

**Universidad de Costa Rica  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil**

**Comportamiento mecánico de unión universal  
en un sistema constructivo de bambú Guadua**

Informe de Trabajo de Graduación  
para obtener el grado de Licenciado  
en Ingeniería Civil

Presenta:

**Uver Darío Villalobos Cardozo**

Director del Proyecto de Graduación:

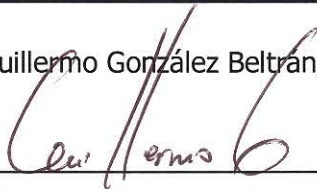
**Ing. Guillermo González Beltrán, Ph. D.**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

## Nómina

---

**Director:** Ing. Guillermo González Beltrán, Ph. D

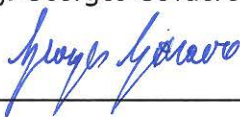


---

**Asesor:** Ing. Flor Muñoz Umaña, M. Eng

---

**Asesor:** Ing. Georges Govaere Vicarioli, Ph. D



---

**Graduando:** Uver Darío Villalobos Cardozo



---

## Derechos de autor

---

**Fecha:** 2011, abril, 28.

**El suscrito, Uver Darío Villalobos Cardozo**, cédula 1-1321-0861, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica con número de carné **A56138**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Comportamiento mecánico de unión universal en un sistema constructivo de bambú Guadua**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

## **Dedicatoria**

---

A Dios, por darme la fuerza, la salud y la voluntad para no perder de vista mis objetivos y ayudarme a superar los obstáculos de cada día.

A mis papás, por comprender la importancia del estudio para salir adelante y por proveer todo lo necesario para poder completar con éxito mis metas, además del amor y apoyo incondicional en todo momento de mi carrera universitaria.

A mi hermana, por ser ejemplo de superación y dedicación a la materia.

A mi abuela Daría, por ser fuente inagotable de amor y paciencia.

A mis compañeros, por asumir los retos juntos y demostrar confianza y solidaridad para formar una amistad duradera.

A mis amigos, por su energía y alegría que me ayudaron a superar los momentos más difíciles de la carrera.

## **Agradecimientos**

---

A los profesores que dirigieron este trabajo por su colaboración, compromiso y asesoría profesional a lo largo de todo el proyecto. También, por su disposición para transmitir el conocimiento y la experiencia que poseen, sosteniendo la mentalidad de formar mejores personas para el desarrollo de la Ingeniería como herramienta forjadora de la prosperidad de la nación.

A los técnicos mecánicos y profesionales de LanammeUCR por compartir sus experiencias para dilucidar soluciones más simples haciendo uso del ingenio y por utilizar su talento técnico con el fin de crear elementos innovadores y de esta manera, lograr las pruebas experimentales.

## Índice general

---

<b>NÓMINA</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>X</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1 JUSTIFICACIÓN</b>	<b>2</b>
1.1.1 PROBLEMA ESPECÍFICO	2
1.1.2 IMPORTANCIA	2
1.1.3 ANTECEDENTES	2
1.1.3.1 Compresión del bambú paralela a la fibra	11
1.1.3.2 Tracción y cortante del bambú	12
1.1.3.3 Paredes del bambú	14
<b>1.2 OBJETIVO</b>	<b>16</b>
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
<b>1.3 MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS</b>	<b>17</b>
1.3.1 GENERAL	17
1.3.2 COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES METÁLICAS UNIVERSALES	17
1.3.3 TEORÍA DE UNIONES	21
1.3.4 HIPÓTESIS	24
<b>1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>24</b>
1.4.1 ALCANCES	24
1.4.2 LIMITACIONES	25
<b>1.5 METODOLOGÍA</b>	<b>25</b>

<b>2. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>27</b>
<b>2.1 MATERIALES UTILIZADOS</b>	<b>28</b>
2.1.1 BAMBÚ ( <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> )	28
2.1.2 PLACA DENTADA METÁLICA	29
2.1.3 RESORTES	30
<b>2.2 METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL</b>	<b>31</b>
2.2.1 DATOS TEÓRICOS PARA DISEÑO DEL SOPORTE	31
2.2.1.1 Cargas usando la teoría de uniones	32
2.2.1.2 Cálculo de demanda usando el modelo de techo en SAP2000 v.11	34
2.2.3 DISEÑO Y PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS PROBETAS DE BAMBÚ JUNTO CON LAS UNIONES A ESTUDIAR	40
2.2.3.1 Pruebas de densidad de las paredes internas y externas de la guadua	41
2.2.3.2 Pruebas para la determinación de la constante del resorte	44
2.2.4 MÉTODO DE APLICACIÓN DE CARGAS A LAS PROBETAS	47
<b>2.3 MÉTODO EXPERIMENTAL PARA PRUEBA A UNIÓN METÁLICA UNIVERSAL</b>	<b>49</b>
2.3.1 EQUIPO DE LABORATORIO	49
2.3.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	50
<b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>52</b>
<b>3.1 RESISTENCIA AL CORTANTE DE LAS UNIONES METÁLICAS USADAS EN ELEMENTOS DE BAMBÚ</b>	<b>53</b>
3.1.1 CARGAS MÁXIMAS Y DESPLAZAMIENTOS ÚLTIMOS	53
3.1.2 COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES UNIVERSALES METÁLICAS	58
3.1.3 CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE FLUENCIA DE LAS UNIONES UNIVERSALES METÁLICAS	59
3.1.4 TIPOS DE FALLA DE LAS UNIONES UNIVERSALES METÁLICAS	62
3.1.5 RANGO DE CARGAS DE LA UNIÓN UNIVERSAL METÁLICA	63
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>65</b>
<b>4.1 CONCLUSIONES</b>	<b>66</b>
<b>4.2 RECOMENDACIONES</b>	<b>67</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>68</b>

<b>APÉNDICES</b>	<b>A-1</b>
<b>APÉNDICE A. PRUEBA DE RESORTES PARA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE <math>K</math></b>	<b>A-2</b>
<b>APÉNDICE B. MEMORIA DE CÁLCULO PARA LA CAPACIDAD DEL SOPORTE Y ADITAMENTOS PARA LAS PRUEBAS A UNIONES UNIVERSALES METÁLICAS</b>	<b>A-10</b>
<b>APÉNDICE C. RESULTADOS SAP2000 V11 PARA EL MODELAJE DE TECHOS CON DOS TIPOS DIFERENTES DE CUBIERTA EN</b>	<b>A-18</b>
<b>APÉNDICE D. RESULTADOS PRUEBAS DE UNIONES UNIVERSALES METÁLICAS CON Y SIN RESORTE</b>	<b>A-35</b>
<b>APÉNDICE E. CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE FLUENCIA PARA PRUEBAS DE UNIONES</b>	<b>A-55</b>
<b>APÉNDICE F. TIPOS DE UNIONES ESTUDIADAS</b>	<b>A-67</b>



## Índice de figuras

---

Figura 1: Perfil, unión mecánica modificada para elementos de bambú	4
Figura 2: Planta, unión mecánica modificada para elementos de bambú	5
Figura 3: Falla esperada, unión mecánica modificada	5
Figura 4: Perfil, unión con pletinas metálicas para elementos de bambú	6
Figura 5: Planta, unión con pletinas metálicas para elementos de bambú	7
Figura 6: Falla esperada, unión con pletinas metálicas	7
Figura 7: Perfil, unión por anclaje con mortero para elementos de bambú	8
Figura 8: Planta, unión por anclaje con mortero para elementos de bambú	9
Figura 9: Falla esperada, unión por anclaje con mortero para elementos de bambú	9
Figura 10: Unión con placas de plywood para elementos de bambú	10
Figura 11: Unión con lámina de plywood para elementos de bambú	10
Figura 12: Probetas para realizar en <i>guadua angustifolia</i> pruebas de tensión paralela a la fibra.	12
Figura 13: Probetas para realizar pruebas de cortante en <i>guadua angustifolia</i> .	13
Figura 14: Fibras de celulosa en la pared del bambú.	15
Figura 15: Módulo de elasticidad en la pared del bambú.	16
Figura 16: Falla en elemento de bambú por compresión perpendicular a la fibra.	18
Figura 17: Falla en elementos de bambú por corte paralelo a las fibras.	18
Figura 18: Falla en elementos de bambú por corte paralelo a las fibras.	19
Figura 19: Diseño de unión metálica universal para elementos de bambú	20
Figura 20: Acople de la unión metálica universal a los elementos de bambú.	20
Figura 21: Modo $I_m$ , Falla por Aplastamiento de las fibras de madera	21
Figura 22: Modo III, Falla la madera por aplastamiento y se forma una rótula plástica en la interface	22
Figura 23: Diagrama de flujo de las actividades principales del proyecto "Comportamiento mecánico de unión universal en un sistema constructivo de bambú Guadua" (Villalobos, U. 2011).	26
Figura 24: Especímenes de Bambú <i>guadua angustifolia</i>	29
Figura 25: Placa dentada USP PL4	29
Figura 26: Esquema de la placa dentada USP PL4	30

Figura 27: Resortes usados para determinar la constante $K$	31
Figura 28: Modelo de una cercha para techo ligero para elementos de bambú (cotas en metros)	34
Figura 29: Diagrama de la posible instalación de la unión universal metálica para acople de elementos de armaduras	35
Figura 30: Gráfico Coeficiente $GC_p$ vs Área efectiva de techo para cargas de viento	36
Figura 31: Clasificación de las áreas de techo para cargas de viento	37
Figura 32: Aplicación de las cargas de viento en una cercha para modelamiento estructural	38
Figura 33: Aplicación de las cargas temporales en una cercha para modelamiento estructural	38
Figura 34: Aplicación de las cargas en una cercha originadas por cubiertas de techo de hierro galvanizado	39
Figura 35: Aplicación de las cargas en una cercha originadas por cubiertas de techo de teja de arcilla	39
Figura 36: Probetas de <i>guadua angustifolia</i> utilizadas en el proyecto	41
Figura 37: Balanza de precisión	42
Figura 38: Muestras de paredes internas y externas de la <i>guadua</i>	43
Figura 39: Grúa pluma para halar el resorte	46
Figura 40: Resorte tipo 432 instalado en unión metálica universal	47
Figura 41: Diseño de soporte de acero para las pruebas de la unión metálica universal	48
Figura 42: Soporte instalado a la muestra de bambú con la unión	48
Figura 43: Placas soldadas a las placas dentadas	49
Figura 44: Máquina universal MTS-810 para ensayos a tensión, compresión, fatiga, fractura mecánica y durabilidad en diferentes tipos de materiales	50
Figura 45: Probeta de bambú junto con el soporte diseñado e instalado en la máquina universal	51
Figura 46: Comportamiento de las uniones metálicas universales en elementos de bambú (Prueba SR-01)	58
Figura 47: Falla de la unión debido al dobléz de los dientes en un ensayo a cortante	59
Figura 48: Valores Carga vs Desplazamiento para pruebas a clavijas en madera	60
Figura 49: Ranuras de falla en la <i>guadua</i> debidas al desplazamiento de los dientes	62
Figura 50: Falla de la placa dentada de la unión universal metálica	63

## Índice de cuadros

---

Cuadro 1: Unión mecánica modificada para elementos de bambú	4
Cuadro 2: Unión con pletinas metálicas para elementos de bambú	6
Cuadro 3: Unión por anclaje con mortero para elementos de bambú	8
Cuadro 4: Coeficientes de fricción entre madera y varios materiales	23
Cuadro 5: Densidades promedio para diferentes tipos de bambú <i>guadua</i>	32
Cuadro 6: Valores de fuerzas máximas para los modelos de techo con cubiertas de hierro galvanizado y teja	40
Cuadro 7: Volumen y densidad de las paredes externas de bambú <i>guadua</i>	43
Cuadro 8: Volumen y densidad de las paredes internas de bambú <i>guadua</i>	44
Cuadro 9: Resumen de resultados de las pruebas a resortes	45
Cuadro 10: Cargas máximas y desplazamientos últimos para pruebas en uniones universales metálicas sin resortes	53
Cuadro 11: Fuerza ejercida por los resortes dentro de la unión	54
Cuadro 12: Cargas máximas y desplazamientos últimos para pruebas en uniones universales metálicas con resortes	55
Cuadro 13: Resultados análisis de varianza entre las cargas de las uniones universales con y sin resortes	56
Cuadro 14: Resultados pruebas de humedad a las muestras de bambú falladas	57
Cuadro 15: Cargas y desplazamientos de fluencia para pruebas en uniones universales metálicas sin resorte	61
Cuadro 16: Cargas y desplazamientos de fluencia para pruebas en uniones universales metálicas con resorte	61

Villalobos Cardozo, Uver Darío  
Comportamiento mecánico de unión universal en un sistema constructivo de bambú Guadua  
Tesis Ingeniería Civil – San José C.R.  
U.D. Villalobos C., 2011.  
x, 70, [86]h; ils. col. - 21 refs.

## Resumen

---

Se busca probar las capacidades mecánicas de una unión metálica universal para el acople de elementos estructurales de bambú. Esta unión representa un avance significativo para la utilización de los elementos de dicho material como sistema constructivo para estructuras ligeras.

Para lograr examinar las uniones, se hizo un cálculo teórico de la resistencia de estas, las cuales fueron instaladas en la *guadua angustifolia*. Este se basó en la capacidad de los dientes insertados dentro de las paredes del bambú, considerando las propiedades mecánicas de la *guadua* y de la unión. Además, se diseñó un sistema de carga con el fin de comprobar, experimentalmente, la resistencia al esfuerzo cortante. Se agregó, también, un sistema de resorte interno, cuyas funciones fueron: mantener la unión instalada a la *guadua* durante los ciclos de expansión y contracción del bambú, y verificar la colaboración para el aumento de capacidad de carga de la unión.

Se realizó un total de veinte pruebas a las uniones; en diez de ellas se utilizó el sistema de resorte. Las experimentaciones son resorte y sin este tuvieron una carga máxima promedio de 5930 N y 6480 N respectivamente. Las cargas de diseño (cargas de fluencia) fueron de 4750 N para las pruebas sin resorte y 4980 N en el caso de las comprobaciones con resorte. Por otro lado, se verificó que el resorte tiene un aporte nulo en el aumento de capacidad de carga de la unión por lo cual su utilización no es necesaria, sólo para mantener la unión instalada durante la contracción y expansión del bambú. Sin embargo, la unión tiene un comportamiento dúctil debido a la densificación de las fibras de las paredes de la *guadua* y por la flexión y la extracción de los dientes de la placa dentada. Esto último indica la falla de la unión. U.D.V.C.

BAMBÚ *guadua angustifolia*, UNIÓN UNIVERSAL, ESFUERZO CORTANTE

Ing. Guillermo González Beltrán, Ph. D.

Escuela de Ingeniería Civil

## CAPÍTULO I

# INTRODUCCIÓN

---

## **1.1 JUSTIFICACIÓN**

### **1.1.1 Problema específico**

Actualmente, la construcción de estructuras de bambú es muy limitada debido, entre otros factores, a la inexistencia de un diseño apropiado de las uniones entre elementos estructurales de dicho material. Los modelos hasta ahora creados provocan una falla por cizallamiento de los especímenes. Por esta razón, se busca probar un nuevo diseño de unión universal metálica con el fin de solucionar el problema de acople de elementos de bambú. Al servirse de este tipo de unión, es posible construir y desarrollar estructuras seguras a base de tal material como, por ejemplo: viviendas y construcciones con fines turísticos, entre otros. Asimismo, su uso resulta en estructuras ligeras y resistentes, esto debido a la capacidad tanto del bambú, como de la unión misma. Esta, además, tiene facilidad para adaptarse a elementos de diferentes materiales, y hace posible estructuras híbridas que tienen como material principal el bambú.

### **1.1.2 Importancia**

La importancia del proyecto radica en la posible utilización de las uniones universales en estructuras ligeras a base de bambú. Al ser un material altamente resistente y flexible, además de ser natural y ecológico, su uso como elemento estructural es factible para construcciones, siempre y cuando se resuelva la dificultad de las uniones, razón de ser del presente estudio. La función de la unión en estudio es resolver la interconexión de elementos estructurales de sección circular, problema básico al que se enfrentan las estructuras de bambú.

### **1.1.3 Antecedentes**

Mundialmente, se ha investigado acerca de la utilización del bambú (*guadua angustifolia*) como material estructural y sobre pruebas de diferentes tipos de uniones en dicho material. Una de las figuras más reconocidas es el arquitecto colombiano Oscar Hidalgo, quien se ha ocupado del tema, desde 1963 (Jaramillo, D., Sanclemente, A. 2003), al percatarse de las aplicaciones y beneficios de la *guadua* como material alternativo. Además, ha trabajado junto al Instituto del Bambú y del Ratán (INBAR, Institute of Bamboo And Rattan) en la creación de una enciclopedia acerca de la *guadua*. Igualmente, ha emprendido un proyecto para prevenir la deforestación e

incentivar la construcción de viviendas con materiales alternativos, económicos y sostenibles. A través de este, pretende utilizar el bambú como material base para la realización de un programa de vivienda de interés social, además de la industrialización y comercialización de los productos complementarios del bambú. En este proyecto se construyeron 30 viviendas, soportando un sismo de magnitud 7,5 en la escala de Richter el 22 de abril de 1991.

Otro investigador importante en el desarrollo del bambú como material de construcción es el arquitecto Simón Vélez, quien ha denominado al bambú como el "Acero Vegetal" (Jaramillo, D., Sanclemente, A. 2003). Construyó el pabellón Zeri para la Feria mundial de Expo-Hannover en Alemania, de la cual se hizo una réplica para someterla a pruebas de carga y resistencia. También, propuso un diseño de unión para lograr utilizar los elementos del bambú en tensión.

Igualmente, otros investigadores también propusieron diseños de uniones como es el caso de Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente (Jaramillo, D., Sanclemente, A. 2003). Las uniones estudiadas fueron:

- Unión Simón Velez
- Unión mecánica
- Unión con mortero y maderos o varillas
- Unión con abrazadera
- Unión mecánica modificada
- Unión con pletinas
- Unión por anclaje
- Unión por anclaje axial
- Unión Simón Vélez modificada
- Unión Sandra Clavijo
- Unión Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente

Todas las observaciones y datos respecto a cada una de las uniones se presentan en el Apéndice F.

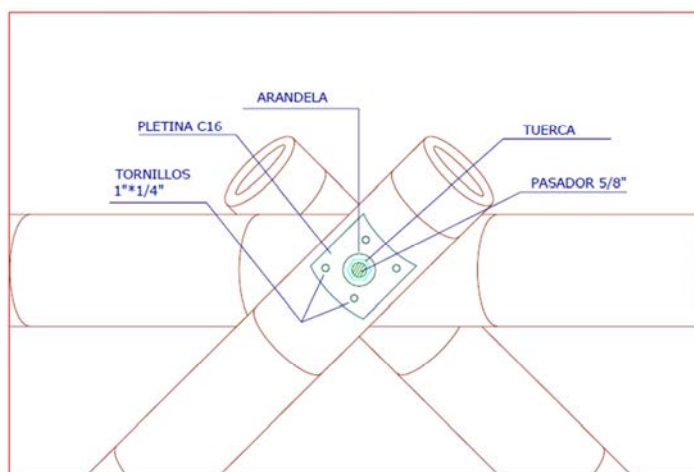
A continuación, se mencionan las uniones más parecidas a la unión universal propuesta. En el Cuadro 1, 2 y 3 se describen las uniones.

**Cuadro 1: Unión mecánica modificada para elementos de bambú**

<b>Tipo: Unión mecánica modificada</b>
<b>Descripción</b>
Consiste en un sistema de conectores conformado por una lámina rectangular calibre 16 perforada a la cual se le introduce un pasador de 16 mm (5/8") y cuatro tornillos ordinarios de cabeza hexagonal de 25 mm (1") de largo por 6 mm (1/4") de ancho. Para introducir el pasador y los tornillos, se pretaladra con el fin de evitar la rajadura de la <i>guadua</i> . Esta unión se ensambla rápidamente, a bajo costo y resulta más liviana que la de Simón Velez.
<b>Resistencia</b>
Tiene una resistencia de 2 100 kg al cargar una armadura a escala natural.
<b>Observaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Falla originada por el rasgamiento de las paredes de la <i>guadua</i>.</li><li>• Desprendimiento de los tornillos al momento de la falla.</li><li>• Aplastamiento de la pletina.</li><li>• Unión relativamente liviana.</li></ul>

**Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

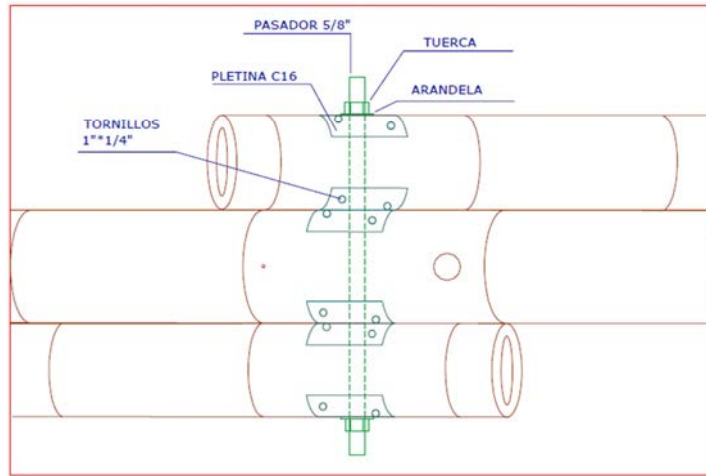
En las Figura 1, 2 y 3 se muestran esquemas de la unión mecánica modificada, su vista de perfil, vista de planta y posible falla, respectivamente.



**Figura 1: Perfil, unión mecánica modificada para elementos de bambú**

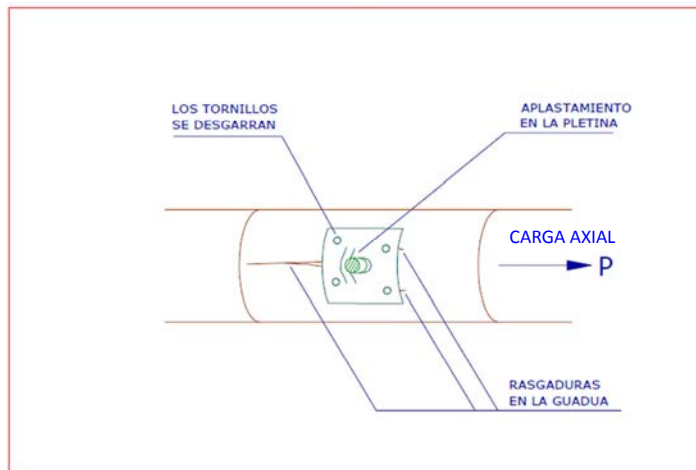
**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**





**Figura 2: Planta, unión mecánica modificada para elementos de bambú**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura 3: Falla esperada, unión mecánica modificada**

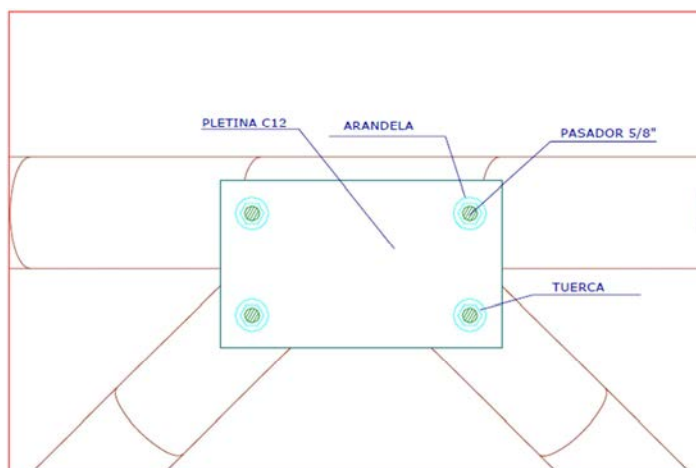
**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

**Cuadro 2: Unión con pletinas metálicas para elementos de bambú**

<b>Tipo: Unión con pletinas</b>
<b>Descripción</b>
Es un sistema de transmisión de fuerzas por medio de un par de pletinas metálicas calibre 12 perforadas para introducir un pasador de 16 mm (5/8") por cada elemento de la armadura. Se confinan con mortero los entrenudos afectados por el pasador.
<b>Resistencia</b>
Tiene una resistencia de 2 100 kg al cargar una armadura a escala natural.
<b>Observaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Falla originada por el rasgamiento de las paredes de la <i>guadua</i>.</li><li>• Unión pesada y costosa.</li><li>• Requerimiento de un mayor trabajo en su elaboración que las demás.</li><li>• No presenta excentricidad en los elementos que la conforman.</li></ul>

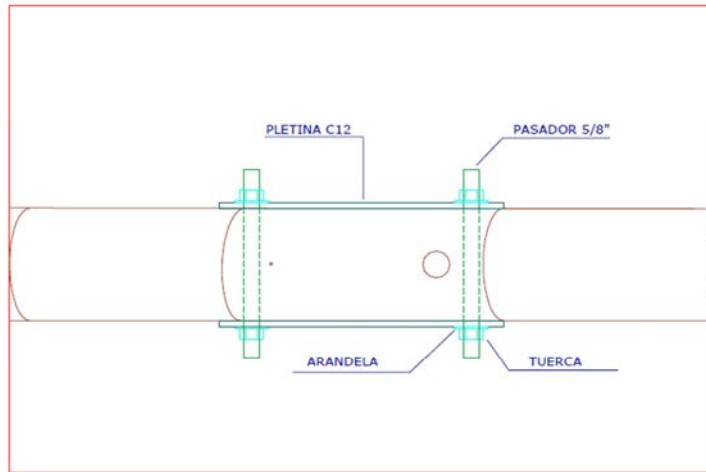
**Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

En las Figura 4, 5 y 6 se muestran esquemas de la unión con pletinas, su vista de perfil, vista de planta y posible falla, respectivamente.



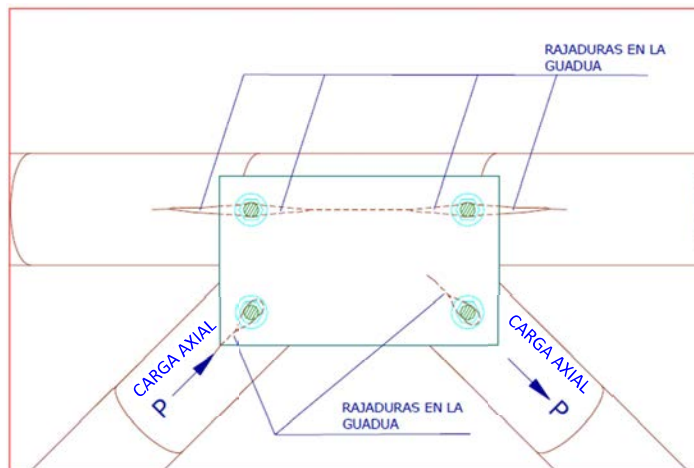
**Figura 4: Perfil, unión con pletinas metálicas para elementos de bambú**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura 5: Planta, unión con pletinas metálicas para elementos de bambú**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura 6: Falla esperada, unión con pletinas metálicas**

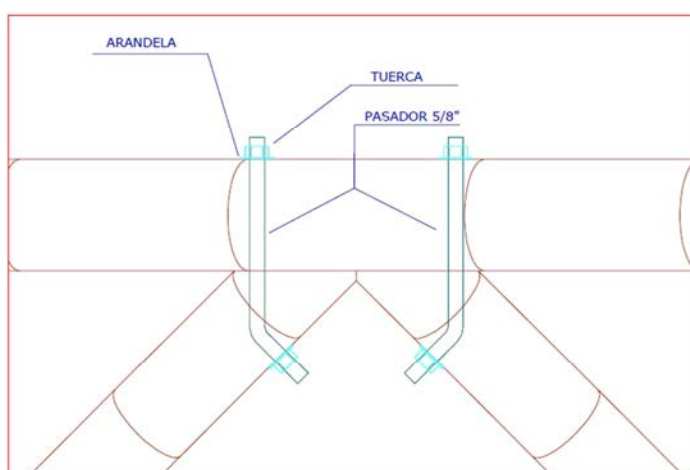
**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

**Cuadro 3: Unión por anclaje con mortero para elementos de bambú**

<b>Tipo: Unión por anclaje</b>
<b>Descripción</b>
Por medio de un pasador de 16 mm (5/8"), se sujetan dos elementos que forman un ángulo $\alpha$ entre ellos. El pasador es doblado el mismo ángulo $\alpha$ con el fin de atravesar perpendicularmente los elementos. Se confinan con mortero los entrenudos afectados por el pasador.
<b>Resistencia</b>
Tiene una resistencia de 300 kg al cargar una armadura a escala natural.
<b>Observaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Falla originada por el rasgamiento de las paredes de la <i>guadua</i>.</li><li>• Expulsión del bloque de mortero del entrenudo al momento de la falla.</li><li>• No presenta excentricidad en los elementos que la conforman.</li></ul>

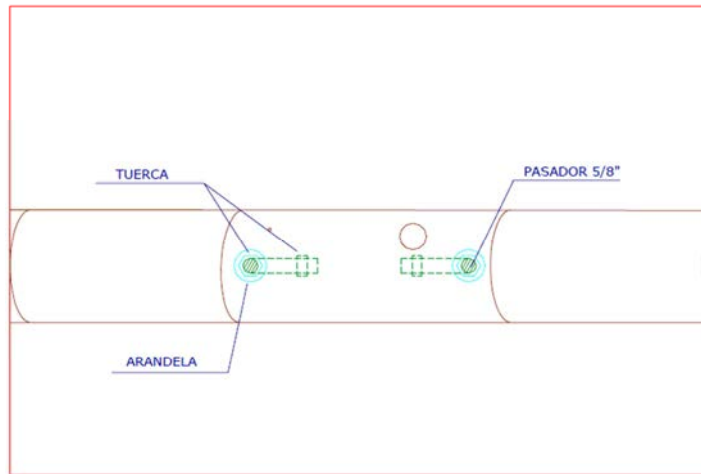
**Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

En las Figura 7, 8 y 9 se muestran esquemas de la unión por anclaje, su vista de perfil, vista de planta y posible falla, respectivamente.



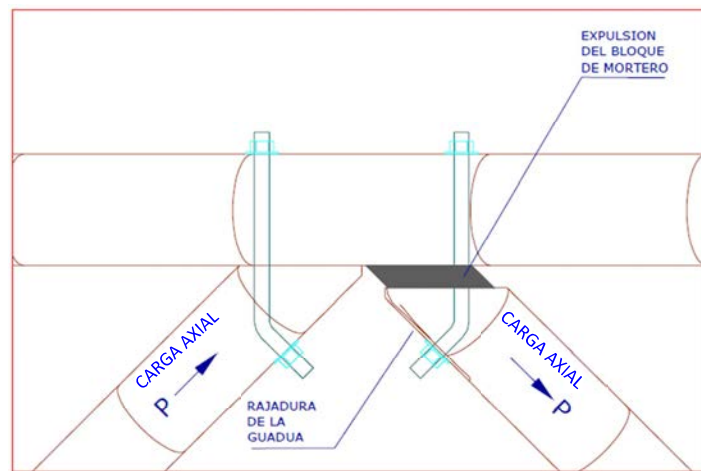
**Figura 7: Perfil, unión por anclaje con mortero para elementos de bambú**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura 8: Planta, unión por anclaje con mortero para elementos de bambú**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

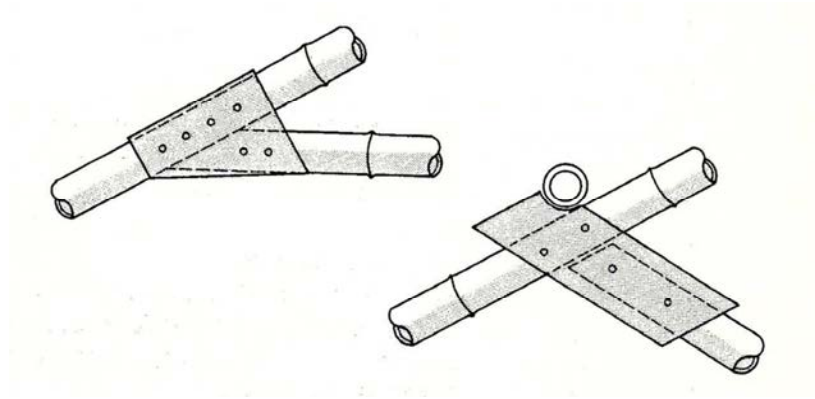


**Figura 9: Falla esperada, unión por anclaje con mortero para elementos de bambú**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

Igualmente, se han presentado diseños de uniones usando otros materiales y planes. Una opción ha sido unir los elementos de bambú con dos piezas de madera o plywood conectadas con pernos. La rigidez puede ser mejorada al usar el momento de inercia de las piezas de plywood o similar. No se requiere de mucha precisión, ya que las placas permiten un poco de

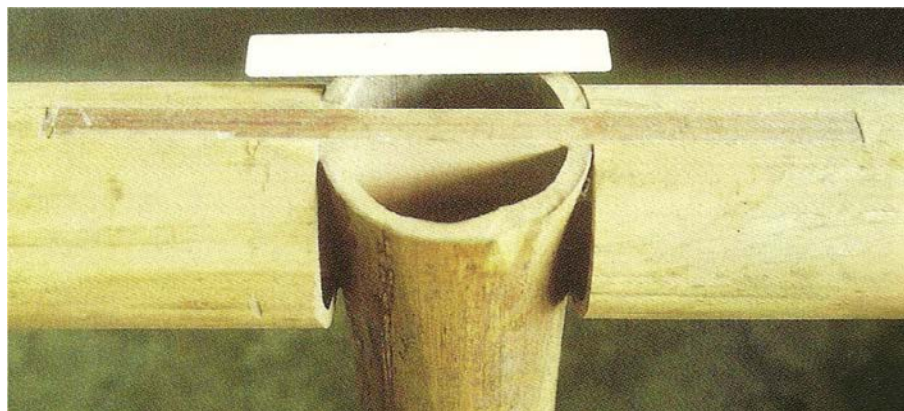
flexibilidad en la dirección de los elementos de bambú. La Figura 10 muestra un diagrama de la unión.



**Figura 10: Unión con placas de plywood para elementos de bambú**

**Fuente: Jayanetti, D., Follett, P. (1998)**

Este tipo de unión es sumamente fuerte, rígida y apropiada para la prefabricación. En la Figura 11, se muestra un ejemplo diseñado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica en 1987. No se ha continuado desarrollando esta unión, ya que los extremos abiertos de los elementos permiten que los insectos logren internarse. Además, se utiliza pegamento en lugar de pernos.



**Figura 11: Unión con lámina de plywood para elementos de bambú**

**Fuente: Janssen, J. (2000)**

La unión universal propuesta se diferencia, en diversos aspectos, de las ya mencionadas. Primeramente, no posee elemento alguno que atraviese el bambú, el cual debido a su pequeña área de contacto, facilita el rasgamiento del bambú. Con la unión universal, se da rasgamiento en las paredes del bambú de forma local, minimizando el efecto de la falla. Además, es relativamente liviana y de fácil instalación en comparación con las uniones con mortero y pletinas, las cuales resultan bastante pesadas comparadas con esta unión.

Sin embargo, la resistencia de las uniones depende de las propiedades mecánicas del bambú. Este es un material natural con propiedades físicas y mecánicas aptas para la construcción; por esa razón, se ha utilizado en armaduras y pórticos para estructuras cubiertas y edificaciones. Con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de este, se han efectuado numerosas pruebas en el Laboratorio de Productos Forestales (LPF) de la Universidad de Costa Rica (Sotela, J. 1990) y alrededor del mundo para obtener las resistencias en compresión, tensión, cortante y el módulo de elasticidad del material.

#### *1.1.3.1 Compresión del bambú paralela a la fibra*

En el caso de la determinación de la resistencia en compresión, el Grupo de Investigación Análisis, Diseño y Materiales (GIES) de la Universidad Nacional de Colombia (Takeuchi, C., González, C. 2007) y el LPF (Sotela, J. 1990), entre otros, realizó pruebas sobre probetas de *guadua angustifolia*. Las muestras se extrajeron de la parte superior, media e inferior de cada tallo y de fincas ubicadas a diferentes alturas sobre el nivel del mar. Para la determinación del módulo de elasticidad en compresión paralela, se utilizaron dos deformímetros eléctricos en cada probeta.

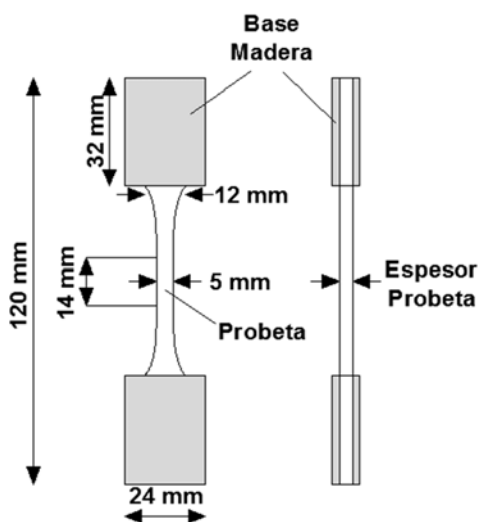
De los resultados obtenidos de las pruebas, se concluye lo siguiente:

- La resistencia promedio en compresión paralela a la fibra aumentó con la altura del bambú.
- El valor promedio de resistencia en compresión paralela a la fibra fue de 56,0 MPa.
- El valor promedio del módulo de elasticidad en compresión paralela de la *guadua angustifolia* ensayada fue de 17,9 GPa.

### 1.1.3.2 Tracción y cortante del bambú

En cuanto a la determinación de los esfuerzos en cortante y tensión que soporta la *guadua angustifolia*, se llevaron a cabo ciertas pruebas por parte de los laboratorios de Productos Forestales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia con sede en Medellín. Las examinaciones se efectuaron sobre materiales extraídos del municipio de Venecia Antioquia-Colombia con una altura aproximada de 1 600 m.s.n.m., temperatura de 20 °C y humedad relativa del 67 % (Ciro, H., Osorio, J., Vélez, J. 2005).

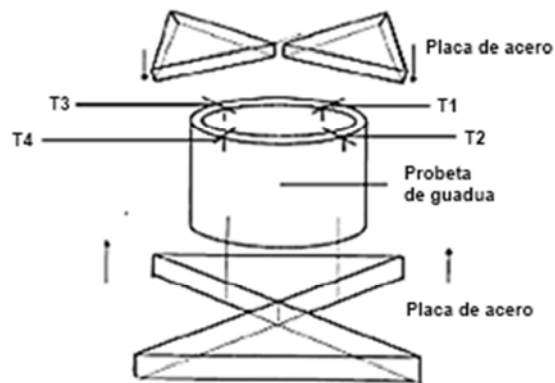
Para el estudio se seleccionaron 18 elementos para las pruebas a cortante y 15 para las relativas a tensión paralelas al grano; todos corresponden a la *guadua angustifolia*. Esta fue secada hasta obtener contenidos de humedad menores al 20 % (Ciro, H., Osorio, J., Vélez, J. 2005). Luego, se prepararon las muestras que fueron sometidas a las pruebas. Los especímenes para las pruebas de tensión y cortante se muestran en la Figura 12 y 13 respectivamente.



**Figura 12: Probetas para realizar en *guadua angustifolia* pruebas de tensión paralela a la fibra.**

**Fuente: *Ciro, H., Osorio, J., Vélez, J. (2005).***





**Figura 13: Probetas para realizar pruebas de cortante en *guadua angustifolia*.**

**Fuente: Ciro, H., Osorio, J., Vélez, J. (2005).**

Los resultados de las pruebas fueron los siguientes:

- El esfuerzo promedio último en tensión es de 190,7 MPa con un coeficiente de variación de 34 %, el cual es muy alto.
- Hay una gran variación en cuanto a los datos recolectados, por lo que se comenta que el esfuerzo puede alcanzar los 370 MPa.
- La gran variación en los resultados se puede deber a la anisotropía del material, los parámetros de operación del ensayo y a condiciones ambientales de humedad relativa y temperatura.
- El esfuerzo promedio último en cortante es de 5,57 MPa, con un coeficiente de variación de 17 %.

Es pertinente destacar que del bambú *guadua* se conocen las características mecánicas, no así el comportamiento de las uniones entre los elementos. En este caso, este último no es consistente, debido a pequeños detalles en el ensamblaje de las uniones y a los atributos anisotrópicos del material.

Según estudios de la Universidad de Nacional de Colombia (Takeuchi, C. 2004), la resistencia en tracción es más alta cuando se hace el ensayo con probetas sacadas de la pared externa que con probetas de la pared completa. Esto se debe a dos razones: primero, la parte externa es

dura debido a incrustaciones de sílice, lignina y cutina y segundo, la cantidad de fibras es mayor en la parte externa de la *guadua* que en la parte interna.

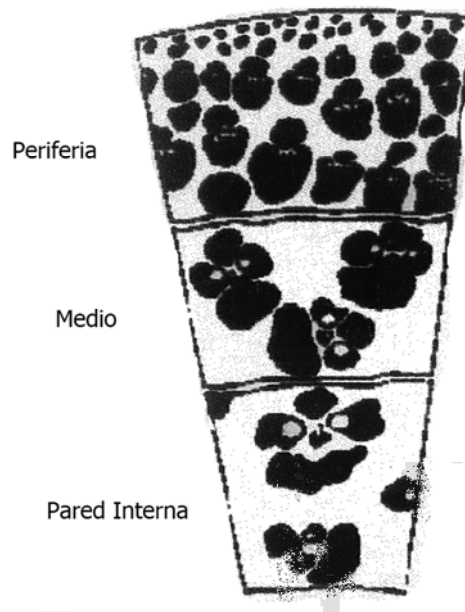
Por otro lado, la resistencia en tracción en probetas con nudo es menor que sin este, ya que el nudo es la parte débil de la *guadua*.

La *guadua* está formada por fibras longitudinales fuertes, pero, a diferencia de la madera, no posee fibras radiales. Las fibras longitudinales están simplemente pegadas por pectina en una matriz de lignina relativamente débil y blanda, lo cual causa que la resistencia a la tracción perpendicular de la *guadua* sea muy pequeña (Takeuchi, C. 2004).

