento verticales (y) y horizontales (x) obtenidos en la modelación de ETABS®, prueba de carga y modelación numérica por el método de los elementos finitos.

dy ET	dy PC	dy MN
0.072 cm	0.023 cm	0.053 cm

(dyET: Desplazamiento medido en ETABS, dyPC: desplazamiento medido en prueba de carga C3, dyMN: desplazamiento hallado en la modelación numérica)

Tabla 54: Desplazamientos en dirección y (viga) para conexión P2-T2

dx ET	dx PC	dx MN
0.180 cm	0.001 cm	0.107 cm

(dxET: Desplazamiento medido en ETABS, dxPC: desplazamiento medido en prueba de carga C3, dxMN: desplazamiento hallado en la modelación numérica)

Tabla 55: Desplazamientos en dirección x (columna) para conexión P2-T2

Como puede observarse en las tablas anteriores la diferencia entre la prueba de carga y la modelación por elementos finitos en el caso de la viga es de un 26% y en la columna los valores son iguales.

La diferencia en la viga puede parecer alta porcentualmente hablando, sin embargo los valores son del mismo orden de magnitud y muy similares por lo que se asume una buena aproximación

En cuanto a la rigidez de la conexión tanto en la prueba de carga, como en la modelación numérica los desplazamientos en viga y columna no son iguales, sin embargo los giros encontrados en la figura 66 son bajos y se encuentra una tendencia decreciente en el giro de la viga y creciente en el de la columna, lo que

indica que los elementos giran en la misma dirección manteniendo el ángulo entre ellos a pesar de las pequeñas diferencias en los valores.

Una vez comprobado que la conexión funciona bajo los parámetros con que se diseñó, se estimó la carga máxima que ésta podía soportar con base en los esfuerzos encontrados por una carga unitaria, como se observa en las figuras 81 y 82 y se extrapola a una carga que llevara a la fluencia a cualquiera de los dos materiales; los datos de esfuerzos están contenidos en la tabla 56.

w (N)	σ_y (N/m ²)	σ_{vm} (N/m ²)
1.00	368.18	1639.54
15,248	5,600,000	25,000,000

(W: Carga aplicada, σ_y :esfuerzo en dirección perpendicular de la viga de guadua, σ_{vm} : esfuerzo de von mises para la platina)

Tabla 56: Esfuerzos producidos por diferentes cargas en la guadua y la platina de la conexión P2-T2

La carga de falla aplicada sobre la viga es equivalente a aplicar una carga de 423 Kg/m² de carga viva a la estructura mayor a la carga con la que fue diseñada la vivienda.

5.2 CONEXIÓN 2 P1-T3

Esta conexión no presentó muy buena aproximación con los datos obtenidos en la prueba de carga. En todos los casos los datos obtenidos fueron inferiores a los registrados en la prueba real, sin embargo cabe resaltar que el comparador de carátula que tomó las medidas en la viga presentó una falla debido a que registro la misma medida para los tres ciclos de carga.

Aun así los datos de la columna son más cercanos y por ser tan bajos se considera que se obtuvo una aproximación que permita encontrar cargas de falla.

En las tablas 57 y 58 se observa los valores de desplazamiento verticales (y) y horizontales (H) obtenidos en la modelación de ETABS®, prueba de carga y modelación numérica.

dy ET	dy PC	dy MN
0.500 cm	0.214 cm	0.303 cm

(dyET: Desplazamiento medido en ETABS, dyPC: desplazamiento medido en prueba de carga C3, dyMN: desplazamiento hallado en la modelación numérica)

Tabla 57: Desplazamientos en dirección y (viga) para conexión P1-T3

dx ET	dx PC	dx MN
0.598 cm	0.096 cm	0.391 cm

(dxET: Desplazamiento medido en ETABS, dxPC: desplazamiento medido en prueba de carga C3, dxMN: desplazamiento hallado en la modelación numérica)

Tabla 58: Desplazamientos en dirección x (columna) para conexión P1-T3

En cuanto a la rigidez de la conexión tanto en la prueba de carga, como en la modelación numérica los desplazamientos en viga y columna no son iguales, pero sí bastante cercanos y del mismo orden de magnitud, sin embargo los giros encontrados en la figura 67 son bajos y se encuentra una tendencia decreciente en el giro de la viga y creciente en el de la columna, lo que indica que los elementos giran en la misma dirección manteniendo el ángulo entre ellos a pesar de las pequeñas diferencias en los valores.

Una vez comprobado que la conexión funciona bajo los parámetros con que se diseño, se estimó la carga máxima que esta podía soportar en base a los esfuerzos encontrados por una carga unitaria, como se observa en las figuras 77 y 78 se extrapolo a una carga que llevara a la fluencia a cualquiera de los dos materiales, los datos de esfuerzos están contenidos en la tabla 59.

w (N)	σ_y (N/m ²)	σ_{vm} (N/m ²)
1.00	202.85	953.01
26,233	4,300,000	25,000,000

(W: Carga aplicada, σ_y :esfuerzo en dirección perpendicular de la viga de guadua, σ_{vm} : esfuerzo de von mises para la platina)

Tabla 59: Esfuerzos producidos por diferentes cargas en la guadua y la platina de la conexión P1-T3

La carga de falla aplicada sobre la viga es equivalente a aplicar una carga de 729 Kg/m² de carga viva a la estructura, mayor a la carga con la que fue diseñada la vivienda.

5.3 CONEXIÓN 3 C1-T6

Esta conexión no presentó muy buena aproximación con los datos obtenidos en la prueba de carga, aun así los datos no son muy lejanos y se procede al igual que las otras conexiones a llevarla a la falla teniendo en cuenta la diferencia con los valores reales.

En la tabla 60 se observa los valores de desplazamiento verticales (y) obtenidos en la modelación de ETABS®, prueba de carga y modelación numérica.

dy ET	dy PC	dy MN
1.289 cm	0.175 cm	0.625 cm

(dyET: Desplazamiento medido en ETABS, dyPC: desplazamiento medido en prueba de carga C3, dyMN: desplazamiento hallado en la modelación numérica)

Tabla 60: Desplazamientos en dirección y (viga) mitad de la luz para conexión C1-T6

Ya que esta conexión no es resistente a momento no se revisa la rigidez de la misma, sin embargo en la figura 81 es evidente que se presenta un giro en la conexión, lo cual es de esperarse debido a su condición de solo resistente a cortante únicamente.

Una vez comprobado que la conexión funciona bajo los parámetros con que se diseñó, se estimó la carga máxima que esta podía soportar con base en los esfuerzos encontrados por una carga unitaria, como se observa en las figuras 83 y 84 y se extrapolo a una carga que llevara a la fluencia a cualquiera de los dos materiales, los datos de esfuerzos están contenidos en la tabla 61.

w (N)	σ_y (N/m ²)	σ_{vm} (N/m ²)
1.00	10.92	118.19
211,522	2,300,000	25,000,000

(W: Carga aplicada, σ_y :esfuerzo en dirección perpendicular de la viga de guadua, σ_{vm} : esfuerzo de von mises para la platina)

Tabla 61: Esfuerzos producidos por diferentes cargas en la guadua y la platina de la conexión C1-T6

La carga de falla aplicada sobre la viga es equivalente a aplicar una carga de 1152 Kg/m² de carga viva a la estructura, mayor a la carga con la que fue diseñada la vivienda.

Como se observa todas las conexiones arrojaron valores de carga última limitada por la platina metálica y en las cuales el valor resistente de carga fue muy superior a los 180 Kg/m² de carga viva de diseño.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Mediante el desarrollo de la presente investigación se logro hacer una aplicación práctica de los conocimientos adquiridos a lo largo del programa académico, mediante el diseño, simulación y prueba de un caso real y aplicable a futuros proyectos de diseño.
- Se realizó el diseño de todas las conexiones de la vivienda encontrando que estas son funcionales estructuralmente para el Bambú-Guadua laminada pegada prensada, tal como lo demostró la prueba de carga y las modelaciones numéricas que lo respaldaron.
- A primera vista podría decirse que las conexiones instrumentadas y modeladas presentan un comportamiento demasiado eficiente, debido a los resultados obtenidos mediante el análisis de elementos finitos, sin embargo cabe resaltar que estas no se sometieron a cargas dinámicas como las producidas por un sismo, pero si fueron una consideración del diseño de las conexiones.
- Al ejecutar el diseño de las conexiones fue claro que la cantidad de pernos requerida por cada una de ellas era determinado por el bambú guadua laminada mas no por la resistencia de pernos o la platina metálica, sin embargo al realizar la modelación en ANSYS® fue claro que en los tres casos la carga de falla fue dada por el limite de fluencia de la platina metálica, esto puede deberse a que la sección de la misma es muy pequeña en comparación con las secciones de bambú guadua laminada que unía, por tanto se generaron concentraciones de esfuerzos en el ángulo de la platina, llevándola a la falla primero que a la sección de guadua.
- Las conexiones modeladas mediante elementos finitos presentaron en la mayoría de los casos lo que podría considerarse una buena aproximación, aun así se encontraron diferencias en algunos casos que pudieron deberse a las condiciones reales de la prueba de carga y de las consideraciones de diseño como empotramientos o articulaciones absolutas, cuando en la realidad esto no sucede. Adicionalmente se pudieron presentar otros procesos no considerados como acomodamiento del material o el efecto de las perforaciones en el comportamiento de la conexión.