Esta pobre capacidad en tracción limita la resistencia en compresión paralela a las fibras en columnas cortas, ya que al aplicar la fuerza vertical, se presenta una fuerza radial horizontal (efecto de Poisson) hacia afuera que separa las fibras, pues no existe un mecanismo lo suficientemente fuerte que las mantenga unidas. Los tabiques ayudan en cierta medida, pero al tener un comportamiento pobre en esfuerzos de tracción en su plano, simplemente se rompen y permiten la falla en compresión paralela a las fibras por la separación de las fibras longitudinales. Por la anterior razón, la resistencia en compresión paralela a las fibras es menor que la correspondiente a la tracción de la *guadua*, aun considerando la fibra completa y nudo. No obstante, cuando el elemento trabaja en compresión perpendicular a las fibras, el comportamiento mejora si se le da un confinamiento a la *guadua*. Este confinamiento restringe, de alguna medida, la deformación lateral.

#### *1.1.3.3 Paredes del bambú*

La pared del bambú se divide en pared interna y pared externa. Se clasifican así debido a la cantidad de fibras de celulosa que contienen. Estas últimas actúan de forma similar al refuerzo de acero en el concreto. La distribución de estas fibras aumenta del interior al exterior de la pared, como se muestra en la Figura 14.



**Figura 14: Fibras de celulosa en la pared del bambú.**

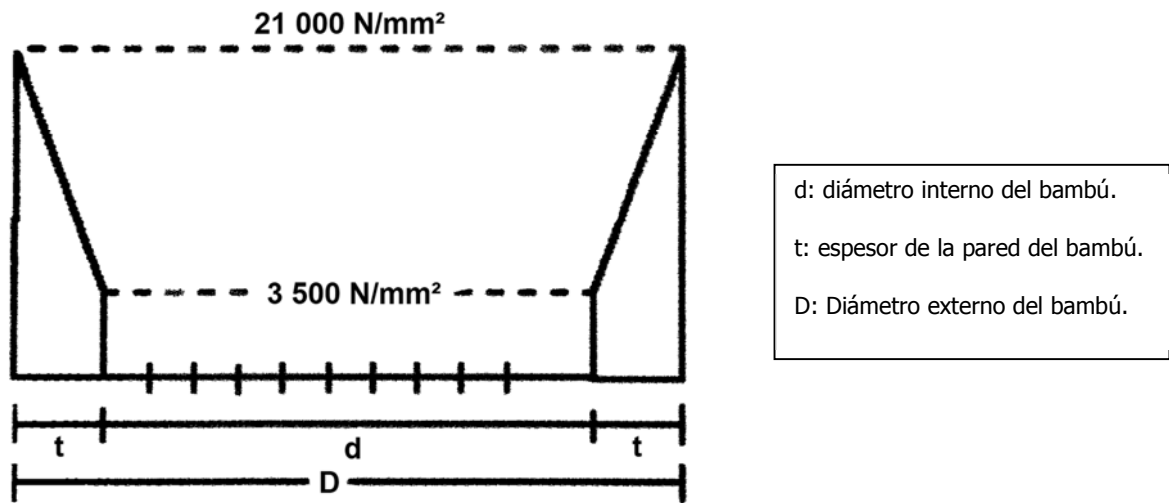
**Fuente: J. Janssen. (2000).**

El módulo de elasticidad de la celulosa es de 70 GPa y alrededor del 50 % de la sección transversal de la fibra es celulosa, por lo cual el módulo de elasticidad de la fibra es de 35 GPa. Generalmente, se considera como regla que el módulo de elasticidad es:  $E = 350 \times \% \text{ de fibras}$ . En el bambú, las fibras constituyen alrededor del 60 % en el exterior y 10 % en el interior. Por lo tanto:

$$E_{\text{externo}} = 350 \times 60 = 21\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{interno}} = 350 \times 10 = 3\,500 \text{ N/mm}^2$$

Esto se muestra en la Figura 15.



**Figura 15: Módulo de elasticidad en la pared del bambú.**

**Fuente: J. Janssen. (2000).**

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo general

- Determinar el comportamiento mecánico de una unión metálica universal para el acople de elementos estructurales de bambú del tipo *guadua angustifolia*.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Obtener la capacidad teórica de la unión metálica universal.
- Diseñar el programa experimental de las pruebas de la unión metálica universal.
- Realizar las pruebas a las probetas de bambú junto con las uniones metálicas universales, calcular los resultados y preparar las recomendaciones.
- Comparar el comportamiento teórico con el experimental de la unión metálica universal.

## **1.3 MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS**

### **1.3.1 General**

La naturaleza nos ha dado un material con excelente comportamiento estructural, de carácter renovable y el cual logra su máxima resistencia de 3 años a 5 años de edad. El bambú (*guadua*) puede llegar a tener una longitud de aproximadamente 12 m e incluso más si se piensa en la sobrebasa.

La *guadua* tiene una sección transversal circular hueca con diámetro de 7 cm a 15 cm y espesor de pared de 0,9 cm a 1,2 cm. Al tener esa sección transversal, posee una gran inercia con respecto a su área. Por tanto, para elementos de *guadua* en compresión con longitudes hasta de 3 m, la relación de esbeltez con respecto a cualquier eje que pase por su centro no es muy grande.

Por ser un elemento cerrado de gran inercia, al estar en flexión, no tiene problemas de inestabilidad por pandeo flexotorsional.

Igualmente, por tener una sección transversal tubular, la *guadua* es altamente resistente a la torsión; es por esto que las cuerdas superiores e inferiores de algunas armaduras con uniones excéntricas de diagonales no fallan por torsión. Sin embargo, si bien la *guadua* tiene todas esas ventajas, es pertinente aclarar que no es un material homogéneo con comportamiento isotrópico.

### **1.3.2 Comportamiento de las uniones metálicas universales**

En cuanto al comportamiento del bambú en uniones, se debe tener ciertas consideraciones al respecto, ya que la falla de estas puede inducir a un defecto prematuro de la estructura.

Los elementos de *guadua*, bajo diferentes solicitaciones de carga (compresión, tracción paralela a las fibras, flexión y torsión), tienen un buen comportamiento. Sin embargo, en las uniones pueden tener esfuerzos de tracción perpendicular a la fibra o de corte paralelo a esta. Estos casos se muestran en la Figura 16 y Figura 17, respectivamente.



**Figura 16: Falla en elemento de bambú por compresión perpendicular a la fibra.**

**Fuente: Takeuchi, C. (2004).**

En la unión en T mostrada en la Figura 16, el elemento que aplica la carga comprime al de apoyo; este se deforma hasta fallar por tensión perpendicular a la fibra. Además, la fisura que se presenta lateralmente en el eje del elemento de aplicación de la carga se produce porque en su extremo se le hace un corte "boca de pescado" para ajustar con el otro elemento que, al deformarse, produce la tensión perpendicular a la fibra. Esto explica que la fisura sea más grande en el extremo.



**Figura 17: Falla en elementos de bambú por corte paralelo a las fibras.**

**Fuente: Takeuchi, C. (2004)**

En la unión de la Figura 17, la diagonal conectada al cordón inferior de la armadura se encuentra en tensión. El conector utilizado en la unión produce corte paralelo a la fibra, ocasionando la falla de esta por la insuficiencia de la distancia hasta el extremo, dada la poca resistencia al corte de la *guadua*.

En la Figura 18 se muestra el caso de fallo por corte paralelo a las fibras:

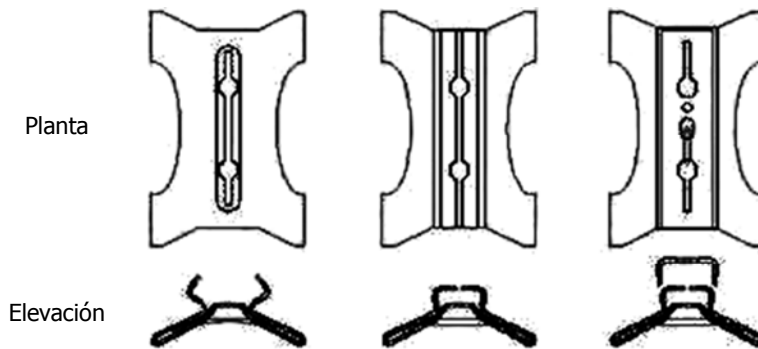


**Figura 18: Falla en elementos de bambú por corte paralelo a las fibras.**

**Fuente: Takeuchi, C. (2004).**

En la unión mostrada anteriormente, los componentes horizontales de las diagonales unidas con un pasador al elemento horizontal producen corte en este elemento y causan, así, la falla.

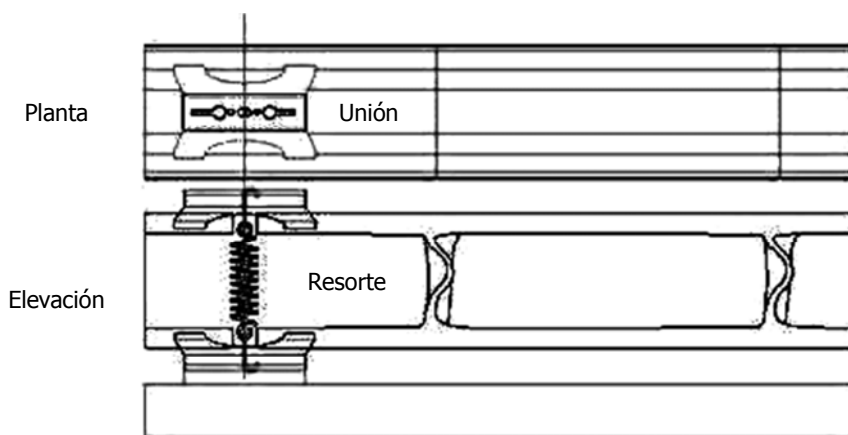
Para dar ofrecer un tipo de unión que minimice la falla total del elemento de bambú, se propone un nuevo diseño mostrado en la Figura 19.



**Figura 19: Diseño de unión metálica universal para elementos de bambú**

**Fuente: Ugarte, A. (2009)**

Este modelo se acoplaría a los elementos de la forma, como se muestra en la Figura 20. Se usarán dos placas en los componentes, ambos opuestos diametralmente con respecto a la sección transversal del elemento. Entre las placas, se encuentra un sistema de resortes para compensar la expansión y contracción de estos.



**Figura 20: Acople de la unión metálica universal a los elementos de bambú.**

**Fuente: Ugarte, A. (2009)**



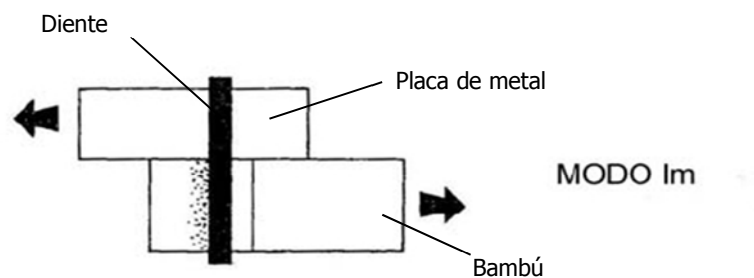
El sistema de resortes, funcionaría para mantener la unión en su lugar y para solventar las fuerzas de expansión que ocurren en el elemento, ya que el diámetro tiende a variar entre un 5 % y 8 % (Sotela, J. 1990). De esa forma, los resortes contrarrestarían las fuerzas ejercidas y mantendrían la unión en equilibrio.

### 1.3.3 Teoría de Uniones

En primera instancia, se hace un cálculo, basado en teorías de falla de uniones en madera, de las fuerzas que la unión metálica puede soportar (González, G., 2008). González (2008) detalla los casos de falla para uniones entre placas de acero y madera. Los seleccionados fueron los siguientes:

a) Modo  $I_m$ : Falla la madera por aplastamiento

En esta ocasión, se da un plano de cortante en donde la madera se ve aplastada por la clavija. En la Figura 21 se muestra el tipo de falla.



**Figura 21: Modo  $I_m$ , Falla por Aplastamiento de las fibras de madera**

**Fuente: González, G. (2008).**

Para este caso, la determinación de la fuerza que puede soportar una clavija dentro de la madera se determina por la Ecuación 1.

$$Z = Dt_m F_{em}$$

[Ec-1]

En donde:

$Z$ : Capacidad de la unión en unidades de fuerza.

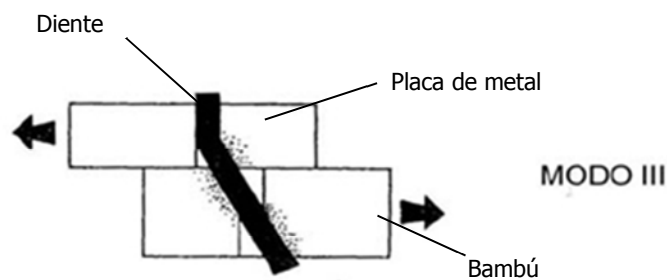
$D$ : Diámetro de la clavija

$t_m$ : Espesor del miembro principal.

$F_{em}$ : Esfuerzo de aplastamiento del miembro principal.

b) Modo III: Falla la madera por aplastamiento y se forma una rótula plástica en la interface.

En este ejemplo, se produce una rótula plástica en la interface entre la clavija y la madera. En la Figura 22 se detalla el tipo de falla.



**Figura 22: Modo III, Falla la madera por aplastamiento y se forma una rótula plástica en la interface**

**Fuente: González, G. (2008).**

Así, la determinación de la fuerza que puede soportar una clavija dentro de la madera se determina por la Ecuación 2.

$$Z = Dt_m F_{em} \left[ \sqrt{2 \left( 1 + \frac{F_{yb} D^2}{3 F_{em} t_m^2} \right)} - 1 \right] \quad [\text{Ec-2}]$$

En donde:

$Z$ : Capacidad de la unión en unidades de fuerza.

$D$  : Diámetro de la clavija

$t_m$  : Espesor del miembro principal.

$F_{em}$  : Esfuerzo de aplastamiento de miembro principal.

$F_{yb}$  : Esfuerzo de fluencia en flexión de la clavija.

Para ambos modos de falla, resulta necesario obtener el esfuerzo de aplastamiento del miembro principal, en este caso, la probeta de bambú. Por lo tanto, se utiliza la Ecuación 3 con el fin de aproximar este esfuerzo basado en la densidad seca del bambú (González, G. 2008). Esta es la siguiente:

$$F_{em} = 114.5G_0^{1.84} [MPa] \quad [Ec-3]$$

En donde:

$G_0$  : Gravedad específica seca al horno.

En el caso de las uniones con resortes, se les debe adicionar la fuerza de fricción generada por la del resorte. Para esto, es necesario obtener el coeficiente de fricción entre las paredes de bambú y la placa. El Cuadro 4 se muestra los coeficientes de fricción para diferentes materiales.

**Cuadro 4: Coeficientes de fricción entre madera y varios materiales**

Material 1	Material 2	Coefficiente de fricción
Madera	Metal	0,2 - 0,6
Madera	Madera	0,25 - 0,5
Madera	Ladrillo	0,6
Madera	Concreto	0,62

**Fuente: ROYMECH. (2011).**

Por medio del uso del coeficiente de fricción correcto, se puede obtener la fuerza de fricción usando la Ecuación 4.

$$F_f = \mu N \quad [\text{Ec-4}]$$

En donde:

$\mu$ : Coeficiente de fricción estático.

$N$ : Fuerza normal a las superficies de contacto.

En este caso, la fuerza normal es la carga ejercida por el resorte dentro de la muestra de bambú. Esta es determinada usando la Ecuación 5:

$$F_R = Kx + F_i \quad [\text{Ec-5}]$$

En donde:

$K$ : constante del resorte.

$x$ : elongación del resorte.

$F_i$ : carga inicial del resorte.

### **1.3.4 Hipótesis**

Como hipótesis, se plantea que las uniones hechas a partir de placas dentadas cumplirán con la teoría de uniones planteada y lograrán soportar lo teóricamente esperado. Además, el uso del resorte mejorará la capacidad de la unión, esto gracias a la tensión interna.

## **1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.4.1 Alcances**

El proyecto se limita al estudio de la resistencia de las uniones universales en elementos de bambú y a la observación de su desempeño durante las pruebas efectuadas. Se realizan un total de veinte pruebas, diez con el sistema de resortes interno y diez sin el él. Se escogió llevar a

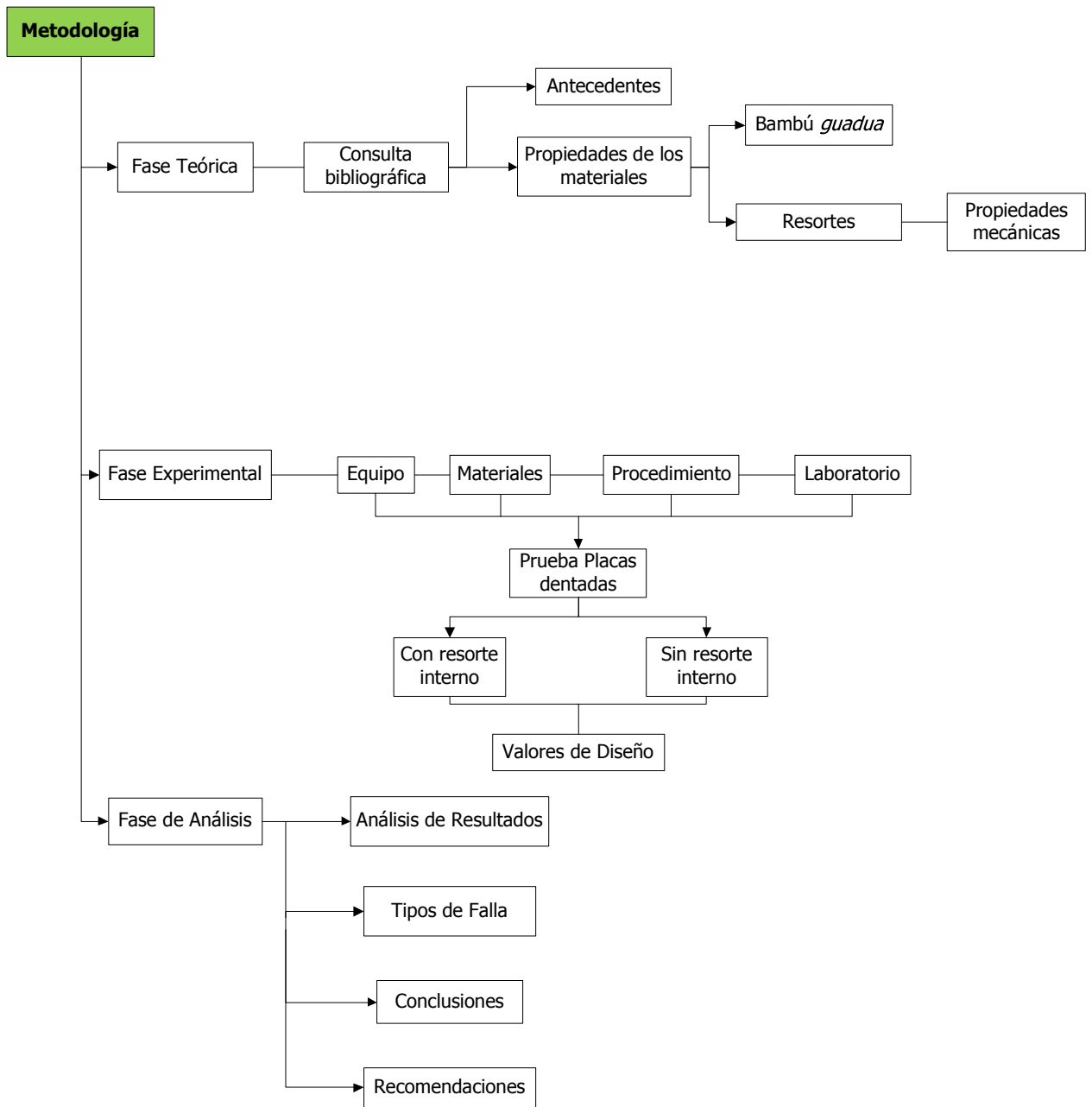
cabo tal número de exámenes por cada caso, ya que se obtiene información representativa para comparar los resultados. El alcance de la investigación se extiende hasta determinar las capacidades teóricas y experimentales de la unión, así como su comportamiento y los rangos de carga que puede soportar.

#### **1.4.2 Limitaciones**

En cuanto a las restricciones y limitaciones del proyecto, no se cuenta con el diseño definitivo de las uniones a utilizar en construcciones reales, razón por la cual se lleva a cabo una aproximación práctica utilizando placas dentadas originalmente diseñadas para elementos de madera. De esta forma, se pretende verificar si el sistema de placas dentadas puede funcionar en elementos de bambú *guadua*.

#### **1.5 METODOLOGÍA**

En primer lugar, se efectuará una exhaustiva consulta bibliográfica con la finalidad de obtener información acerca de los antecedentes del proyecto y las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a utilizar, en este caso, el bambú *guadua* y los resortes. En segundo lugar, se desarrolla la fase experimental, en la cual se diseñaron y se construyeron las probetas de prueba, basándose en procedimientos y normas establecidas. Se escoge un tipo de prueba a cortante para la unión, ya que es el caso más crítico para las placas dentadas. Apoyados en las pruebas, se obtiene los datos de la resistencia a cortante de la unión, ya sea con el uso de resorte interno o sin el uso de este. Fundamentados en esos datos, es posible determinar rangos de cargas de diseño en las cuales la unión metálica pueda funcionar. Seguidamente, se procede a la fase de análisis, durante la cual se utilizan los datos recolectados, se lleva a cabo un estudio estadístico y se interpretan los valores obtenidos. Además, se observa el tipo de falla obtenido en cada caso. Finalmente, se señalan las conclusiones obtenidas a partir de la experiencia y se establecen las recomendaciones pertinentes para futuros estudios del tema.



**Figura 23: Diagrama de flujo de las actividades principales del proyecto "Comportamiento mecánico de unión universal en un sistema constructivo de bambú Guadua" (Villalobos, U. 2011).**

## CAPÍTULO II

# DESARROLLO EXPERIMENTAL

---

## 2.1 MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales utilizados para este proyecto son los siguientes:

- Muestras de bambú *guadua angustifolia*: Son el elemento principal del proyecto. Es en estas muestras donde se instalan las uniones para la prueba.
- Placas dentadas: se conectarán a los especímenes de *guadua*. Si bien se adaptaron placas dentadas, en un principio creadas para elementos de madera, el diseño de estas hace posible la distribución de los esfuerzos debido a las cargas sometidas y beneficia el desempeño de la unión como un sistema.
- Resortes: Se juntarán a las placas dentadas. Estos buscan mantener las placas unidas durante los períodos de expansión y contracción del material. También, el resorte debe ser lo suficientemente flexible para lograr instalarse fácilmente en el campo.

### 2.1.1 Bambú (*guadua angustifolia*)

Los especímenes de bambú *guadua angustifolia* se obtuvieron de la Estación Experimental Los Diamantes, propiedad del Ministerio de Agricultura y Ganadería (M.A.G.). Ahí se consiguieron 120 modelos de *guadua angustifolia* para este proyecto. Tienen 6 años de edad y pasaron por un proceso de curado e inmunización para la preservación de la *guadua*.

Las propiedades físicas y mecánicas de la *guadua*, se basaron en los resultados del Informe Final del Proyecto Nacional de Bambú titulado "Determinación de propiedades físicas y mecánicas del bambú de la especie "Guadua" de dos zonas de Costa Rica" (Sotela, J. 1990). En este reporte, se destacan las propiedades físicas y mecánicas del bambú *guadua* de Costa Rica. De este documento, se obtuvo los datos para los cálculos teóricos de la resistencia de la unión instalada en el elemento de bambú, pues estos son representativos de los especímenes utilizados en este proyecto. En la Figura 24 se observan las muestras.





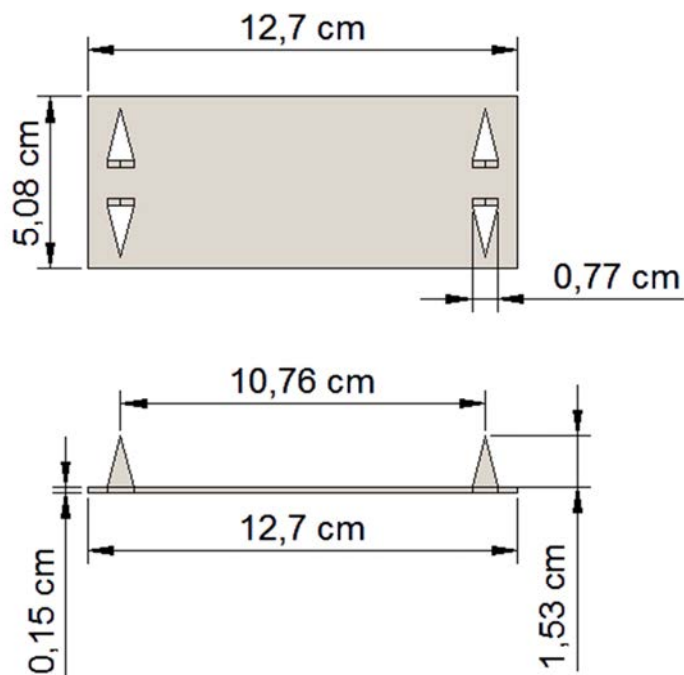
**Figura 24: Especímenes de Bambú *guadua angustifolia***

### **2.1.2 Placa dentada metálica**

Para la simulación de la unión metálica, se adaptó una placa dentada USP PL4 obtenida en el mercado. Esta fue diseñada para elementos de madera y tiene proyecciones a utilizar en la prueba. En la Figura 25 y en la Figura 26 se muestra la placa dentada escogida y un esquema, respectivamente.



**Figura 25: Placa dentada USP PL4**



**Figura 26: Esquema de la placa dentada USP PL4**

A la placa se le realizaron 2 pequeñas incisiones en el centro, con el fin de sujetar el resorte a utilizar. La placa está construida en hierro galvanizado, cuyo esfuerzo de fluencia de 227 MPa (2 310 kg/cm<sup>2</sup>).

La instalación final de las placas, junto con los especímenes de *guadua*, se muestra en la sección 2.2.3.2 de este informe.

### 2.1.3 Resortes

Para las pruebas del proyecto, se optó por conseguir resortes disponibles en el mercado. Sin embargo, para determinar cuál de los resortes disponibles sería el idóneo, se utilizaron muestras con diferentes características, a saber:

- Espesor del alambre
- Cantidad de vueltas
- Diámetro interno del resorte

- Largo

En la Figura 27 se muestran los resortes escogidos para la determinación de la constante  $K$ . Ésta relaciona la tensión que puede generar el resorte dependiendo de la elongación del mismo, mientras se encuentre en el rango elástico. Por lo tanto, a mayor elongación, mayor es la fuerza de tensión lograda por el resorte.



**Figura 27: Resortes usados para determinar la constante  $K$**

Para escoger la muestra de resorte correcta, fue necesario obtener las propiedades mecánicas. Por lo tanto, se les sometió a una prueba de carga con el objetivo de determinar la constante del resorte  $K$  (Ver Apéndice A). Una vez obtenida, se puede seleccionar el resorte adecuado para las pruebas de la unión.

## **2.2 METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

### **2.2.1 Datos teóricos para diseño del soporte**

Para las cargas teóricas, se determinó la capacidad de la unión y su posible demanda de cargas. Por un lado, se utilizó la teoría de uniones y los modos de falla, mencionados en la sección 1.3.3, para calcular la capacidad de la unión en cuestión. Además, se sometieron a pruebas experimentales con el fin de obtener una capacidad experimental y así compararla con la teórica. Por otro lado, se creó el modelo de una cercha de techo, usando el software SAP2000

v.11 (CSI. 2007). Así, se determinan las fuerzas en los nudos y elementos, y se obtiene la demanda de carga posible que debe soportar la unión.

### 2.2.1.1 Cargas usando la teoría de uniones

Con el fin de aplicar la teoría de uniones, se requiere determinar el valor de las variables para cada ecuación. En el caso de la gravedad específica del bambú, se utilizaron los datos recolectados por Sotela (1990), mostrados en el Cuadro 5.

**Cuadro 5: Densidades promedio para diferentes tipos de bambú *guadua***

Muestra	Densidad seca al horno promedio PS/VS (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación Estándar
Especie <i>guadua</i> , Zona Atlántica	0,815	0,089
Especie <i>guadua</i> , Zona Sur	0,809	0,068
Muestras Entrenudo, Zona Atlántica	0,869	0,037
Muestras Nudo, Zona Atlántica	0,774	0,061
Muestras Entrenudo, Zona Sur	0,826	0,061
Muestras Nudo, Zona Sur	0,790	0,017
<b>Promedio</b>	<b>0,814</b>	

PS: Peso Seco  
VS: Volumen Seco

Fuente: Adaptado de Sotela, J. (1990)

Basado en estos datos, se usa el valor de 0,814 g/cm<sup>3</sup> como la densidad del bambú. Al utilizar como densidad base la del agua (1 g/cm<sup>3</sup>), se obtiene una gravedad específica  $G_0$  de 0,814.

También, al ser la unión hecha en acero laminado en frío, se utiliza el módulo de elasticidad promedio del mismo de 203 GPa (2,07x10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup>) y un esfuerzo de fluencia de 227 MPa (2 310 kg/cm<sup>2</sup>). Finalmente, se estima las dimensiones de cada uno de los dientes que se insertará en la corteza del bambú. Se plantea que sus dimensiones sean de 6 mm de largo y 1,5 mm de espesor. Una vez obtenidos estos datos, se procede a calcular la capacidad del diente usando los modos de falla explicados en la sección 1.3.3 (Modo I<sub>m</sub> y Modo III)

Los datos son los siguientes:

$$D = 1,5 \text{ mm}$$

$$t_m = 6 \text{ mm}$$

$$F_{yb} = 227 \text{ MPa } (2.310 \text{ kg/cm}^2)$$

$$G_0 = 0,814$$

D: Espesor del diente.

$t_m$ : Penetración del diente.

$F_{yb}$ : Esfuerzo de fluencia del diente.

$G_0$ : Gravedad específica del bambú.

Con la información anterior, se sabe que el esfuerzo de aplastamiento  $F_{em}$  según la Ecuación 3, es el siguiente:

$$F_{em} = 114,5G_0^{1,84} = 114,5 \times 0,814^{1,84} = 78,4 \text{ MPa} = 800 \text{ kg/cm}^2$$

Con este dato se pueden aproximar las capacidades teóricas de cada diente insertado en el bambú.

*Modo I<sub>m</sub>*

$$Z = Dt_m F_{em} = 0,15 \times 0,6 \times 800 = 72,0 \text{ kg}$$

*Modo III*

$$Z = Dt_m F_{em} \left[ \sqrt{2 \left( 1 + \frac{F_{yb} D^2}{3 F_{em} t_m^2} \right)} - 1 \right] = 71,98 \left[ \sqrt{2 \left( 1 + \frac{2310 \times 0,15^2}{3 \times 800 \times 0,6^2} \right)} - 1 \right] = 32,8 \text{ kg}$$

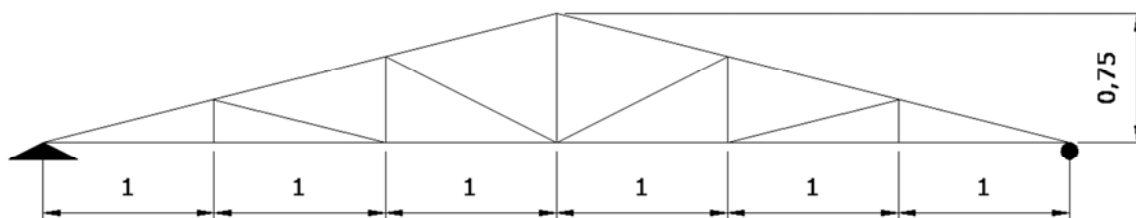
De los resultados obtenidos, se escoge la capacidad teórica menor, pues es la primera que se alcanza al cargar la unión. Si se considera que la unión cuenta con una cantidad de dientes de ocho, la capacidad teórica de la unión sería:

$$Z_n = 32,8 \times 8 = 263 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la carga máxima para la unión sería de 263 kg. Para el caso de las pruebas con resortes, se le debe añadir la carga creada por la fricción entre la placa dentada y la pared de bambú debido a la fuerza de tensión que ejercen los resortes. Esta será determinada para cada prueba, dependiendo de la elongación de los respectivos resortes.

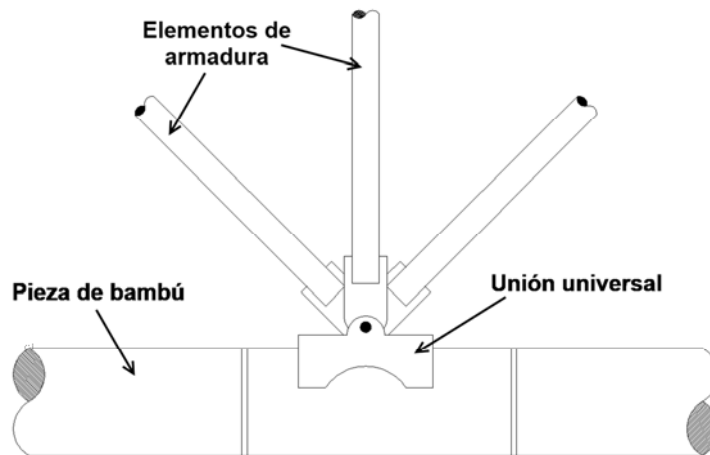
#### 2.2.1.2 Cálculo de demanda usando el modelo de techo en SAP2000 v.11

Se hizo un modelo de una cercha para techo usando el software SAP2000 v.11 (CSI. 2007). Se consideraron las cargas temporales establecidas por el CSCR-02 para techos con cargas livianas (techos de fibrocemento, láminas de acero galvanizado, entre otros), la cual es de 40 kg/m<sup>2</sup>. Además, se consideraron dos tipos de cubierta de techo: una con teja de arcilla y otra con lámina de acero galvanizada. También, se consideró la fuerza del viento, suponiendo que el techo se encuentra a 5 m de altura y un ancho de cubierta de techo de 1,05 m. El modelo del techo utilizado se muestra en la Figura 28:



**Figura 28: Modelo de una cercha para techo ligero para elementos de bambú (cotas en metros)**

Se escogió este tipo de cercha, ya que es un diseño típico para una estructura ligera; además, posee dimensiones típicas utilizadas en construcciones reales. Las conexiones en los nudos se pueden diseñar utilizando la unión propuesta. Esta se instalaría ya sea en la cuerda inferior o superior de la cercha, donde se unirían los elementos internos. Estos pueden ser plantillas de bambú o componentes de metal, que se conectarían a la unión por medio de un perno. En la Figura 29 se presenta la posible instalación de la unión universal para acoplar elementos de una armadura.



**Figura 29: Diagrama de la posible instalación de la unión universal metálica para acople de elementos de armaduras**

Las combinaciones de carga modeladas son las determinadas por el ASCE 7 (ASCE International, 2000), las cuales consideran las cargas de viento para el diseño exclusivo de techos. Las combinaciones modeladas son las siguientes:

$$COMB1 = 1,4CP$$

$$COMB2 = 1,2CP + 1,6CT$$

$$COMB3 = 1,2CP + 1,6CT + 0,8CW$$

$$COMB4 = 1,2CP + 0,5CT + 1,6CW$$

$$COMB5 = 0,9CP - 1,6CW$$

COMB1, ..., COMB5: Combinaciones de cargas.  
 CP: Carga Permanente.  
 CT: Carga Temporal.  
 CW: Carga de viento.

Para determinar las cargas de viento, se utilizó la metodología estipulada en el ASCE 7 (ASCE International, 2000). Se consideró que la cubierta de techo tiene un ancho de 1,05 m y un largo de 3,1 m, lo cual es el largo de la cuerda superior de la cercha. Para determinar la fuerza de viento, se usó la siguiente ecuación:

$$F = q_h \times G \times C_p$$

[Ec-6]

Siendo:  $q_h$ : Presión básica ( $\text{kg/m}^2$ )  
 $G$ : Coeficiente de ráfaga  
 $C_p$ : Coeficiente de presión externa

Según el Reglamento de Construcciones (INVU. 1983), para una estructura a una altura de 5 m, la presión básica  $q_h$  es de  $62 \text{ kg/m}^2$ . Los coeficientes  $G C_p$  se determinan según la Figura 30.

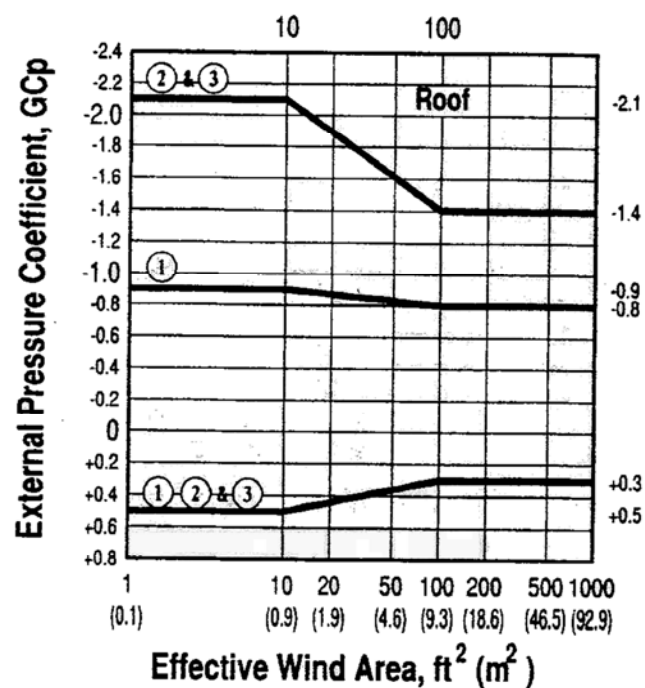


Figura 30: Gráfico Coeficiente  $GC_p$  vs Área efectiva de techo para cargas de viento

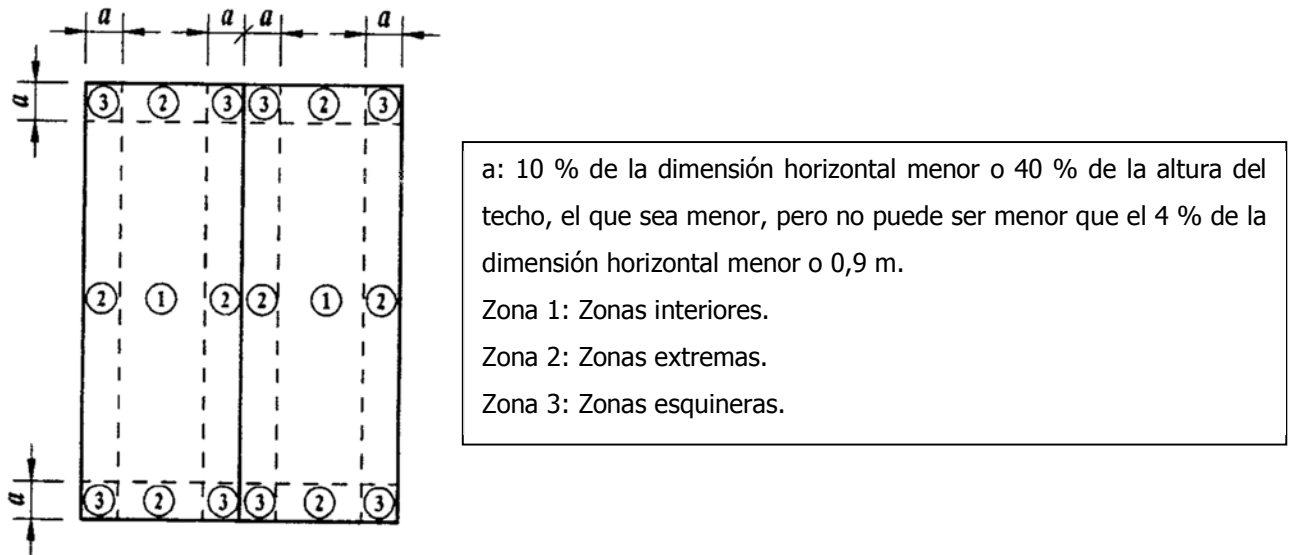
Fuente: ASCE. (2000)

Para determinar los coeficientes, el área de contacto  $A$  es la misma para ambas superficies, tanto la que está frente a la dirección del viento como la que está detrás de este. Dicha área es de:

$$A = 1,05 \times 3,1 = 3,25 \text{ m}^2$$



Además, esta se clasifica dependiendo de la posición en el techo, como se muestra en la Figura 31.