- Las diferencias encontradas entre los valores de las simulaciones numéricas de ETABS® y de elementos finitos con el modelo real, pudieron ser producto de la falta de una completa simetría de la carga impuesta en la prueba de carga, como producto de los elementos utilizados como peso (sacos de arena) y de las guaduas rollizas usadas para la distribución del mismo.
- A partir de la prueba de carga y de la modelación por elementos finitos se pudo concluir el buen comportamiento del material y las uniones, ya que en la mayoría de los casos instrumentados y modelados los datos fueron inferiores a los encontrados con el programa ETABS®, demostrando un buen comportamiento de las conexiones aplicadas a este material, implicando de esta manera que las conexiones diseñadas son aptas estructuralmente para la unión de elementos de Bambú-guadua laminada pegada prensada.
- Finalmente ya que el diseño de las conexiones se realizó bajo los parámetros de la NSR-98 se ejecuto una revisión con respecto a la normatividad vigente NSR-10, teniendo en cuenta que este código no permite el uso de esfuerzos admisibles como procedimiento de diseño y si el uso de factores de carga, encontrando que para el caso de los elementos metálicos todas las revisiones presentaban resistencias mayores a las obtenidas en la presente investigación, lo cual valida el diseño ejecutado en este documento.
- En una oportunidad de continuar con la presente investigación se sugiere realizar la validación de todas las conexiones a la normatividad vigente NSR-10 y ejecutar pruebas y simulaciones que permitan evaluar el comportamiento de las mismas ante cargas dinámicas típicas de un sismo, permitiendo así, dar una mayor seguridad sobre el funcionamiento de las conexiones como parte de una estructura de Bambú guadua laminada pegada prensada.

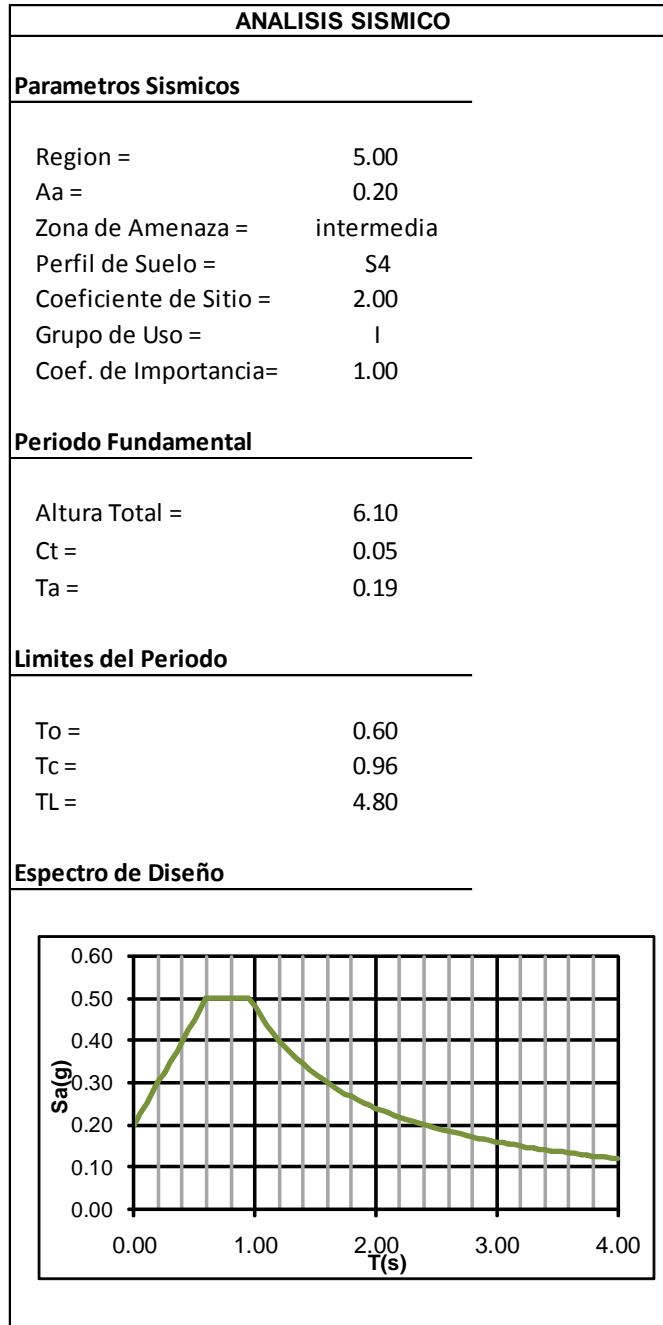
7. BIBLIOGRAFIA

- [1] AIS. 1998. *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente*. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- [2] AIS. 2010. *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente*. Bogotá, Colombia.
- [3] ATOCHE, J. 2009. *Evaluación del comportamiento estructural de conexiones de guadua laminada*. Maestría Tesis de Maestría, Universidad de los Andes.
- [4] CORTES, J. C. 2009. *Evaluación de la influencia del tipo de pegante en el comportamiento mecánico de la Guadua Laminada*. Especialización Trabajo Final Universidad Nacional de Colombia.
- [5] CORTES, J. C., TAKEUCHI C., LOZANO J., RUSINQUE M., 2010. Assessment Of The Influence Of Glue Type In The Mechanical Behavior Of Glued Laminated Guadua (Bamboo). Universidad Nacional de Colombia.
- [6] GARCIA, J. H. 2004. *Definición de áreas óptimas de calidad de guadua (Guadua angustifolia Kunth), orientada a satisfacer las necesidades del mercado*, Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- [7] JAC. 1986. *Manual de Diseño Para maderas del Grupo Andino*, Lima, Carvajal S.A.
- [8] LUNA, P., MORENO, I., ALVARADO, C. & TAKEUCHI, C. 2010a. Diseño de Columnas en Guadua Laminada Prensada Pegada. *Primer Simposio de Bambú y Madera Laminada*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- [9] LUNA, P., TAKEUCHI, C., LOZANO, J., GRANDOS, G. & LAMUS, F. 2010b. Determinación experimental de valores de esfuerzos admisibles para Guadua Angustifolia Kunth. *Primer Simposio de Bambú y Madera Laminada*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- [10] LUNA, P., TAKEUCHI, C., 2012. Diseño y construcción de vivienda con elementos estructurales en guadua laminada prensada pegada. Informe final de resultados. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- [11] RODRIGUEZ, J. P. 2010. Vivienda de Interés Social en Guadua Laminada Prensada Pegada. *Primer Simposio de Bambú y Madera Laminada*, Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- [12] RODRIGUEZ, N. F. 2011. Elaboración de tablas y gráficos de diseño a flexión de vigas de bambú guadua laminada pegada prensada, Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- [13] VERGARA, P. L. 2010. Comportamiento viga columna, trabajo final, Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

8. ANEXOS

8.1 ANEXO A

(Solicitaciones de carga de vivienda de guadua laminada)



FUENTE: (Luna, Takeuchi, 2012)

COMBINACIONES DE CARGA		
Comb	Carga	Factor
B231	Muerta	1.00
	Propio	1.00
B232	Muerta	1.00
	Propio	1.00
	Viva	1.00
B233X	Muerta	1.00
	Propio	1.00
	Viento X	1.00
B233Y	Muerta	1.00
	Propio	1.00
	Viento Y	1.00
B234X	Muerta	1.00
	Propio	1.00
	EspecX	0.35
B234Y	Muerta	1.00
	Propio	1.00
	EspecY	0.35
B235X	Muerta	1.00
	Propio	1.00
	Viva	1.00
	Viento X	1.00
B235Y	Muerta	1.00
	Propio	1.00
	Viva	1.00
	Viento Y	1.00
B236X	Muerta	1.00
	Propio	1.00
	Viva	1.00
	EspecX	0.35
B236Y	Muerta	1.00
	Propio	1.00
	Viva	1.00
	EspecY	0.35
ENVOLVENTE	B231	1.00
	B232	1.00
	B233X	1.00
	B233Y	0.35
	B234X	0.35
	B234Y	0.35
	B235X	0.35
	B235Y	0.35
	B236X	0.35
B236Y	0.35	