**Figura 31: Clasificación de las áreas de techo para cargas de viento**

**Fuente: ASCE. (2000)**

Considerando esta área y que se trata de la zona del techo clasificada como 1, los coeficientes para el área de techo frente al viento y detrás de este son:

Para el área a favor del viento:  $GC_p = 0,4$

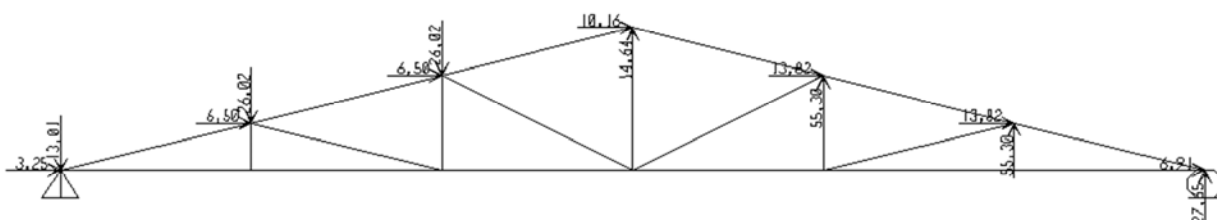
Para el área detrás del viento:  $GC_p = -0,85$

Usando esos coeficientes, se obtuvo las cargas en ambos lados del techo. Estas son:

Carga a favor del viento:  $F_1 = 62 \times 0,4 = 24,8 \text{ kg/m}^2$

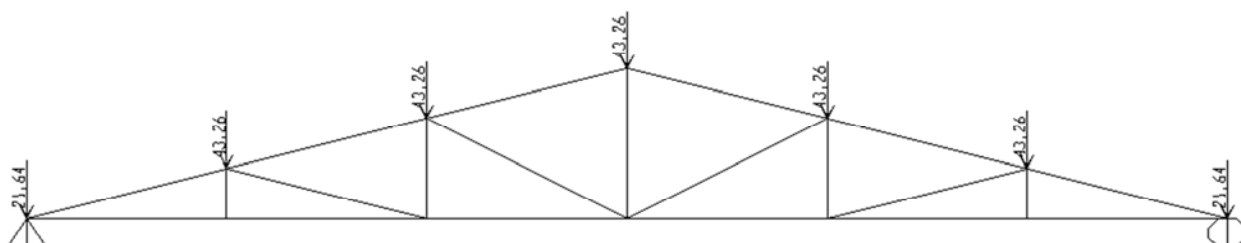
Carga detrás del viento:  $F_2 = 62 \times -0,85 = -52,7 \text{ kg/m}^2$

Tales fuerzas fueron distribuidas según el área tributaria del techo y aplicadas en los nodos de la cercha. En la Figura 32 se muestra la forma de aplicación de las fuerzas de viento:



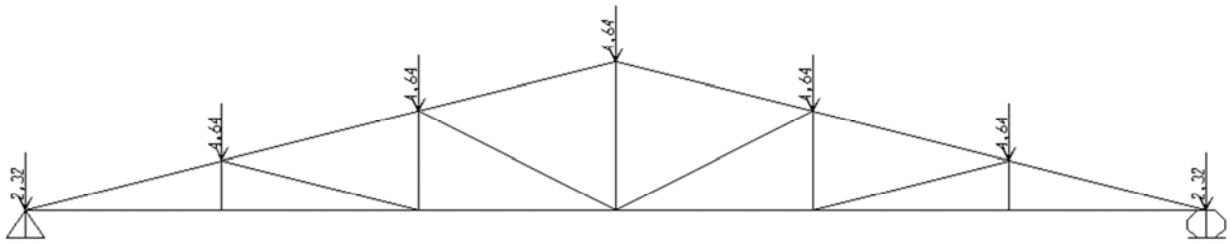
**Figura 32: Aplicación de las cargas de viento en una cercha para modelamiento estructural**

Dentro del modelo, se consideraron las cargas temporales para techo establecidas en el Código Sísmico de Costa Rica 2002 (CSCR-02). Para esta ocasión, la carga temporal es de  $40 \text{ kg/m}^2$ . Al igual que las cargas de viento, la fuerza resultante se aplicó sobre el área de  $3,25 \text{ m}^2$  y fue dividida en los nodos del techo según el área tributaria de este. En la Figura 33, se muestra la distribución de las cargas temporales en la cercha:



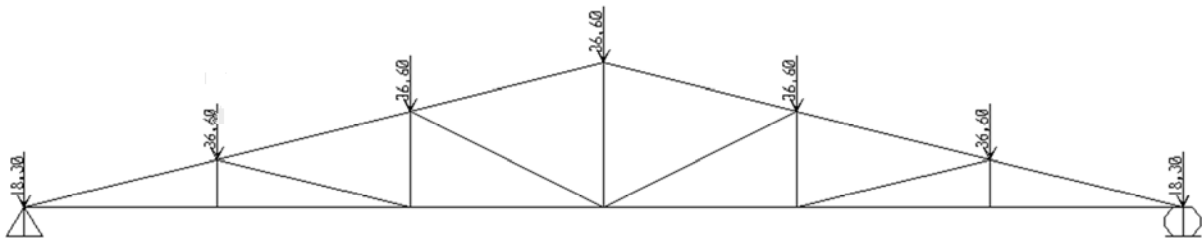
**Figura 33: Aplicación de las cargas temporales en una cercha para modelamiento estructural**

Para el primer modelo, se consideró una cubierta de techo de lámina de hierro galvanizado de calibre 26 ( $3,66 \text{ m} \times 1,05 \text{ m}$ ). Esta tiene un peso de  $16,44 \text{ kg}$  según el fabricante (Metalco S.A. 2010). Usando este valor, se le distribuye de acuerdo al área tributaria que le corresponde a cada nodo de la cercha. Las resultantes se aplican directamente sobre estos. En la Figura 34, se muestra la distribución de las cargas referentes a la cubierta de techo de hierro galvanizado:



**Figura 34: Aplicación de las cargas en una cercha originadas por cubiertas de techo de hierro galvanizado**

Para el segundo modelo, se usó una cubierta de techo únicamente a base de teja. Según el fabricante (Productos Caribe S.A. 2010), es posible instalar 12 tejas por metro cuadrado. Cada unidad de teja pesa 2,8 kg. Igualmente, se usó la misma área de cubierta de techo que en el modelo anterior con el fin de comparar objetivamente. También, se distribuyó el peso de la cubierta según los nodos de la cercha, otorgándole a cada uno una carga según el área tributaria del nodo respectivo. La distribución de las cargas se muestra en la Figura 35.



**Figura 35: Aplicación de las cargas en una cercha originadas por cubiertas de techo de teja de arcilla**

Tomando en consideración todos los casos de cargas, se obtuvo las que se pueden esperar en cada elemento de la cercha, ya sea a tensión o a compresión. Los resultados para cada uno de los casos se presenta en el Apéndice C.

Sin embargo, las fuerzas que interesan son las que generan esfuerzo de cortante paralelo a la fibra. Estas fuerzas se dan en los nodos extremos a cada lado de la armadura. Las cargas máximas obtenidas para ambos casos (techo de hierro galvanizado y techo de teja) se presentan en el Cuadro 6.

**Cuadro 6: Valores de fuerzas máximas para los modelos de techo con cubiertas de hierro galvanizado y teja**

Modelo	Valores máximos
	Carga (kg)
Techo con cubierta de hierro galvanizado	772
Techo con cubierta de teja	975

### **2.2.3 Diseño y proceso de construcción de las probetas de bambú junto con las uniones a estudiar**

De la Estación Experimental Los Diamantes, se obtuvo los 120 especímenes de *guadua angustifolia* utilizados en este estudio. Estas se clasificaron según su estado de integridad del material y su medida entre nudos. Si los especímenes presentaban rajaduras en su superficie, se clasificaron en grupo separado para realizar pruebas de densidad de las paredes internas y externas de la *guadua*.

Los demás especímenes fueron agrupados según las medidas entre nudos (menos de 35 cm, de 35 cm a 40 cm y más de 40 cm). Estas muestras son utilizadas para el anclaje de la unión universal.

Cada uno de los especímenes fue cortado en sus extremos con el fin de lograr una superficie plana y paralela a la superficie de apoyo. Esto se alcanzó al cortar con una sierra de cinta junto con una base como guía. Además, se cortó un agujero a 19 cm de una de las caras del espécimen, donde atravesaría el resorte que mantendría ambas placas sostenidas. En la Figura 36, se muestran los especímenes dispuestos para las pruebas.



**Figura 36: Probetas de *guadua angustifolia* utilizadas en el proyecto**

#### *2.2.3.1 Pruebas de densidad de las paredes internas y externas de la guadua*

Antes de ejecutar las examinaciones de carga, se realizaron pruebas de densidad de las paredes internas y externas de la *guadua*, debido a que la exterior suele ser más densa que interna. La densidad externa de la pared ayuda a que los dientes de la placa puedan acoplarse mejor e incluso obtener una resistencia mayor a las fuerzas ejercidas. Además, si las densidades entre las muestras varían mucho, se tendría que tomar en cuenta la densidad de las paredes de las probetas falladas.

Las pruebas se efectuaron en el taller de carpintería del Laboratorio de Productos Forestales (LPF) de la Universidad de Costa Rica.

Para la determinación de las densidades, se utilizó el método de laboratorio de la Organización Internacional de Estandarización (ISO, por sus siglas en inglés). Las normas utilizadas fueron la *ISO/FDIS 22157-1:2003* e *ISO/TR 22157-2:2003*, tituladas: *Bambú – Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas, Partes 1 y 2*, respectivamente. La metodología propuesta por la norma ISO se conoce como *Peso Sumergido*, la cual se indica a continuación:

1. Determinar la masa al aire  $m$  de la muestra en gramos.
2. Poner la balanza encima de un recipiente con 40 litros de agua a 25 °C.
3. Determinar la masa  $W$  del equipo en que la muestra va a ser sumergida.
4. Sumergir la muestra y leer la masa sumergida  $W_v$  (equipo más bambú).
5. Calcular el volumen de la muestra con la siguiente fórmula:

Volumen (cm<sup>3</sup>) = Masa al aire (g) – Masa sumergida (g) + Masa del equipo (g)

$$V = m - W_u + W \quad [\text{Ec-7}]$$

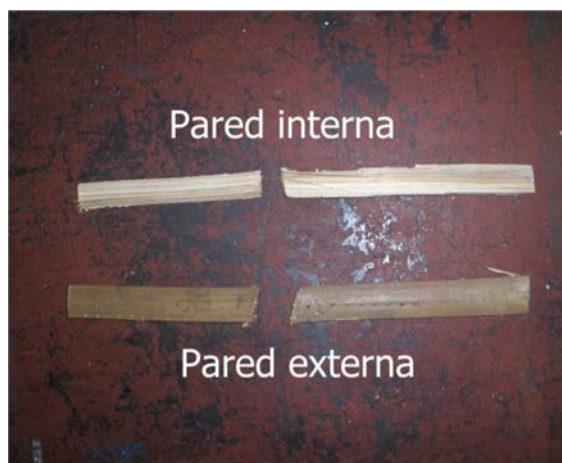
6. Determinar la densidad de la muestra: Masa al aire (g) / Volumen (cm<sup>3</sup>)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{Ec-8}]$$

En la Figura 37 y Figura 38 se observa la balanza de precisión utilizada y las muestras de paredes internas y externas, respectivamente.



**Figura 37: Balanza de precisión**



**Figura 38: Muestras de paredes internas y externas de la *guadua***

Para las pruebas se empleó un equipo con una masa  $W$  de 400 g. Usando la Ecuación 7 y Ecuación 8, se obtuvo los datos de volumen y densidad para las paredes internas y externas. Estos se presentan en el Cuadro 7 y Cuadro 8.

**Cuadro 7: Volumen y densidad de las paredes externas de bambú *guadua***

Muestras*	Masa al aire (g)	Masa sumergido (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
A1	10,1	398	12,1	0,835
A2	12,2	396	16,2	0,753
B1	14,8	400	14,8	1,00
B2	16,5	400	16,5	1,00
C1	14,6	401	13,6	1,07
C2	14,8	401	13,8	1,07
D1	15,0	396	19,0	0,789
D2	9,90	399	10,9	0,908
E1	13,9	401	12,9	1,08
E2	13,6	401	12,6	1,08
F1	16,5	401	15,5	1,06
F2	16,3	401	15,3	1,07
G1	14,9	400	14,9	1,00
G2	16,9	400	16,9	1,00
			<b>Promedio</b>	<b>0,980</b>
			<b>Coefficiente de variación</b>	<b>1,28%</b>

\* Identificación asignada a cada muestra de pared interna y externa de bambú *guadua*.

**Cuadro 8: Volumen y densidad de las paredes internas de bambú *guadua***

Muestras*	Masa al aire (g)	Masa sumergido (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
A1	6,30	394	12,3	0,512
A2	4,60	395	9,60	0,479
B1	13,6	395	18,6	0,731
B2	11,8	397	15,3	0,771
C1	11,3	393	18,8	0,601
C2	11,1	394	17,6	0,631
D1	5,40	394	11,9	0,454
D2	9,10	393	16,1	0,565
E1	10,5	395	15,5	0,677
E2	11,5	396	15,5	0,742
F1	10,9	394	16,9	0,645
F2	12,1	395	17,1	0,708
G1	13,6	394	19,6	0,694
G2	13,6	395	18,6	0,731
			<b>Promedio</b>	<b>0,639</b>
			<b>Coefficiente de variación</b>	<b>1,06%</b>

\* Identificación asignada a cada muestra de pared interna y externa de bambú *guadua*.

Se tiene entonces que la densidad promedio para la pared externa de las muestras es de 0,980 g/cm<sup>3</sup> y de 0,639 g/cm<sup>3</sup> para la pared interna, con coeficientes de variación de 1,28 % y 1,06 % respectivamente. Esto indica que el material utilizado es homogéneo. Además, esto ayuda a que no sea necesario medir la densidad de las paredes internas y externas de las probetas falladas.

### 2.2.3.2 Pruebas para la determinación de la constante del resorte

Para determinar la carga de tensión interna que se va a dar dentro de la unión, se hicieron pruebas a varios resortes comerciales para la determinación de su constante *K*. Para la escogencia del mecanismo, se tuvo en cuenta su tamaño, puesto que tiene que introducirse dentro de la muestra de *guadua*. Además, se consideró la elongación que debe tener el resorte para ejercer la tensión requerida.



Los resortes con los que se experimentó cumplían con características, tales como espesor del alambre, cantidad de vueltas, diámetro interno del resorte y longitud. De esta forma, se pudo obtener varios rangos para la constante  $K$  para determinar cuál se utilizará.

Se escogieron 7 resortes para llevar a cabo las pruebas. Estos se presentaron en la Figura 27.

Para las examinaciones se utilizó una máquina universal MTS-810 del LanammeUCR. Los resortes se instalaron en esta y se les aplicó una fuerza de tensión para extenderlos. Las mediciones fueron recolectadas por la computadora de la máquina universal (modelo Dell), de donde se obtuvieron los datos finales para su evaluación. Los resultados de cada una de las pruebas se muestran en el Apéndice A.

En el Cuadro 9 se presenta un resumen de los datos obtenidos de las pruebas de cada uno de los resortes:

**Cuadro 9: Resumen de resultados de las pruebas a resortes**

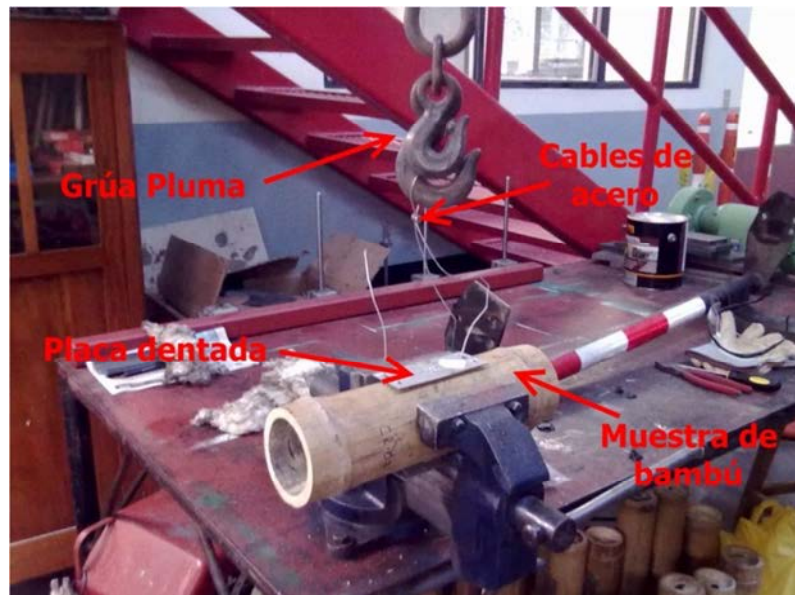
#	Identificación*	Carga máxima (kg)	Desplazamiento con carga máxima (cm)	$K$ (kg/cm)	Carga inicial (kg)
1	Resorte 25	30,3	2,80	6,03	11,3
2	Resorte 140	67,3	5,13	2,25	54,0
3	Resorte 372-A	5,32	0,97	0,137	1,48
4	Resorte 426	21,5	4,88	2,29	8,69
5	Resorte 428	20,6	9,75	1,19	7,49
6	Resorte 432	76,9	2,15	7,25	58,5
8	Resorte 1051	94,9	4,80	13,1	37,7

\* 25/140/372-A/426/428/432/1051: Se refiere a la identificación dada en el mercado.

Es relevante destacar que la máquina universal tiene una capacidad de 25 000 kg y las fuerzas reportadas se encuentran entre 30 kg y 100 kg, lo cual significa un 0,12 % y 0,4 % de la capacidad de la máquina, cuando la recomendación es utilizar por encima del 10 % de la capacidad (2 500 kg – 25 000 kg). Sin embargo, para este caso, lo que se requería determinar era cuál resorte funcionaba mejor en las pruebas, razón por la cual se requería de ese grado de precisión y por lo tanto, los datos obtenidos de  $K$  son aproximados.

Basándose en los datos obtenidos, se decidió escoger el resorte 432 para su utilización en la unión universal, por su facilidad para la instalación dentro de las probetas de bambú. Además, este sistema tiene la carga inicial más alta de todas las muestras, lo cual posibilita que la capacidad de la unión aumente debido a esta tensión interna.

Para introducir el resorte dentro de las muestras de bambú, se ideó un sistema de una pequeña grúa pluma junto con cables para estirar el resorte lo suficiente e instalar las placas en su posición. La grúa utilizada se muestra en la Figura 39.



**Figura 39: Grúa pluma para halar el resorte**

El resorte se unió a las placas por medio de los ganchos que fueron insertados en unos orificios en las placas. El resorte finalmente instalado se presenta en la Figura 40.



**Figura 40: Resorte tipo 432 instalado en unión metálica universal**

#### **2.2.4 Método de aplicación de cargas a las probetas**

La forma de aplicación de carga se da a través del soporte diseñado para la prueba. Este transmite la carga directamente a las placas dentadas y reacciona ante esta hasta el límite que el material pueda soportar. El diseño del soporte se muestra en la Figura 41.



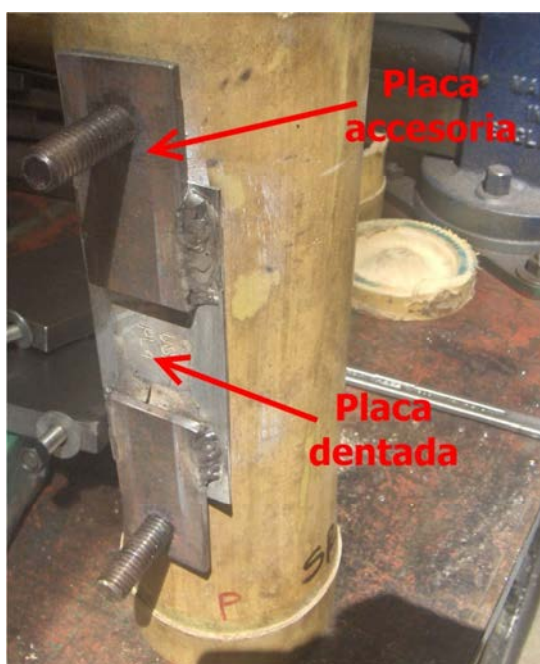
**Figura 41: Diseño de soporte de acero para las pruebas de la unión metálica universal**

El cálculo de la capacidad del soporte se muestra en el Apéndice B. El diseño se hizo de manera que este se comporte como un cuerpo rígido con respecto al espécimen. En la Figura 42, se muestra el soporte adherido a la placa dentada en la muestra.



**Figura 42: Soporte instalado a la muestra de bambú con la unión**

Para lograr transferir la carga directamente a las placas dentadas, se soldaron un par de pequeñas láminas junto con pernos de 13 mm de diámetro y 38 mm de largo, los cuales están avellanados y soldados en ellas. La función de estas es unir el conjunto del bambú y las placas dentadas con el soporte de transferencia de carga. La memoria de cálculo de la capacidad que soportan las soldaduras y el perno se encuentra en el Apéndice B. En la Figura 43 se muestra el diseño de las placas a soldar.



**Figura 43: Placas soldadas a las placas dentadas**

## **2.3 MÉTODO EXPERIMENTAL PARA PRUEBA A UNIÓN METÁLICA UNIVERSAL**

Una vez instalado el soporte con todos los accesorios, se procedió a preparar el equipo para las pruebas de carga. Este, junto con el procedimiento de las pruebas, se explican a continuación.

### **2.3.1 Equipo de laboratorio**

Se utilizó la máquina universal MTS-810 del LanammeUCR. Esta permite realizar pruebas de cargas estáticas y dinámicas en materiales y componentes. Posee un sistema variado de cargas

controladas y diferentes grados de flujo en la servo-válvula. El sistema MTS-810 puede configurarse para cumplir con las necesidades de cada material o componente que se quiera probar y tiene una capacidad de 250 kN. Se pueden utilizar diferentes materiales desde plásticos, aluminios y compuestos hasta aceros. Permite realizar diferentes pruebas como: de tensión, compresión, fatiga, fractura mecánica y durabilidad de los materiales. En la Figura 44 se muestra la máquina universal.



**Figura 44: Máquina universal MTS-810 para ensayos a tensión, compresión, fatiga, fractura mecánica y durabilidad en diferentes tipos de materiales**

### **2.3.2 Procedimiento experimental**

El procedimiento de montaje de la prueba es el siguiente:

1. Instalar el soporte junto con la muestra a la plataforma de la máquina universal. Revisar que la muestra esté alineada con la cabeza de carga de esta.
2. Disponer en cero todos los valores de carga y desplazamiento para iniciar la examinación.



3. Iniciar la prueba. Se programa la máquina universal para aplicar una carga a una velocidad de 1 mm/min. Después de los 2 mm de desplazamiento, se incrementa a 2 mm/min, para disminuir el tiempo de los ensayos.
4. Observar el proceso de carga y las fallas sufridas por la muestra.
5. Extraer los datos almacenados en la computadora de la prueba y proceder al análisis de resultados.
6. Obtener la gráfica de Carga vs. Desplazamiento para cada muestra y determinar la carga máxima antes de la falla de la muestra.

En la Figura 45 se muestra como se instaló la probeta de bambú con el soporte en la máquina universal.



**Figura 45: Probeta de bambú junto con el soporte diseñado e instalado en la máquina universal**

**CAPÍTULO III**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

---



### 3.1 RESISTENCIA AL CORTANTE DE LAS UNIONES METÁLICAS USADAS EN ELEMENTOS DE BAMBÚ

#### 3.1.1 Cargas máximas y desplazamientos últimos

En el Cuadro 10 y Cuadro 12, se muestran las cargas máximas obtenidas en las pruebas realizadas a las uniones metálicas sin el uso del sistema de resortes y con la implementación de este. Los datos obtenidos para cada una de las pruebas efectuadas se encuentran en el Apéndice D.

**Cuadro 10: Cargas máximas y desplazamientos últimos para pruebas en uniones universales metálicas sin resortes**

Pruebas a uniones metálicas universales sin resorte		
Prueba	Carga máxima (Kg)	Desplazamiento último (mm)
SR-01	784	6,85
SR-02	561	3,85
SR-03	627	5,92
SR-04	634	5,12
SR-05	534	7,21
SR-06	607	7,66
SR-07	518	5,33
SR-08	575	6,17
SR-09	490	7,00
SR-10	602	5,25
<b>Promedio</b>	<b>593</b>	<b>6,04</b>
<b>Diferencia con Modo I<sub>m</sub></b>	<b>3,03%</b>	

El valor promedio de las pruebas fue de 593 kg, con un porcentaje de error es de 3,03 % con respecto al valor teórico del modo I<sub>m</sub> (576 kg). Sin embargo, con respecto al modo III, se obtiene una diferencia de 126 % (263 kg), esto porque, durante la carga de las placas, se dio el aplastamiento de las fibras sin deformarse los dientes. Con esto se cumple el modo I<sub>m</sub>. Al presentarse la rótula plástica en la interface entre los dientes y la placa, se da el modo III, donde aplica la capacidad menor calculada.

En cuanto a los desplazamientos obtenidos, se dan valores muy pequeños, pues el promedio es de 6,04 mm. Esto indica que las placas dentadas no tienen mucho rango de movimiento antes de llegar a la falla. Para lograr ese desplazamiento se debe aplicar una carga de casi 600 kg, lo que demuestra que la unión es muy resistente y de baja deformación.

Las fuerzas ejercidas por los resortes se determinaron haciendo mediciones de la elongación de estos. Con el valor de la constante del resorte K especificada (7,25 kg/cm) y usando la Ecuación 5, se obtuvieron las fuerzas de los resortes. Estas se muestran en el Cuadro 11.

**Cuadro 11: Fuerza ejercida por los resortes dentro de la unión**

Prueba	Longitud inicial (cm)	Longitud final (cm)	Elongación (cm)	Fuerza del resorte (kg)
CR-01	8,27	11,4	3,17	81,5
CR-02	8,27	11,8	3,53	84,1
CR-03	8,27	11,2	2,89	79,4
CR-04	8,27	11,1	2,80	78,8
CR-05	8,27	11,3	3,04	80,5
CR-06	8,27	10,8	2,52	76,8
CR-07	8,27	10,4	2,08	73,6
CR-08	8,27	10,6	2,28	75,0
CR-09	8,27	10,4	2,16	74,2
CR-10	8,27	10,4	2,13	73,9
<b>Promedio</b>				<b>77,8</b>

Con la fuerza del resorte promedio, es posible calcular la fuerza de fricción entre el bambú y la placa metálica. Esta se obtiene de la siguiente forma usando la Ecuación 4:

$$F_f = \mu N = 0,6 \times 77,8 = 46,7 \text{ kg}$$

F<sub>f</sub>: Fuerza de fricción  
 μ: Coeficiente de fricción  
 N: Fuerza normal a las superficies de contacto

Se utiliza un valor de μ de 0,6, que es el coeficiente de fricción más alto entre madera y metal como aproximación, pues los dientes insertados en las paredes de bambú obstaculizan el movimiento de las placas.

Esta carga luego se añade a la teórica para cada uno de los modos de falla con el fin de obtener una carga teórica para el caso de las pruebas con resorte. Las cargas teóricas son:

Modo  $I_m$  con resorte:  $Z_n = 576 + 46,7 = 623 \text{ kg}$

Modo III con resorte:  $Z_n = 263 + 46,7 = 309 \text{ kg}$

$Z_n$  : Carga teórica de la unión.

**Cuadro 12: Cargas máximas y desplazamientos últimos para pruebas en uniones universales metálicas con resortes**

<b>Pruebas a uniones metálicas universales con resorte</b>		
<b>Prueba</b>	<b>Carga máxima (kg)</b>	<b>Desplazamiento último (mm)</b>
CR-01	655	8,04
CR-02	568	5,92
CR-03	560	6,79
CR-04	605	6,25
CR-05	594	5,21
CR-06	632	6,65
CR-07	679	6,05
CR-08	834	8,88
CR-09	714	6,81
CR-10	638	3,47
<b>Promedio</b>	<b>648</b>	<b>6,41</b>
<b>Diferencia con Modo <math>I_m</math></b>	<b>4,09%</b>	

Según los datos de las pruebas con resortes, se obtuvo un valor promedio mayor comparado al de las pruebas sin resortes. El valor promedio es de 648 kg, lo cual significa una diferencia de 4,09 % con respecto a la carga teórica del modo  $I_m$  (623 kg). Por otro lado, con respecto a la carga teórica del modo III (309 kg), se da una diferencia de 110% por la misma razón que en el caso de las pruebas sin resorte. Además, el promedio de carga de las pruebas con resorte es 9,21% mayor al promedio obtenido en las exámenes que no lo utilizan. Los desplazamientos últimos obtenidos son muy pequeños, como en la prueba sin resorte. Esto indica que la fuerza de este no ayuda a minimizar los desplazamientos. No obstante, la fuerza

del resorte sí posibilita los desplazamientos con un aumento de casi 50 kg en la carga con respecto a las pruebas sin resorte.

Este aumento posiblemente se deba a la naturaleza de las muestras de *guadua* en esos especímenes antes que a la fuerza de tensión que ejercen los resortes, pues al incrementar las fuerzas de los resortes no necesariamente sube la capacidad de carga de la unión. Por otro lado, al aumentar la fuerza de fricción entre las placas, la capacidad de la unión debería subir un poco, por lo tanto es posible que cierto porcentaje del aumento de capacidad sea debido al efecto de los resortes.

Para determinar si la fuerza ejercida por el resorte es significativa para la capacidad a cortante de la unión, se realizó un análisis de varianza usando una hoja de cálculo electrónica. El objetivo de este es determinar si las cargas máximas de las muestras sin resorte y con este posee promedios iguales, debido a la fuerza del resorte dentro de las muestras, desde un punto de vista estadístico. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 13.

**Cuadro 13: Resultados análisis de varianza entre las cargas de las uniones universales con y sin resortes**

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Pruebas sin resorte	10	5932,97	593,30	6744,05
Pruebas con resorte	10	6479,52	647,95	6560,01

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	14935,87	1	14935,87	2,25	0,15	4,41
Dentro de los grupos	119736,56	18	6652,03			
<b>Total</b>	<b>134672,43</b>	<b>19</b>				

Basado en los datos obtenidos, se puede concluir que los promedios, en ambos casos, son iguales, pues al 95 % de confianza, el valor del estadístico  $F(2,25)$  es menor que el valor crítico de  $F(4,41)$ . Por esta razón, se define que la capacidad promedio de la unión es igual, aunque se le agregue el resorte al sistema. Esto es, que el efecto del resorte dentro del sistema no genera una variación significativa en la capacidad y no es necesaria su inclusión dentro de este.

En adición, se extrajeron muestras de las probetas falladas con el objetivo de determinar el contenido de humedad. Así, se verifica que las uniones cumplieron su capacidad en condiciones ambientales normales. Las muestras se introdujeron en un horno a 110 °C durante 24 horas. Se midió la masa de cada una de estas antes y después de haber ingresado al horno. Los datos obtenidos se presentan en el Cuadro 14.

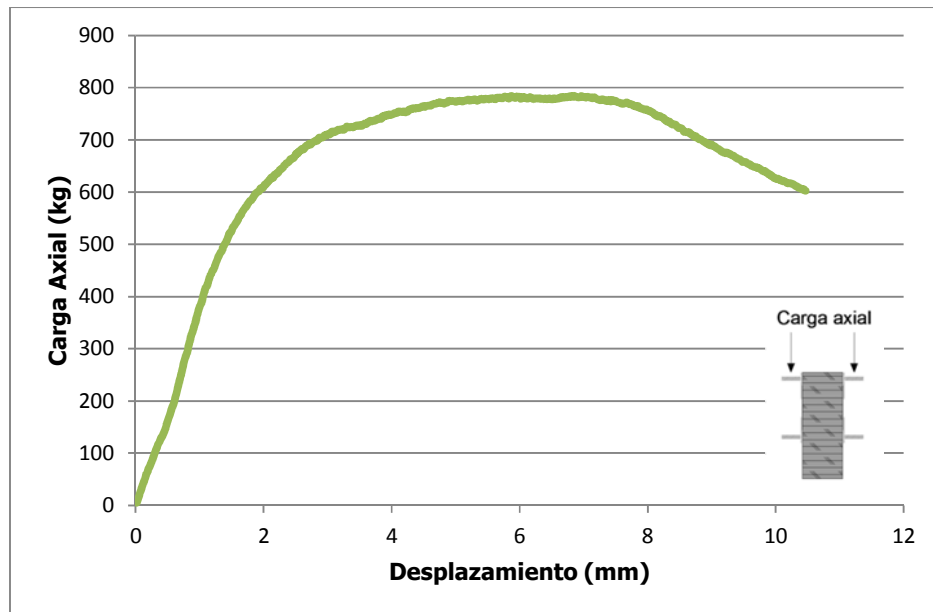
**Cuadro 14: Resultados pruebas de humedad a las muestras de bambú falladas**

<b>Muestras</b>	<b>Peso inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Porcentaje de humedad</b>
1	96,0	82,7	13,8%
2	53,8	46,7	13,2%
3	177	152	13,9%
4	253	218	13,6%
5	216	187	13,6%
		<b>Promedio</b>	<b>13,6%</b>

Según esto, el promedio de contenido de humedad de las muestras es de 13,6 %, el cual es un valor normal para la *guadua*. Esto indica que las pruebas se efectuaron en condiciones ambientales de equilibrio, por lo que los datos registrados demuestran ser representativos y válidos para el estudio en cuestión.

### 3.1.2 Comportamiento de las uniones universales metálicas

El comportamiento típico de las uniones universales metálicas en elementos de bambú *guadua* se muestra en la Figura 46.



**Figura 46: Comportamiento de las uniones metálicas universales en elementos de bambú (Prueba SR-01)**

Como expone el gráfico, las uniones metálicas tienen un comportamiento dúctil. Durante el rango elástico, los dientes de la placa se deforman elásticamente conforme aumenta la carga. Mientras sucede esto, las fibras del bambú que el diente aplasta se densifican cada vez más. Esto causa que las fibras del bambú no permitan que los dientes se deformen más. En ese momento, se forma una rótula plástica en la unión entre el diente y la placa y se aumenta el desplazamiento, pero con poca variación en la carga ejercida. Al doblarse cada vez más, los dientes dejan de soportar carga, razón da la falla de la unión. Además, debido a la densificación de las fibras, los dientes tienden a ser extraídos, pues estas impiden que sigan penetrando la pared de la *guadua*. Este comportamiento se puede observar en la Figura 47.



**Figura 47: Falla de la unión debido al dobléz de los dientes en un ensayo a cortante**

### **3.1.3 Cargas y desplazamientos de fluencia de las uniones universales metálicas**

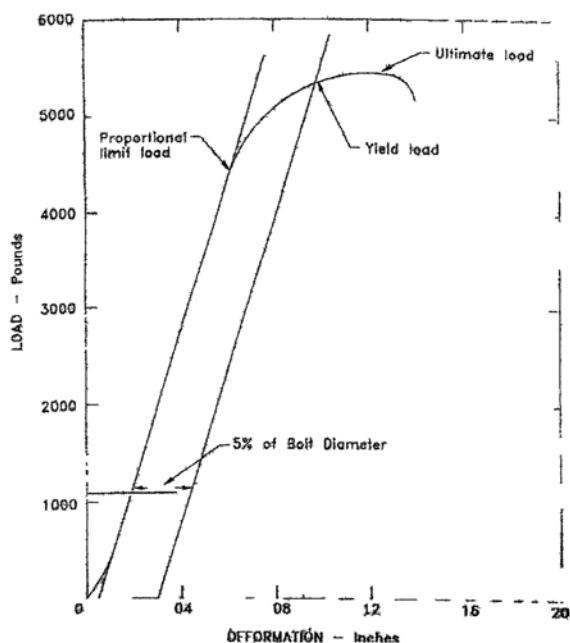
Para determinar las cargas y desplazamientos de fluencia de la unión, se adaptó la norma ASTM D 5764-97a (ASTM International. 1998) para los parámetros específicos de esta. Con el objetivo de conseguir estos datos, se utilizó la gráfica de Carga vs Desplazamiento conseguida en cada una de las pruebas.

Para precisar la carga de fluencia, se utiliza el siguiente procedimiento:

1. Ajustar una línea recta sobre la porción lineal inicial de la curva Carga vs Desplazamiento.
2. Trazar una línea paralela con un desfase igual al 5 % del ancho del diente.
3. Seleccionar la carga en donde la línea desfasada interseca la curva Carga vs Desplazamiento. En caso de que la línea no intersece la curva Carga vs Desplazamiento, la carga máxima obtenida se utiliza como la carga de fluencia.

Además, la carga de límite proporcional se obtiene con la línea ajustada en la parte lineal de la curva Carga vs Desplazamiento. La carga en donde la curva de la gráfica se desvía de la línea

ajustada se usa como la carga de límite proporcional. En la Figura 48 se muestra gráficamente las cargas mencionadas.



**Figura 48: Valores Carga vs Desplazamiento para pruebas a clavijas en madera**

**Fuente: Norma ASTM D 5764 (1998)**

En el caso de los dientes de la unión, se utilizó el ancho de estos para determinar los valores de fluencia. Como el ancho de los dientes es de 7,68 mm, se determinó el 5 % de esa medida para realizar los cálculos respectivos (0,384 mm). Además, se trazó la línea de tendencia por la parte lineal inicial de la curva Carga vs Desplazamiento para obtener una pendiente y así trazar una línea paralela a esta con un desfase de 0,384 mm. Una vez trazada esta, se determinó la carga y el desplazamiento de fluencia para cada una de las pruebas. Las gráficas con las líneas trazadas se muestran en el Apéndice E. En el Cuadro 15 y Cuadro 16 se expone el resumen de los datos obtenidos.



**Cuadro 15: Cargas y desplazamientos de fluencia para pruebas en uniones universales metálicas sin resorte**

<b>Pruebas a uniones universales metálicas sin resorte</b>		
<b>Prueba</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Carga de fluencia (kg)</b>
SR-01	1,95	607
SR-02	1,32	470
SR-03	2,00	503
SR-04	2,58	557
SR-05	2,17	430
SR-06	1,88	453
SR-07	2,42	468
SR-08	1,97	445
SR-09	1,50	350
SR-10	1,51	467
<b>Promedio</b>	<b>1,93</b>	<b>475</b>

**Cuadro 16: Cargas y desplazamientos de fluencia para pruebas en uniones universales metálicas con resorte**

<b>Pruebas a uniones universales metálicas con resorte</b>		
<b>Prueba</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Carga de fluencia (kg)</b>
CR-01	1,55	446
CR-02	1,75	438
CR-03	2,13	451
CR-04	1,95	531
CR-05	1,28	426
CR-06	1,94	399
CR-07	2,30	529
CR-08	1,79	556
CR-09	3,68	635
CR-10	1,58	568
<b>Promedio</b>	<b>2,00</b>	<b>498</b>

De los resultados puede se observa que, al igual que las cargas de fluencia, existe muy poca diferencia entre los desplazamientos promedio para ambos tipos de prueba efectuados. Esto confirma el hecho de que el aporte del resorte al comportamiento de la unión es prácticamente nulo. Sin embargo, para lograr obtener esos desplazamientos mínimos, se requiere de una carga

considerable (aproximadamente 490 kg), lo cual es notable para una unión de bajo peso y tamaño. Igualmente, esta se puede considerar como la carga de diseño para la unión, ya que con fuerzas mayores se dan deformaciones inelásticas que comprometen el buen desempeño de la unión, al tiempo que aumentan las deformaciones de forma acelerada.

### 3.1.4 Tipos de falla de las uniones universales metálicas

En todas las pruebas efectuadas se desarrolló el mismo modo de falla. Esta se da localmente en las ranuras de la pared de la *guadua* donde se insertan los dientes. Estos últimos tienden a desplazar las fibras de la pared y causan que se genere una ranura, en la posición de los dientes, de aproximadamente 1 cm. En la Figura 49 se muestra la ranura obtenida.



**Figura 49: Ranuras de falla en la *guadua* debidas al desplazamiento de los dientes**

Al darse el aplastamiento de las fibras, estas se densifican hasta el punto en que los dientes no pueden seguir desplazándose por la resistencia de las fibras densificadas. En ese momento, estos empiezan a flexionarse hasta no poder soportar más carga y fallar. Igualmente, mientras se flexionan, se van extrayendo fuera de la pared. Esto se origina en el hecho de que las fibras

densificadas obligan al diente a salir de su posición original y desviarse hacia afuera de la pared. En la Figura 50 se muestra la falla de las placas dentadas.



**Figura 50: Falla de la placa dentada de la unión universal metálica**

### **3.1.5 Rango de cargas de la unión universal metálica**

El rango de cargas de diseño se basa en las fuerzas de cedencia de la unión, pues es la máxima antes de que la unión entre en fluencia y se desarrollen deformaciones inelásticas, las cuales comprometen la estabilidad y el buen funcionamiento de la unión en condiciones de servicio. La extracción de los dientes de las paredes del bambú, durante el comportamiento inelástico, esta contribuye al colapso acelerado de la unión y los elementos unidos a ella.

Tomando como base las cargas modeladas para techo en SAP2000 mostradas en el Cuadro 6, las cargas de techo son mayores a las de fluencia de la unión (772 kg para techo de cubierta de hierro galvanizado y 975 kg para techo de teja). Igualmente, si se consideran las cargas máximas promedio, la unión no sería capaz de soportar la demanda de carga solicitada. Aunque algunas muestras soportaron cargas mayores a las modeladas, no hay forma de garantizar que los especímenes de bambú puedan tener las propiedades mecánicas para lograr obtener esas cargas para ese tipo de placa de unión, ya que estas características del material varían mucho

entre especímenes. Sin embargo, este tipo de unión se podría utilizar en elementos que demanden menos carga.

## **CAPÍTULO IV**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

#### 4.1 CONCLUSIONES

- La unión basada en placas dentadas en un sistema de bambú *guadua* de esta investigación, predomina la teoría de uniones desarrollada para la fase de aplastamiento de las fibras (Modo  $I_m$ ). El porcentaje de diferencia con el valor teórico es de un 3,03 % para las pruebas sin resorte y de un 4,09 % para las pruebas con resorte.
- Se demostró que el Modo III de aplastamiento de las fibras y rótula plástica en la interface se da durante la falla de la unión cuando ya la unión ha alcanzado la capacidad del Modo  $I_m$ .
- La introducción del sistema de resortes en la unión no colabora en el aumento de la capacidad de la misma, como se comprobó en el análisis de varianza. Los promedios de los valores de las capacidades máximas obtenidas son estadísticamente iguales, por lo que la fuerza ejercida por el resorte no genera diferencia significativa en las capacidades.
- El comportamiento dúctil y predecible de la unión. Se da un rango elástico y un rango inelástico antes de la falla debido a la rótula plástica en las placas dentadas.
- La capacidad de la unión aumenta al darse la densificación de las fibras debido al aplastamiento generado por los dientes de las placas al desplazarse. Las fibras densificadas actúan como columnas que soportan las cargas de los dientes hasta el punto en que los dientes son extraídos de la pared del bambú.
- Los desplazamientos al darse la fluencia son aproximadamente de 2 mm. Los desplazamientos pequeños ayudan a dar estabilidad y seguridad a la unión, ya que representa el 20 % del desplazamiento total que puede lograr.
- Las capacidades de diseño (cargas de fluencia) y capacidades máximas (cargas últimas) que la unión puede soportar no son suficientes para las cargas modeladas de un techo ligero. Las capacidades obtenidas no son suficientes para las demandas de cargas modeladas. Sin embargo, se podrían utilizar en elementos que demanden menos carga o en otras configuraciones estructurales.
- La unión falla debido a la rótula plástica en la interface entre las placas y los dientes. Al densificarse las fibras de las paredes del bambú, los dientes tienden a flexionarse y ser extraídos de su posición original, dándose la pérdida de capacidad.

- Al comparar la unión universal con dos de los diseños mencionados (unión mecánica modificada y unión con pletinas), la unión universal minimiza el daño estructural al elemento de bambú, ya que se dan fallas locales sin darse la falla por cizalladura.
- Si se pudiera utilizar la unión universal en armaduras, la instalación de las uniones se deberían hacer en fábrica (prefabricación), para luego hacer el montaje final en el lugar de la obra.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Hacer pruebas experimentales con prototipos de uniones dentadas más robustas y con mayor cantidad de dientes. Según la teoría de uniones, al aumentar la cantidad de dientes se aumenta la capacidad teórica de la unión, al igual que se da una mejor distribución de los esfuerzos, minimizando los desplazamientos y aumentando la capacidad.
- En lugar de usar un resorte, utilizar un cable tensado para unir ambas placas de la unión. Así se da un sistema de apoyo entre las placas a ambos lados de la unión, además que se facilita la instalación de la unión sin comprometer el desempeño mecánico de la unión.
- Si los nuevos prototipos mejoran considerablemente las capacidades en el sentido axial, se deberían someter a pruebas de compresión, tensión y cargas oblicuas. Estas pruebas son para determinar el comportamiento de la unión en diferentes condiciones de carga, para luego comparar con las demandas de servicio que puedan tener.
- Realizar investigaciones en un ensamble a escala natural de una armadura utilizando las uniones metálicas universales y sometidas a pruebas de carga. De esta manera se puede determinar el comportamiento de la unión recreando los casos de carga a los que puede ser sometida en su vida útil.

## Referencias bibliográficas

---

- American Society of Civil Engineers (ASCE International). (2000). Minimum Design Loads of Buildings and Other Structures, ASCE 7-98. Virginia, Estados Unidos.
- American Society for Testing and Materials (ASTM International). (1998). Standard Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strength of Wood and Wood-Based Products, D 5764-97a. Pennsylvania, Estados Unidos.
- Arce, O. (1993). Fundamentals of the Design of Bamboo Structures. Tesis para optar por el título de doctorado, Universidad Técnica de Eindhoven, Eindhoven, Holanda.
- Ciro, H., Osorio, J., Vélez, J. (2005). Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la Guadua Angustifolia Kunth. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 58(1), 2709-2715.
- Chavez, A. (1998). Informe final de Proyecto. Informe final de proyecto, Proyecto Nacional de Bambú, San José, Costa Rica.
- Computer and Structures, Inc (CSI). (2007). SAP2000 Advanced v11 Structural Analysis Program. Licencia individual a nombre de Uver. Berkley, California.
- Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002). Diseño y Elaboración a Escala Natural de Armaduras en Guadua Angustifolia. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- González, G. (2008). Diseño de Estructuras de Madera. Notas de curso, LanammeUCR, San José, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). (1983). Reglamento de Construcciones. Gaceta N° 56, San José, Costa Rica.
- Janssen, J. (2000). Designing and Building with Bamboo. Reporte Técnico N° 20, Universidad Técnica de Eindhoven, Eindhoven, Holanda.



- Jaramillo, D., Sanclemente, A. (2003). Estudio de Uniones en Guadua con Ángulo de Inclinación entre Elementos. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Jayanetti, D., Follett, P. (1998). Bamboo in construction: An introduction. Reporte técnico N° 15 de INBAR, TRADA Technology Limited, Reino Unido.
- METALCO S.A. (2010). Catálogo Lámina Ondulada Galvanizada. METALCO S.A., San José, Costa Rica.
- Organización Internacional de Estandarización (ISO) (2003). Bambú – Determinación de las propiedades físicas y mecánicas – Parte 1: Requerimientos. ISO/FDIS 22157-1:2003(E).
- Organización Internacional de Estandarización (ISO) (2003). Bambú – Determinación de las propiedades físicas y mecánicas – Parte 2: Manual de Laboratorio. ISO/TR 22157.2:2003(E).
- Productos Caribe S.A. (2010). Catálogo de Productos, Teja Imperial grande. Productos Caribe S.A., San José, Costa Rica.
- Sotela, J. (1990). Determinación de propiedades físicas y mecánicas del bambú de la especie "Guadua" de dos zonas de Costa Rica. Informe final, Proyecto Nacional de Bambú, San José, Costa Rica.
- Takeuchi, C. (2004). Comportamiento estructural de la guadua angustifolia. Uniones en Guadua. *Revista Ingeniería e Investigación*, 24(2), 3-7.
- Takeuchi, C., González, C. (2007). Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Guadua Angustifolia y determinación del módulo de elasticidad. Proyecto de investigación, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- ROYMECH. (2011). Tribology, Coefficient of Friction. [Versión electrónica] [http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_frict.htm](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm), Reino Unido.

## **Otras fuentes**

- Ugarte, A. Entrevista con el Arq. Alejandro Ugarte Mora acerca de los proyectos de bambú y la idea de la unión universal.

# **APÉNDICES**

---

## APÉNDICE A. PRUEBA DE RESORTES PARA DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE $K$

Cuadro A-1: Datos de prueba para el Resorte 25 ( $K=6,03$  kg/cm)

Fuerza axial	Desplazamiento axial
kg	cm
5,55	7,44E-03
9,62	0,26
14,50	0,51
15,72	0,76
17,22	1,01
18,64	1,26
23,20	1,51
21,30	1,76
20,85	2,01
24,57	2,26
26,10	2,50
25,67	2,76
30,32	2,80
<b>K (kg/cm)</b>	<b>6,03</b>
<b>Carga inicial (kg)</b>	<b>11,32</b>

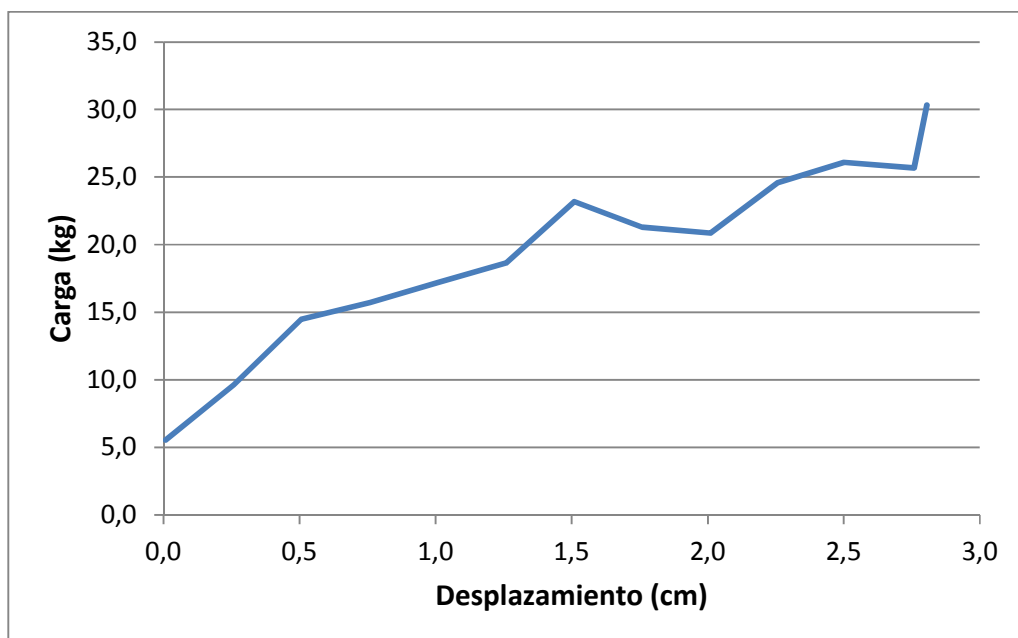
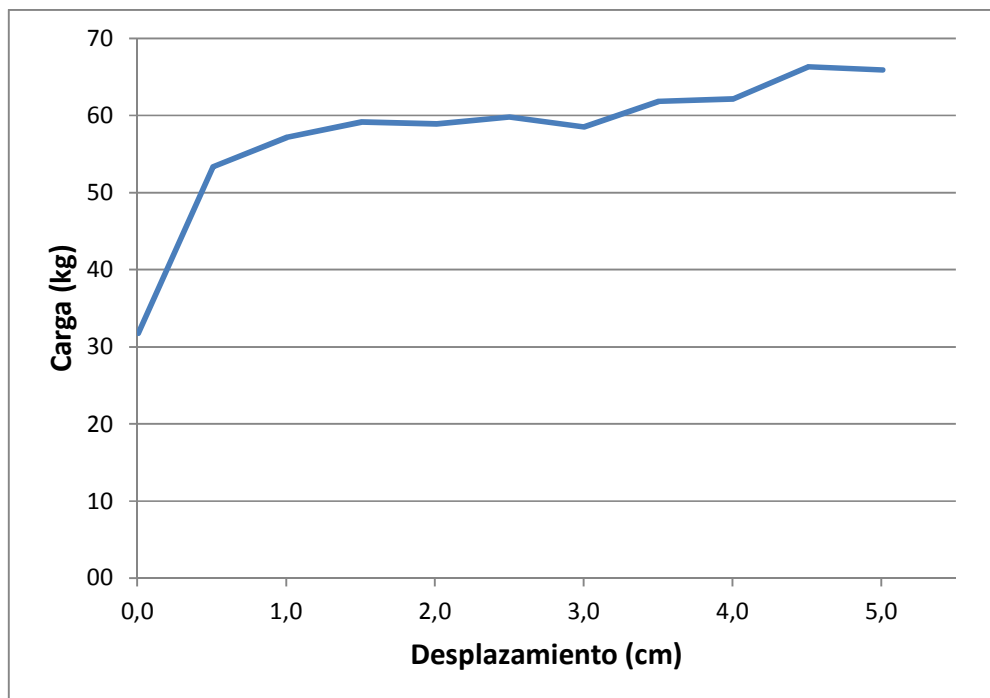


Figura A-1: Carga axial vs Desplazamiento para el Resorte 25

**Cuadro A-2: Datos de prueba para el Resorte 140 (K=2,25 kg/cm)**

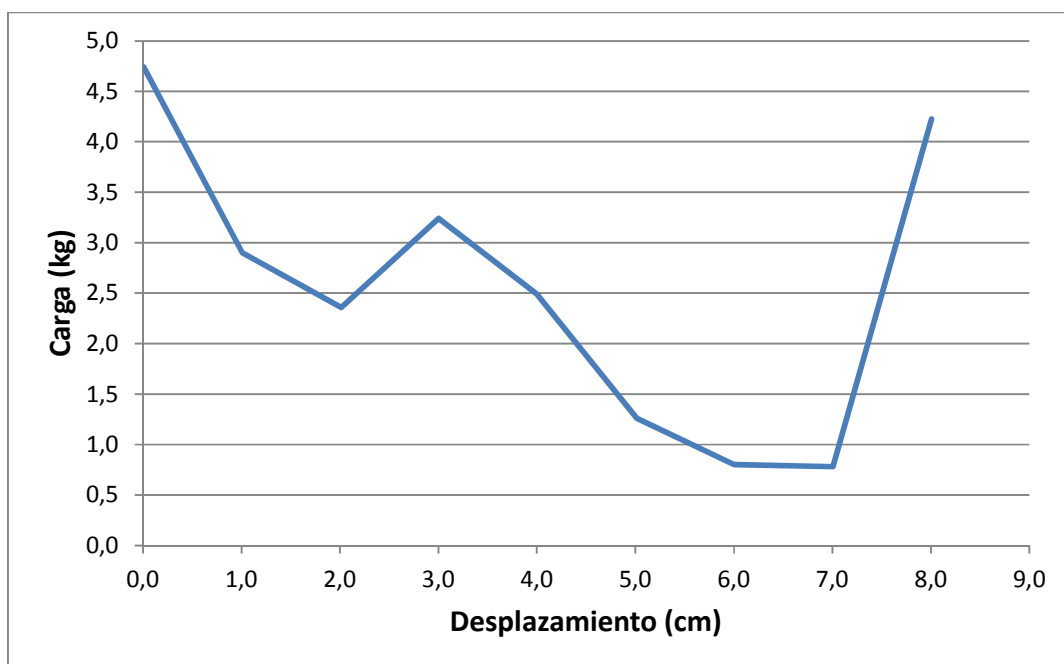
<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento axial</b>
<b>kg</b>	<b>cm</b>
31,8	7,72E-03
53,3	0,508
57,2	1,01
59,1	1,51
58,9	2,01
59,8	2,50
58,5	3,00
61,8	3,50
62,1	4,01
66,3	4,51
65,9	5,01
<b>K (kg/cm)</b>	<b>2,25</b>
<b>Carga inicial (kg)</b>	<b>53,96</b>



**Figura A-2: Carga axial vs Desplazamiento para el Resorte 140**

**Cuadro A-3: Datos de prueba para el Resorte 372-A ( $K=0,137 \text{ kg/cm}$ )**

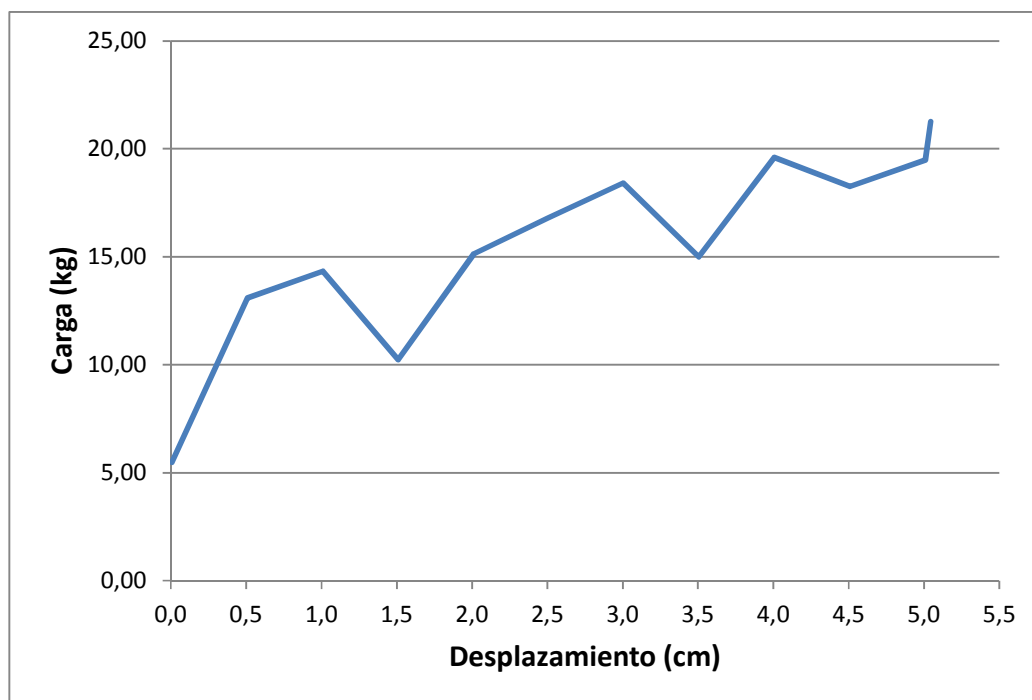
<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento axial</b>
<b>kg</b>	<b>cm</b>
4,74	7,69E-03
2,90	1,01
2,36	2,01
3,24	3,00
2,49	4,01
1,26	5,01
0,802	6,00
0,779	7,00
4,23	8,01
<b>K (kg/cm)</b>	<b>0,137</b>
<b>Carga inicial (kg)</b>	<b>1,48</b>



**Figura A-3: Carga axial vs Desplazamiento para el Resorte 372-A**

**Cuadro A-4: Datos de prueba para el Resorte 426 (K=2,29 kg/cm)**

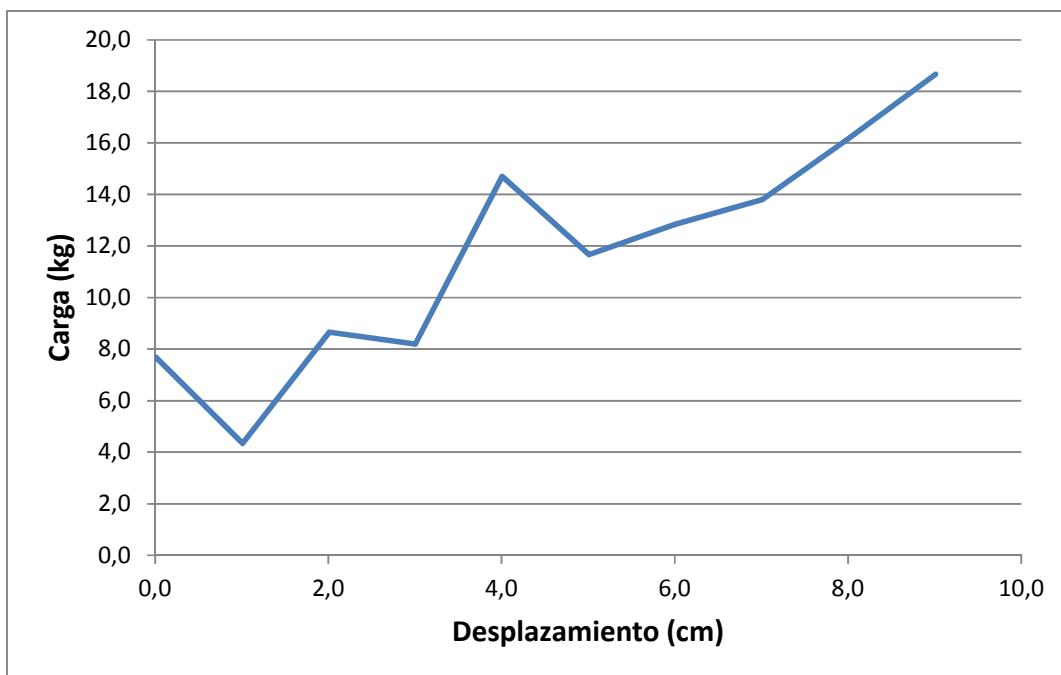
<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento axial</b>
<b>kg</b>	<b>cm</b>
5,49	7,86E-03
13,1	0,508
14,3	1,01
10,2	1,51
15,1	2,01
16,8	2,50
18,4	3,00
15,0	3,50
19,6	4,01
18,3	4,51
19,5	5,01
21,3	5,04
<b>K (kg/cm)</b>	<b>2,29</b>
<b>Carga inicial (kg)</b>	<b>8,69</b>



**Figura A-4: Carga axial vs desplazamiento para el Resorte 426**

**Cuadro A-5: Datos de prueba para el Resorte 428 (K=1,19 kg/cm)**

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento axial</b>
<b>kg</b>	<b>cm</b>
7,68	7,56E-03
4,34	1,01
8,65	2,01
8,19	3,00
14,7	4,01
11,7	5,01
12,8	6,00
13,8	7,00
16,2	8,01
18,7	9,01
<b>K (kg/cm)</b>	<b>1,19</b>
<b>Carga inicial (kg)</b>	<b>7,49</b>

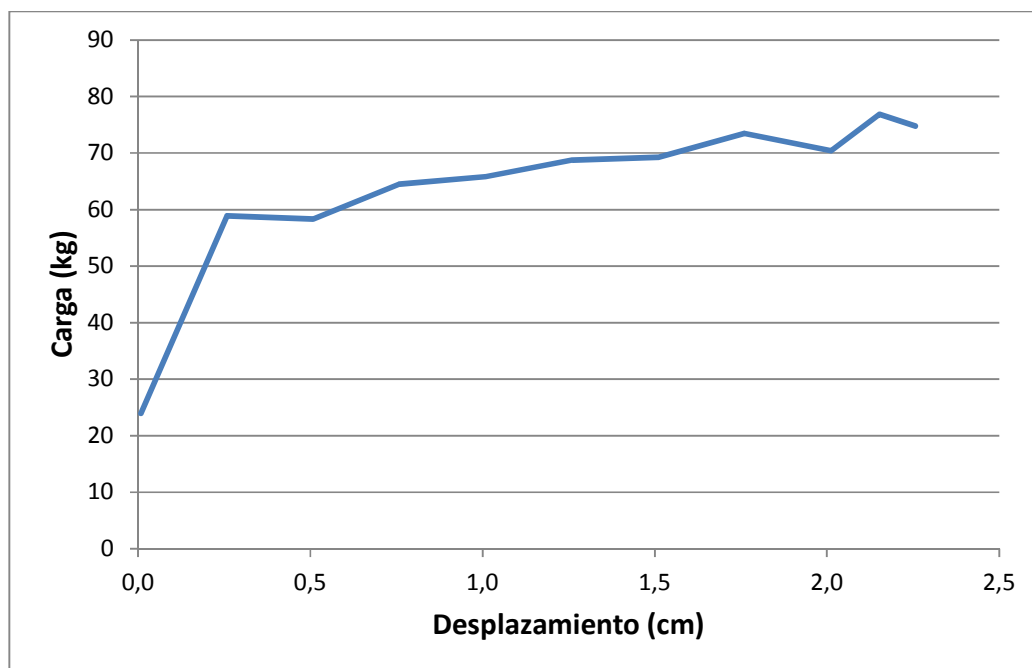


**Figura A-5: Carga axial vs Desplazamiento para el Resorte 428**



**Cuadro A-6: Datos de prueba para el Resorte 432 (K=7,25 kg/cm)**

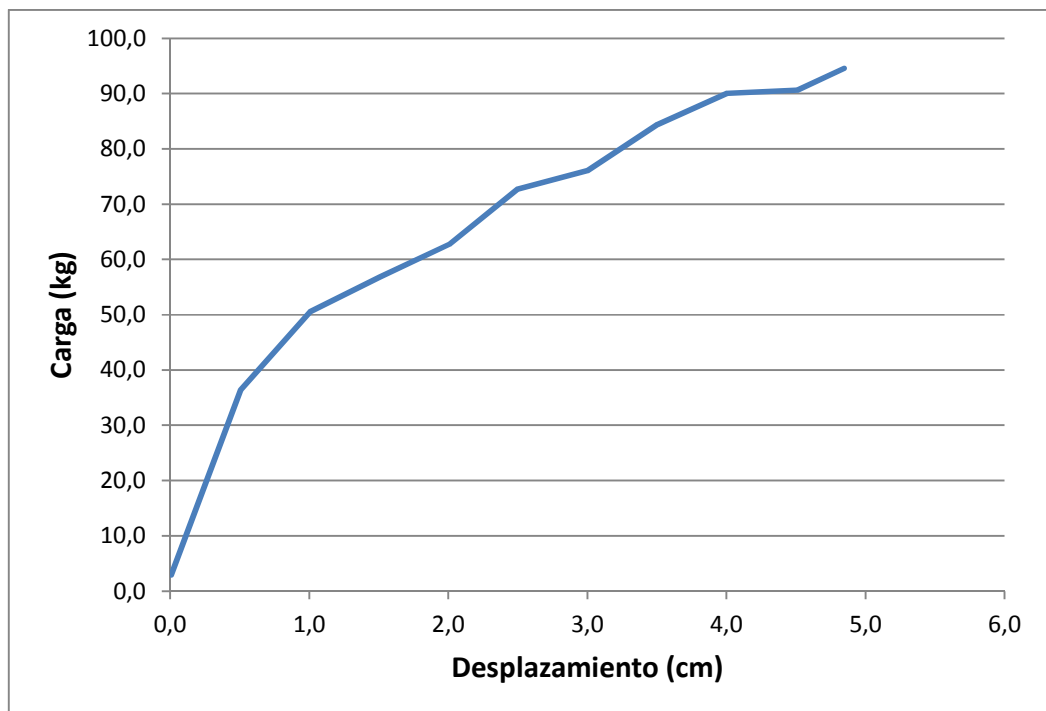
<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento axial</b>
<b>kg</b>	<b>cm</b>
23,9	7,66E-03
58,9	0,258
58,3	0,508
64,5	0,758
65,8	1,01
68,7	1,26
69,2	1,51
73,5	1,76
70,4	2,01
76,9	2,15
74,7	2,26
<b>K (kg/cm)</b>	<b>7,25</b>
<b>Carga inicial (kg)</b>	<b>58,53</b>



**Figura A-6: Carga axial vs Desplazamiento para el Resorte 432**

**Cuadro A-7: Datos de prueba para el Resorte 1051 (K=13,12 kg/cm)**

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento axial</b>
<b>kg</b>	<b>cm</b>
2,92	7,58E-03
36,4	0,508
50,6	1,01
56,9	1,51
62,8	2,01
72,8	2,50
76,1	3,00
84,4	3,50
90,0	4,01
90,6	4,51
94,5	4,85
<b>K (kg/cm)</b>	<b>13,12</b>
<b>Carga inicial (kg)</b>	<b>37,67</b>



**Figura A-7: Carga axial vs Desplazamiento para el Resorte 1051**

**Cuadro A-8: Resumen de resultados para las pruebas a los resortes**

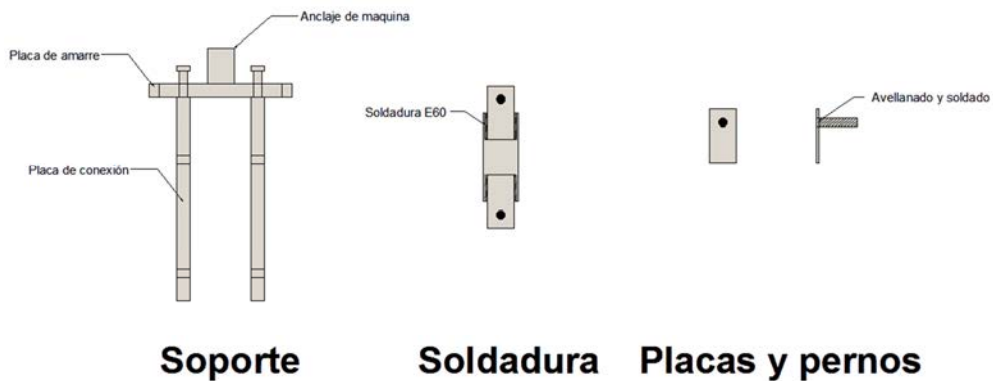
#	Identificación	Carga máxima (kg)	Desplazamiento con carga máxima (cm)	K (kg/cm)	Carga inicial (kg)
1	Resorte 25	30,3	2,80	6,03	11,3
2	Resorte 140	67,3	5,13	2,25	54,0
3	Resorte 372-A	5,32	0,97	0,137	1,48
4	Resorte 426	21,5	4,88	2,29	8,69
5	Resorte 428	20,6	9,75	1,19	7,49
6	Resorte 432	76,9	2,15	7,25	58,5
8	Resorte 1051	94,9	4,80	13,1	37,7

Para lograr determinar la constante K de un resorte, se hace una prueba a tensión. Durante la prueba se miden las cargas que soporta el resorte, además de su elongación. Así se puede determinar la constante K, la cual relaciona cuanta fuerza de tensión puede lograr el resorte por unidad de longitud alongada. También, cada resorte tiene una carga inicial, la cual hay que lograr para poder empezar a estirar el mismo.

Es relevante destacar que la máquina universal que se utilizó tiene una capacidad de 25 000 kg y las fuerzas reportadas se encuentran entre 30 kg y 100 kg, lo cual significa un 0,12 % y 0,4 % de la capacidad de la máquina, cuando la recomendación es utilizar por encima del 10 % de la capacidad (2 500 kg – 25 000 kg). Sin embargo, para este caso, lo que se requería determinar era cuál resorte funcionaba mejor en las pruebas, razón por la cual se requería de ese grado de precisión.

## APÉNDICE B. MEMORIA DE CÁLCULO PARA LA CAPACIDAD DEL SOPORTE Y ADITAMENTOS PARA LAS PRUEBAS A UNIONES UNIVERSALES METÁLICAS

En la Figura A-8 se muestra el equipo a diseñar y calcular su capacidad:



**Figura A-8: Diagrama del soporte y sus partes de acero para pruebas a uniones universales metálicas**

La carga que debe soportar la unión universal metálica es la teórica. Sin embargo, se aumenta un 50 % para tomar en cuenta la posibilidad de que la unión soporte más de lo esperado. Por lo tanto, la carga de diseño es:

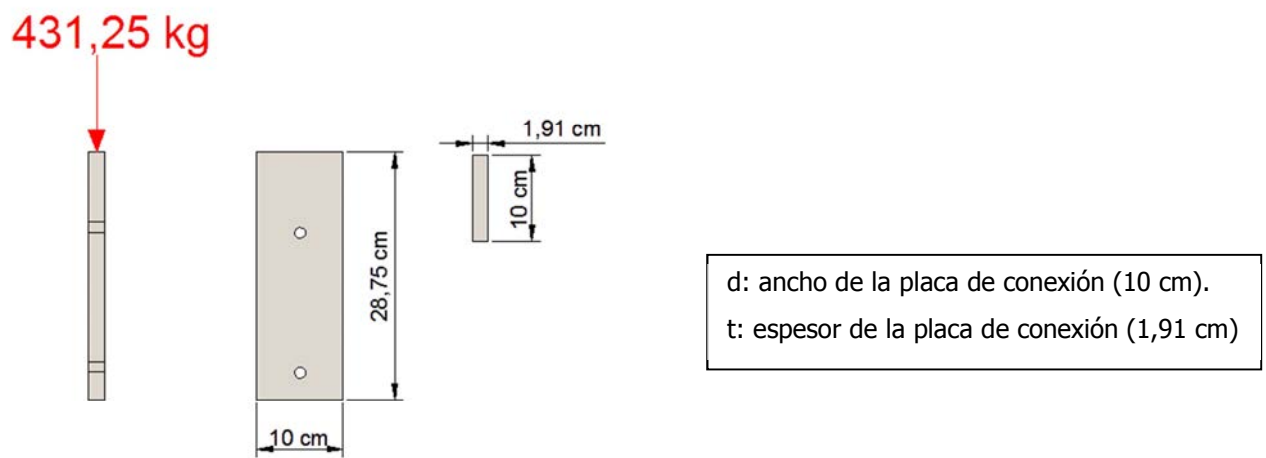
$$P = 1,5 \times 575 \text{ kg} = 862,5 \text{ kg}$$

$$\frac{P}{2} = 431,25 \text{ kg}$$

P: Carga axial demandada

1. Placas de conexión entre la muestra de bambú y el soporte

Se usa acero A36 con un  $F_y$  de 2 520 kg/cm<sup>2</sup> (36 ksi) y un módulo de elasticidad  $E$  de 2.03x10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup> (29 000 ksi). En la Figura A-9 se presenta el diagrama de las placas de conexión.



**Figura A-9: Diagrama de la placa de conexión con las cargas y cotas**

Se calcula la capacidad como una columna. De las dimensiones de la sección transversal se puede obtener:

$$\frac{d}{t} = \frac{10}{1,91} = 5,24$$

De la Tabla B4.1 del AISC y usando el caso 8:

$$\frac{d}{t} = 5,24 \leq \lambda_r = 0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,75 \sqrt{\frac{29\,000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}} = 0,75 \times 28,4 = 21,29$$

Como  $\frac{d}{t} \leq \lambda_r$  ( $\lambda_r$ : límite de esbeltez), la sección es no compacta y se puede aplicar la sección E3 del AISC.

Con los datos de la sección transversal se obtiene lo siguiente:

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{1,91 \times 10^3}{12} = 159,2 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{hb^3}{12} = \frac{10 \times 1,91^3}{12} = 5,81 \text{ cm}^4$$

$$A = bh = 10 \times 1,91 = 19,1 \text{ cm}^2$$

$I_x$ : Momento de inercia alrededor del eje X.  
 $I_y$ : Momento de inercia alrededor del eje Y.  
 A: Área de la sección transversal de la placa.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{159,2}{19,1}} = 2,89 \text{ cm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5,81}{19,1}} = 0,55 \text{ cm}$$

$r_x$ : Radio de giro alrededor del eje X.

$r_y$ : Radio de giro alrededor del eje Y.

Ahora se determina el valor de  $\frac{KL}{r}$  (radio de esbeltez) usando la Tabla C-C2.2 del AISC. Se usa un K igual a 0,5, ya que la conexión no puede rotar ni trasladarse.

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{0,5 \times 28,75}{2,89} = 4,97$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{0,5 \times 28,75}{0,55} = 26,14 \text{ RIGÉ!!}$$

Según la Sección E3:

$$\frac{KL}{r} = 26,14 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{29\,000}{36}} = 134 \text{ OK!!}$$

Se puede aplicar la ecuación E3-2:

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y$$

$F_{cr}$ : Esfuerzo de pandeo flexional.

$F_y$ : Esfuerzo de fluencia del acero.

$F_e$ : Esfuerzo crítico para pandeo elástico.

Donde:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 29\,000}{(26,14)^2} = 418,88 \text{ ksi} = 29\,321,4 \text{ kg/cm}^2$$

Ahora:

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{36}{418,88}\right] 36 = 34,73 \text{ ksi} = 2\,431 \text{ kg/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidad del acero.

Por lo tanto, la capacidad del elemento  $\phi P_n$  es:

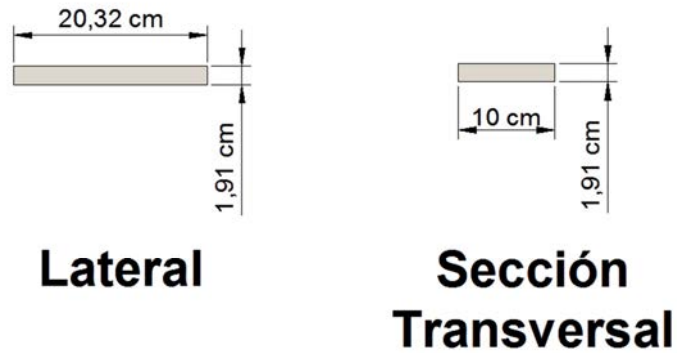
$$\phi P_n = \phi F_{cr} A = 0,9 \times 2\,431 \times 19,1 = 41,79 \text{ t}$$

$$\phi P_n = 41,79 \text{ t} > 0,431 \text{ t} = P_u$$

La capacidad del elemento es suficiente para la carga aplicada.

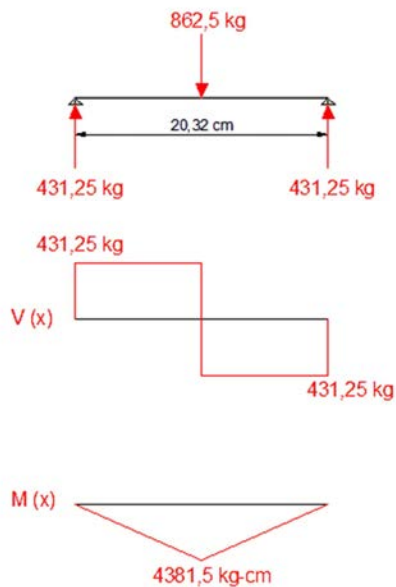
## 2. Placa de amarre para las placas de conexión

Se usa acero A36 con un  $F_y$  de  $2\,520\text{ kg/cm}^2$  (36 ksi) y un módulo de elasticidad  $E$  de  $2.03 \times 10^6\text{ kg/cm}^2$  (29 000 ksi). En la Figura A-10 se muestra el diagrama de la placa de amarre y sus cotas:



**Figura A-10: Esquema de la placa de amarre del soporte**

El momento solicitado se muestra en la Figura A-11:



**Figura A-11: Diagrama de cortante y momentos para la placa de amarre utilizada en el soporte**

Por lo tanto, el momento solicitado  $M_u$  es de 4381,5 kg-cm.

De la sección transversal se puede obtener el módulo plástico  $Z$ :

$$Z = \frac{bd^2}{4} = \frac{10 \times 1,91^2}{4} = 9,12 \text{ cm}^3$$

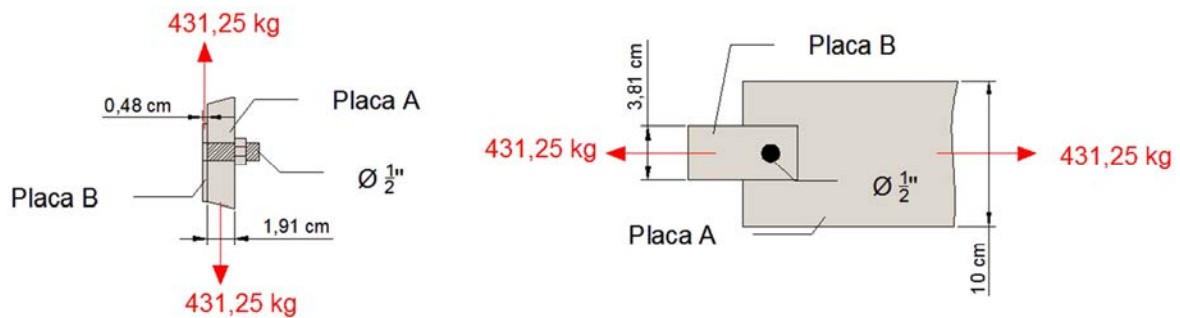
Por otro lado, el módulo plástico requerido para el momento último es:

$$Z_{req} = \frac{M_u}{\phi F_y} = \frac{4381,5}{0,9 \times 2520} = 1,93 \text{ cm}^3$$

Como el módulo plástico de la sección es mucho mayor al módulo plástico requerido, la placa puede soportar la demanda de momento con las cargas aplicadas.

### 3. Capacidad de las placas y los pernos de los accesorios

Se usa acero A36 para las placas, con un  $F_y$  de 2 520 kg/cm<sup>2</sup> (36 ksi), un  $F_u$  de 4 060 kg/cm<sup>2</sup> (58 ksi) y un módulo de elasticidad  $E$  de 2.03x10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup> (29 000 ksi). Para los pernos se usa grado A307 con esfuerzo a fluencia a cortante de 1 680 kg/cm<sup>2</sup> (24 ksi). En la Figura A-12 se muestra un diagrama de las fuerzas involucradas entre los pernos y la placa.



**Figura A-12: Diagrama de la placa con los pernos y fuerzas involucradas entre la placa de conexión y los accesorios**



*Capacidad de la Placa A:*

$$A_g = 10 \times 1,91 = 19,1 \text{ cm}^2$$

$$A_e = 19,1 - (1,27 \times 1,91) = 17,07 \text{ cm}^2$$

$$P_u = \varphi F_y A_g = \frac{0,9 \times 2520 \times 19,1}{1000} = 43,32 \text{ t Rige!!!}$$

$$P_u = \varphi F_u A_e = \frac{0,75 \times 4060 \times 17,07}{1000} = 51,98 \text{ t}$$

<p><math>A_g</math>: Área bruta de la sección transversal. <math>A_e</math>: Área efectiva de la sección transversal. <math>P_u</math>: Carga de tensión de diseño.</p>
---

*Capacidad de la Placa B:*

$$A_g = 3,81 \times 0,48 = 1,83 \text{ cm}^2$$

$$A_e = 1,83 - (1,27 \times 0,48) = 1,22 \text{ cm}^2$$

$$P_u = \varphi F_y A_g = \frac{0,9 \times 2520 \times 1,83}{1000} = 4,15 \text{ t}$$

$$P_u = \varphi F_u A_e = \frac{0,75 \times 4060 \times 1,22}{1000} = 3,71 \text{ t Rige!!!}$$

Como la capacidad de la Placa B es la que rige, y ésta además es mucho mayor a la carga aplicada, las placas pueden soportar la demanda de carga aplicada.

*Pernos:*

El área de la sección transversal del perno es:

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times (1,27)^2}{4} = 1,27 \text{ cm}^2$$

La capacidad de los pernos a cortante es la siguiente:

$$P_u = \varphi A_s F_y = 0,75 \times 1,27 \times 1680 = 1596,1 \text{ kg}$$

Al haber 2 pernos:

$$P_u = 2 \times 1596,1 \text{ kg} = 3192,2 \text{ kg Rige!!}$$

La capacidad de los pernos por aplastamiento es la siguiente:

$$P_u = \phi 2,4 dt F_u$$

$$P_u = 0,75 \times 2,4 \times 1,27 \times 0,48 \times 4\,060 = 4\,454,96 \text{ kg}$$

Al haber 2 pernos:

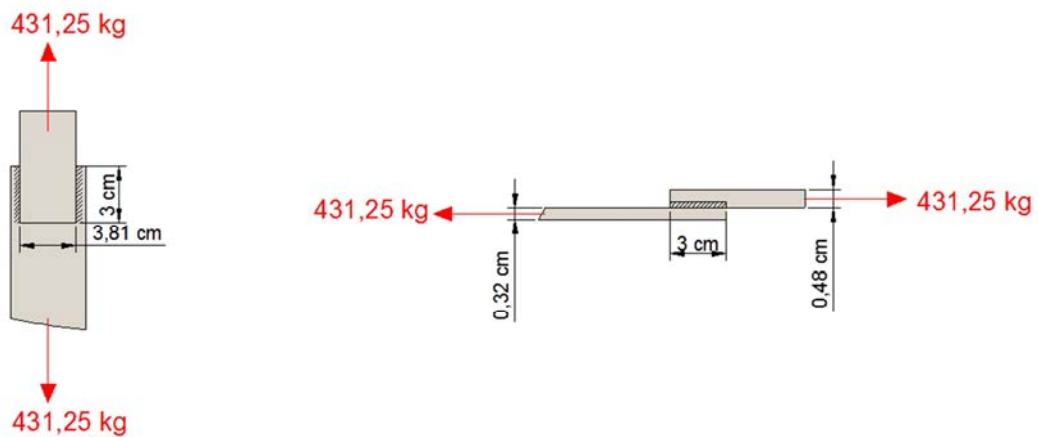
$$P_u = 2 \times 4\,454,96 \text{ kg} = 8\,909,91 \text{ kg}$$

Por lo tanto, como la capacidad de los pernos a cortante supera las cargas aplicadas, los pernos pueden soportar el cortante ejercido.

d: Diámetro del perno.  
t: Espesor de la placa.  
 $F_u$ : Esfuerzo último de la placa.

#### 4. Soldadura

Se usa electrodos E60, con un esfuerzo de fluencia de 60 ksi (4 200 kg/cm<sup>2</sup>). En la Figura A-13 se muestra un diagrama de las partes involucradas.



**Figura A-13: Diagrama de las placas con soldadura utilizadas en las pruebas a uniones metálicas universales**

Según la sección J2.2.6 del AISC, para el tamaño máximo del filete:

$$w_{max} = 0,48 \text{ cm}$$

Según la Tabla J2.4 del AISC, para el tamaño mínimo del filete:

$$w_{min} = 0,32 \text{ cm}$$

Por lo tanto, se toma el tamaño del filete de 4 mm. De esta manera, la garganta de la soldadura es de:

$$Garganta = 0,707w = 0,707 \times 0,4 = 0,2828 \text{ cm}$$

Ahora, la capacidad de la soldadura es la siguiente:

$$\varphi F_w = \varphi(0,6F_{E60})g$$

$$\varphi F_w = 0,75(0,6 \times 4200) \times 0,2828$$

$F_w$ : Resistencia de la soldadura.
--------------------------------------

$$\varphi F_w = 534,5 \text{ kg/cm}$$

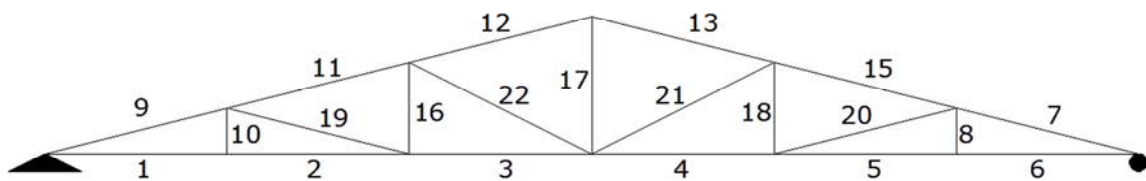
Al tener cuatro costuras de 3 cm de largo cada una, la resistencia de la soldadura es:

$$F_w = 4 \times 3 \times 534,5 = 6413,9 \text{ kg}$$

Al ser la resistencia de la soldadura mucho mayor a la carga aplicada, la soldadura puede soportar la demanda de cortante en el elemento.