8.2 ANEXO B

(Tabla No. 12.7 Cargas admisibles para uniones empernadas – doble cizallamiento)

<i>l</i>			<i>d</i>	<i>d</i>	<i>l/d</i>	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
						<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>
<i>cm</i>			<i>cm</i>	<i>in</i>		<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>
2.0	2.0	1.0	0.64	1/4	3.1	195	88	131	58	75	34
	2.0	2.0	0.95	3/8	2.1	297	101	196	67	113	39
	2.0	3.0	1.27	1/2	1.6	396	117	261	78	151	45
	2.0	4.0	1.59	5/8	1.3	495	132	326	88	188	51
3.0	3.0	1.0	0.64	1/4	4.7	229	124	179	88	113	51
	3.0	2.0	0.95	3/8	3.1	438	152	294	101	169	59
	3.0	3.0	1.27	1/2	2.4	594	176	392	117	226	68
	3.0	4.0	1.59	5/8	1.9	743	198	489	132	282	77
4.0	4.0	1.0	0.64	1/4	6.3	256	144	200	114	128	68
	4.0	2.0	0.95	3/8	4.2	491	201	386	134	226	78
	4.0	3.0	1.27	1/2	3.1	779	234	522	156	301	91
	4.0	4.0	1.59	5/8	2.5	990	264	653	175	376	102
	4.0	5.0	1.91	3/4	2.1	1188	299	783	199	452	116
5.0	5.0	2.0	0.95	3/8	5.2	536	226	420	168	268	98
	5.0	3.0	1.27	1/2	3.9	851	293	653	195	376	114
	5.0	4.0	1.59	5/8	3.1	1217	330	816	219	470	128
	5.0	5.0	1.91	3/4	2.6	1485	374	979	248	564	145
6.5	6.5	2.0	0.95	3/8	6.8	594	260	463	206	297	127
	6.5	3.0	1.27	1/2	5.1	943	345	739	253	471	148
	6.5	4.0	1.59	5/8	4.1	1350	428	1061	285	611	166
	6.5	5.0	1.91	3/4	3.4	1809	486	1273	323	734	188
8.0	8.0	2.0	0.95	3/8	8.4	645	289	501	235	318	156
	8.0	3.0	1.27	1/2	6.3	1024	385	799	303	511	182
	8.0	4.0	1.59	5/8	5.0	1465	481	1148	351	731	205
	8.0	5.0	1.91	3/4	4.2	1963	595	1544	397	903	232
9.0	9.0	2.0	0.95	3/8	9.4	676	308	523	253	329	169
	9.0	3.0	1.27	1/2	7.1	1072	409	835	326	535	205
	9.0	4.0	1.59	5/8	5.7	1525	512	1200	395	766	230
	9.0	5.0	1.91	3/4	4.7	2057	633	1614	447	1016	261
10.0	10.0	2.0	0.95	3/8	10.5	704	325	544	270	339	181
	10.0	3.0	1.27	1/2	7.9	1118	433	869	348	555	227
	10.0	4.0	1.59	5/8	6.3	1600	541	1248	426	799	256
	10.0	5.0	1.91	3/4	5.2	2144	669	1679	497	1070	290

8.3 ANEXO C

(Ejemplo tablas de diseño de conexiones)

CONEXIÓN P2-T2

0.20 m

B117

C-2

0.20 m

13.49 kN 16.08 kN*m

B117

C-2

42.31 kN

IDENTIFICACION DE ELEMENTOS DE LA CONEXIÓN

	B (cm)	H (cm)	E (mm)	
VIGA INTERMEDIA	15	20		VIGA INTERMEDIA(15X20X)
COLUMNA	20	20	21	COLUMNA(20X20X21)
EXCENTRICIDAD	0.38 m			

CONDICION DE CARGA MAXIMA DE LA CONEXIÓN

EVALUACION DE ELEMENTOS A DOBLE CIZALLAMIENTO CON ELEMENTO DE UNION METÁLICA

COLUMNA (C-2)

MADERA	CARGA (Kg)	ℓ (cm)	φ PERNO	DIRECCIÓN	Θ° CARGA	Θ RAD
TIPO B	4312.95	20	3/8	PARALELA	0	0.00

P (Kg)	Q (Kg)	N (Kg)
969	534	969
280	Guadua	

No. PERNOS	No. LINEAS	No. PER/L
5	3	2

REDUCC POR No. PERNOS POR LINEA PARALELA A LA CARGA		
TIPO DE ELEMENTO LATERAL	No. PERNOS	FACTOR REDUCC.
Uniones con elementos laterales de acero	3	0.94