## APÉNDICE C. RESULTADOS SAP2000 v11 PARA EL MODELAJE DE TECHOS CON DOS TIPOS DIFERENTES DE CUBIERTA EN

Basado en las cargas determinadas en el apartado 2.2.2.2, se determinaron los siguientes valores de cargas axiales para cada elemento de la cercha. La numeración de cada elemento se muestra en la Figura A-14.



**Figura A-14: Numeración de cada elemento de la cercha de techo para su modelaje en SAP2000**

Al modelo se le aplicó las combinaciones de carga según el ASCE 7-98 (ASCE International, 2000). Las combinaciones son las siguientes:

$$COMB1 = 1,4CP$$

$$COMB2 = 1,2CP + 1,6CT$$

$$COMB3 = 1,2CP + 1,6CT + 0,8CW$$

$$COMB4 = 1,2CP + 0,5CT + 1,6CW$$

$$COMB5 = 0,9CP - 1,6CW$$

En donde: CP: Carga Permanente  
CT: Carga Temporal  
CW: Carga de Viento

El modelo se desarrolló de forma que los elementos solo puedan soportar cargas axiales. Es decir, cada unión entre elementos es un gozne. En el Cuadro A-9 y Cuadro A-10 se muestran los datos obtenidos de la modelación.

**Cuadro A-9: Cargas axiales para el modelo de techo de teja de la Figura A-14 usando el SAP2000 v11\***

Elemento	Estación <sup>1</sup>	Caso <sup>2</sup>	Carga axial (t)
1	0,00	COMB1	0,68
1	0,50	COMB1	0,68
1	1,00	COMB1	0,68
1	0,00	COMB2	0,94
1	0,50	COMB2	0,94
1	1,00	COMB2	0,94
1	0,00	COMB3	0,97
1	0,50	COMB3	0,97
1	1,00	COMB3	0,97
1	0,00	COMB4	0,76
1	0,50	COMB4	0,76
1	1,00	COMB4	0,76
1	0,00	COMB5	0,37
1	0,50	COMB5	0,37
1	1,00	COMB5	0,37
2	0,00	COMB1	0,80
2	0,50	COMB1	0,80
2	1,00	COMB1	0,80
2	0,00	COMB2	1,11
2	0,50	COMB2	1,11
2	1,00	COMB2	1,11
2	0,00	COMB3	1,13
2	0,50	COMB3	1,13
2	1,00	COMB3	1,13
2	0,00	COMB4	0,87
2	0,50	COMB4	0,87
2	1,00	COMB4	0,87
2	0,00	COMB5	0,47
2	0,50	COMB5	0,47
2	1,00	COMB5	0,47
3	0,00	COMB1	0,91
3	0,50	COMB1	0,91
3	1,00	COMB1	0,91
3	0,00	COMB2	1,25
3	0,50	COMB2	1,25

\* El Cuadro A-9 se desarrolla desde la página A-19 hasta la página A-26.

<sup>1</sup> Se refiere a la distancia del elemento (inicio, medio y final del elemento) donde se calcula la fuerza axial.

<sup>2</sup> Combinaciones de carga según ASCE 7-98.

Elemento	Estación <sup>1</sup>	Caso <sup>2</sup>	Carga axial (t)
3	1,00	COMB2	1,25
3	0,00	COMB3	1,25
3	0,50	COMB3	1,25
3	1,00	COMB3	1,25
3	0,00	COMB4	0,93
3	0,50	COMB4	0,93
3	1,00	COMB4	0,93
3	0,00	COMB5	0,59
3	0,50	COMB5	0,59
3	1,00	COMB5	0,59
4	0,00	COMB1	0,91
4	0,50	COMB1	0,91
4	1,00	COMB1	0,91
4	0,00	COMB2	1,25
4	0,50	COMB2	1,25
4	1,00	COMB2	1,25
4	0,00	COMB3	1,14
4	0,50	COMB3	1,14
4	1,00	COMB3	1,14
4	0,00	COMB4	0,71
4	0,50	COMB4	0,71
4	1,00	COMB4	0,71
4	0,00	COMB5	0,80
4	0,50	COMB5	0,80
4	1,00	COMB5	0,80
5	0,00	COMB1	0,80
5	0,50	COMB1	0,80
5	1,00	COMB1	0,80
5	0,00	COMB2	1,11
5	0,50	COMB2	1,11
5	1,00	COMB2	1,11
5	0,00	COMB3	0,98
5	0,50	COMB3	0,98
5	1,00	COMB3	0,98
5	0,00	COMB4	0,57
5	0,50	COMB4	0,57
5	1,00	COMB4	0,57
5	0,00	COMB5	0,77
5	0,50	COMB5	0,77
5	1,00	COMB5	0,77

Elemento	Estación <sup>1</sup>	Caso <sup>2</sup>	Carga axial (t)
6	0,00	COMB1	0,68
6	0,50	COMB1	0,68
6	1,00	COMB1	0,68
6	0,00	COMB2	0,94
6	0,50	COMB2	0,94
6	1,00	COMB2	0,94
6	0,00	COMB3	0,82
6	0,50	COMB3	0,82
6	1,00	COMB3	0,82
6	0,00	COMB4	0,47
6	0,50	COMB4	0,47
6	1,00	COMB4	0,47
6	0,00	COMB5	0,66
6	0,50	COMB5	0,66
6	1,00	COMB5	0,66
7	0,00	COMB1	-0,72
7	0,52	COMB1	-0,72
7	1,03	COMB1	-0,72
7	0,00	COMB2	-1,00
7	0,52	COMB2	-0,99
7	1,03	COMB2	-0,99
7	0,00	COMB3	-0,87
7	0,52	COMB3	-0,87
7	1,03	COMB3	-0,86
7	0,00	COMB4	-0,48
7	0,52	COMB4	-0,48
7	1,03	COMB4	-0,48
7	0,00	COMB5	-0,72
7	0,52	COMB5	-0,72
7	1,03	COMB5	-0,71
8	0,00	COMB1	-0,08
8	0,13	COMB1	-0,08
8	0,25	COMB1	-0,08
8	0,00	COMB2	-0,13
8	0,13	COMB2	-0,13
8	0,25	COMB2	-0,13
8	0,00	COMB3	-0,10
8	0,13	COMB3	-0,11
8	0,25	COMB3	-0,11
8	0,00	COMB4	-0,04

Elemento	Estación <sup>1</sup>	Caso <sup>2</sup>	Carga axial (t)
8	0,13	COMB4	-0,04
8	0,25	COMB4	-0,05
8	0,00	COMB5	-0,09
8	0,13	COMB5	-0,10
8	0,25	COMB5	-0,10
9	0,00	COMB1	-0,72
9	0,52	COMB1	-0,72
9	1,03	COMB1	-0,72
9	0,00	COMB2	-1,00
9	0,52	COMB2	-0,99
9	1,03	COMB2	-0,99
9	0,00	COMB3	-0,98
9	0,52	COMB3	-0,98
9	1,03	COMB3	-0,98
9	0,00	COMB4	-0,71
9	0,52	COMB4	-0,71
9	1,03	COMB4	-0,70
9	0,00	COMB5	-0,49
9	0,52	COMB5	-0,49
9	1,03	COMB5	-0,49
10	0,00	COMB1	-0,08
10	0,13	COMB1	-0,08
10	0,25	COMB1	-0,08
10	0,00	COMB2	-0,13
10	0,13	COMB2	-0,13
10	0,25	COMB2	-0,13
10	0,00	COMB3	-0,13
10	0,13	COMB3	-0,13
10	0,25	COMB3	-0,14
10	0,00	COMB4	-0,09
10	0,13	COMB4	-0,10
10	0,25	COMB4	-0,10
10	0,00	COMB5	-0,04
10	0,13	COMB5	-0,04
10	0,25	COMB5	-0,04
11	0,00	COMB1	-0,98
11	0,52	COMB1	-0,97
11	1,03	COMB1	-0,97
11	0,00	COMB2	-1,34
11	0,52	COMB2	-1,34



Elemento	Estación <sup>1</sup>	Caso <sup>2</sup>	Carga axial (t)
11	1,03	COMB2	-1,33
11	0,00	COMB3	-1,31
11	0,52	COMB3	-1,30
11	1,03	COMB3	-1,30
11	0,00	COMB4	-0,93
11	0,52	COMB4	-0,92
11	1,03	COMB4	-0,92
11	0,00	COMB5	-0,70
11	0,52	COMB5	-0,69
11	1,03	COMB5	-0,69
12	0,00	COMB1	-0,82
12	0,52	COMB1	-0,82
12	1,03	COMB1	-0,82
12	0,00	COMB2	-1,12
12	0,52	COMB2	-1,12
12	1,03	COMB2	-1,12
12	0,00	COMB3	-1,05
12	0,52	COMB3	-1,05
12	1,03	COMB3	-1,04
12	0,00	COMB4	-0,69
12	0,52	COMB4	-0,68
12	1,03	COMB4	-0,68
12	0,00	COMB5	-0,68
12	0,52	COMB5	-0,68
12	1,03	COMB5	-0,67
13	0,00	COMB1	-0,82
13	0,52	COMB1	-0,82
13	1,03	COMB1	-0,82
13	0,00	COMB2	-1,12
13	0,52	COMB2	-1,12
13	1,03	COMB2	-1,12
13	0,00	COMB3	-1,05
13	0,52	COMB3	-1,05
13	1,03	COMB3	-1,05
13	0,00	COMB4	-0,69
13	0,52	COMB4	-0,69
13	1,03	COMB4	-0,69
13	0,00	COMB5	-0,67
13	0,52	COMB5	-0,67
13	1,03	COMB5	-0,67

Elemento	Estación <sup>1</sup>	Caso <sup>2</sup>	Carga axial (t)
15	0,00	COMB1	-0,97
15	0,52	COMB1	-0,97
15	1,03	COMB1	-0,98
15	0,00	COMB2	-1,33
15	0,52	COMB2	-1,34
15	1,03	COMB2	-1,34
15	0,00	COMB3	-1,19
15	0,52	COMB3	-1,20
15	1,03	COMB3	-1,20
15	0,00	COMB4	-0,71
15	0,52	COMB4	-0,71
15	1,03	COMB4	-0,71
15	0,00	COMB5	-0,91
15	0,52	COMB5	-0,91
15	1,03	COMB5	-0,91
16	0,00	COMB1	0,03
16	0,25	COMB1	0,03
16	0,50	COMB1	0,02
16	0,00	COMB2	0,02
16	0,25	COMB2	0,02
16	0,50	COMB2	0,01
16	0,00	COMB3	0,03
16	0,25	COMB3	0,02
16	0,50	COMB3	0,02
16	0,00	COMB4	0,04
16	0,25	COMB4	0,03
16	0,50	COMB4	0,03
16	0,00	COMB5	0,01
16	0,25	COMB5	0,00
16	0,50	COMB5	0,00
17	0,00	COMB1	0,26
17	0,38	COMB1	0,25
17	0,75	COMB1	0,24
17	0,00	COMB2	0,33
17	0,38	COMB2	0,32
17	0,75	COMB2	0,31
17	0,00	COMB3	0,31
17	0,38	COMB3	0,30
17	0,75	COMB3	0,29
17	0,00	COMB4	0,22

Elemento	Estación <sup>1</sup>	Caso <sup>2</sup>	Carga axial (t)
17	0,38	COMB4	0,21
17	0,75	COMB4	0,20
17	0,00	COMB5	0,21
17	0,38	COMB5	0,20
17	0,75	COMB5	0,19
18	0,00	COMB1	0,03
18	0,25	COMB1	0,03
18	0,50	COMB1	0,02
18	0,00	COMB2	0,02
18	0,25	COMB2	0,02
18	0,50	COMB2	0,01
18	0,00	COMB3	0,01
18	0,25	COMB3	0,01
18	0,50	COMB3	0,00
18	0,00	COMB4	0,01
18	0,25	COMB4	0,00
18	0,50	COMB4	0,00
18	0,00	COMB5	0,04
18	0,25	COMB5	0,03
18	0,50	COMB5	0,03
19	0,00	COMB1	0,15
19	0,52	COMB1	0,14
19	1,03	COMB1	0,14
19	0,00	COMB2	0,19
19	0,52	COMB2	0,19
19	1,03	COMB2	0,19
19	0,00	COMB3	0,18
19	0,52	COMB3	0,18
19	1,03	COMB3	0,17
19	0,00	COMB4	0,12
19	0,52	COMB4	0,11
19	1,03	COMB4	0,11
19	0,00	COMB5	0,12
19	0,52	COMB5	0,12
19	1,03	COMB5	0,12
20	0,00	COMB1	0,15
20	0,52	COMB1	0,14
20	1,03	COMB1	0,14
20	0,00	COMB2	0,19
20	0,52	COMB2	0,19

Elemento	Estación <sup>1</sup>	Caso <sup>2</sup>	Carga axial (t)
20	1,03	COMB2	0,19
20	0,00	COMB3	0,20
20	0,52	COMB3	0,20
20	1,03	COMB3	0,20
20	0,00	COMB4	0,16
20	0,52	COMB4	0,16
20	1,03	COMB4	0,16
20	0,00	COMB5	0,08
20	0,52	COMB5	0,08
20	1,03	COMB5	0,08
21	0,00	COMB1	-0,12
21	0,56	COMB1	-0,13
21	1,12	COMB1	-0,13
21	0,00	COMB2	-0,17
21	0,56	COMB2	-0,18
21	1,12	COMB2	-0,18
21	0,00	COMB3	-0,10
21	0,56	COMB3	-0,10
21	1,12	COMB3	-0,11
21	0,00	COMB4	0,02
21	0,56	COMB4	0,02
21	1,12	COMB4	0,01
21	0,00	COMB5	-0,22
21	0,56	COMB5	-0,23
21	1,12	COMB5	-0,23
22	0,00	COMB1	-0,12
22	0,56	COMB1	-0,13
22	1,12	COMB1	-0,13
22	0,00	COMB2	-0,17
22	0,56	COMB2	-0,18
22	1,12	COMB2	-0,18
22	0,00	COMB3	-0,21
22	0,56	COMB3	-0,22
22	1,12	COMB3	-0,22
22	0,00	COMB4	-0,20
22	0,56	COMB4	-0,21
22	1,12	COMB4	-0,21
22	0,00	COMB5	0,00
22	0,56	COMB5	0,00
22	1,12	COMB5	0,00

**Cuadro A-10: Cargas axiales para el modelo de techo de hierro galvanizado\***

Elemento	Estación <sup>3</sup>	Caso <sup>4</sup>	Carga Axial (t)
1	0,00	COMB1	0,45
1	0,50	COMB1	0,45
1	1,00	COMB1	0,45
1	0,00	COMB2	0,74
1	0,50	COMB2	0,74
1	1,00	COMB2	0,74
1	0,00	COMB3	0,77
1	0,50	COMB3	0,77
1	1,00	COMB3	0,77
1	0,00	COMB4	0,56
1	0,50	COMB4	0,56
1	1,00	COMB4	0,56
1	0,00	COMB5	0,23
1	0,50	COMB5	0,23
1	1,00	COMB5	0,23
2	0,00	COMB1	0,53
2	0,50	COMB1	0,53
2	1,00	COMB1	0,53
2	0,00	COMB2	0,88
2	0,50	COMB2	0,88
2	1,00	COMB2	0,88
2	0,00	COMB3	0,90
2	0,50	COMB3	0,90
2	1,00	COMB3	0,90
2	0,00	COMB4	0,63
2	0,50	COMB4	0,63
2	1,00	COMB4	0,63
2	0,00	COMB5	0,30
2	0,50	COMB5	0,30
2	1,00	COMB5	0,30
3	0,00	COMB1	0,61
3	0,50	COMB1	0,61
3	1,00	COMB1	0,61
3	0,00	COMB2	0,99
3	0,50	COMB2	0,99

\* El Cuadro A-10 se desarrolla desde la página A-27 hasta la página A-34.

3 Se refiere a la distancia del elemento (inicio, medio y final del elemento) donde se calcula la fuerza axial.

4 Combinaciones de carga según ASCE 7-98.

Elemento	Estación <sup>3</sup>	Caso <sup>4</sup>	Carga Axial (t)
3	1,00	COMB2	0,99
3	0,00	COMB3	0,99
3	0,50	COMB3	0,99
3	1,00	COMB3	0,99
3	0,00	COMB4	0,67
3	0,50	COMB4	0,67
3	1,00	COMB4	0,67
3	0,00	COMB5	0,39
3	0,50	COMB5	0,39
3	1,00	COMB5	0,39
4	0,00	COMB1	0,61
4	0,50	COMB1	0,61
4	1,00	COMB1	0,61
4	0,00	COMB2	0,99
4	0,50	COMB2	0,99
4	1,00	COMB2	0,99
4	0,00	COMB3	0,88
4	0,50	COMB3	0,88
4	1,00	COMB3	0,88
4	0,00	COMB4	0,45
4	0,50	COMB4	0,45
4	1,00	COMB4	0,45
4	0,00	COMB5	0,61
4	0,50	COMB5	0,61
4	1,00	COMB5	0,61
5	0,00	COMB1	0,53
5	0,50	COMB1	0,53
5	1,00	COMB1	0,53
5	0,00	COMB2	0,88
5	0,50	COMB2	0,88
5	1,00	COMB2	0,88
5	0,00	COMB3	0,75
5	0,50	COMB3	0,75
5	1,00	COMB3	0,75
5	0,00	COMB4	0,34
5	0,50	COMB4	0,34
5	1,00	COMB4	0,34
5	0,00	COMB5	0,60
5	0,50	COMB5	0,60
5	1,00	COMB5	0,60

Elemento	Estación <sup>3</sup>	Caso <sup>4</sup>	Carga Axial (t)
6	0,00	COMB1	0,45
6	0,50	COMB1	0,45
6	1,00	COMB1	0,45
6	0,00	COMB2	0,74
6	0,50	COMB2	0,74
6	1,00	COMB2	0,74
6	0,00	COMB3	0,63
6	0,50	COMB3	0,63
6	1,00	COMB3	0,63
6	0,00	COMB4	0,27
6	0,50	COMB4	0,27
6	1,00	COMB4	0,27
6	0,00	COMB5	0,52
6	0,50	COMB5	0,52
6	1,00	COMB5	0,52
7	0,00	COMB1	-0,48
7	0,52	COMB1	-0,48
7	1,03	COMB1	-0,47
7	0,00	COMB2	-0,79
7	0,52	COMB2	-0,79
7	1,03	COMB2	-0,78
7	0,00	COMB3	-0,66
7	0,52	COMB3	-0,66
7	1,03	COMB3	-0,66
7	0,00	COMB4	-0,28
7	0,52	COMB4	-0,27
7	1,03	COMB4	-0,27
7	0,00	COMB5	-0,56
7	0,52	COMB5	-0,56
7	1,03	COMB5	-0,56
8	0,00	COMB1	-0,04
8	0,13	COMB1	-0,04
8	0,25	COMB1	-0,05
8	0,00	COMB2	-0,09
8	0,13	COMB2	-0,10
8	0,25	COMB2	-0,10
8	0,00	COMB3	-0,07
8	0,13	COMB3	-0,07
8	0,25	COMB3	-0,08
8	0,00	COMB4	-0,01

Elemento	Estación <sup>3</sup>	Caso <sup>4</sup>	Carga Axial (t)
8	0,13	COMB4	-0,01
8	0,25	COMB4	-0,01
8	0,00	COMB5	-0,07
8	0,13	COMB5	-0,07
8	0,25	COMB5	-0,07
9	0,00	COMB1	-0,48
9	0,52	COMB1	-0,48
9	1,03	COMB1	-0,47
9	0,00	COMB2	-0,79
9	0,52	COMB2	-0,79
9	1,03	COMB2	-0,78
9	0,00	COMB3	-0,77
9	0,52	COMB3	-0,77
9	1,03	COMB3	-0,77
9	0,00	COMB4	-0,50
9	0,52	COMB4	-0,50
9	1,03	COMB4	-0,50
9	0,00	COMB5	-0,34
9	0,52	COMB5	-0,33
9	1,03	COMB5	-0,33
10	0,00	COMB1	-0,04
10	0,13	COMB1	-0,04
10	0,25	COMB1	-0,05
10	0,00	COMB2	-0,09
10	0,13	COMB2	-0,10
10	0,25	COMB2	-0,10
10	0,00	COMB3	-0,10
10	0,13	COMB3	-0,10
10	0,25	COMB3	-0,10
10	0,00	COMB4	-0,06
10	0,13	COMB4	-0,07
10	0,25	COMB4	-0,07
10	0,00	COMB5	-0,02
10	0,13	COMB5	-0,02
10	0,25	COMB5	-0,02
11	0,00	COMB1	-0,65
11	0,52	COMB1	-0,65
11	1,03	COMB1	-0,65
11	0,00	COMB2	-1,06
11	0,52	COMB2	-1,06



Elemento	Estación <sup>3</sup>	Caso <sup>4</sup>	Carga Axial (t)
11	1,03	COMB2	-1,06
11	0,00	COMB3	-1,03
11	0,52	COMB3	-1,03
11	1,03	COMB3	-1,02
11	0,00	COMB4	-0,65
11	0,52	COMB4	-0,65
11	1,03	COMB4	-0,64
11	0,00	COMB5	-0,49
11	0,52	COMB5	-0,49
11	1,03	COMB5	-0,48
12	0,00	COMB1	-0,55
12	0,52	COMB1	-0,55
12	1,03	COMB1	-0,55
12	0,00	COMB2	-0,89
12	0,52	COMB2	-0,89
12	1,03	COMB2	-0,89
12	0,00	COMB3	-0,82
12	0,52	COMB3	-0,81
12	1,03	COMB3	-0,81
12	0,00	COMB4	-0,45
12	0,52	COMB4	-0,45
12	1,03	COMB4	-0,45
12	0,00	COMB5	-0,50
12	0,52	COMB5	-0,50
12	1,03	COMB5	-0,50
13	0,00	COMB1	-0,55
13	0,52	COMB1	-0,55
13	1,03	COMB1	-0,55
13	0,00	COMB2	-0,89
13	0,52	COMB2	-0,89
13	1,03	COMB2	-0,89
13	0,00	COMB3	-0,81
13	0,52	COMB3	-0,82
13	1,03	COMB3	-0,82
13	0,00	COMB4	-0,46
13	0,52	COMB4	-0,46
13	1,03	COMB4	-0,46
13	0,00	COMB5	-0,50
13	0,52	COMB5	-0,50
13	1,03	COMB5	-0,50

Elemento	Estación <sup>3</sup>	Caso <sup>4</sup>	Carga Axial (t)
15	0,00	COMB1	-0,65
15	0,52	COMB1	-0,65
15	1,03	COMB1	-0,65
15	0,00	COMB2	-1,06
15	0,52	COMB2	-1,06
15	1,03	COMB2	-1,06
15	0,00	COMB3	-0,92
15	0,52	COMB3	-0,92
15	1,03	COMB3	-0,92
15	0,00	COMB4	-0,43
15	0,52	COMB4	-0,43
15	1,03	COMB4	-0,43
15	0,00	COMB5	-0,70
15	0,52	COMB5	-0,70
15	1,03	COMB5	-0,70
16	0,00	COMB1	0,03
16	0,25	COMB1	0,03
16	0,50	COMB1	0,02
16	0,00	COMB2	0,02
16	0,25	COMB2	0,02
16	0,50	COMB2	0,01
16	0,00	COMB3	0,03
16	0,25	COMB3	0,03
16	0,50	COMB3	0,02
16	0,00	COMB4	0,04
16	0,25	COMB4	0,04
16	0,50	COMB4	0,03
16	0,00	COMB5	0,01
16	0,25	COMB5	0,00
16	0,50	COMB5	0,00
17	0,00	COMB1	0,19
17	0,38	COMB1	0,18
17	0,75	COMB1	0,18
17	0,00	COMB2	0,27
17	0,38	COMB2	0,26
17	0,75	COMB2	0,25
17	0,00	COMB3	0,25
17	0,38	COMB3	0,24
17	0,75	COMB3	0,23
17	0,00	COMB4	0,16

Elemento	Estación <sup>3</sup>	Caso <sup>4</sup>	Carga Axial (t)
17	0,38	COMB4	0,15
17	0,75	COMB4	0,14
17	0,00	COMB5	0,16
17	0,38	COMB5	0,16
17	0,75	COMB5	0,15
18	0,00	COMB1	0,03
18	0,25	COMB1	0,03
18	0,50	COMB1	0,02
18	0,00	COMB2	0,02
18	0,25	COMB2	0,02
18	0,50	COMB2	0,01
18	0,00	COMB3	0,02
18	0,25	COMB3	0,01
18	0,50	COMB3	0,01
18	0,00	COMB4	0,01
18	0,25	COMB4	0,01
18	0,50	COMB4	0,00
18	0,00	COMB5	0,04
18	0,25	COMB5	0,03
18	0,50	COMB5	0,03
19	0,00	COMB1	0,10
19	0,52	COMB1	0,10
19	1,03	COMB1	0,10
19	0,00	COMB2	0,16
19	0,52	COMB2	0,15
19	1,03	COMB2	0,15
19	0,00	COMB3	0,14
19	0,52	COMB3	0,14
19	1,03	COMB3	0,14
19	0,00	COMB4	0,08
19	0,52	COMB4	0,08
19	1,03	COMB4	0,07
19	0,00	COMB5	0,09
19	0,52	COMB5	0,09
19	1,03	COMB5	0,09
20	0,00	COMB1	0,10
20	0,52	COMB1	0,10
20	1,03	COMB1	0,10
20	0,00	COMB2	0,16
20	0,52	COMB2	0,15

Elemento	Estación <sup>3</sup>	Caso <sup>4</sup>	Carga Axial (t)
20	1,03	COMB2	0,15
20	0,00	COMB3	0,16
20	0,52	COMB3	0,16
20	1,03	COMB3	0,16
20	0,00	COMB4	0,12
20	0,52	COMB4	0,12
20	1,03	COMB4	0,12
20	0,00	COMB5	0,05
20	0,52	COMB5	0,05
20	1,03	COMB5	0,05
21	0,00	COMB1	-0,08
21	0,56	COMB1	-0,08
21	1,12	COMB1	-0,09
21	0,00	COMB2	-0,13
21	0,56	COMB2	-0,14
21	1,12	COMB2	-0,14
21	0,00	COMB3	-0,06
21	0,56	COMB3	-0,07
21	1,12	COMB3	-0,07
21	0,00	COMB4	0,06
21	0,56	COMB4	0,05
21	1,12	COMB4	0,05
21	0,00	COMB5	-0,19
21	0,56	COMB5	-0,20
21	1,12	COMB5	-0,20
22	0,00	COMB1	-0,08
22	0,56	COMB1	-0,08
22	1,12	COMB1	-0,09
22	0,00	COMB2	-0,13
22	0,56	COMB2	-0,14
22	1,12	COMB2	-0,14
22	0,00	COMB3	-0,17
22	0,56	COMB3	-0,18
22	1,12	COMB3	-0,18
22	0,00	COMB4	-0,17
22	0,56	COMB4	-0,17
22	1,12	COMB4	-0,18
22	0,00	COMB5	0,03
22	0,56	COMB5	0,03
22	1,12	COMB5	0,02

## APÉNDICE D. RESULTADOS PRUEBAS DE UNIONES UNIVERSALES METÁLICAS CON Y SIN RESORTE

Pruebas sin resorte:

Cuadro A-11: Carga y desplazamiento para Prueba SR-01\*

Fuerza axial kg	Desplazamiento mm
5,10	0,0164
385	1,02
532	1,52
607	1,95
610	2,00
711	3,00
749	4,02
773	5,00
782	6,00
784	6,85
782	7,00
757	8,00
691	9,00
626	10,00

(\*) SR-01: Prueba a unión universal metálica sin resorte N° 1.

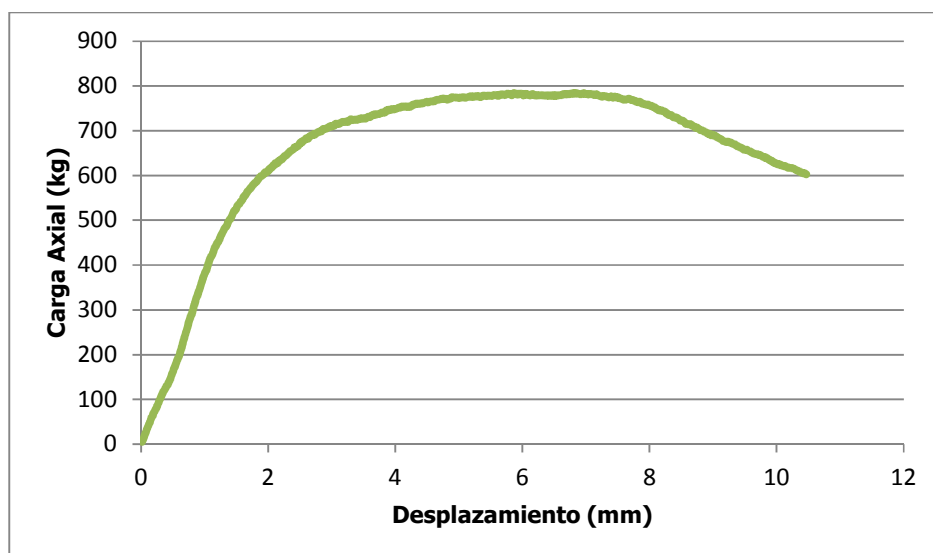
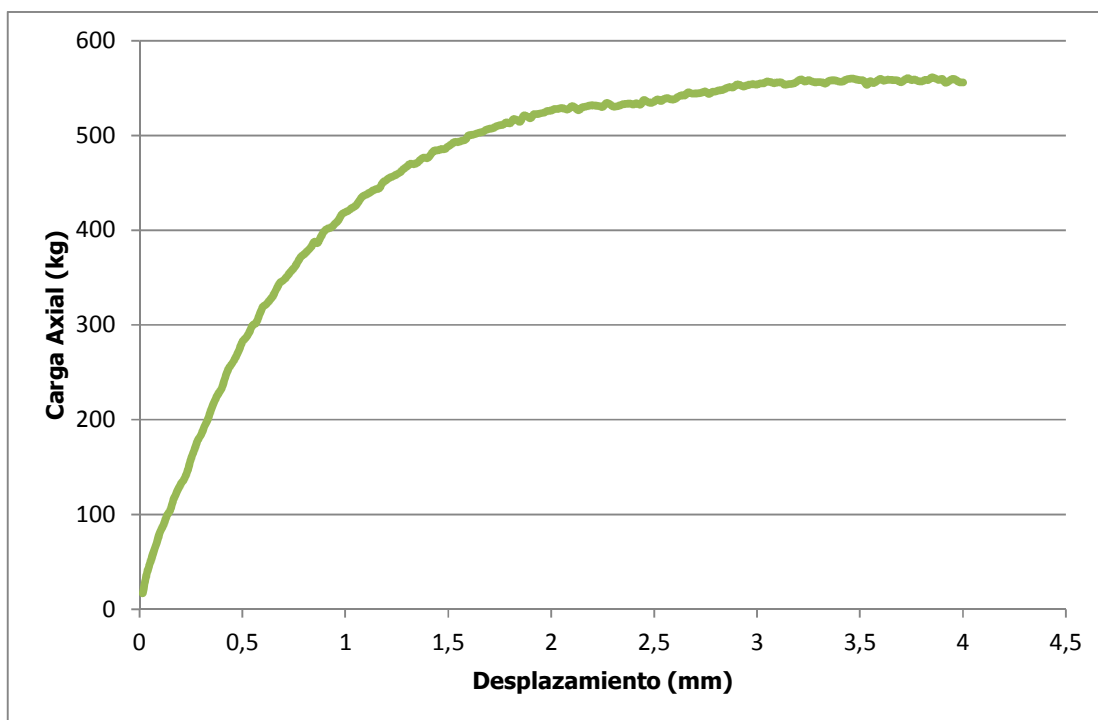


Figura A-15: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para la Prueba SR-01

**Cuadro A-12: Carga y desplazamiento para Prueba SR-02\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
16,9	0,0156
286	0,516
366	0,767
421	1,02
470	1,32
491	1,52
528	2,02
538	2,52
555	3,01
558	3,52
561	3,85
556	4,00

(\* SR-02: Prueba a unión universal metálica sin resorte N° 2.

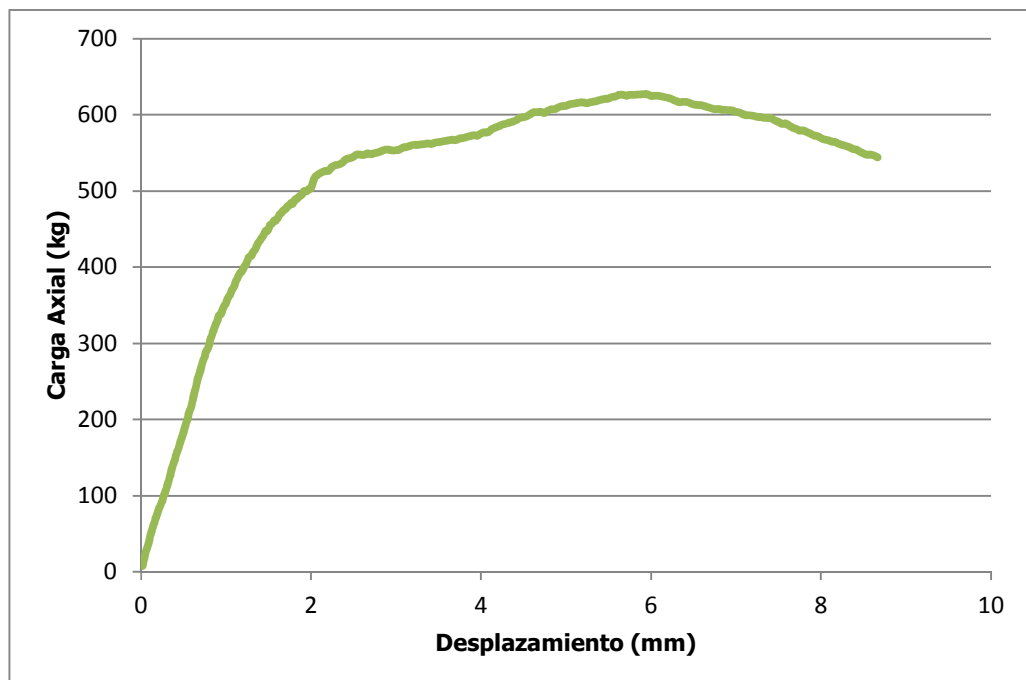


**Figura A-16: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba SR-02**

**Cuadro A-13: Carga y desplazamiento para Prueba SR-03\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
7,60	0,0174
358	1,02
474	1,67
503	2,00
517	2,04
554	3,04
577	4,04
614	5,04
627	5,92
625	6,04
603	7,04
569	8,00

(\* SR-03: Prueba a unión universal metálica sin resorte N° 3.

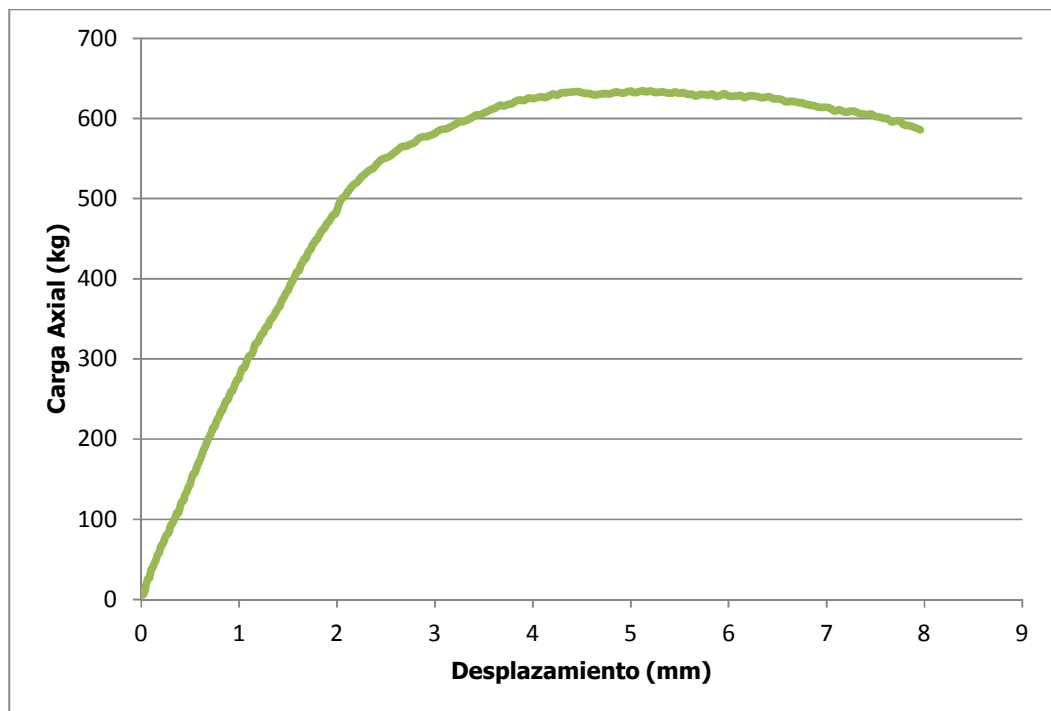


**Figura A-17: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba SR-03**

**Cuadro A-14: Carga y desplazamiento para Prueba SR-04\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
5,78	0,0174
283	1,01
498	2,04
557	2,58
585	3,04
626	4,04
632	5,04
634	5,12
627	6,04
612	7,04

(\*) SR-04: Prueba a unión universal metálica sin resorte N° 4.



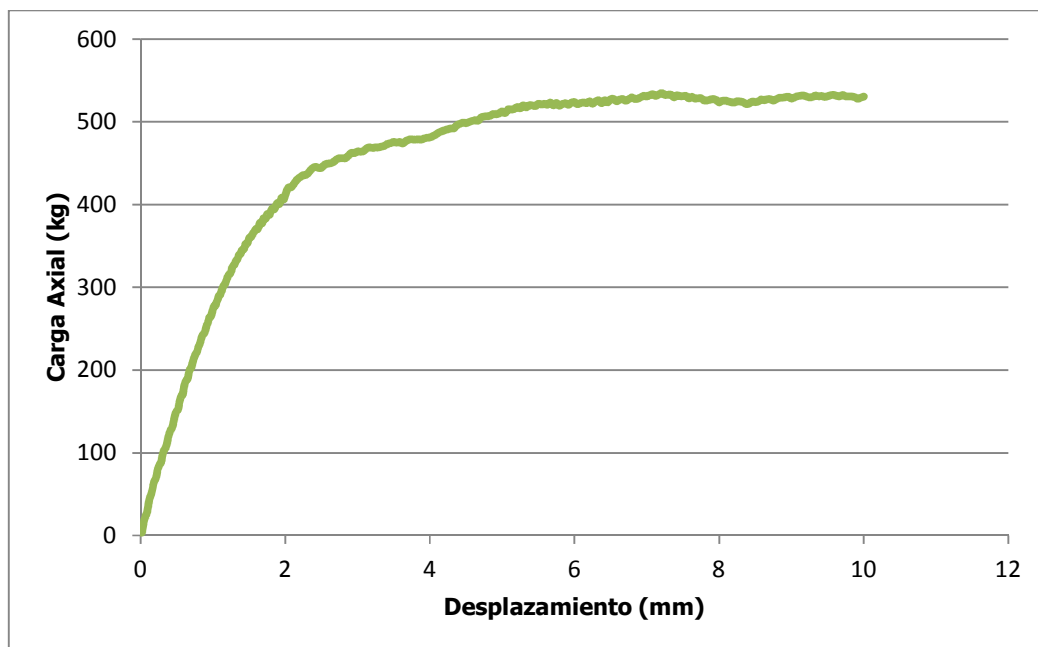
**Figura A-18: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba SR-04**



**Cuadro A-15: Carga y desplazamiento para Prueba SR-05\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
3,29	0,0164
277	1,02
383	1,70
420	2,04
430	2,17
464	3,04
483	4,04
510	5,04
524	6,00
532	7,04
534	7,21
523	8,00
528	9,00
530	10,00

(\* SR-05: Prueba a unión universal metálica sin resorte N° 5.

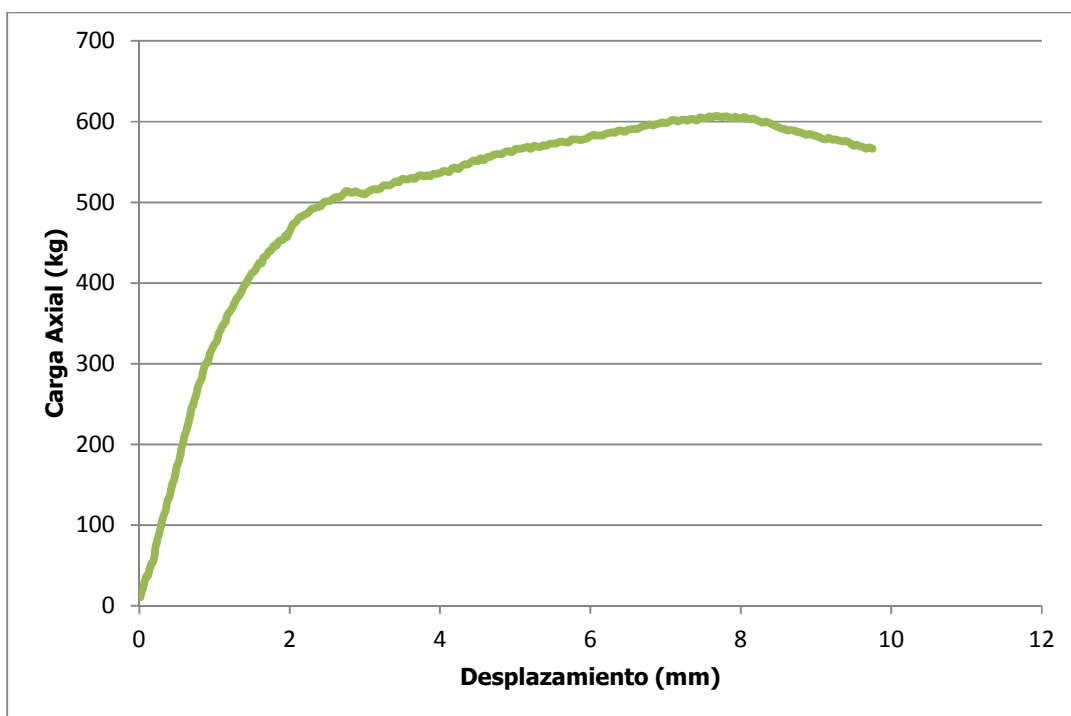


**Figura A-19: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba SR-05**

**Cuadro A-16: Carga y desplazamiento para Prueba SR-06\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
10,4	0,0169
326	1,02
413	1,52
453	1,88
473	2,04
512	3,04
538	4,04
566	5,04
583	6,04
599	7,04
607	7,66
606	8,04
581	9,04

(\* SR-06: Prueba a unión universal metálica sin resorte N° 6.

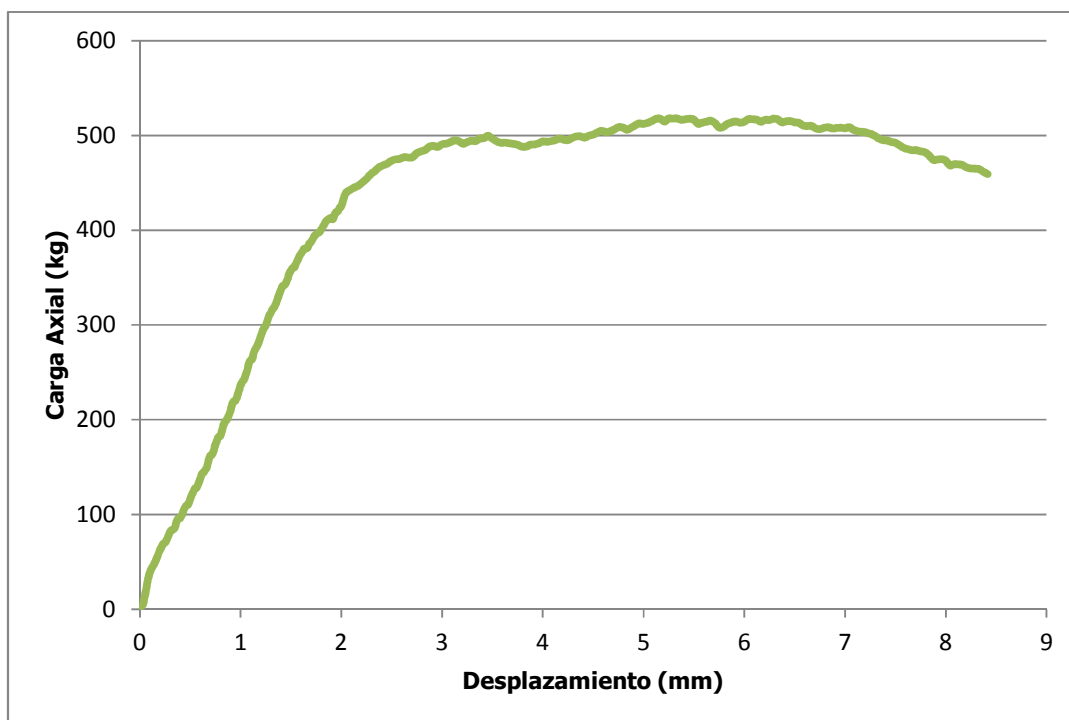


**Figura A-20: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba SR-06**

**Cuadro A-17: Carga y desplazamiento para Prueba SR-07\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
3,31	0,0162
240	1,02
396	1,75
439	2,04
468	2,42
491	3,04
493	4,04
513	5,04
518	5,33
514	6,00
509	7,04
468	8,04

(\* SR-07: Prueba a unión universal metálica sin resorte N° 7.

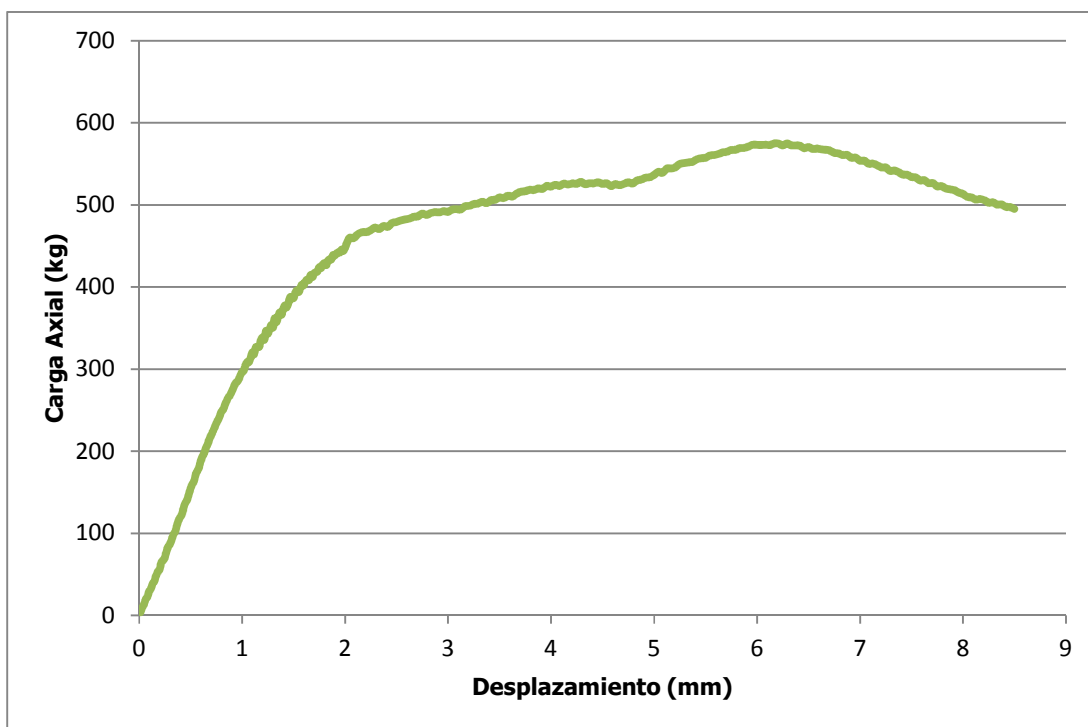


**Figura A-21: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba SR-07**

**Cuadro A-18: Carga y desplazamiento para Prueba SR-08\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
3,79	0,0143
298	1,02
380	1,45
445	1,97
459	2,04
494	3,04
524	4,04
540	5,04
573	6,00
575	6,17
554	7,04
510	8,04

(\* SR-08: Prueba a unión universal metálica sin resorte N° 8.

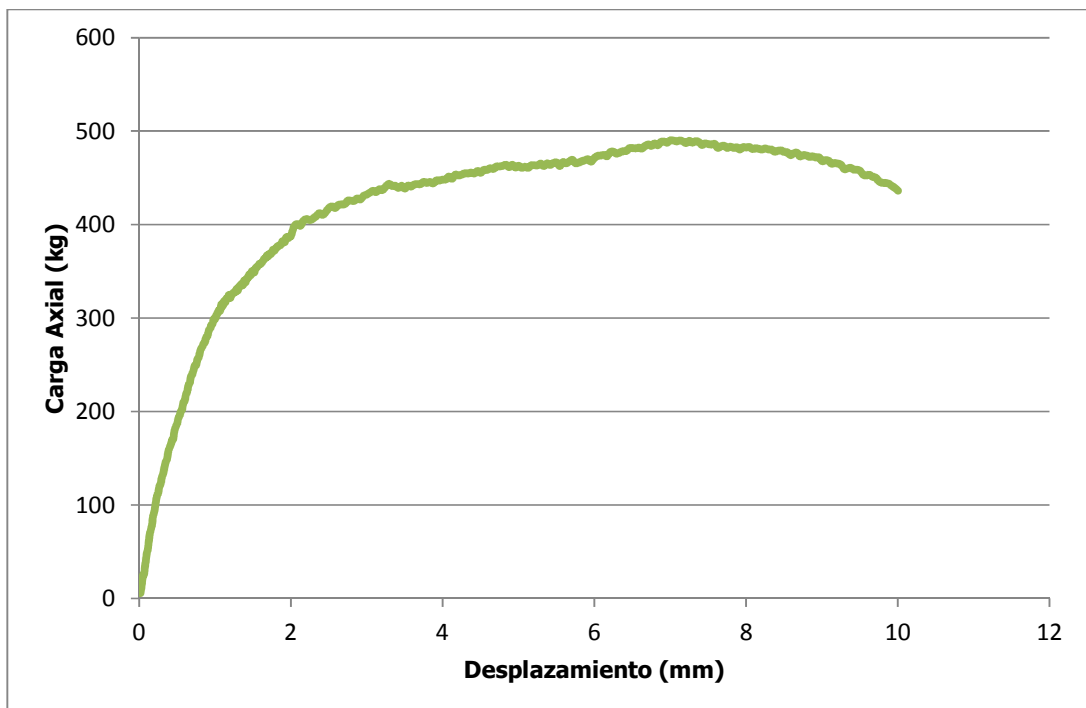


**Figura A-22: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba SR-08**

**Cuadro A-19: Carga y desplazamiento para Prueba SR-09\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
5,83	0,0173
299	1,00
315	1,08
350	1,50
388	2,00
432	3,00
448	4,00
463	5,00
472	6,00
490	7,00
483	8,00
468	9,00
436	10,0

(\* SR-09: Prueba a unión universal metálica sin resorte N° 9.

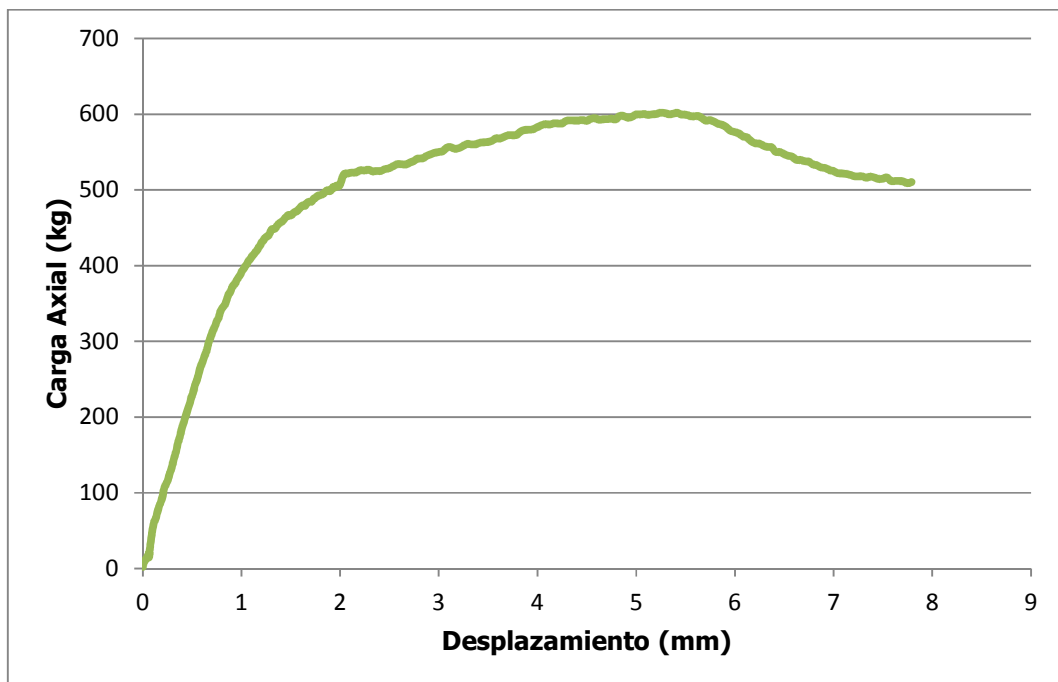


**Figura A-23: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba SR-09**

**Cuadro A-20: Carga y desplazamiento para Prueba SR-10\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
2,24	1,46E-03
393	1,00
396	1,02
467	1,51
520	2,04
551	3,04
585	4,04
600	5,04
602	5,25
575	6,04
522	7,04

(\*) SR-10: Prueba a unión universal metálica sin resorte N° 10.



**Figura A-24: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba SR-10**

## Pruebas con resortes:

Cuadro A-21: Carga y desplazamiento para Prueba CR-01\*

Fuerza axial	Desplazamiento
kg	mm
7,83	0,0171
371	1,02
386	1,10
446	1,55
491	2,00
537	3,04
558	4,00
592	5,00
622	6,00
644	7,04
654	8,00
655	8,04
644	9,04
631	10,0

(\*) CR-01: Prueba a unión universal metálica con resorte N° 1.

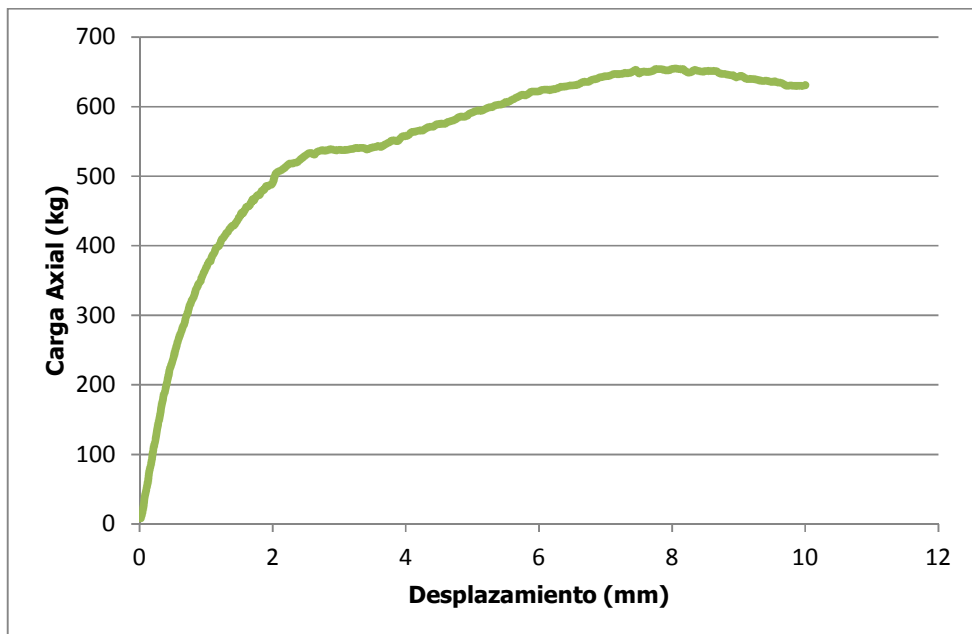
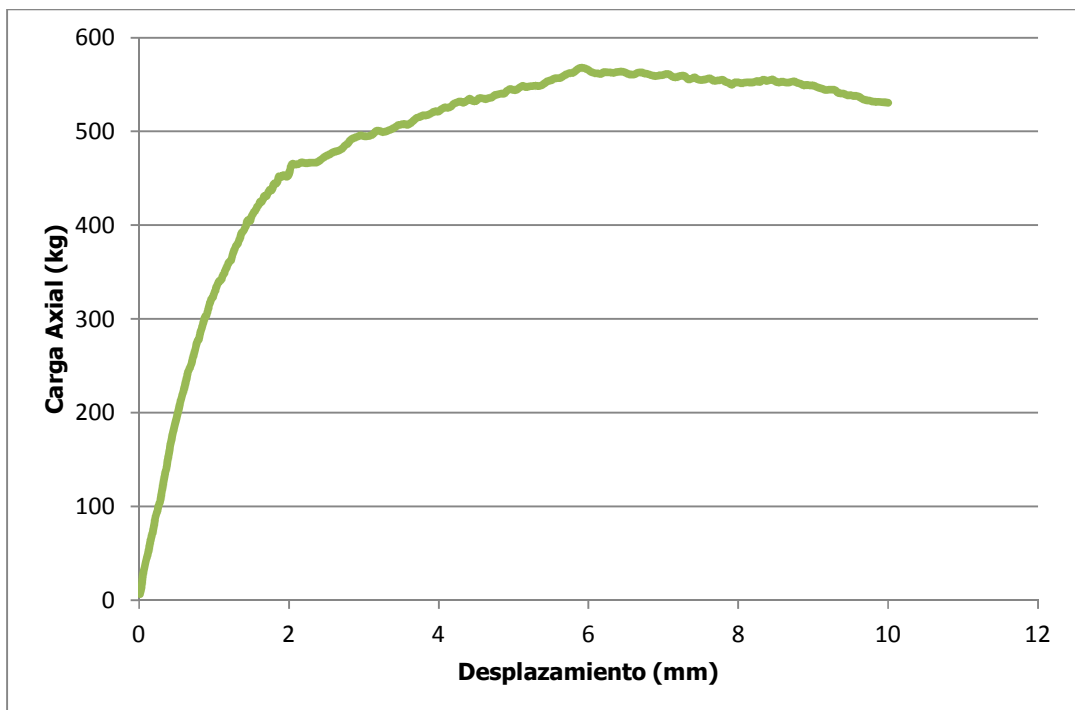


Figura A-25: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba CR-01

**Cuadro A-22: Carga y desplazamiento para Prueba CR-02\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
6,77	0,0136
330	1,02
369	1,25
438	1,75
465	2,04
495	3,04
524	4,04
545	5,04
568	5,92
563	6,04
561	7,04
551	8,04
548	9,04

(\*) CR-02: Prueba a unión universal metálica con resorte N° 2.



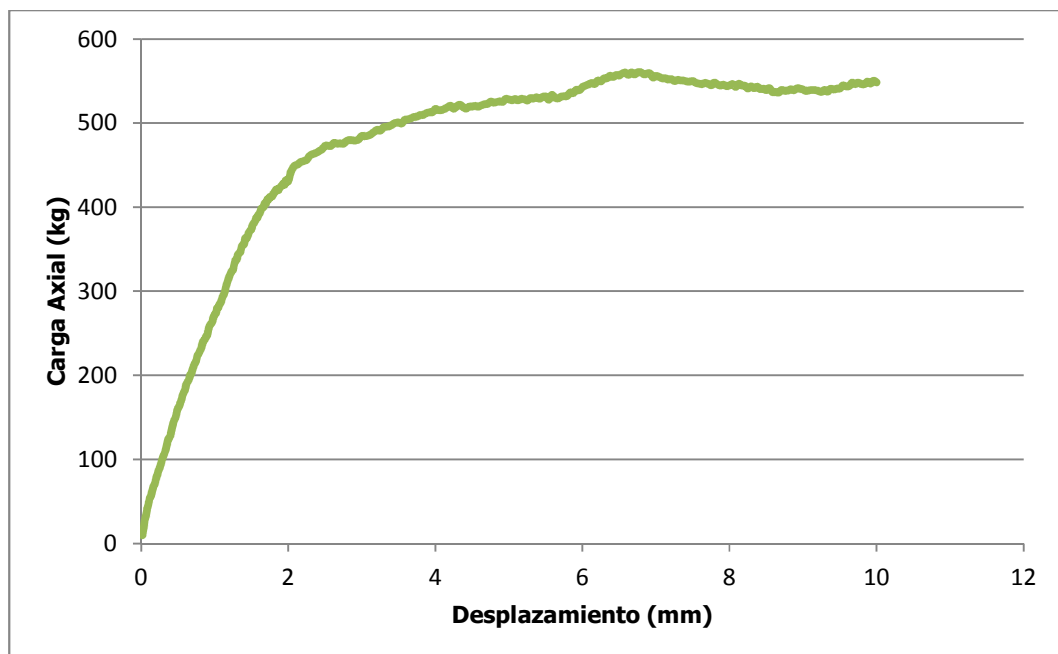
**Figura A-26: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba CR-02**



**Cuadro A-23: Carga y desplazamiento para Prueba CR-03\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
9,81	0,0175
273	1,02
387	1,57
443	2,04
451	2,13
484	3,04
517	4,00
528	5,00
543	6,00
560	6,79
556	7,00
545	8,00
540	9,00
548	10,0

(\*) CR-03: Prueba a unión universal metálica con resorte N° 3.

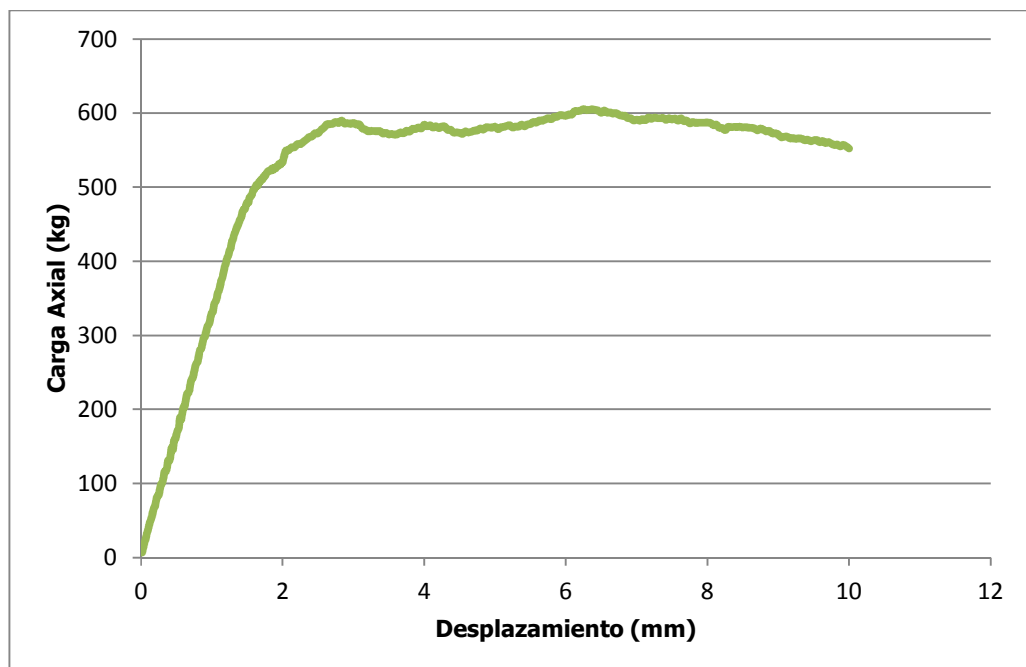


**Figura A-27: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba CR-03**

**Cuadro A-24: Carga y desplazamiento para Prueba CR-04\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
6,79	0,0149
330	1,00
448	1,37
531	1,95
549	2,04
585	3,04
582	4,04
582	5,00
596	6,00
605	6,25
591	7,00
587	8,00
571	9,00
552	10,0

(\*) CR-04: Prueba a unión universal metálica con resorte N° 4.

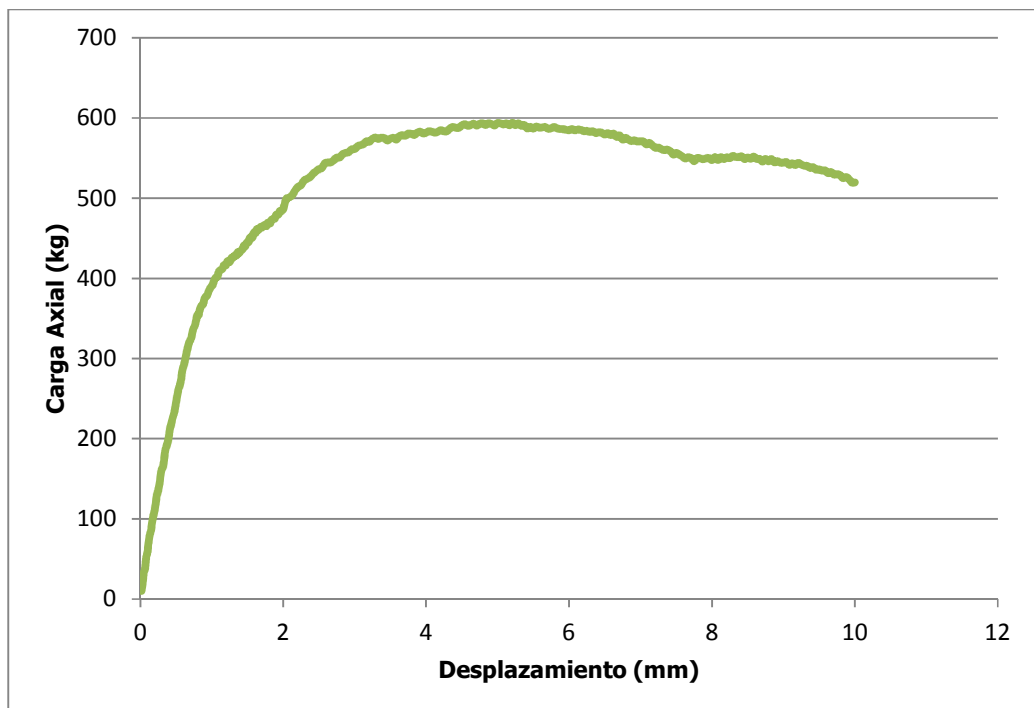


**Figura A-28: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba CR-04**

**Cuadro A-25: Carga y desplazamiento para Prueba CR-05\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
10,1	0,0163
338	0,75
392	1,01
426	1,28
486	2,00
561	3,00
583	4,04
593	5,04
594	5,21
586	6,04
571	7,04
551	8,04
544	9,00

(\*) CR-05: Prueba a unión universal metálica con resorte N° 5.

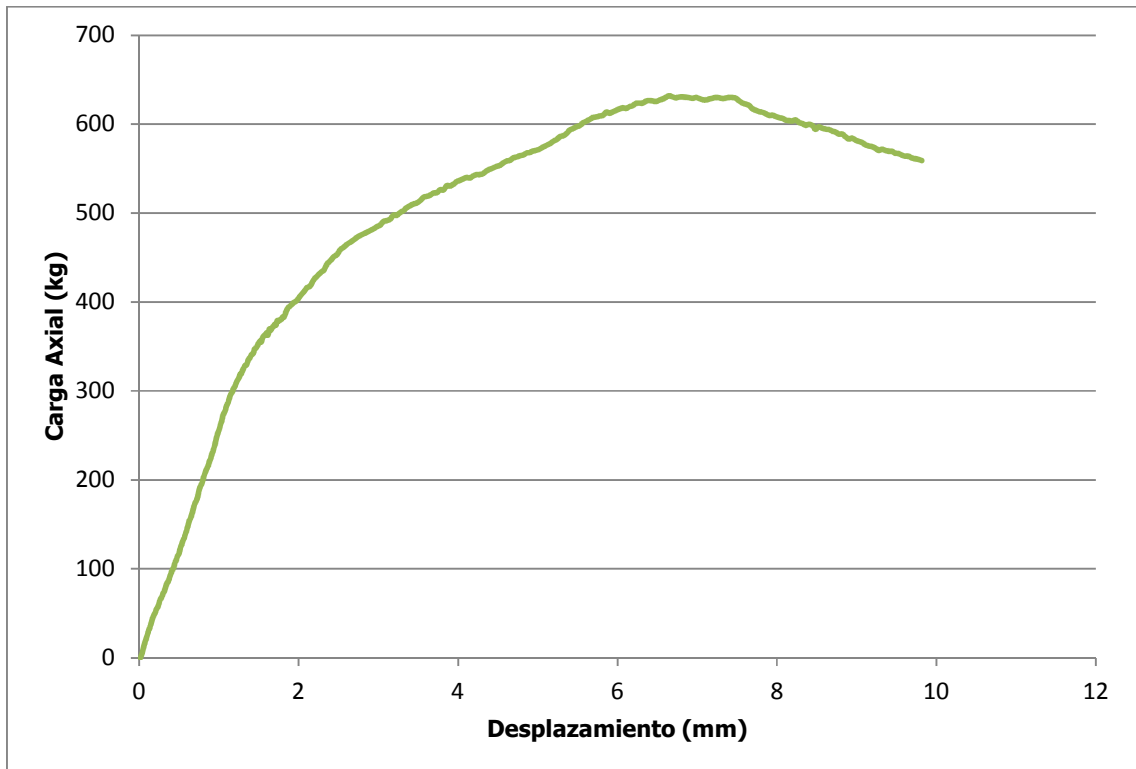


**Figura A-29: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba CR-05**

**Cuadro A-26: Carga y desplazamiento para Prueba CR-06\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
0,0244	0,017
261	1,02
329	1,33
399	1,94
407	2,02
487	3,03
537	4,03
572	5,03
617	6,03
632	6,65
629	7,02
607	8,02
581	9,02

(\*) CR-06: Prueba a unión universal metálica con resorte N° 6.

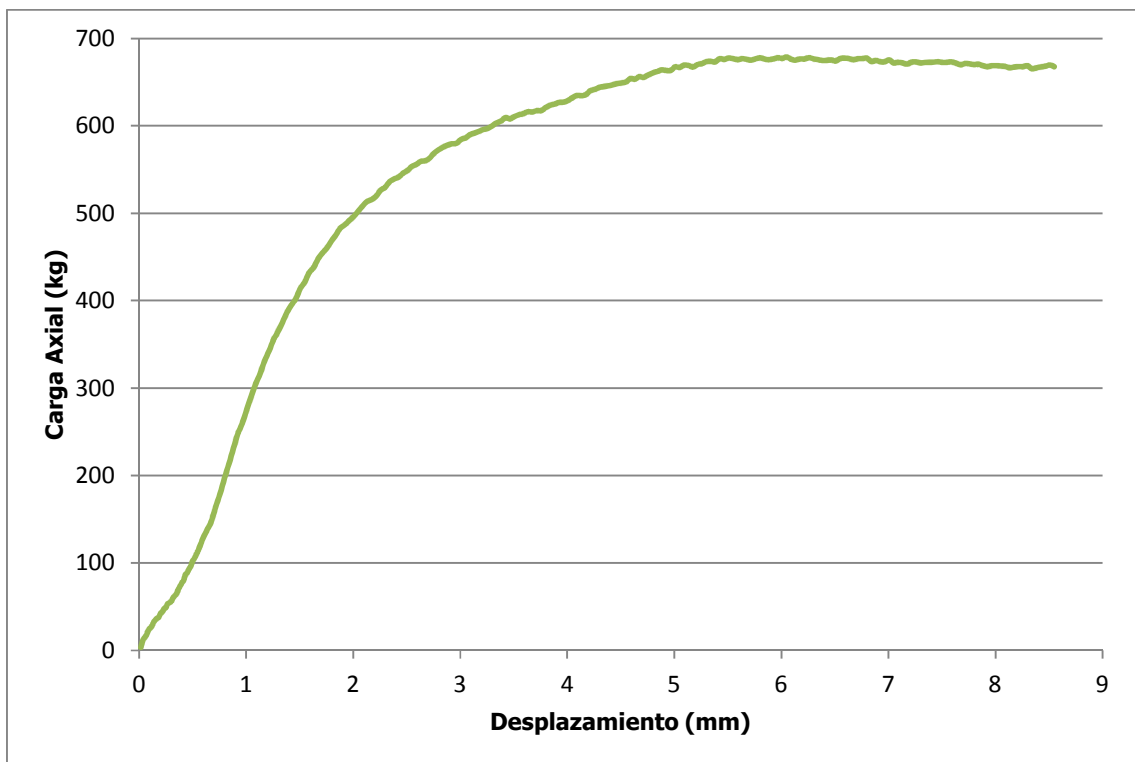


**Figura A-30: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba CR-06**

**Cuadro A-27: Carga y desplazamiento para Prueba CR-07\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
3,48	0,0160
276	1,01
497	2,01
529	2,30
584	3,01
629	4,01
667	5,01
677	6,01
679	6,05
675	7,01
669	8,01

(\*) CR-07: Prueba a unión universal metálica con resorte N° 7.

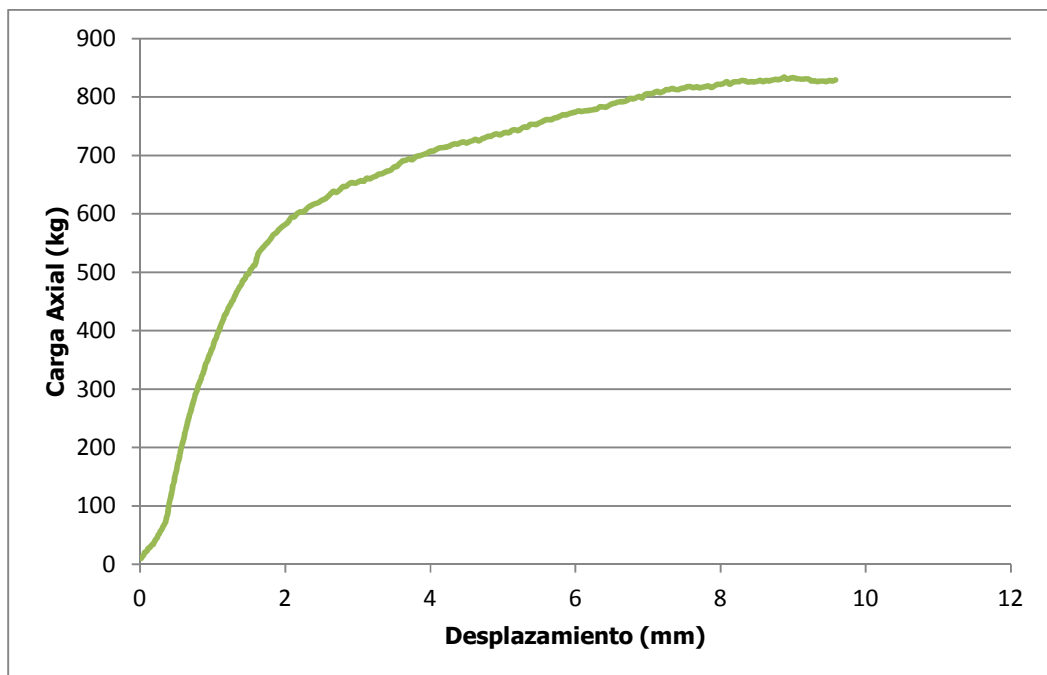


**Figura A-31: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba CR-07**

**Cuadro A-28: Carga y desplazamiento para Prueba CR-08\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
10,2	0,0159
371	1,00
434	1,20
556	1,79
586	2,04
654	3,00
707	4,00
738	5,00
774	6,00
806	7,00
822	8,00
834	8,88
833	9,00
829	9,58

(\*) CR-08: Prueba a unión universal metálica con resorte N° 8.

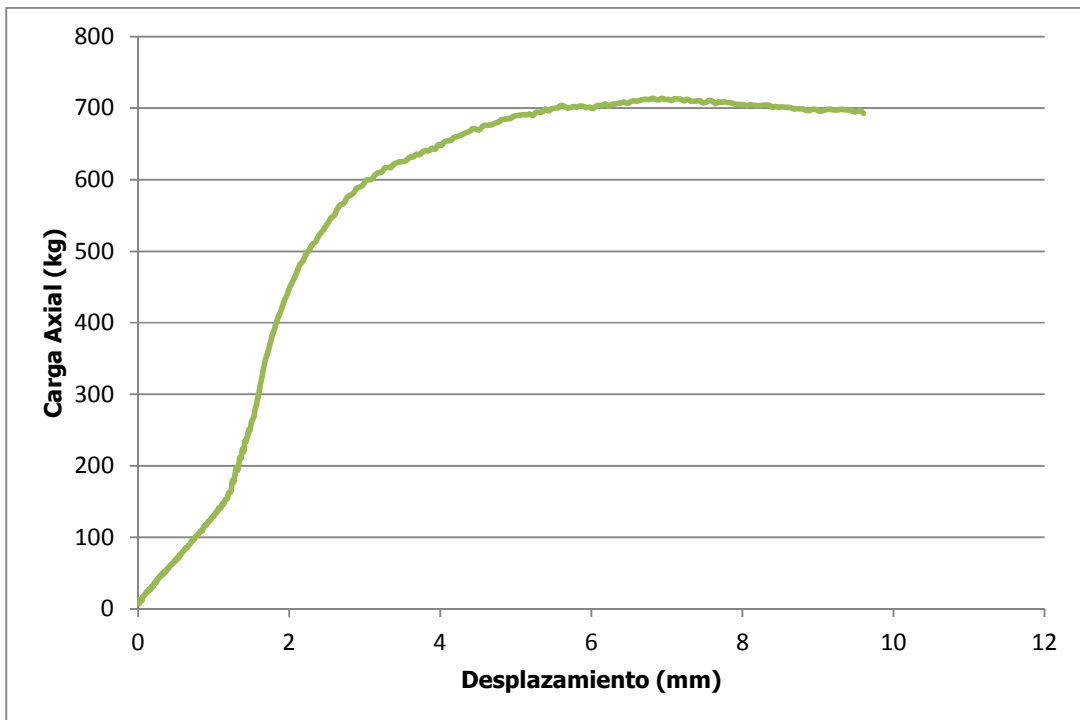


**Figura A-32: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba CR-08**

**Cuadro A-29: Carga y desplazamiento para Prueba CR-09\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
7,52	0,0169
129	1,00
451	2,02
460	2,06
600	3,06
635	3,68
648	4,02
689	5,02
699	6,02
714	6,81
712	7,02
705	8,02
696	9,02
693	9,60

(\*) CR-09: Prueba a unión universal metálica con resorte N° 9.

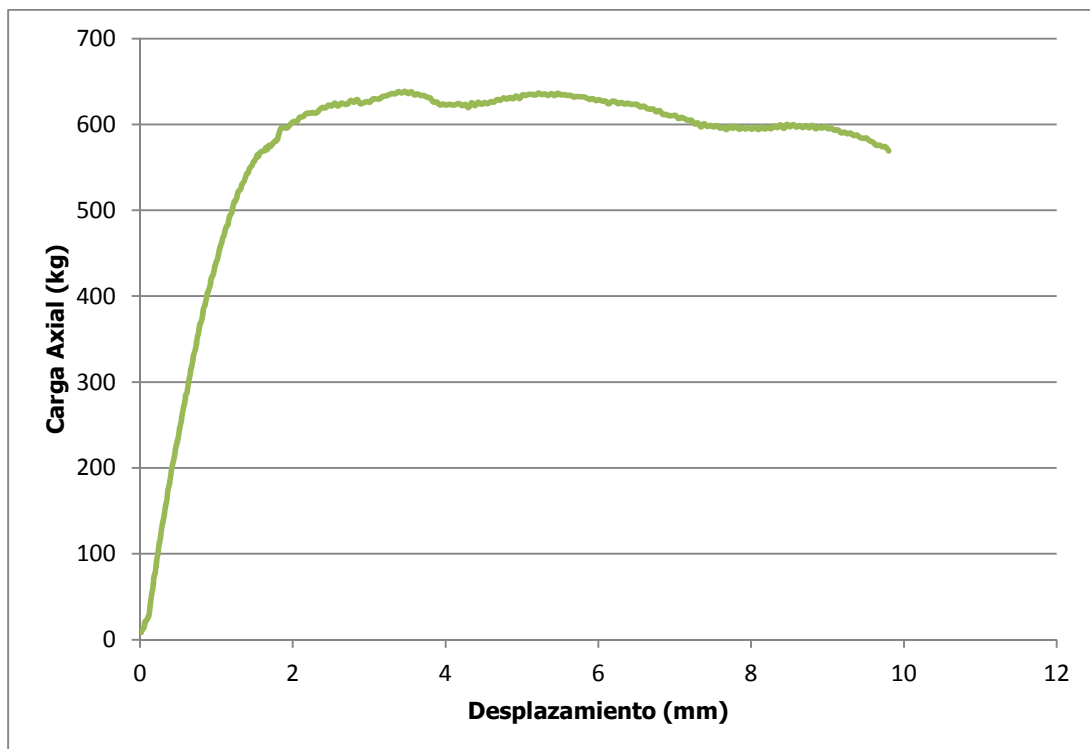


**Figura A-33: Carga vs Desplazamiento de la unión universal para Prueba CR-09**

**Cuadro A-30: Carga y desplazamiento para Prueba CR-10\***

<b>Fuerza axial</b>	<b>Desplazamiento</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>
8,51	0,0170
444	1,02
483	1,15
568	1,58
603	2,01
626	3,01
638	3,47
622	4,01
634	5,01
629	6,01
610	7,01
594	8,01
595	9,01
569	9,80

(\*) CR-10: Prueba a unión universal metálica con resorte N° 10.