No. PERNOS	No. LINEAS	No. PER/L
5	3	2

Carga Admisible Corregida →

N (Kg)
911
280

ESPACIAMIENTOS MINIMOS

SEPARACIÓN	ℓ / d	s
PARALELA	21.00	

FACTOR A CONSIDERAR		111	114	115	s (cm)
111	Espaciamiento entre pernos		x		3.8
112	Distancia al extremo en tracción				
113	Distancia al extremo en compresión				
114	Espaciamiento entre lineas de pernos		x		1.9
115	Distancia a Bordes		x		1.9
116	Distancia al borde cargado				
117	Distancia al borde no cargado				

VIGA INTERNA (B117 118)						
MADERA	CARGA (Kg)	ℓ (cm)	φ PERNO	DIRECCIÓN	Θ° CARGA	Θ RAD
TIPO B	5688.07	20	1/2	PERPENDICULAR	0	0.00

P (Kg)	Q (Kg)	N (Kg)
2083	707	707
373	Guadua	

No. PERNOS	No. LINEAS	No. PER/L
9	3	3

REDUCC POR No. PERNOS POR LINEA PARALELA A LA CARGA		
TIPO DE ELEMENTO LATERAL	No. PERNOS	FACTOR REDUCC.
Uniones con elementos laterales de acero	3	0.94

No. PERNOS	No. LINEAS	No. PER/L
9	3	3

Carga Admisible Corregida →

N (Kg)
665
373

ESPACIAMIENTOS MINIMOS			
SEPARACIÓN	ℓ / d	s	
PERPENDICULAR	15.75	ℓ/d>6	5 d

FACTOR A CONSIDERAR		21	22422522622	s (cm)
221	Espaciamiento entre pernos		x	6.4
222	Distancia al extremo en tracción			
223	Distancia al extremo en compresión			
224	Espaciamiento entre lineas de pernos		x	2.5
225	Distancia a Bordes		x	2.5
226	Distancia al borde cargado		x	5.1
227	Distancia al borde no cargado		x	2.5

EVALUACION DE PLATINA METALICA SUPERIOR					
Material a Utilizar					
A36 <input type="button" value="v"/>					
Espesor de la Platina					
3/8 <input type="button" value="v"/>					
Dimensiones de la platina					
LARGO (mm)	ANCHO (mm)				
150.0	200.0				
FLUENCIA EN A. TOTAL					
AREA TOTAL (mm2)	RESISTENCIA (kN)				
1,905.0	283.7	OK			
FRACTURA EN A. NETA					
Tipo de Perforación					
Estandar <input type="button" value="v"/>					
AREA TRANSV (mm2)	AREA NETA (mm2)				
1,905	1,496	OK			
No. PERNOS	DIAMETRO	D. PERFOR	D. TOTAL	ESPESOR PLATINA	AREA PERF.
3	mm	mm	mm	mm	mm2
	12.7	1.6	14.3	9.5	136.2
CARGA ULTIMA kN	RESISTENCIA DE DISEÑO kN				
55.80	299	OK			
APLASTAMIENTO					
1 <input type="button" value="v"/>					
Rn (Kn)	116.1	OK			
BLOQUE CORTANTE					
Agv (mm2)	967.7				
Anv (mm2)	627.2				
Agt (mm2)	899.6				
Ant (mm2)	831.5				
Fv (Kn)	75.2	OK			
Ft (Kn)	103.2	OK			

1	Perforaciones estandar o poco alargadas con dos o mas pernos.
2	Perforaciones muy alargadas con dos o mas pernos
3	Conexiones con un solo Perno

EVALUACION DE CONECTORES			
RESISTENCIA A CORTE EN COLUMNA		RESISTENCIA A CORTE EN VIGAS	
Corte	Doble <input type="button" value="v"/>	Corte	Doble <input type="button" value="v"/>
P ultima (kN)	42.31	P ultima (kN)	55.8
Ap (mm2)	142.5	Ap (mm2)	253.4
Perno	A325 <input type="button" value="v"/>	Perno	A325 <input type="button" value="v"/>
Fn (Kn/mm2)	0.118	Fn (Kn/mm2)	0.118
Rv (Kn)	83.88	Rv (Kn)	268.42
	OK		OK