**Figura A-34: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-10**



## APÉNDICE E. CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE FLUENCIA PARA PRUEBAS DE UNIONES

Pruebas sin resorte:

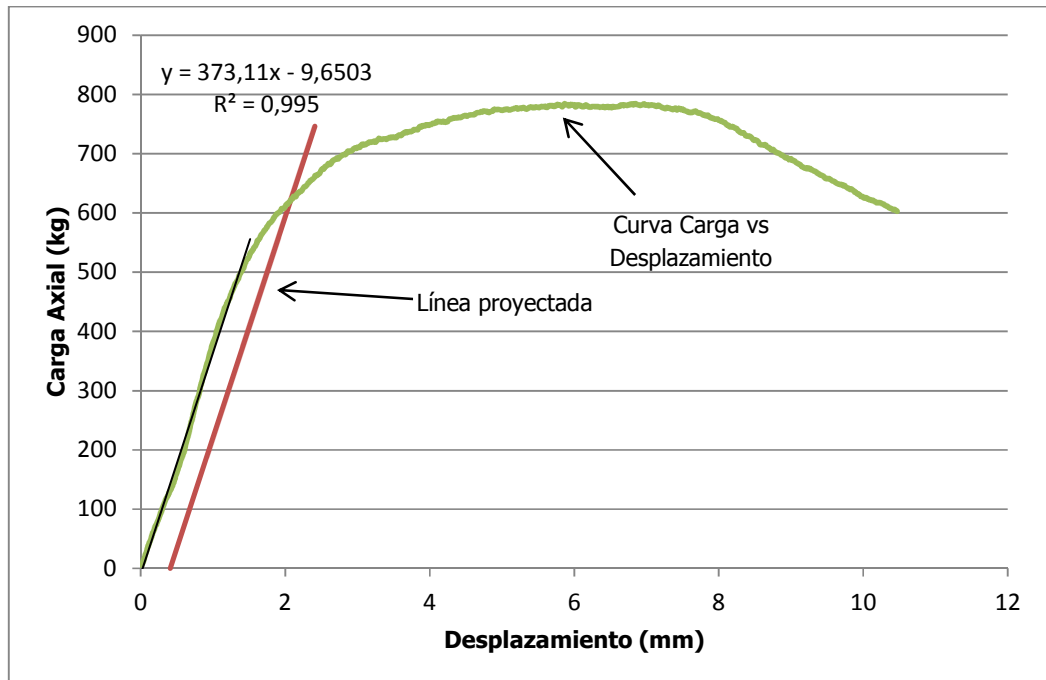
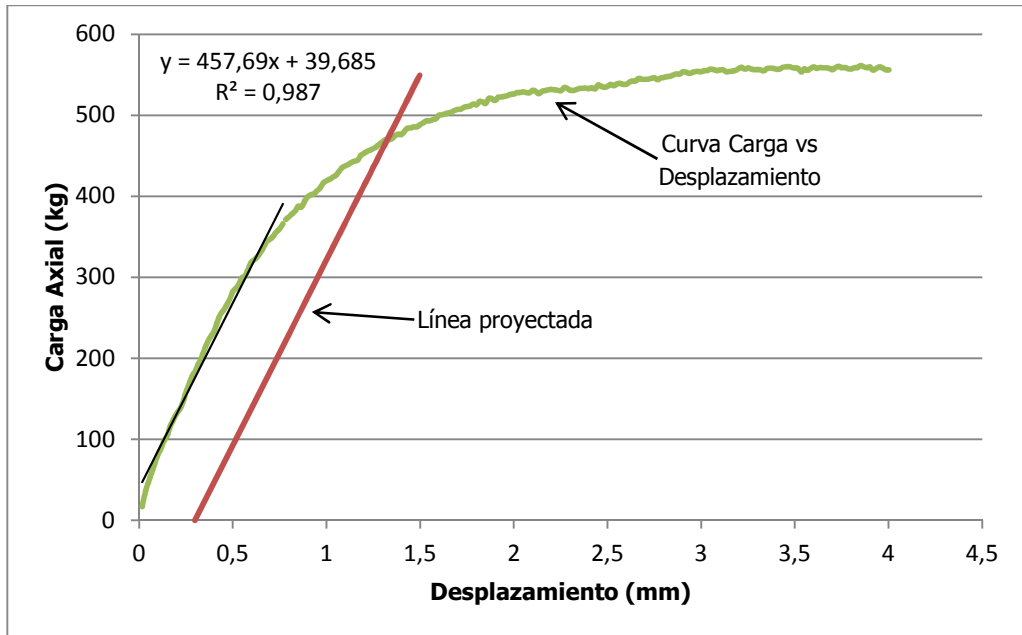
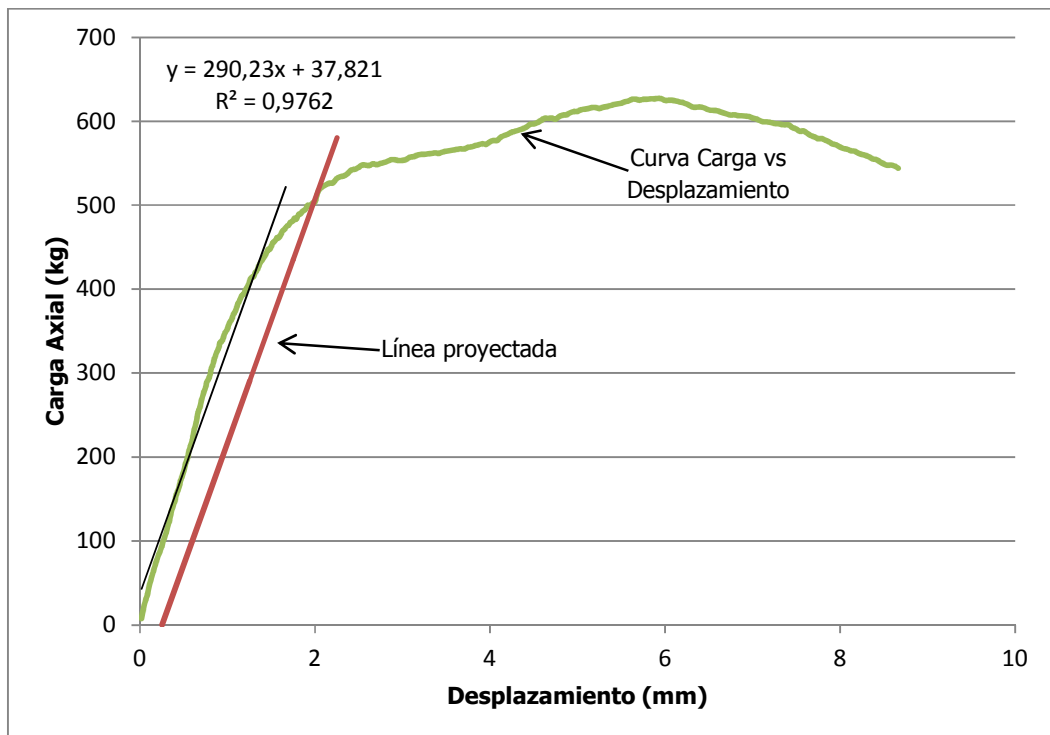


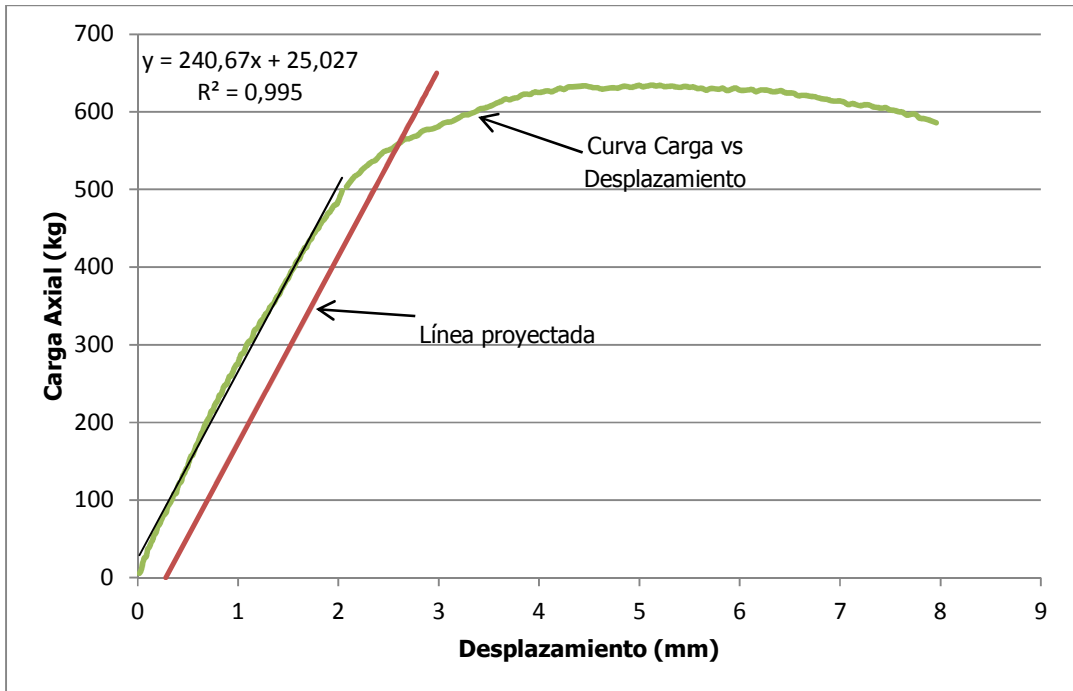
Figura A-35: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba SR-01 (Fluencia)



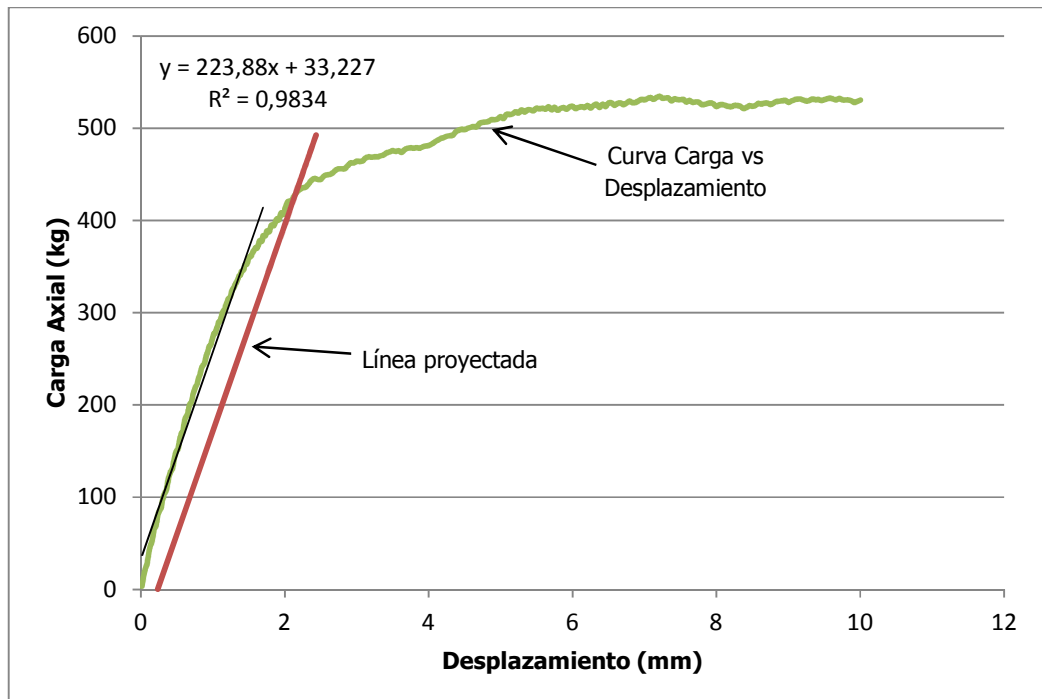
**Figura A-36: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba SR-02 (Fluencia)**



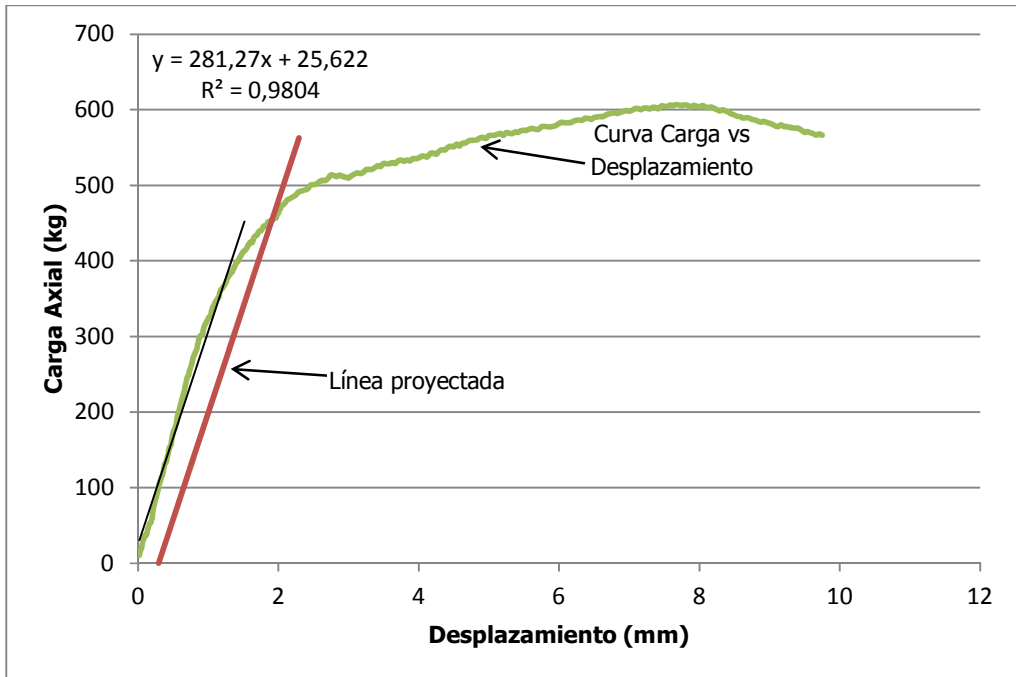
**Figura A-37: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba SR-03 (Fluencia)**



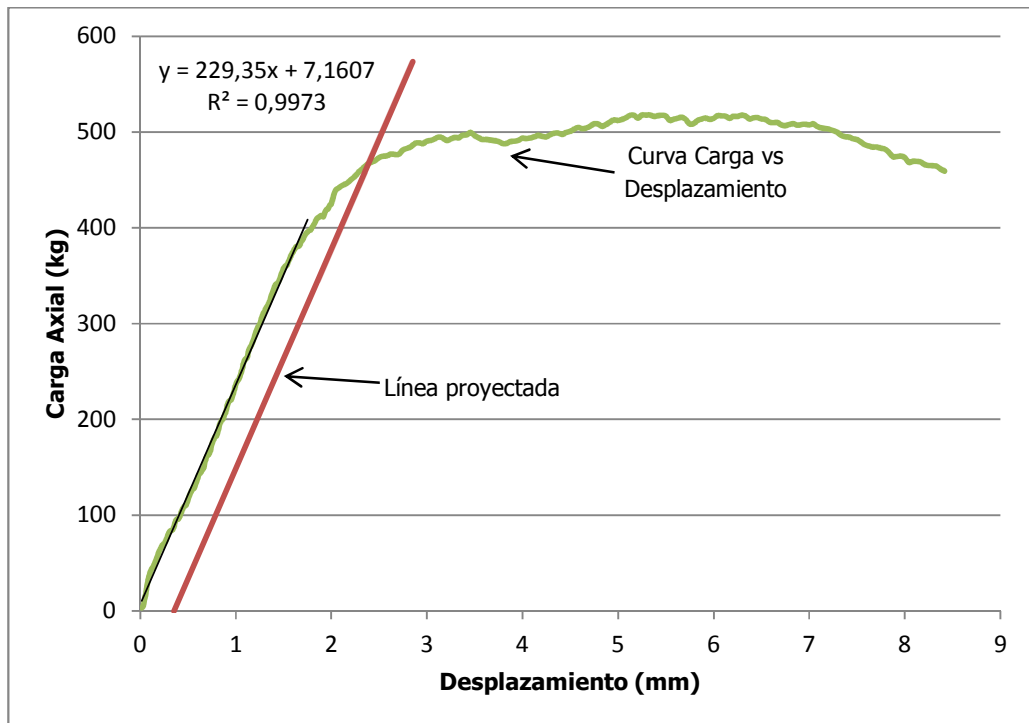
**Figura A-38: Carga vs Desplazamiento para Prueba SR-04 (Fluencia)**



**Figura A-39: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba SR-05 (Fluencia)**



**Figura A-40: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba SR-06 (Fluencia)**



**Figura A-41: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba SR-07 (Fluencia)**

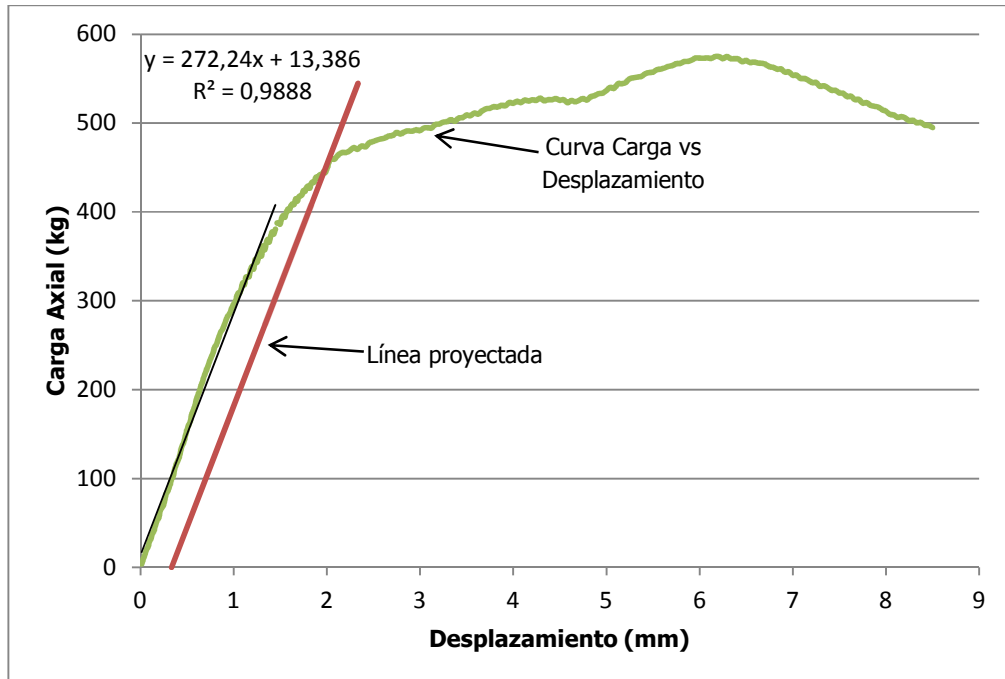


Figura A-42: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba SR-08 (Fluencia)

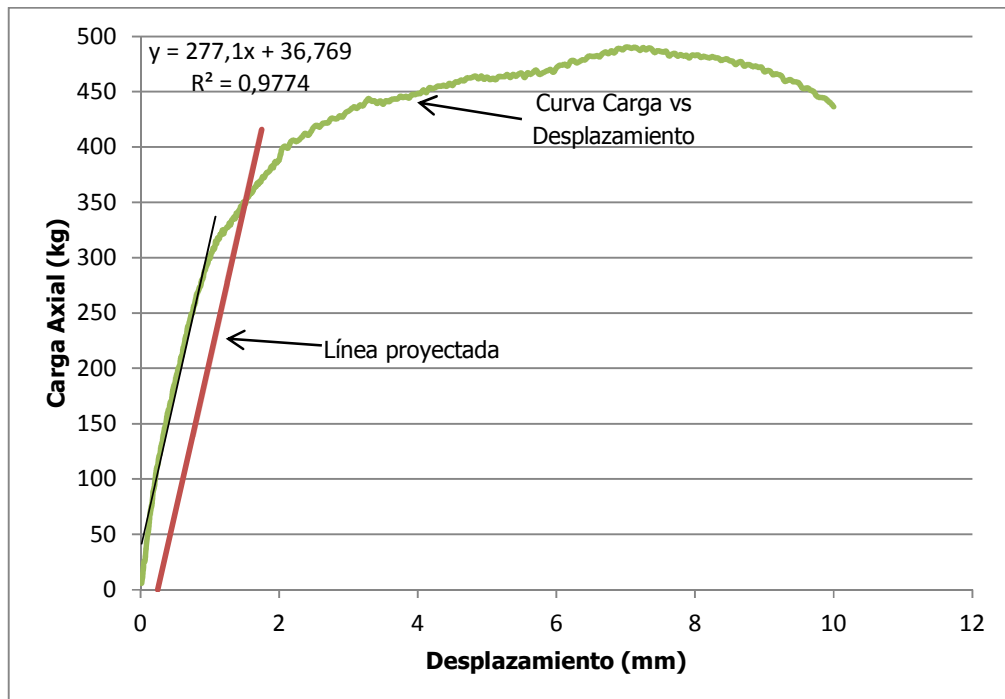


Figura A-43: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba SR-09 (Fluencia)

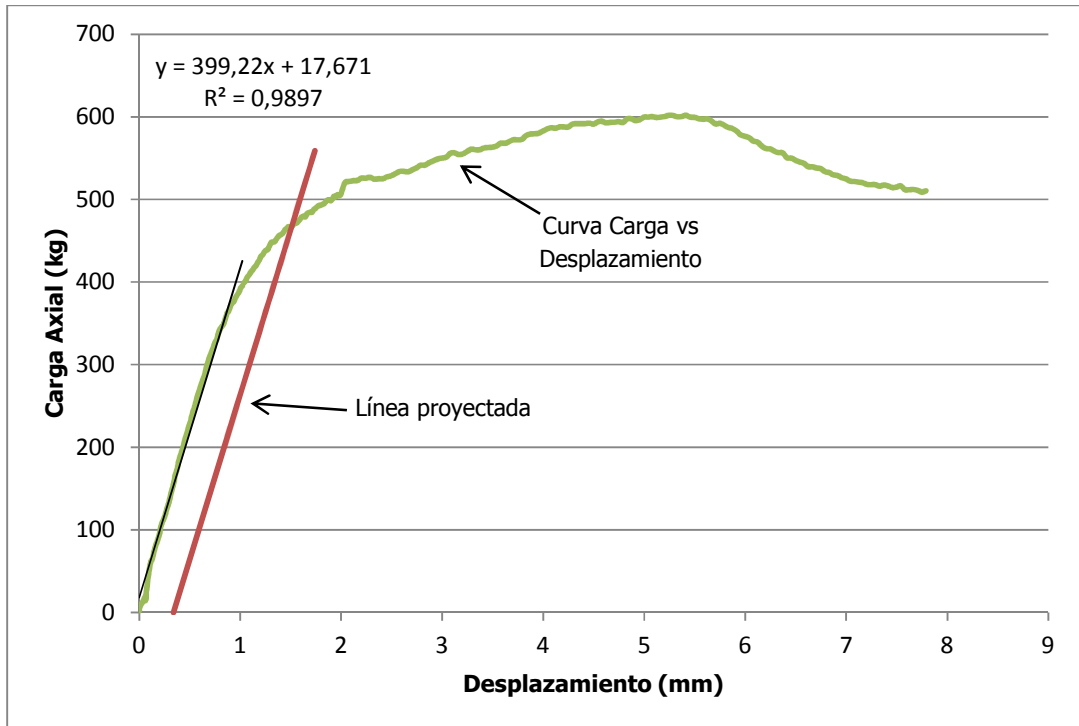
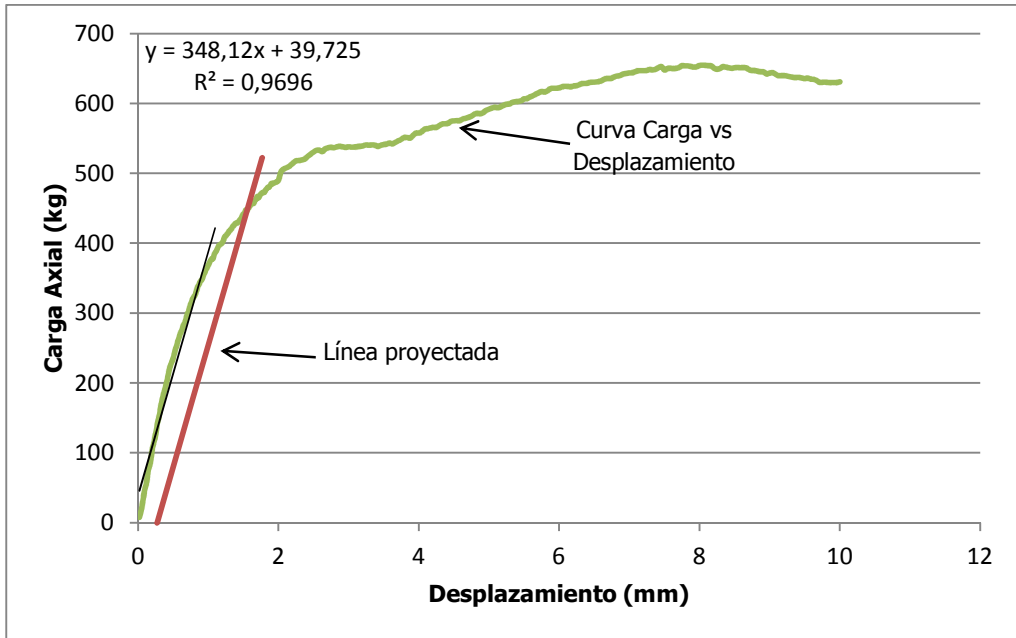
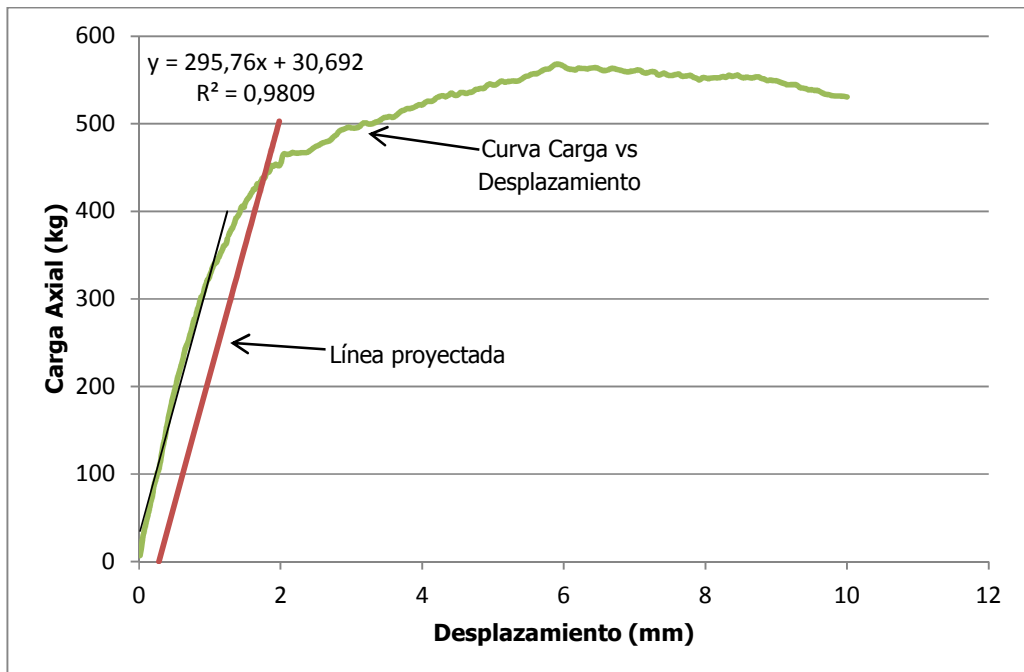


Figura A-44: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba SR-10 (Fluencia)

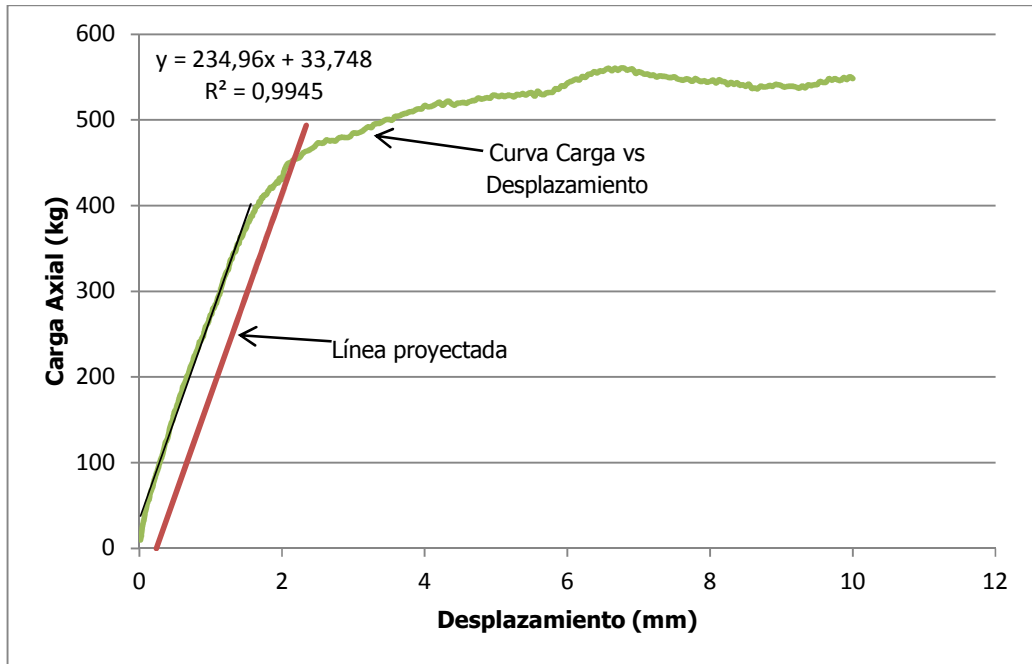
**Pruebas con resorte:**



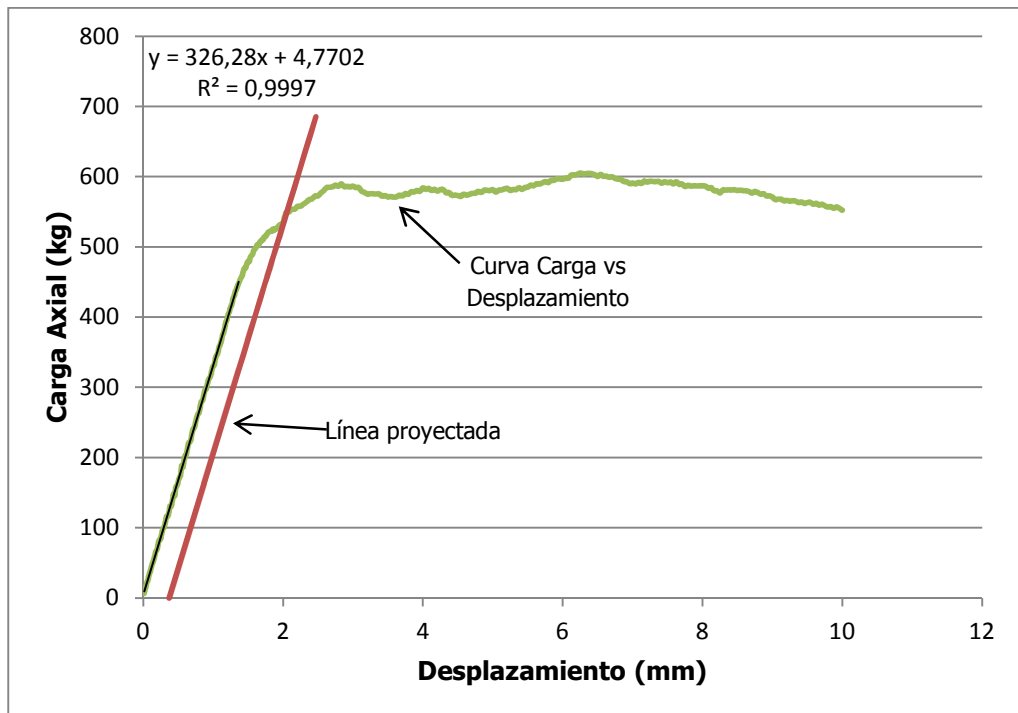
**Figura A-45: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-01 (Fluencia)**



**Figura A-46: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-02 (Fluencia)**

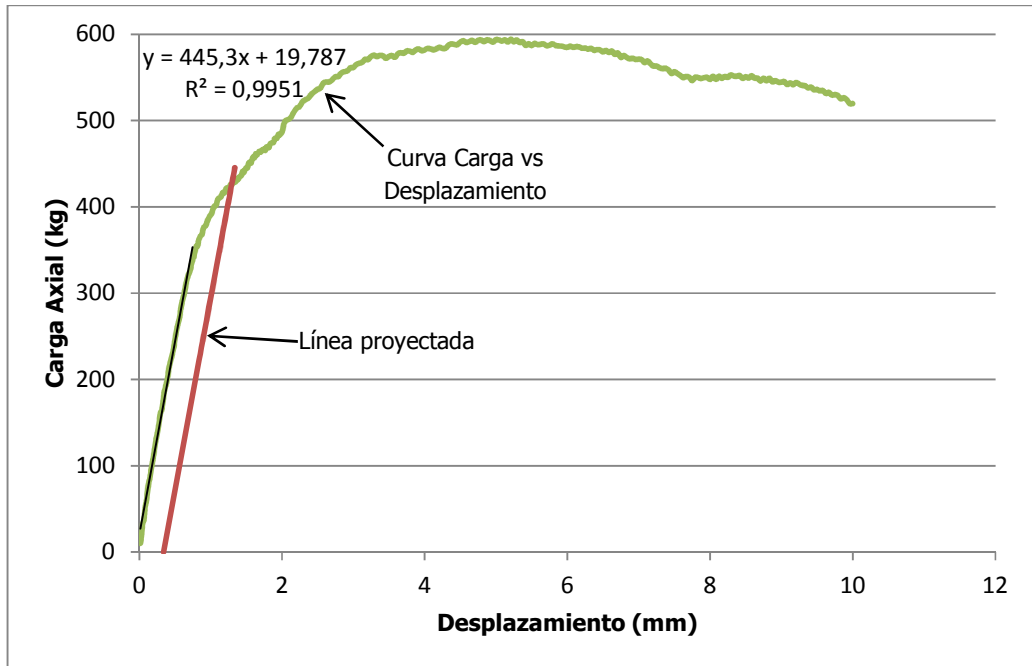


**Figura A-47: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-03 (Fluencia)**

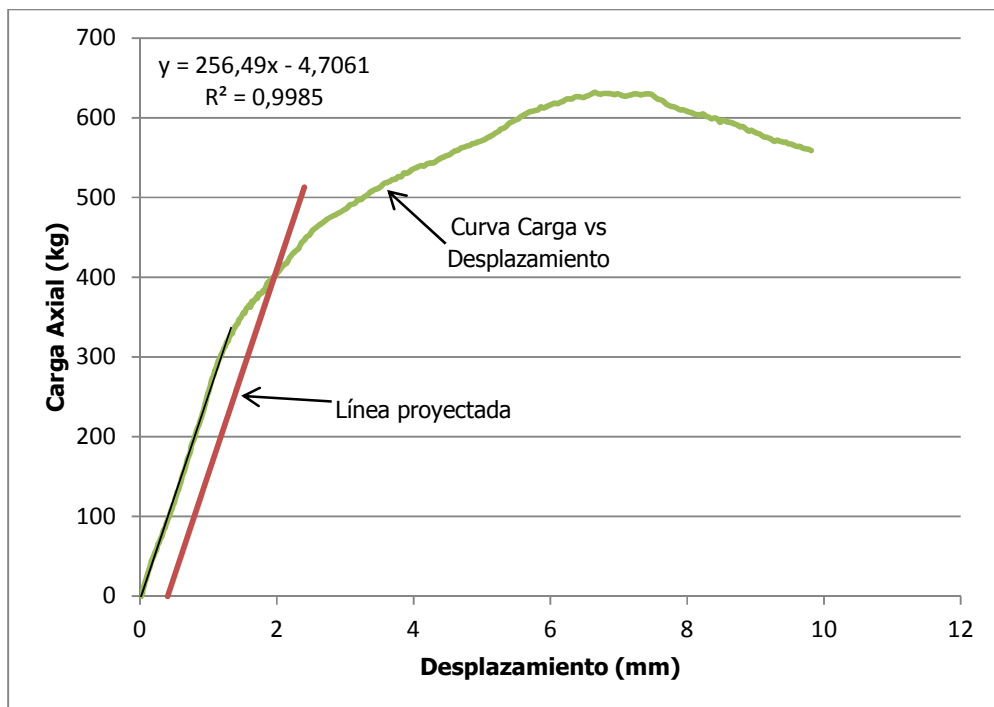


**Figura A-48: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-04 (Fluencia)**

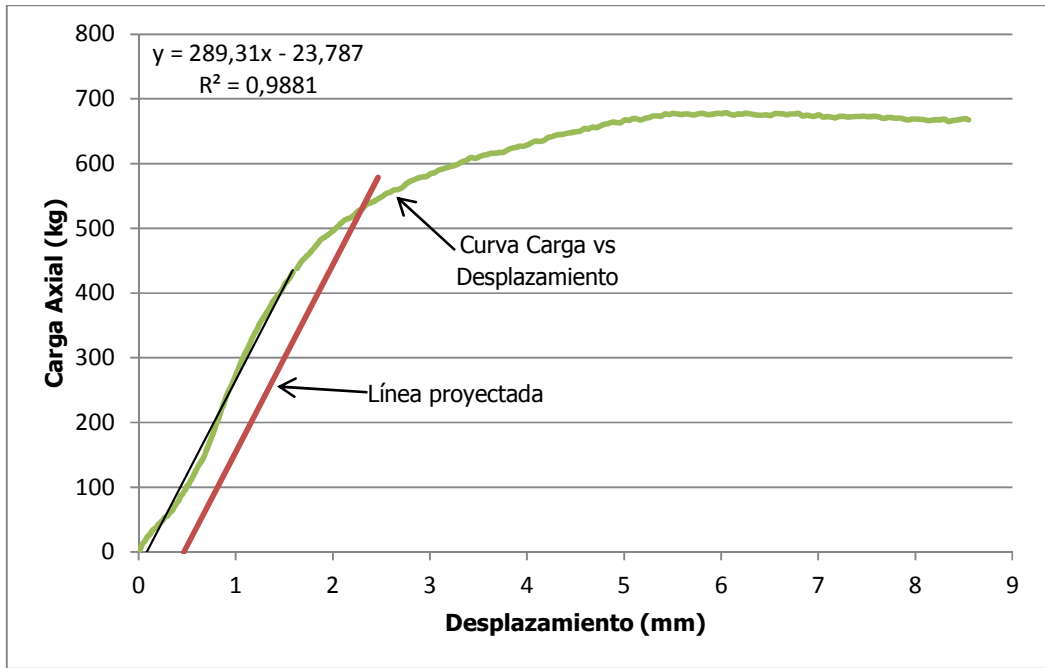




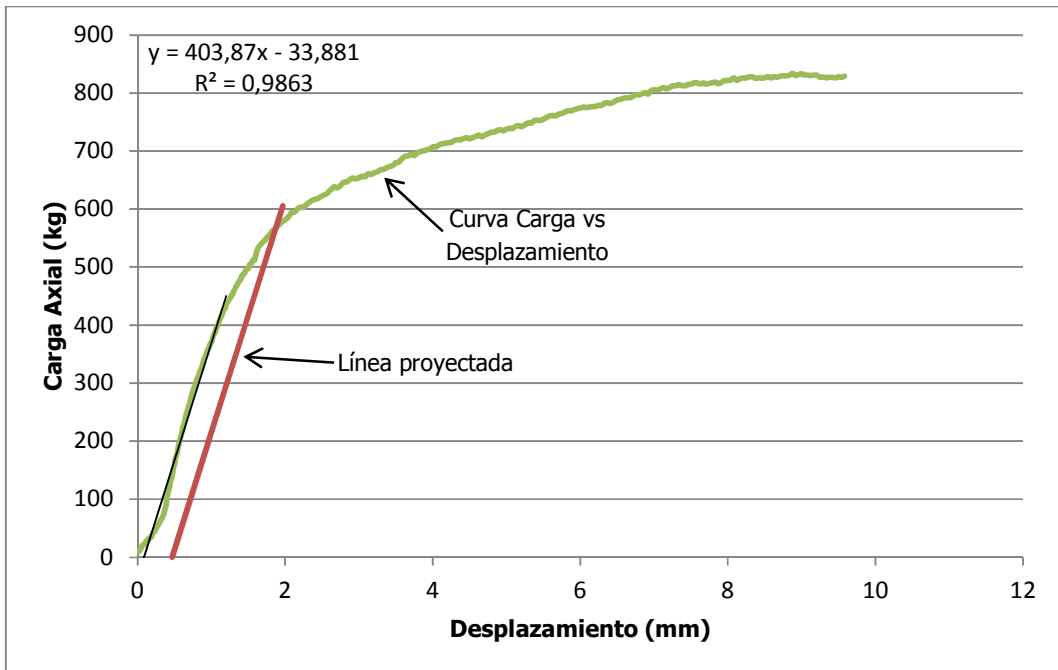
**Figura A-49: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-05 (Fluencia)**



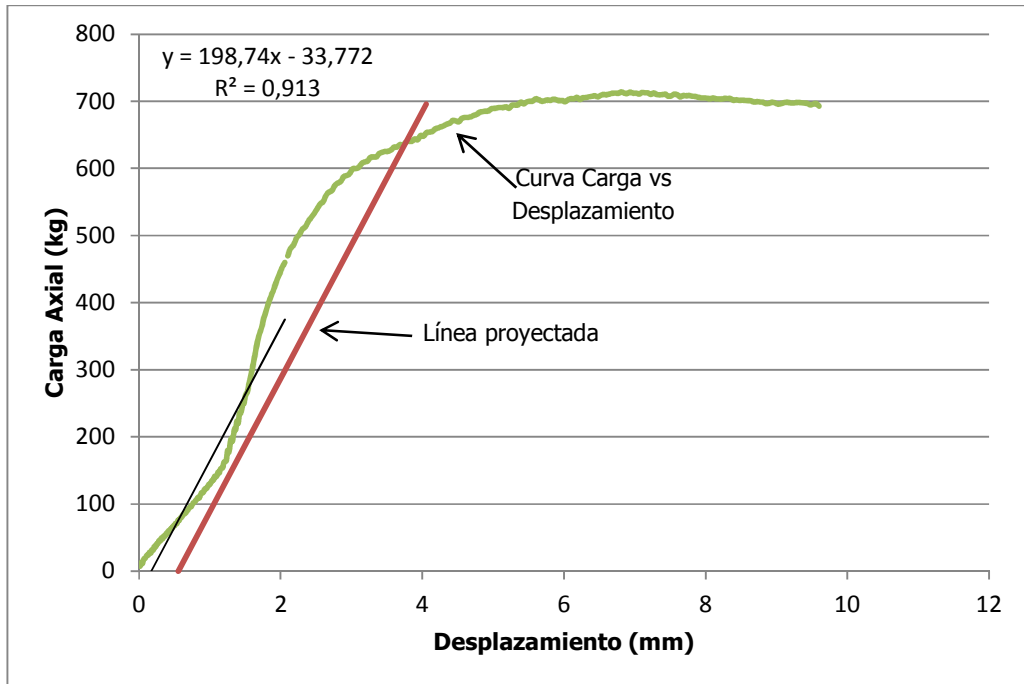
**Figura A-50: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-06 (Fluencia)**



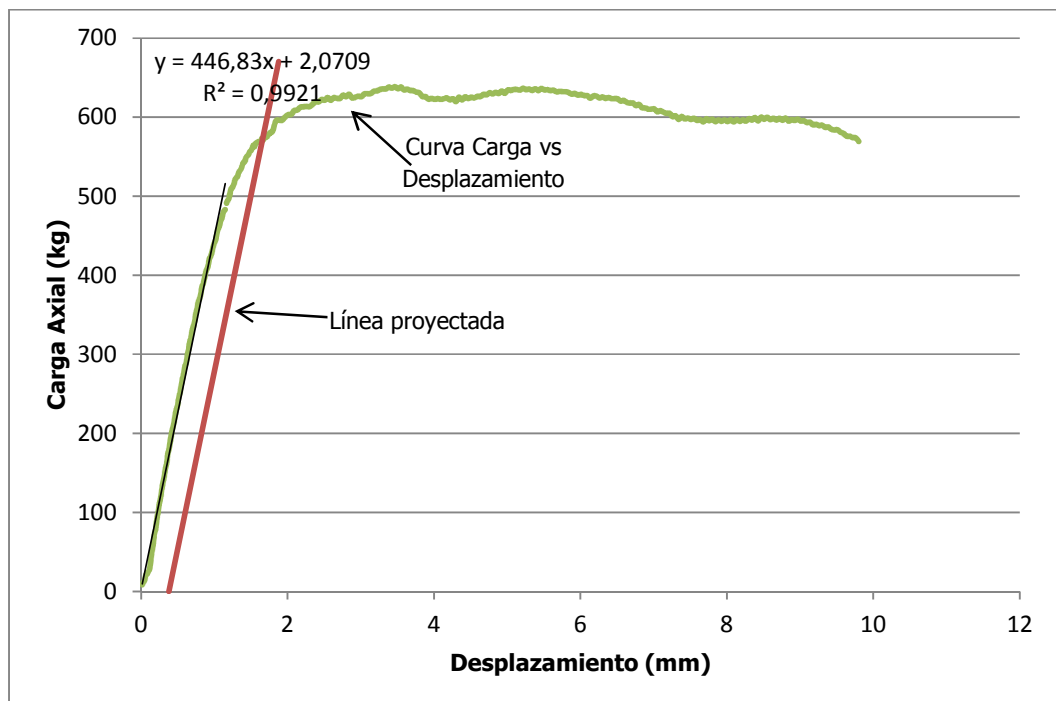
**Figura A-51: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-07 (Fluencia)**



**Figura A-52: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-08 (Fluencia)**



**Figura A-53: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-09 (Fluencia)**



**Figura A-54: Carga vs Desplazamiento en la unión universal para Prueba CR-10 (Fluencia)**

**Cuadro A-31: Resumen de cargas y desplazamientos de fluencia de las uniones universales para pruebas sin resorte**

<b>Pruebas a uniones universales metálicas sin resorte</b>		
<b>Prueba</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Carga de fluencia (kg)</b>
SR-01	1,95	606,96
SR-02	1,32	470,06
SR-03	2,00	503,22
SR-04	2,58	557,04
SR-05	2,17	430,46
SR-06	1,88	453,03
SR-07	2,42	468,32
SR-08	1,97	445,45
SR-09	1,50	350,47
SR-10	1,51	466,91
<b>Promedio</b>	<b>1,93</b>	<b>475,19</b>

**Cuadro A-32: Resumen de cargas y desplazamientos de fluencia de las uniones universales para pruebas con resorte**

<b>Pruebas a uniones universales metálicas con resorte</b>		
<b>Prueba</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Carga de fluencia (kg)</b>
CR-01	1,55	446,48
CR-02	1,75	438,08
CR-03	2,13	450,54
CR-04	1,95	531,45
CR-05	1,28	425,99
CR-06	1,94	399,38
CR-07	2,30	529,49
CR-08	1,79	555,92
CR-09	3,68	635,45
CR-10	1,58	567,71
<b>Promedio</b>	<b>2,00</b>	<b>498,05</b>

## APÉNDICE F. TIPOS DE UNIONES ESTUDIADAS

### Uniones con excentricidad

Cuadro-33: Unión tipo Simón Velez

Tipo: Simón Velez
<b>Descripción</b>
Propone una unión a tensión que consiste en atravesar la <i>guadua</i> con una varilla de 16 mm (5/8") por un entrenudo, el cual se va a rellenar con mortero.
<b>Resistencia</b>
3 000 kg por cada entrenudo relleno de mortero en la unión del elemento en tensión.
<b>Observaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• El mortero tiene poca adherencia con las paredes de la <i>guadua</i>.</li><li>• La falla es inducida por el nudo y no porque se sobrepase la resistencia a tracción del material, especialmente las fibras longitudinales.</li><li>• La unión falla rompiendo el nudo y rasgando la <i>guadua</i> por el orificio de la varilla de 16 mm (5/8").</li></ul>

Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)

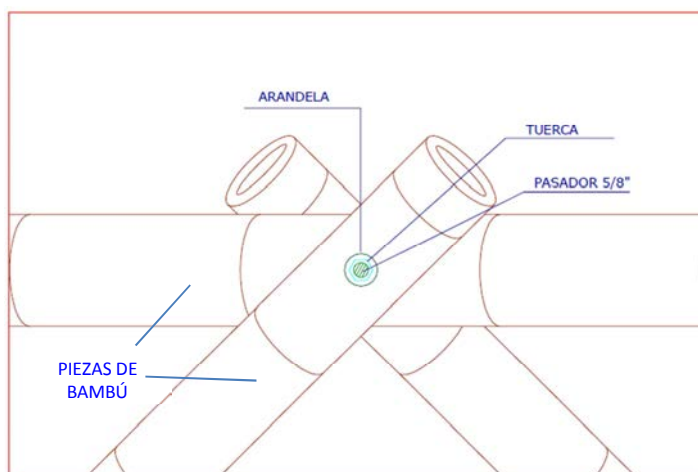
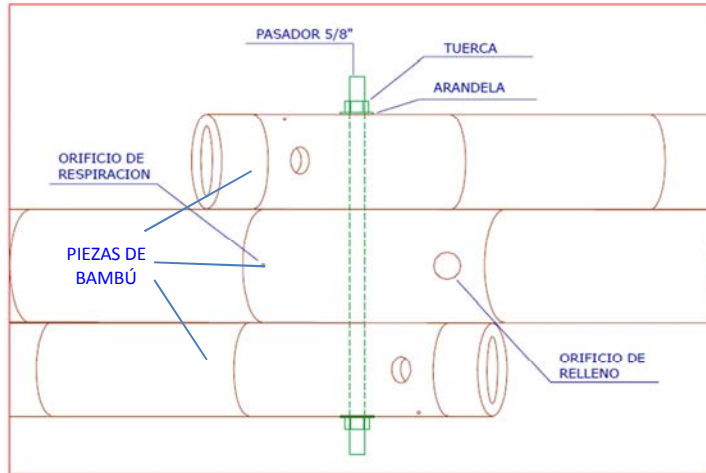


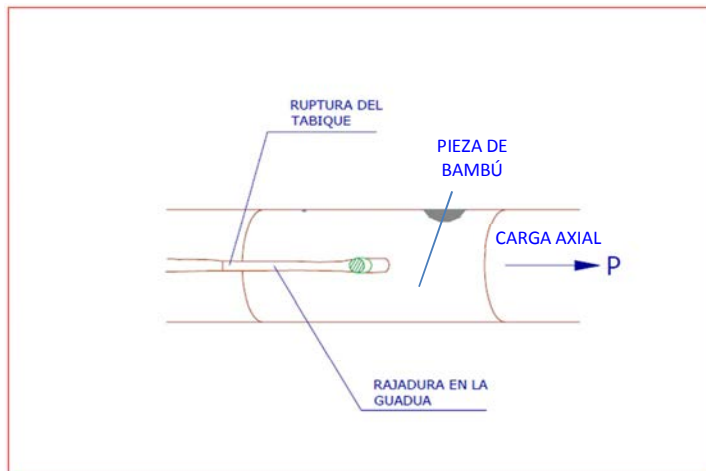
Figura A-55: Perfil, unión Simón Velez

Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)



**Figura A-56: Planta, unión Simón Velez**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



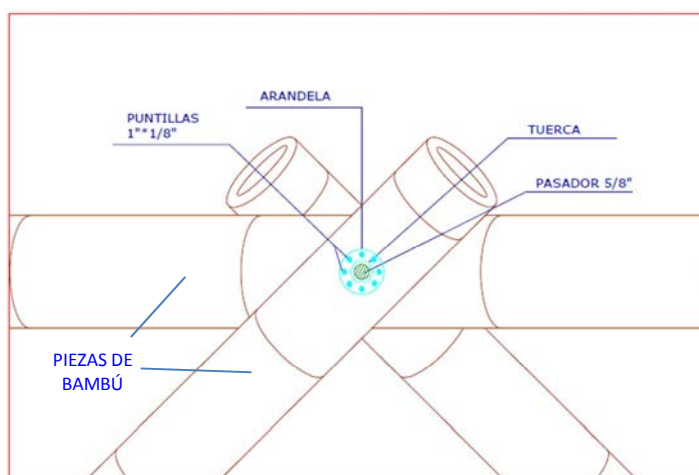
**Figura A-57: Falla esperada, unión Simón Velez**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

**Cuadro A-34: Unión tipo mecánica**

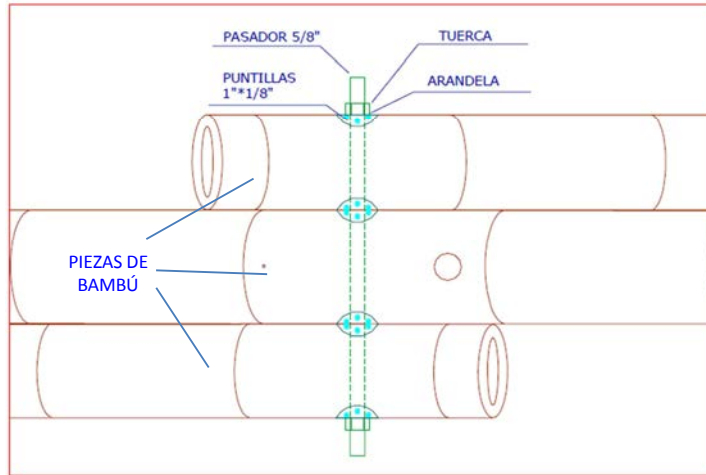
<b>Tipo: Unión Mecánica</b>	
<b>Descripción</b>	
Consiste en un sistema de conectores conformados por una lámina circular perforada a la que se le introduce un pasador de 13 mm (1/2") y ocho puntillas de 25 mm (1") de longitud y 3 mm (1/8") de diámetro. Para introducir el pasador y las puntillas se pretaladra para evitar que la <i>guadua</i> se raje. Esta unión se ensambla más rápido, a un bajo costo y es más liviana que la de Simón Velez.	
<b>Resistencia</b>	
1 000 kg por cada par de conectores instalados sobre la <i>guadua</i> a tensión.	
<b>Observaciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>La unión falla rasgando la <i>guadua</i> por el orificio de la varilla de 13 mm (1/2") y las puntillas de 25 mm (1").</li></ul>	

**Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



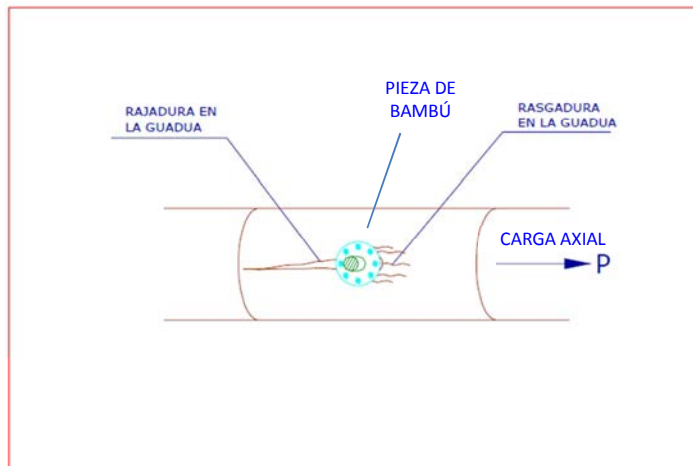
**Figura A-58: Perfil, unión mecánica**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura A-59: Planta, unión mecánica**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura A-60: Falla esperada, unión mecánica**

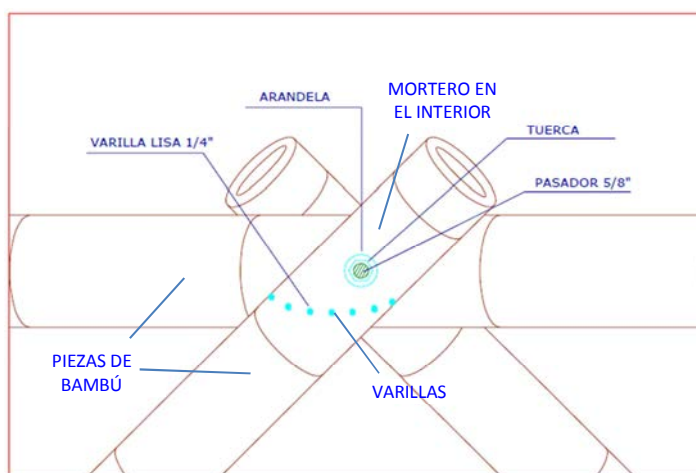
**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Cuadro A-35: Unión con mortero y maderos o varillas**

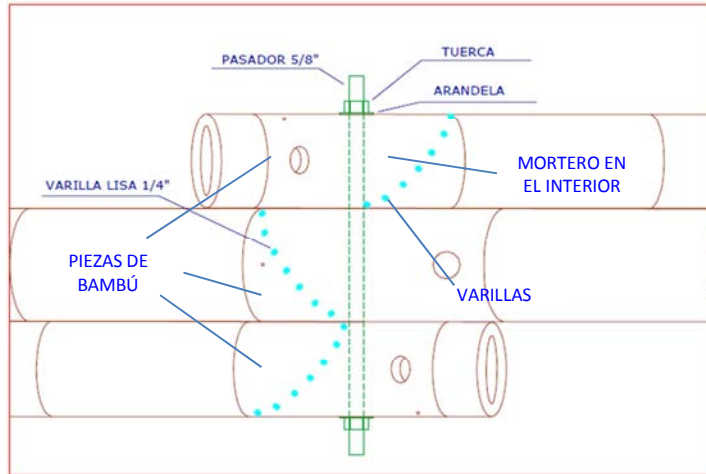
Tipo: Unión con mortero y maderos o varillas
<b>Descripción</b>
<p>Consiste en tomar un entrenudo de la probeta y pretaladra 8 orificios de manera que no queden colineales ni verticalmente ni horizontalmente. Luego se introducen varillas lisas de 6 mm (1/4") en cada orificio. Se taladran dos orificios de 16 mm (5/8") para poder atravesar el pasador, que es una varilla roscada de 16 mm (5/8") y otro orificio de 32 mm (1 1/4") para introducir el mortero al interior del entrenudo.</p>
<b>Resistencia</b>
<p>Se obtuvo una resistencia de 6 565 kg en uniones a tensión.</p>
<b>Observaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando el mortero falla, se abre empujando las paredes de la <i>guadua</i> hacia afuera, lo que acelera la falla de la <i>guadua</i>, porque se separa longitudinalmente.</li> <li>• El número de varillas no es el principal determinante en la resistencia de la probeta.</li> <li>• Es costosa con respecto a la unión mecánica, además es una unión pesada.</li> </ul>

**Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



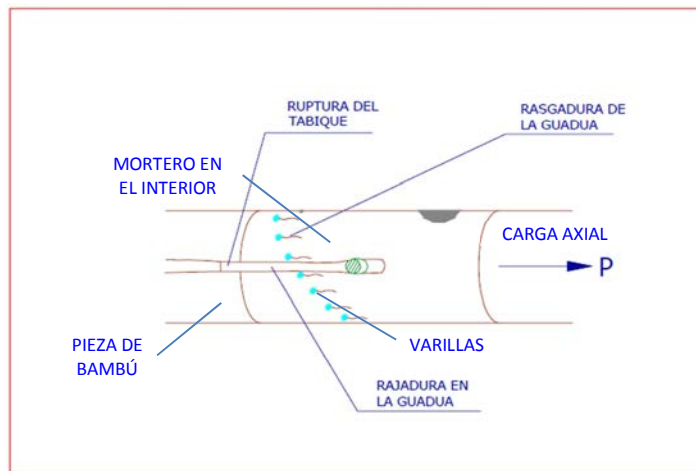
**Figura A-61: Perfil, unión con mortero y maderos o varillas**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura A-62: Planta, unión con mortero y maderos o varillas**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



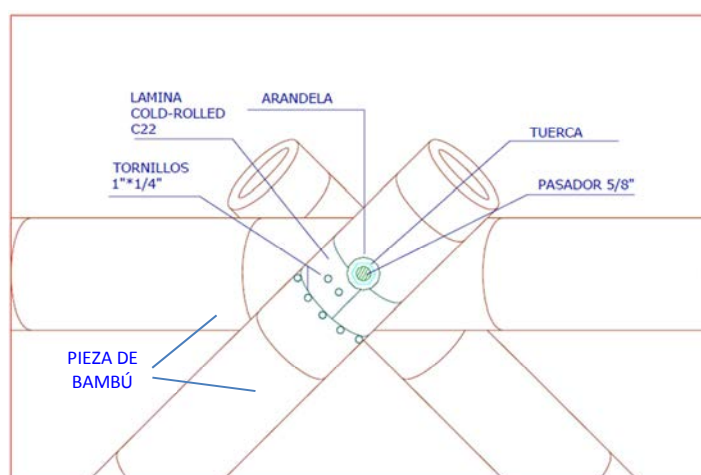
**Figura A-63: Falla esperada, unión con mortero y maderos o varillas**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

**Cuadro A-36: Unión con abrazadera**

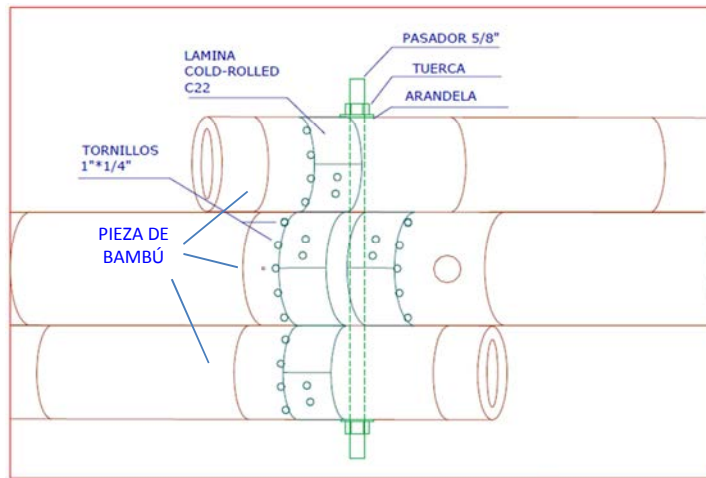
<b>Tipo: Unión con abrazadera</b>	
<b>Descripción</b>	
Se taladran 2 orificios de 16 mm (5/8") para poder atravesar el pasador, que es una varilla roscada de 16 mm (5/8"). En el lado del pasador donde se va a inducir la falla se utiliza lámina Cold-Rolled calibre 22 de 4 cm de ancho, enrollándola en la <i>guadua</i> con cinco vueltas, y utilizando 12 tornillos ordinarios de 25 mm (1") de largo por 6 mm (1/4") de ancho de cabeza hexagonal en el lado opuesto al pasador, restringiendo el movimiento de la lámina.	
<b>Resistencia</b>	
Se obtuvo una resistencia de 10 500 kg en uniones a tensión.	
<b>Observaciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• La falla se da por rasgamiento de las paredes de la <i>guadua</i> a causa de los tornillos o por rajadura en la <i>guadua</i> por efecto del pasador.</li><li>• Es una unión relativamente liviana.</li></ul>	

**Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



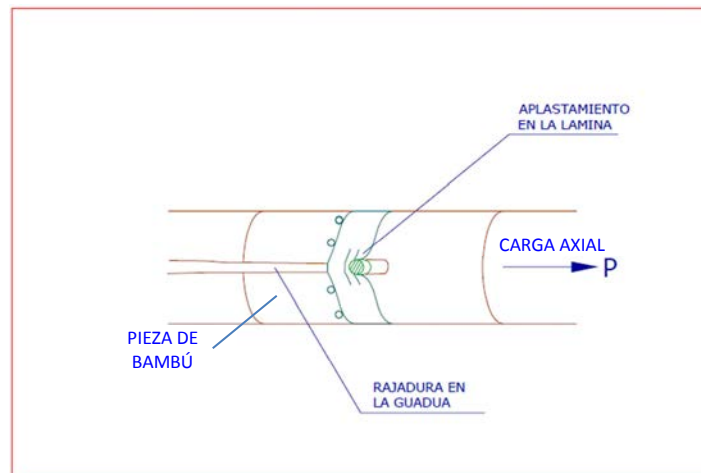
**Figura A-64: Perfil, unión con abrazadera**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura A-65: Planta, unión con abrazadera**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



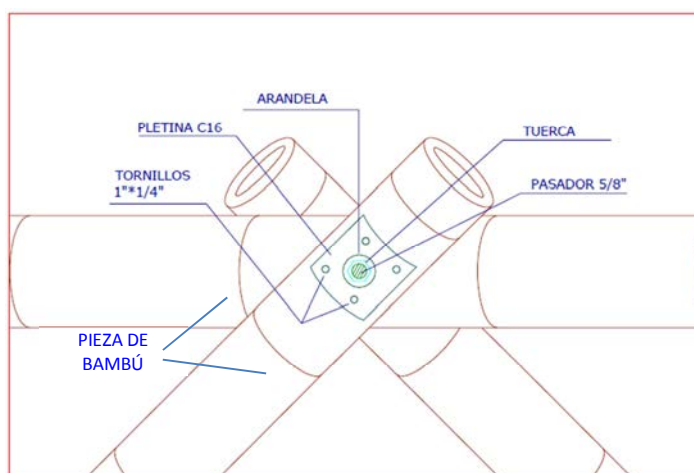
**Figura A-66: Falla esperada, unión con abrazadera**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

**Cuadro A-37: Unión mecánica modificada**

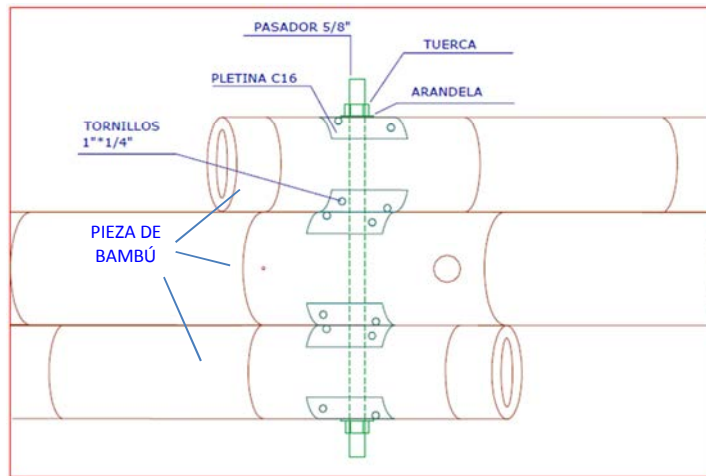
<b>Tipo: Unión mecánica modificada</b>	
<b>Descripción</b>	
Consiste en un sistema de conectores conformados por una lámina rectangular calibre 16 perforada a la que se le introduce un pasador de 16 mm (5/8") y cuatro tornillos ordinarios de 25 mm (1") de largo por 6 mm (1/4") de ancho de cabeza hexagonal. Para introducir el pasador y los tornillos se pretaladra para evitar que la <i>guadua</i> se raje. Esta unión ensambla rápidamente, a un costo bajo y es más liviana que la de Simón Velez.	
<b>Resistencia</b>	
Se obtuvo una resistencia de 2 100 kg	
<b>Observaciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• La falla se da por el rasgamiento de las paredes de la <i>guadua</i>.</li><li>• En el momento de falla los tornillos se desprenden.</li><li>• La pletina sufre aplastamiento.</li><li>• Es una unión relativamente liviana.</li></ul>	

**Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



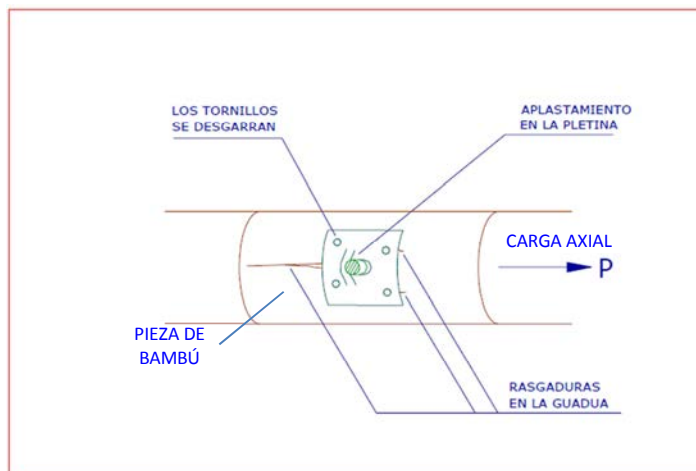
**Figura A-67: Perfil, unión mecánica modificada**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura A-68: Planta, unión mecánica modificada**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura A-69: Falla esperada, unión mecánica modificada**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

## Uniones sin excentricidad

Cuadro A-38: Unión con pletinas

Tipo: Unión con pletinas	
<b>Descripción</b>	
Es un sistema de transmisión de esfuerzos por medio de un par de pletinas metálicas calibre 12 perforadas para introducir un pasador de 16 mm (5/8") por cada elemento de la armadura. Se confinan con mortero los entrenudos afectados por el pasador.	
<b>Resistencia</b>	
Se obtuvo una resistencia de 2 100 kg	
<b>Observaciones</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• La falla se da por rasgamiento de las paredes de la <i>guadua</i>.</li><li>• Es una unión pesada y costosa.</li><li>• Requiere mayor trabajo en su elaboración.</li><li>• No presenta excentricidad en los elementos que la conforman.</li></ul>	

Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)

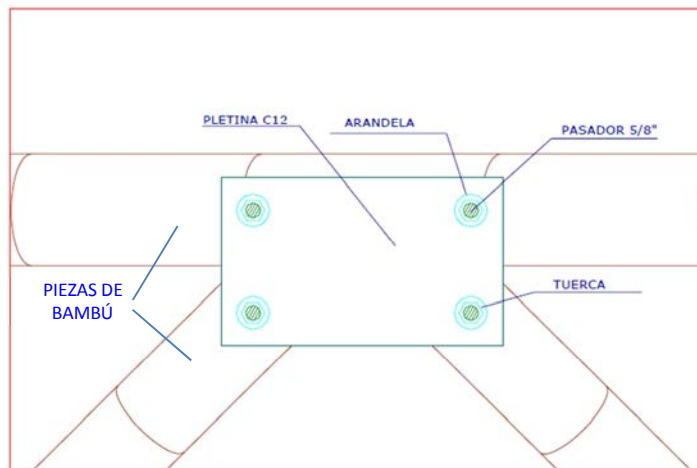
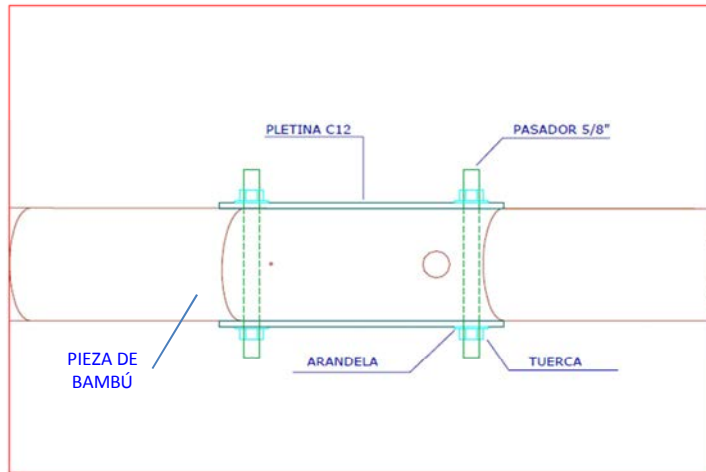


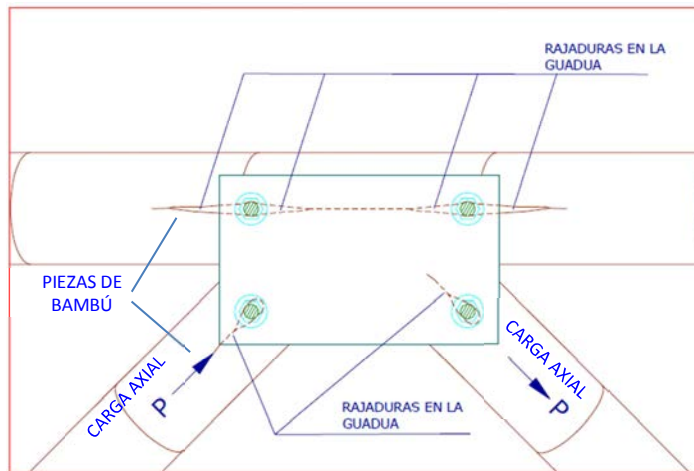
Figura A-70: Perfil, unión con pletinas

Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)



**Figura A-71: Planta, unión con pletinas**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura A-72: Falla esperada, unión con pletinas**

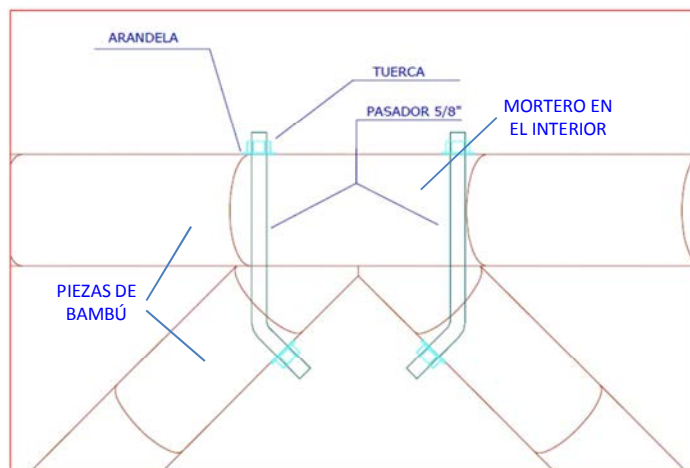
**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Cuadro A-39: Unión por anclaje**

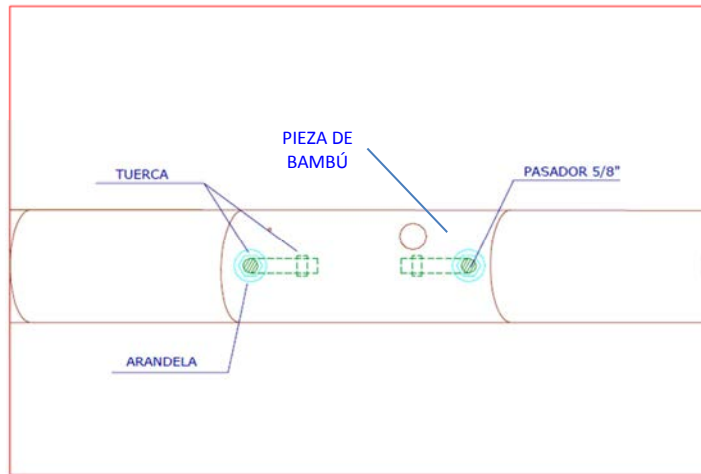
<b>Tipo: Unión por anclaje</b>
<b>Descripción</b>
Por medio de un pasador de 16 mm (5/8") se sujetan dos elementos que forma un ángulo $\alpha$ entre ellos. El pasador es doblado con el mismo ángulo $\alpha$ con el fin de atravesar perpendicularmente los elementos. Se confinan con mortero los entrenudos afectados por el pasador.
<b>Resistencia</b>
Se obtuvo una resistencia de 300 kg.
<b>Observaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• La falla se da por rasgamiento de las paredes de la <i>guadua</i>.</li><li>• En el momento de falla, el bloque de mortero es expulsado del entrenudo.</li><li>• Es una unión pesada.</li><li>• No presenta excentricidad en los elementos que la conforman.</li></ul>

**Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



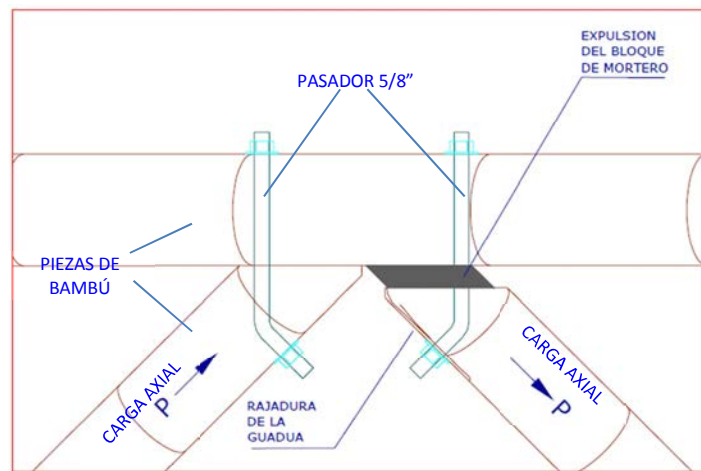
**Figura A-73: Perfil, unión por anclaje**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura A-74: Planta, unión por anclaje**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



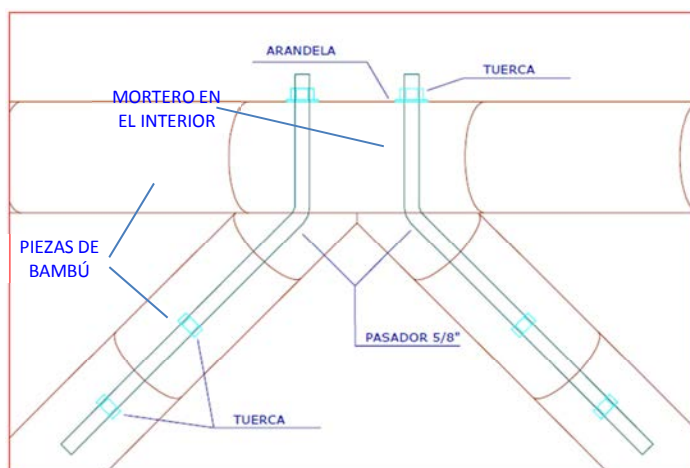
**Figura A-75: Falla esperada, unión por anclaje**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

**Cuadro A-40: Unión con anclaje axial**

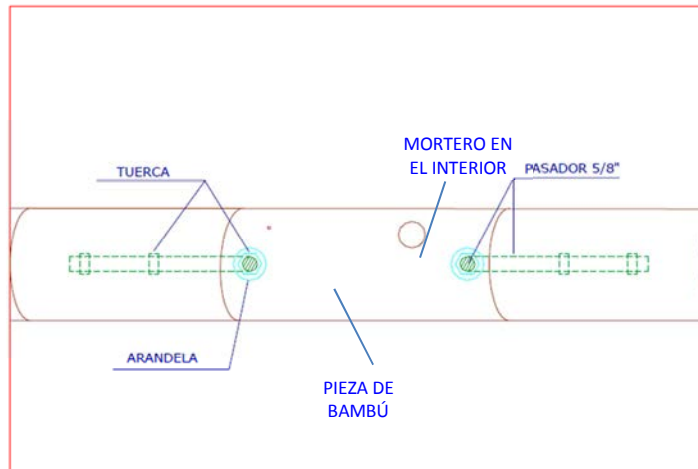
<b>Tipo: Unión con anclaje axial</b>
<b>Descripción</b>
Por medio de un pasador de 16 mm (5/8") se sujetan dos elementos que forman un ángulo $\alpha$ entre ellos. El pasador es doblado con el mismo ángulo $\alpha$ con el fin de atravesar perpendicularmente uno de los elementos y permanecer embebida en mortero en el interior del otro. Se confina con mortero el entrenudo afectado perpendicularmente por el pasador.
<b>Resistencia</b>
Se obtuvo una resistencia de 1 500 kg.
<b>Observaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• La falla se da por rasgamiento de las paredes de la <i>guadua</i>.</li><li>• En la falla se presenta expulsión del bloque de mortero.</li><li>• Es una unión pesada.</li><li>• Para facilitar la construcción, se debe fundir el mortero en dos etapas.</li><li>• No presenta excentricidad en los elementos que la conforman.</li></ul>

**Fuente: Adaptado de Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



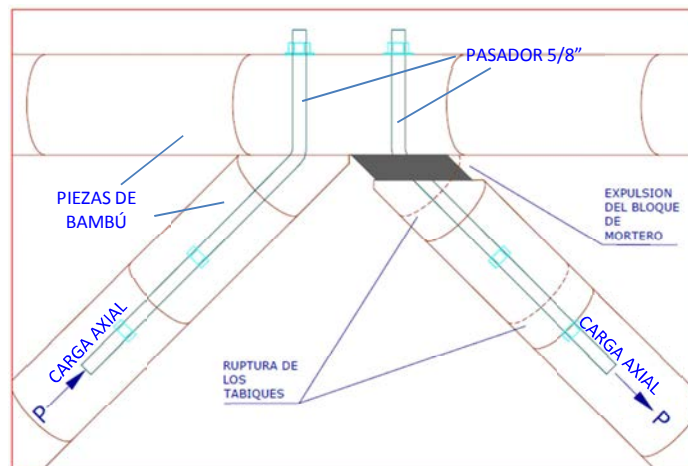
**Figura A-76: Perfil, unión con anclaje axial**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura A-77: Planta, unión con anclaje axial**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**



**Figura A-78: Falla esperada, unión con anclaje axial**

**Fuente: Gutiérrez, J., Gómez, R. (2002)**

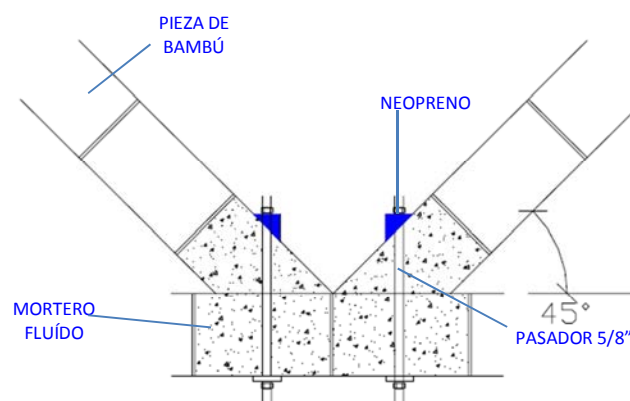
La Universidad Nacional de Colombia realizó diversas pruebas, documentadas en *Estudio de Uniones en Guadua con Ángulo de Inclinación entre Elementos* (Jaramillo, D., Sanclemente, A. 2003). Los tres tipos de uniones estudiados fueron:

- Unión tipo Simón Vélez Modificada

El cambio consiste en utilizar varilla de 16 mm (5/8"), un mortero fluido y neopreno. En contraste, la unión original no usa neopreno, emplea varilla de 13 mm (1/2") y rellena los entrenudos con un mortero estándar.

En esta unión, la *guadua* trabaja a tensión atravesando una varilla de 16 mm (5/8") en el entrenudo que va a transmitir los esfuerzos. Dicho entrenudo se rellena posteriormente con mortero, el cual no tiene muy poca adherencia con las paredes de la *guadua* e induce un esfuerzo sobre las paredes fallando por desgarramiento de estas.

Las modificaciones tienen como objetivo aprovechar al máximo la resistencia de las fibras longitudinales del material. Por lo tanto, se colocaron puntillas pretaldradas en forma helicoidal las cuales aportan adherencia entre las paredes de la *guadua* y el mortero. Además, se utilizaron prismas de neopreno para evitar desgarramiento inducido por el ajuste de la arandela y la tuerca. También, el mortero fluido permite una mejor adherencia con las paredes, ya que el incorporador de aire que emplea permite una menor contracción del mortero y, por lo tanto, una mejor adherencia entre ellos.



**Figura A-79: Perfil, unión Simón Vélez Modificada**

**Fuente: Jaramillo, D., Sanclemente, A. (2003)**

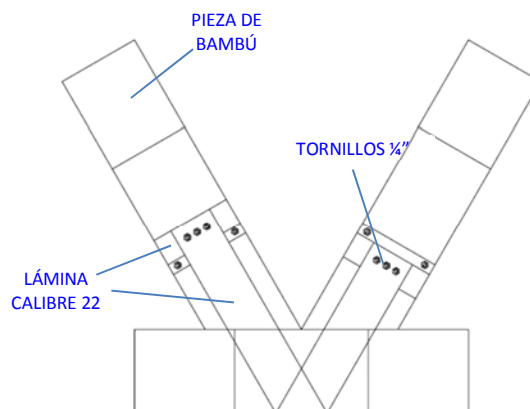


**Figura A-80: Fotografía, unión Simón Vélez Modificada**

**Fuente: Jaramillo, D., Sanclemente, A. (2003)**

- Unión tipo Sandra Clavijo

Esta unión se basa en la unión propuesta por los Ing. David Trujillo y Sandra Clavijo en su trabajo de evaluación de uniones a tracción en *guadua*. Esta consiste en enrollar una lámina Cold-Rolled calibre 22 en cada elemento en ángulo. Esta va sujeta con tornillos de 6 mm ( $\frac{1}{4}$ " de diámetro por encima o debajo del entrenudo según sea la solicitud de carga para el elemento. También se coloca una lámina del mismo tipo con un ancho de 8 cm, la cual unirá los elementos inclinados envolviendo el elemento continuo.



**Figura A-81: Perfil, unión Sandra Clavijo**

**Fuente: Jaramillo, D., Sanclemente, A. (2003)**

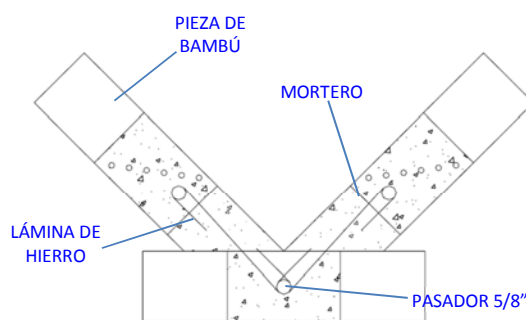


**Figura A-82: Fotografía, unión Sandra Clavijo**

**Fuente: Jaramillo, D., Sanclemente, A. (2003)**

- Unión tipo Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente

Esta unión está constituida por láminas estándar de hierro de 0,3 m, las cuales se encuentran dentro de los elementos inclinados y se conectan en un pasador de 16 mm (5/8") de diámetro en el elemento continuo. Los entrenudos en los que se encuentran dichas láminas se rellenan con mortero, y este se sujeta a las paredes con una serie de puntillas alrededor de la misma en forma helicoidal. Para introducir las láminas en el elemento continuo, es necesario realizar una ranura de 13 cm de longitud y de 19 mm (3/4") de ancho.



**Figura A-83: Perfil, unión Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente**

**Fuente: Jaramillo, D., Sanclemente, A. (2003)**



**Figura A-84: Fotografía, unión Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente**

**Fuente: Jaramillo, D., Sanclemente, A. (2003)**